

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO FIN DE GRADO

PROYECTO DE AMPLIACIÓN DE LA E.D.A.R. DE BEDIA (BIZKAIA) PARA LA REGENERACIÓN DEL AGUA MEDIANTE TRATAMIENTO TERCIARIO.

DOCUMENTO 1- MEMORIA DESCRIPTIVA Y ANEJOS

Alumno/Alumna: Eizaguirre, Sastre, Josu

Director/Directora: De Luis, Álvarez, Ana

Curso: 2018-2019

Fecha: Julio de 2019

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El concepto de economía circular ha venido para quedarse. El sector del agua es el paradigma de este concepto y la reutilización su práctica más ejemplar: el agua ya utilizada es depurada y regenerada para recobrar una nueva vida.

Actualmente, la estación depuradora de aguas residuales de Bedia-Vedia (Bizkaia) consta de los tratamientos primarios y secundarios para cumplir con la normativa existente en relación al vertido del agua al cauce del río Ibaizábal, aun pudiendo dar servicio mediante la implementación de un tratamiento terciario con agua regenerada a la industria local, tanto siderúrgica como agraria, y al ayuntamiento para el baldeo de calles y extinción de incendios.

El proyecto de ampliación de la E.D.A.R. de Bedia engloba dicho tratamiento terciario, compuesto por un tratamiento de ultrafiltración continua para la reducción tanto los sólidos en suspensión del agua a tratar, como los microorganismos y la turbidez, además de una desinfección de mantenimiento mediante cloración para evitar que los virus y bacterias eliminados mediante la ultrafiltración vuelvan a aparecer, de tal manera que se garantice en su almacenamiento en los tanques de agua regenerada y en la reutilización de las mismas una buena calidad.

A todo esto, se le deberán añadir la construcción e instalación de los equipos y proceso necesarios para la correcta regeneración y almacenamiento del agua tratada, como los pozos de bombeo necesarios para impulsar el agua a través del tratamiento terciario, los equipos de control del cloro para su correcta dosificación y los tanques de 1458m³ y 496m³ para poder almacenar parte del efluente regenerado.

La construcción de dicha ampliación se realizará, en su mayoría, mediante equipos prefabricados como los equipos de ultrafiltración, pozo de bombeo post-desinfección, tanques de almacenamiento... a excepción del pozo de bombeo inicial y la cámara de cloración. De esta forma se logrará una mayor rapidez y sencillez en el proceso constructivo de dicho proyecto.

El total del proyecto saldrá a concurso con un Presupuesto de Ejecución por Contrata de 1.503.221,39 euros y un plazo estimado de ejecución total de la obra de 90 días aproximadamente, contando con una correcta planificación.

Palabras clave: Reutilización, Tratamiento terciario, Ultrafiltración continua, Cloración, Cámara de cloración.

SUMMARY AND KEYWORDS

The concept of circular economy has come to stay. The water sector is the paradigm of this concept and the reuse its most exemplary practice: the water already used is purified and regenerated to recover a new life.

Currently, the waste-water treatment plant of Bedia-Vedia (Bizkaia) consists of primary and secondary treatments to comply with the existing regulations in relation to the discharge of water into the Ibaizábal riverbed, although it can provide service through the implementation of a treatment tertiary with regenerated water to the local industry, both steel and agrarian, and to the city council for street cleaning and fire extinguishing.

The project of extension of the WWTP of Bedia includes said tertiary treatment, consisting of a continuous ultrafiltration treatment for the reduction of suspended solids of the water to be treated, as well as microorganisms and turbidity, in addition maintenance disinfection by chlorination to prevent viruses and bacteria eliminated by ultrafiltration from reappearin, in such a way that it is guaranteed in its storage in the tanks of regenerated water and in the reuse of them a good quality.

To all this, must be added the construction and installation of the equipment and processes necessary for the correct regeneration and storage of the treated water, such as the pumping wells needed to boost the water through the tertiary treatment, the chlorine control equipment for its correct dosage and the tanks of 1458m³ and 496m³ to be able to store part of the regenerated effluent.

The construction of this extension will be made, mostly, by prefabricated equipment such as ultrafiltration equipment, post-disinfection pumping well, storage tanks ... except for the initial pumping well and the chlorination chamber. In this way, greater speed and simplicity in the construction process of said project will be achieved.

The total project will go to tender with a Contract Execution Budget of 1.503.221,39 euros and an estimated total execution time of the work of approximately 90 days, with proper planning.

Keywords: Reuse, Tertiary treatment, Continuous ultrafiltration, Chlorination, Chlorination chamber.

LABURPENA ETA HITZ GAKOAK

Ekonomia zirkularren kontzeptua geratzeko etorri da. Uraren sektorea kontzeptu honen paradigma da eta berrerabilera bere ohitura eredugarriena: dagoeneko erabiltzen den ura araztu eta birsortzen da bizi berri bat berreskuratzeko.

Gaur egun, Bediako hondakin uren araztegia (Bizkaia) lehen eta bigarren mailako tratamenduak ditu indarrean dauden isuriko arauak betetzeko Ibaizabal ibaian, nahiz eta hirugarren mailako tratamendua implementatzearekin bidez lortzen dugun birsortutako urarekin bertako insutriari eman ahal diogu zerbitzua, bai burdingintzan bai nekazaritzan, eta udaletxeari kalea garbitzeko eta suak itzaltzeko.

Bediako H.U.A. handitzeko proiektua hirugarren mailako tratamendua biltzen du, eta tratamendua osatuta dago, ultrairagasketako tratamenduarekin tratatzen den urari bai etengabeko solidoak murrizteko baita mikroorganismokoak eta turbiditatea ere, baita mantentze-desinfekzio bidezko klorazioarekin ere, birus eta bakteriak ezabatutak ultrairagasketarekin berriro ez agertzeko, halako moldez bermatzeko ur tratatuaren biltegitratzea birsortutako uren deposituetan eta berrerabilpenean kalitate onekoa.

Horren guztiaren aurrean, gehitu behar dira beharrezko ekipamendu eta prozesuen eraikuntza eta instalazioa birsorkuntza eta biltegitratze ur tratatua egiteko, hala nola, beharrezko ponpa putzuak ura hirugarren mailako tratamenduan barrena bultzatzeko, kloro kontroleko ekipoa dosi zuzena emateko, eta 1458m³ eta 496 m³ deposituak birsortutako efluenteen zati bat gordetzeko.

Handipen honen eraikuntza, batez ere, aurrefabrikatutako ekipoekin egingo da, hala nola, ultrairagasketako ekipoak, post-desinfekzioko ponpa putzua, biltegitratze tankeak... hasierako ponpa putzua eta klorazio ganbera izan ezik. Modu honetan, proiektu honen eraikuntza prozesuan abiadura eta soiltasun handiagoa lortuko da.

Dena kontuan hartuta, Kontrata Egite Aurrekontua hurrengoa da: 1.503.221,39 euro. Eta egite epea, plangintza a proposarekin, 90 egungoa, gutxi gorabehera, izango da.

Hitz gakoak: Berrerabiltzea, Hirugarren mailako tratamendua, Ultrafiltrazio jarraitua, Klorazioa, Klorazio ganbera.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA DESCRIPTIVA.....	6
ANEJO 1: DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO Terciario	82
ANEJO 2: CÁLCULO DE LA LINEA DE PRESIÓN Y PERDIDAS DE CARGA.....	110
ANEJO 3: CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA	140
ANEJO 4: DECLARACIÓN DE OBRA COMPLETA.....	146

MEMORIA DESCRIPTIVA

ÍNDICE MEMORIA DESCRIPTIVA

1.- INTRODUCCION	11
2.- ANTECEDENTES	12
3.- OBJETO	20
4.- SITUACION Y EMPLAZAMIENTO.....	21
5.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS:.....	23
5.1.- FILTRACION POR MEMBRANAS:.....	32
5.2.- DESINFECCION DE MANTENIMIENTO:.....	38
5.3.- SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVAS MÁS ADECUADAS:	46
6.- DESCRIPCION DEL PROYECTO	48
6.1.- BOMBEO INICIAL.....	49
6.2.-ULTRAFILTRACIÓN.....	56
6.3.- DESINFECCIÓN DE MANTENIMIENTO.....	58
6.4.- ETAPA DE BOMBEO POST-DESINFECCIÓN.....	61
6.5.- TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	62
6.6.- OTROS ELEMENTOS IMPORTANTES DEL PROYECTO.....	63
6.6.2.- Válvula de reducción de presión.....	64
7.- PROCESO CONSTRUCTIVO.....	65
8.- PLANIFICACION DE LA OBRA.....	68
9.- RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	70
10.- NORMATIVA	72
11.- BIBLIOGRAFIA.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Crecimiento demográfico del Municipio Mancomunado de Arratia [2].....	12
Figura 2: Barrio de Ereño. [3]	13
Figura 3: Barrio de Bidekoetxe. [4].....	13
Figura 4: Barrio de Ibarra. [5].....	14
Figura 5: Barrio de Mugartatza. [6]	14
Figura 6: Barrio de Eroso. [7].....	14
Figura 7: Etapas de tratamiento de aguas residuales de la EDAR de Bedia antes de la ampliación. [9].....	16
Figura 8: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 1990. [14]	18
Figura 9: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 1995 [15]	19
Figura 10: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 2002 [16]	19
Figura 11: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 2018 [17]	19
Figura 12: Mapa Geológico de los usos del suelo del emplazamiento y proximidades de la EDAR de Bedia. [18]	21
Figura 13: Leyenda Usos del Suelo [19].....	21
Figura 14: Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia con la carretera N-240 marcada en rojo. [20]	22
Figura 15: Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia con la cartografía del terreno. [21]..	22
Figura 16: Tratamientos de regeneración de agua residual. [24]	28
Figura 17: Líneas de tratamiento dependiendo la calidad del agua regenerada. [26]	30
Figura 18: Tratamiento para regeneración de aguas a realizar. [Elaboración Propia]	30
Figura 19: Partículas retenidas por los distintos tipos de filtración por membranas. [29]	33
Figura 20: Esquema membranas tubulares. [28]	34
Figura 21: Sección transversal del sistema de membrana de fibra hueca. [28]	35
Figura 22: Esquema del equipo completo del sistema de membrana de fibra hueca. [28]	36
Figura 23: Esquema del sistema de membrana de placa y bastidor [28].....	36
Figura 24: Esquema del sistema de membrana en espiral [28]	37
Figura 25: Grafica representativa de la evolución del cloro residual en función de la dosis de cloro. [31].....	39
Figura 26: Tanque de Cloración [32]	40
Figura 27: Esquema de un generador de Ozono. [33]	43
Figura 28: Espectro electromagnético. [28].....	44
Figura 29: Tecnología de radiación UV. [34]	45
Figura 30: Esquema de los equipos para desarrollar la regeneración de las aguas de la EDAR de Bedia. [36].....	49
Figura 31: Bomba de tornillo de Arquímedes. [37]	52
Figura 32: Puesta en obra de Bombas sumergibles de Hélice. [38].....	53
Figura 33: Croquis de Bomba sumergible centrífuga en el pozo de bombeo. [27]	54
Figura 34: Bomba sumergible multicanal DMR. [44].....	55
Figura 35: Equipo de ultrafiltración continua de Fluytec. [45]	57
Figura 36: Vista en planta de la cámara de cloración. [Elaboración Propia]	59

Figura 37: Croquis simplificado de la cloración mediante hipoclorito de sodio. [31]	59
Figura 38: Croquis simplificado de la cloración mediante Cloro gas. [31]	60
Figura 39: Equipo de medición y control del cloro. [39]	61
Figura 40: Pozo de bombeo prefabricado Salher. [40].....	62
Figura 41: Tanque de almacenamiento de agua regenerada. [41].....	63
Figura 42: Tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas. [42].....	63
Figura 43: Válvula de reducción de presión. [43].....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dotación industrial urbana [8]	15
Tabla 2: Características medias del Agua Residual recibida [Elaboración propia] [12].....	17
Tabla 3: La calidad de salida de las aguas según R.D. 1620/2007 para la Reutilización de Aguas Depuradas. [13].....	18
Tabla 4: Tabla comparativa de los valores de entrada y salida de la EDAR de Bedia para reúso. [Elaboración Propia] [22]	23
Tabla 5: Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos. [Elaboración Propia] [23].....	26
Tabla 6: Tipos de calidad del agua regenerada. [25].....	29
Tabla 7: Tratamientos de filtración por membrana posibles. [Elaboración Propia].....	31
Tabla 8: Tratamientos de desinfección de mantenimiento posibles. [Elaboración Propia]	31
Tabla 9: Clasificación del tipo de filtración por membranas según el tamaño del poro. [28]	33
Tabla 10: Tabla del poder desinfectante del Ozono. [28].....	42
Tabla 11: Subproductos generados por el Ozono y el Cloro. [28]	42
Tabla 12: Criterios de selección de alternativas para la elección del tipo de membrana. [35]..	47

1.- INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto tiene como objeto la ejecución de la ampliación de la EDAR de Bedia-Vedia.

La Memoria que se divide en los siguientes capítulos:

- Antecedentes y objeto del proyecto: donde se resumen tanto los antecedentes administrativos, así como el objeto y alcance del presente expediente de contratación.
- Bases de diseño de los procesos: donde se describen tanto los criterios básicos como los parámetros de diseño que se han tenido en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento de los procesos de depuración para la Ejecución de la ampliación de la EDAR de Bedia.
- Descripción de las obras: En este apartado se profundiza sobre la construcción de la EDAR, con respecto a la descripción general de la ejecución de la obra, así como la descripción de todos los procesos unitarios de la planta, así como la parte correspondiente a urbanización y arquitectura.
- Plan de Obra: resumen de los capítulos más importantes con sus respectivos plazos parciales de ejecución
- Presupuesto de ejecución por contrata

Documentos que integran el proyecto donde se incluye un índice completo del proyecto de Construcción. Clasificación del contratista y fórmula de revisión de precios.

Por lo tanto, este documento pretende dar a conocer una visión global y completa del presente Proyecto de Construcción.

2.- ANTECEDENTES

A continuación, se realiza un breve repaso a la historia y al estado actual y pasado del Municipio Mancomunado de Arratia, en concreto del municipio de Bedia, lugar en el que se llevara a cabo el proyecto de ampliación de la EDAR.

El Municipio Mancomunado de Arratia (Arratiako Udalen Mankomunitatea AUM) se formó en 1982 con el objetivo de prestar a todas las localidades que la forman diversos servicios de anterior competencia municipal, teniendo en cuenta los fuertes lazos de unión existentes entre ellas, tanto históricos como de necesidades comunes.

Está formada por los municipios de Arantzazu, Areatza, Artea, Bedia, Dima, Igorre, Lemoa, Ubide y Zeanuri, ocupa una superficie aproximada de 206,70 Km² y cuenta con una población aproximada de 13.500 habitantes.

Desde su creación, el trabajo común ha propiciado un notable desarrollo de la Mancomunidad y, por consiguiente, una mejora en la calidad de vida de la ciudadanía.

Arratia es la comarca más meridional del Territorio Histórico de Bizkaia, hecho que confiere una historia, cultura y tradición propia y diferenciada al resto, pero común a todos los vecinos y vecinas de la comarca.

Esta Mancomunidad se caracteriza por sus privilegiados recursos naturales, con dos Parques Naturales como son el de Gorbeia y el de Urkiola y un importante patrimonio histórico y cultural. Pero también cabe destacar su papel en el ámbito industrial. Un sector que emplea a numerosas personas de la comarca y de otros puntos de Bizkaia. [1]

La situación de Bedia en las cercanías del área industrial vizcaína propició el abandono de su población, de las labores agrícolas, para trabajar en el sector secundario. Posteriormente, la congestión industrial que se produce en la comarca de Bilbao hizo de esta zona cercana, punto de asentamiento para instalaciones industriales.



Figura 1: Crecimiento demográfico del Municipio Mancomunado de Arratia [2]

Como se puede observar y como consecuencia de la industrialización de la comarca Arratia-Nerviión, se ha propiciado un aumento de la población de los municipios antes mencionados, y por tanto un aumento en la demanda de agua a tratar por EDAR de Bedia, como más adelante se verá.

Bedia Esta formada por 5 barrios: Ereño, Bidekoetxe – Asteitza, Ibarra – Bideakolea, Mugartza y Eroso – Ugarte:

- Ereño es uno de los barrios más alejados de Bedia. Se encuentra de camino a Mandoia, en una zona montañosa. Hoy cuenta con los servicios propios del núcleo municipal, pero no siempre ha sido así.

Los numerosos caseríos dan muestra de que hace un tiempo hubo vida en este barrio. Cuando las familias eran más numerosas y suponían mano de obra para la casa llegó a tener hasta cien habitantes. [3]



Figura 2: Barrio de Ereño. [3]

- Saliendo de la plaza, en dirección a Usansolo, nos encontraremos con los barrios Bidekoetxe y Asteitza. Hoy en día la carretera los atraviesa, pero hay hermosas casas a ambos lados: Igalo, Bengoetxea... son caseríos sólidos, que siguen teniendo ganado y que poseen grandes parcelas de terreno.

En este tipo de casas se han solido criar todo tipo de animales: ganado, gallinas, conejos, cerdos, burros, ovejas, cabras..., tanto para casa, como para vender sus productos.



Figura 3: Barrio de Bidekoetxe. [4]

De todas maneras, la vida del caserío ha cambiado mucho. Hoy en día, hay que producir mucho más para poder vivir de ello. Ahora es más normal que la familia trabaje fuera de casa, y utilice la misma solo como vivienda. [4]

- Si nos dirigimos de la plaza hacia Lemoa, el barrio Ibarra despide al municipio. Este barrio, como el resto del pueblo, hoy en día queda a los dos lados de la carretera general. Su paisaje lo componen las huertas y los caseríos, pero si reparamos en el último siglo, veremos que ha concentrado también otro tipo de servicios.

Si nos adentramos en el barrio llegaremos a Bediakolea. Ahí encontraremos las mayores infraestructuras de Bedia, el palacio y la central, anteriormente ferrería. [5]



Figura 4: Barrio de Ibarra. [5]

- Mugartatza es un barrio extenso, en el que se distinguen varias barriadas, con personalidad propia. Estas barriadas han sido lugares de cultivo agrícola, con sus huertas y campos. De ahí se abastecían las familias y los animales de la casa. Hoy en día predomina la hierba, aunque se sigue cultivando algo de huerta y criando algunos animales.

Hoy en día ambos márgenes de la carretera están ocupados por pabellones industriales que han cambiado la fisonomía del barrio y del pueblo. [6]



Figura 5: Barrio de Mugartatza. [6]

- El núcleo urbano y la mayoría de los barrios están a un lado del río; y al otro lado quedan barrios importantes como Eroso-Ugarte.

Eroso se le llama a la zona más alta, donde hoy en día se encuentra la ermita. Ugarte es la parte de abajo. Allí están las casas Ugartezarra y Ugartebarri, y la escuela de barriada. [7]



Figura 6: Barrio de Eroso. [7]

En definitiva, el Mancomunado de Arratia, se encuentra rodeado de un entorno natural formado por parques naturales y zonas de cultivo, y debido a su creciente industrialización en las últimas décadas, en su mayoría en el ámbito de la siderurgia, es una zona la cual necesita una importante mejora en el abastecimiento de los recursos hídricos, ya que abastece todas sus necesidades mediante el uso de agua de la red general.

A continuación, se muestra una tabla de la dotación industrial urbana de la Comunidad Autónoma del País Vasco que engloba tres componentes:

- Consumo de industrias totalmente abastecidas desde la red.
- Consumo de industrias con toma mixta: tomas propias para sus procesos industriales y toma de red para otros usos.
- Consumo de los puertos pesqueros, como caso específico de consumos industriales conectados a red.

Zona de Demanda	Dotación m ³ /Ha/año	Zona de Demanda	Dotación m ³ /Ha/año
Txingudi-Bidasoa	2.700	Duranguesado	2.400
Oiartzun	2.500	Arratia	3.300
Urumea	2.500	Gran Bilbao	2.600
Lasarte-Usurbil	2.500	Encartaciones-Kadagua	2.600
Alto Oria	3.200	Barbadun	2.800
Oria Medio	2.500	Agüera	2.800
Alto Urola	2.500	Karrantza	2.800
Urola Medio y Kosta	2.000	Alto Nerbioi	1.500
Alto Deba	3.500	Agurain	1.800
Bajo Deba	2.500	Kampezo-Montaña Alavesa	2.500
Artibai	3.500	Rioja Alavesa	2.000
Lea	2.500	Añana	1.500
Oka	2.500	Vitoria-Gasteiz	1.500
Butroe	2.000	Zuia	2.500

Tabla 1: Dotación industrial urbana [8]

Como podemos observar, Arratia es uno de los territorios de la Comunidad Autónoma del País Vasco con mayor dotación industrial debido, en gran medida, a su industria siderúrgica y a la industria agrícola que esta alberga.

La EDAR de Bedia-Vedia trata las aguas residuales producidas en la cuenca del río Arratia, atendiendo a los municipios de Bedia, Lemoa, Igorre, Arantzazu, Dima, Artea, Areatza y Zeanuri.

Situada en el barrio Asteitza del municipio de Bedia, la EDAR entra en servicio en 1997 dentro del proyecto del saneamiento del río Arratia, con capacidad para depurar las aguas fecales de 11.500 habitantes.

Con un caudal máximo de tratamiento de 284 m³/h, el año 2018 depuró casi un millón y medio de metros cúbicos de aguas fecales e industriales, aguas que una vez limpias y controlada su calidad son devueltas al río Ibaizabal.

La planta cuenta con sistemas de Desbaste de sólidos, gruesos y finos, desarenado, decantación primaria, tratamiento biológico y una decantación secundaria con la que se finaliza la depuración, tal y como se muestra a continuación (Figura 7):

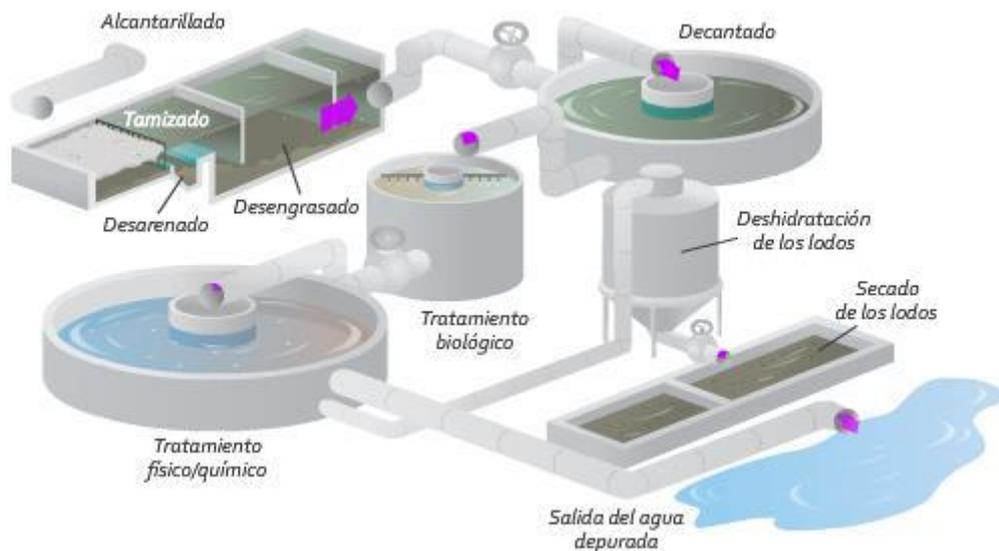


Figura 7: Etapas de tratamiento de aguas residuales de la EDAR de Bedia antes de la ampliación. [9]

Los fangos producidos en el proceso son espesados en la misma planta, extrayendo de estos el agua que contienen, el fango restante se almacena hasta su traslado a la EDAR de Galindo para su procesado final. [10]

Sin embargo, dicha EDAR ni ninguna de las próximas dispone de tratamientos de reutilización del agua residual generada para abastecer tanto a la industria cerca como para abastecer a la mancomunidad de Arratia en las labores de extinción de incendios, baldeo de calles o regadío.

La reutilización de agua está cada vez más extendida, ya que se trata de un recurso de agua no convencional que permite incrementar los recursos hídricos disponibles y con ello disminuir la presión sobre otras fuentes convencionales de agua.

En nuestro país, solo 27% de las más de 2.000 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) están preparadas tecnológicamente para ofrecer los tratamientos terciarios que posibilitan la reutilización del agua y se estima que ya reutilizamos cerca de 400 hectómetros cúbicos al año, entre el 7 y el 13% del agua residual tratada.

La obtención de agua regenerada que sea apta para la reutilización requiere de tratamientos adicionales para mejorar la calidad del efluente de aguas residuales de la depuradora, ya que por lo general los tratamientos de depuración reducen la carga de contaminantes de las aguas residuales permitiendo su vertido a cauces naturales, pero no necesariamente para un uso posterior como recurso hídrico alternativo.

Estos tratamientos se conocen como terciarios y se llevan a cabo normalmente en las mismas instalaciones de la EDAR, a continuación del tratamiento secundario, en la sección que se conoce como estación de regeneración de agua (ERA).

Es pues en la ERA donde se implementan los procesos de depuración avanzados para reducir la carga de contaminante residual, sólidos en suspensión y turbidez, así como los microorganismos patógenos (virus y bacterias) que aseguren la calidad sanitaria del agua.

Respecto a las aguas residuales, son aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas o industriales y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural de agua, al suelo para recarga del acuífero o descargadas al sistema de alcantarillado. Es una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, suspendidas o disueltas. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, excretas, materia vegetal, sales minerales y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos. [11]

Según los datos proporcionados por el Consorcio de Aguas (Tabla 2), el agua de entrada a la EDAR tiene la siguiente calidad:

CARACTERÍSTICAS MEDIAS DEL AGUA RESIDUAL RECIBIDA:					
Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Valor
pH	u. de pH	7,51	N-NH3	mg/L	20,74
Sol. Suspensión	mg/L	234,56	N-NO2	mg/L	0,19
DQO	mg/L	393,98	N-NO3	mg/L	1,08
DBO5	mg/L	113,49	P-PO4	mg/L	2,56
P TOTAL	mg/L	19,21	N TOTAL	mg/L	2,88

Tabla 2: Características medias del Agua Residual recibida [Elaboración propia] [12]

La calidad de salida de las aguas una vez ya tratadas ha de ser la siguiente según la ley de depuración de aguas residuales para su reutilización:

Parámetros	Valor límite
Sólidos en suspensión (mg/L)	35
DBO (mg/L)	25
DQO (mg/L)	125
Fósforo total (mg/L)	2 (< 100.000 he) 1 (> 100.000 he)
Nitrógeno total (mg/L)	15 (< 100.000 he) 10 (> 100.000 he)

Tabla 3: La calidad de salida de las aguas según R.D. 1620/2007 para la Reutilización de Aguas Depuradas. [13]

A continuación, se muestra una evolución del terreno, ahora ocupado por la EDAR de Bedia, en el cual se puede observar que no se ha realizado ninguna obra de ampliación en dicha EDAR, tanto para la mejora de su funcionamiento como para la reutilización de las aguas:

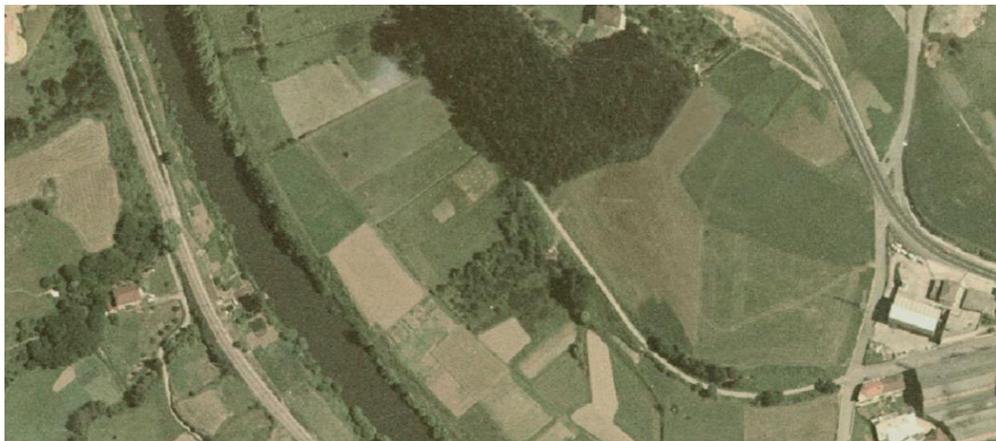


Figura 8: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 1990. [14]

Como antes se ha mencionado, la EDAR entró en servicio en 1997 dentro del proyecto del saneamiento del río Arratia. Empezando las obras en 1994 como en el siguiente vuelo se puede observar (Figura 9).



Figura 9: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 1995 [15]



Figura 10: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 2002 [16]



Figura 11: Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 2018 [17]

3.- OBJETO

El presente Proyecto tiene como objeto la realización de todas las actuaciones necesarias para realizar una ampliación en la actual EDAR de Bedia-Vedia. Dichas actuaciones se llevarán a cabo en condiciones técnicas, legales y administrativas adecuadas para proceder a regenerar el efluente depurado, mediante un tratamiento terciario, para su posterior reutilización. El agua tratada debe de cumplir las especificaciones necesarias para su uso industrial, así como para el regadío, baldeo de calles o extinción de incendios de los Parques Naturales del Gorbeia y Urkiola.

Dicha ampliación se llevará a cabo mediante la actualización del proyecto de saneamiento del río Arratia, añadiendo una serie de tratamientos que comprenden los trabajos de:

- Tratamiento extra de filtración y adecuación de las aguas
- Post-desinfección
- Almacenamiento de un volumen considerable

Así mismo, en el presente proyecto se detallan las bases técnicas para la dirección y la realización de las obras, por lo que ha de servir como documento administrativo para su presentación ante los organismos competentes para su posterior ejecución.

4.- SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Las instalaciones a llevar a cabo se van a ubicar en la actual EDAR, localizada en el barrio de Asteitzta perteneciente al municipio de Bedia. Las coordenadas de dicho lugar son las siguientes: 43°12'35.1''N 2°48'37.0''W.

Esta se encuentra en una explanada rodeada de dos parques industriales, el de Murtatza y el de Mendieta, a 2500m del municipio de Lemoa. A su vez este solar de 8556 m² que alberga a la depuradora está prácticamente debajo de la carretera nacional N-240, rodeada del parque industrial de Bedia.

Para visualizar todo esto de forma más clara se ilustra con un par de figuras que muestran una perspectiva en alzado y una vista en planta de la zona objeto de proyecto, incluyendo además en otro enfoque cenital los usos del suelo. En ellas se pueden apreciar todos los elementos aludidos, carretera, parque industrial y la actual depuradora de aguas.

Como se aprecia en los usos del suelo, la EDAR de Bedia y todas las instalaciones que materialicen su ampliación se situarán dentro de terrenos destinados a infraestructuras básicas.

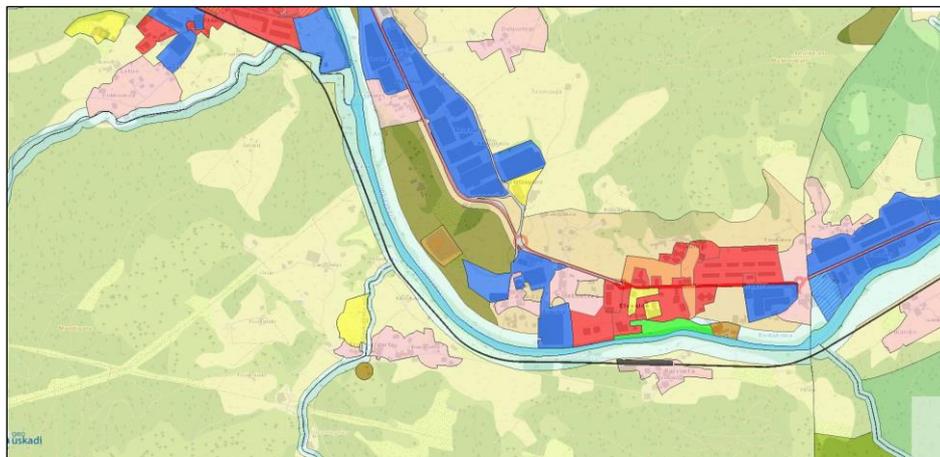


Figura 12: Mapa Geológico de los usos del suelo del emplazamiento y proximidades de la EDAR de Bedia. [18]



Figura 13: Leyenda Usos del Suelo [19]

En la Figura 14, se puede observar la cantidad de terreno natural que se dispone cerca la EDAR de Bedia.



Figura 14: Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia con la carretera N-240 marcada en rojo. [20]

Dicho terreno, como se demostrará a continuación con la representación de las curvas de nivel y como puede, a priori, observarse en la Figura 15, no presenta apenas pendiente.

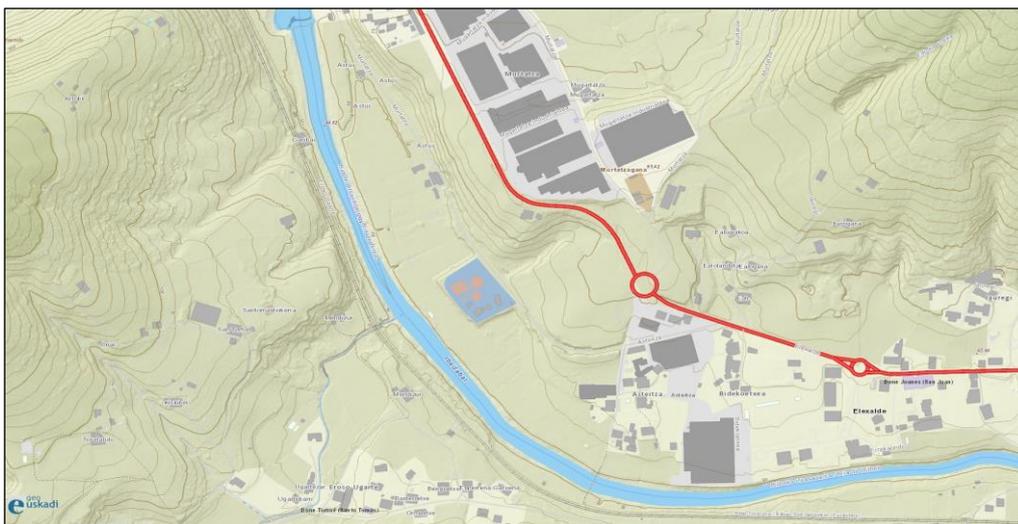


Figura 15: Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia con la cartografía del terreno. [21]

5.- ESTUDIO DE ALTERNATIVAS:

Para llevar a cabo la reutilización de aguas planteada, antes se debe concretar la calidad del agua de reúso y las características que ésta exige en función de su uso. Posteriormente, comparando las mismas con las del agua depurada en la actual EDAR de Bedia, se deben decidir los tratamientos de adecuación necesarios. Las características del agua de la EDAR son las siguientes:

EDAR de Bedia PARAMETROS	SST	DBO5	DQO	N-NH3	P-PO4
	(mg/L)	(mg O2/L)	(mg O2/L)	(mg N/L)	(mg P/L)
ENTRADA	234,56	113,49	393,98	20,74	2,56
SALIDA	8,54	3,89	46,01	0,91	0,73
EXIGENCIAS NORMATIVA VERTIDO	35	25	125	15	2

Tabla 4: Tabla comparativa de los valores de entrada y salida de la EDAR de Bedia para reúso. [Elaboración Propia] [22]

Teniendo en cuenta lo anterior y la variedad de actividades a las cuales se pueden usar dicha agua de salida de la EDAR, se ha decidido hacer un estudio sobre los posibles usos y el tratamiento necesario para acondicionar el efluente depurado a los mismos.

Para ello se utilizará el Anexo I.A: Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos de la Ley 11/2005, de 22 de junio, del Plan Hidrológico Nacional.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL a) Riego de jardines privados. b) Descarga de aparatos sanitarios.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios. d) Lavado industrial de vehículos.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

2.- USOS AGRÍCOLAS					
<p>CALIDAD 2.1</p> <p>a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.</p>	1 huevo/10 L	100 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp. 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000</p>
<p>CALIDAD 2.2</p> <p>a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.</p> <p>b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.</p> <p>c) Acuicultura.</p>	1 huevo/10 L	1000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija limite	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Taenia saginata y Taenia solium: 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne) Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000</p>
<p>CALIDAD 2.3</p> <p>a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.</p> <p>b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.</p> <p>c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.</p>	1 huevo/10 L	10000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija limite	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp. 100 UFC/L</p>
3.- USOS INDUSTRIALES					
<p>CALIDAD 3.1</p> <p>a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria.</p> <p>b) Otros usos industriales.</p>	No se fija Limite	10000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs Legionella spp.: 100 UFC/L</p>

<p>c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria</p>	<p>1 huevo/10 L</p>	<p>1000 UFC/100 mL</p>	<p>35 mg/L</p>	<p>No se fija limite</p>	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Legionella spp.: 100 UFC/L Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000</p>
<p>CALIDAD 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.</p>	<p>1 huevo/10 L</p>	<p>Ausencia UFC/100 mL</p>	<p>5 mg/L</p>	<p>1 UNT</p>	<p>Legionella spp: Ausencia UFC/L Para su autorización se requerirá: - La aprobación, por la autoridad sanitaria, del Programa específico de control de las instalaciones contemplado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénicosanitarios para la prevención y control de la legionelosis. - Uso exclusivamente industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.</p>
<p>4.- USOS RECREATIVOS</p>					
<p>CALIDAD 4.1 a) Riego de campos de golf.</p>	<p>1 huevo/10 L</p>	<p>200 UFC/100 mL</p>	<p>20 mg/L</p>	<p>10 UNT</p>	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 Legionella spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</p>
<p>CALIDAD 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.</p>	<p>No se fija limite</p>	<p>10000 UFC/100 mL</p>	<p>35 mg/L</p>	<p>No se fija limite</p>	<p>OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. PT: 2 mg P/L (en agua estancada)</p>

5.- USOS AMBIENTALES					
CALIDAD 5.1 a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.	No se fija limite	1000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija limite	NT: 10 mg N/L NO ₃ : 25 mg NO ₃ /L Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	
CALIDAD 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija limite	No se fija limite	35 mg/L	No se fija limite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
CALIDAD 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso				

Tabla 5: Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos. [Elaboración Propia] [23]

Considerando que utilizaremos el agua de salida de la EDAR para varios usos, como Urbanos, Agrícolas e Industriales, se afinara la calidad del agua depurada hasta la necesaria para alcanzar los estándares:

USOS URBANOS: SERVICIOS

Debido a la proximidad de núcleos urbanos como Lemoa y a la proximidad de caseríos con una estructura en su mayoría compuesta de materiales inflamables, como madera, se podrá destinar el agua al baldeo de calles o para la extinción de incendios. Además, se podrá destinar el agua a para su uso en los parques industriales cercanos, debido a que hay varias empresas dedicadas a la limpieza de vehículos y empresas relacionadas con dicha tarea.

Los valores máximos admisibles para sus usos urbanos en servicios son:

- NEMATODOS INESTINABLES: 1 huevo/10 L
- ESCHERICHIA COLI: 200 UFC/100 mL
- SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN: 20 mg/L
- TURBIDEZ: 10 UNT
- OTROS CRITERIOS: Legionella spp. 100UFC/L

USOS AGRICOLAS: AGRICULTURA

Pese a que la comarca de Arratia-Nervión cada vez aumenta más el sector secundario, esta comarca sigue teniendo una fuerte industria agraria, es por esto que se podrá destinar el agua tratada en la EDAR para su uso agrícola.

Los valores máximos admisibles para sus usos agrícolas en agricultura son:

- NEMATODOS INESTINABLES: 1 huevo/10 L
- ESCHERICHIA COLI: 1000 UFC/100 mL
- SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN: 35 mg/L
- TURBIDEZ: No se fija límite
- OTROS CRITERIOS: Taenia saginata y Taenia solium: 1 huevo/L

USOS INDUSTRIALES: TORRES DE REFRIGERACION Y CONDENSADORES EVAPORATIVOS

Debido a la cercanía de la EDAR de Bedia con las industrias siderúrgicas de Arratia, se podrá utilizar el agua tratada en la EDAR de Bedia para su uso en los condensadores evaporativos y calderas de refrigeración de dichas empresas.

Los valores máximos admisibles para sus usos industriales en condensadores evaporativos o torres de refrigeración son:

- NEMATODOS INESTINABLES: 1 huevo/10 L
- ESCHERICHIA COLI: Ausencia UFC/100 mL
- SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN: 5 mg/L
- TURBIDEZ: 1 UNT
- OTROS CRITERIOS: Legionella spp. Ausencia UFC/L

Por tanto, viendo las restricciones que supone tratar el agua en la EDAR de Bedia para su posterior uso en servicios urbanos, agrícola o en torres de refrigeración y condensadores evaporativos de la central térmica de ciclo combinado de Amorebieta, atendiendo a los Valores Máximos Admisibles (VMA), habrá que garantizar en el agua regenerada lo siguiente:

- **NEMATODOS INESTINABLES:** 1 huevo/ 10L. Un huevo por cada 10 litros de muestra
- **ESCHERICHIA COLI:** Ausencia UFC/ 100mL. Ningún rastro de unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros de muestra. Siendo las UFC's unidades de medida para la cuantificación de microorganismos, en este caso de la bacteria E. Coli.
- **SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN:** 5mg/ L. 5 mg por cada litro
- **TURBIDEZ:** 1 UNT. Una unidad nefelométrica de turbidez. Siendo las UNT unidades de medida de la turbidez en líquidos.
- **OTROS CRITERIOS:** Legionella spp. Ausencia UFC/L

Para cumplir con las características exigidas con las normas antes mencionadas en la Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas, es preciso complementar los equipos de tratamiento previamente instalados con procesos de depuración avanzados que reduzcan la carga contaminante residual

hasta valores admisibles para el uso al que vaya a destinarse el agua producto (usos urbanos, agrícolas, recreativos, industriales y ambientales).

También es importante eliminar todos los microorganismos patógenos para asegurar la adecuada calidad sanitaria del agua. De esta manera el tratamiento de regeneración tiene como objetivo principal el reducir la cantidad de agentes patógenos que hayan sobrevivido a los tratamientos de depuración, así como reducir el nivel de sólidos en suspensión y turbidez, a fin de adaptarse a las calidades mínimas exigidas para su uso.

De naturaleza físico-química o biológica, estos tratamientos requieren un conjunto de instalaciones que normalmente se sitúan a continuación del tratamiento secundario. En la Figura 16 se muestran brevemente las tecnologías más empleadas para la regeneración del agua residual.

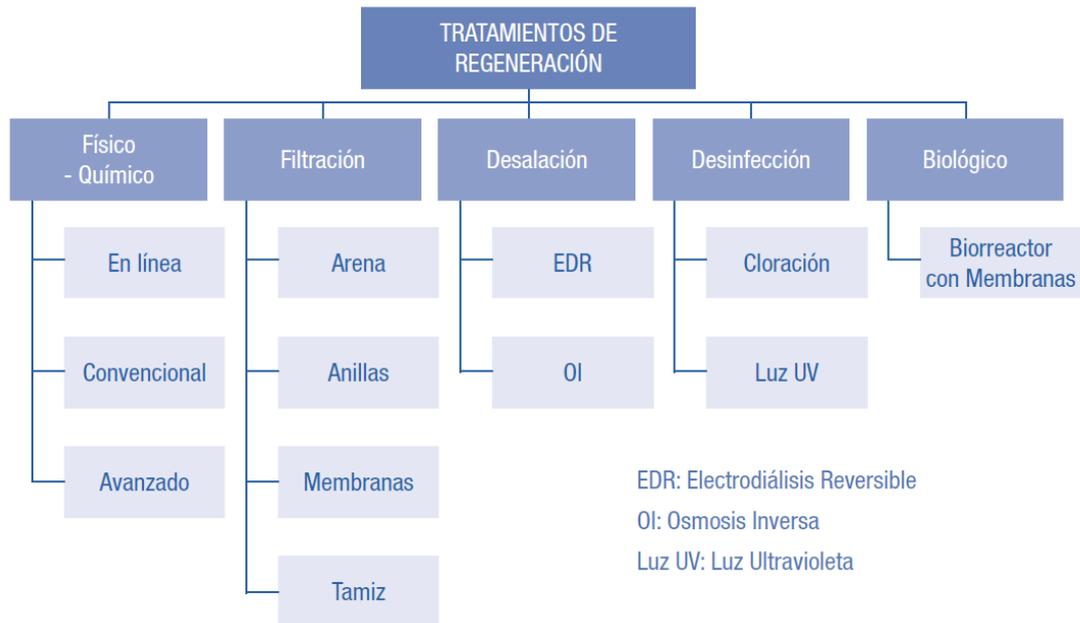


Figura 16: Tratamientos de regeneración de agua residual. [24]

El tratamiento de regeneración debe ser diseñado en función del uso del agua regenerada debido a que los parámetros de calidad a conseguir son diferentes, según se regula en el RD de reutilización en su Anexo I.A.

Se ha observado que el condicionante esencial en los tratamientos de regeneración es el nivel de desinfección, por ello en primer lugar se han agrupado todas las calidades recogidas en el RD de reutilización (Tabla 5) según la calidad bacteriológica exigida (Tabla 6). De este modo se han establecido 6 tipos de calidad (A, B, C, D, E y F), teniendo en cuenta fundamentalmente los límites indicados respecto a *Escherichia coli*, nematodos intestinales y *Legionella spp.*

USOS	Tipo de Calidad	<i>Escherichia coli</i> UFC/100 ml	Nematodos	<i>Legionella spp.</i> UFC/100 ml
- Torres de refrigeración y condensadores evaporativos (3.2)	A	Ausencia	Ausencia	Ausencia
- Residenciales (1.1)		Ausencia	< 1 huevo/10L	< 100
- Recarga acuíferos inyección directa (5.2)		Ausencia	< 1 huevo/10L	No se fija límite
- Servicios urbanos (1.2) - Riego agrícola sin restricciones (2.1) - Riego campos de golf (4.1)	B	< 100-200	< 1 huevo/10L	< 100
- Riego de productos agrícolas que no se consumen frescos. - Riego pastos animales productores. - Acuicultura (2.2) - Aguas proceso y limpieza industria alimentaria (3.1)	C	< 1.000	< 1 huevo/10L	No se fija límite
- Recarga acuíferos por percolación a través del terreno (5.1)		< 1.000	No se fija límite	No se fija límite
- Riego cultivos leñosos, viveros y cultivos industriales (2.3) - Masas agua sin acceso público (4.2)	D	< 10.000	< 1 huevo/10L	< 100
- Riego de bosques y zonas verdes no accesible al público (5.3)	E	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite
- Ambientales: mantenimiento humedales, caudales mínimos (5.4)	F	La calidad se estudiará caso por caso		

Tabla 6: Tipos de calidad del agua regenerada. [25]

Según los tipos de calidad recogidos en la tabla anterior se proponen las siguientes líneas de tratamiento:

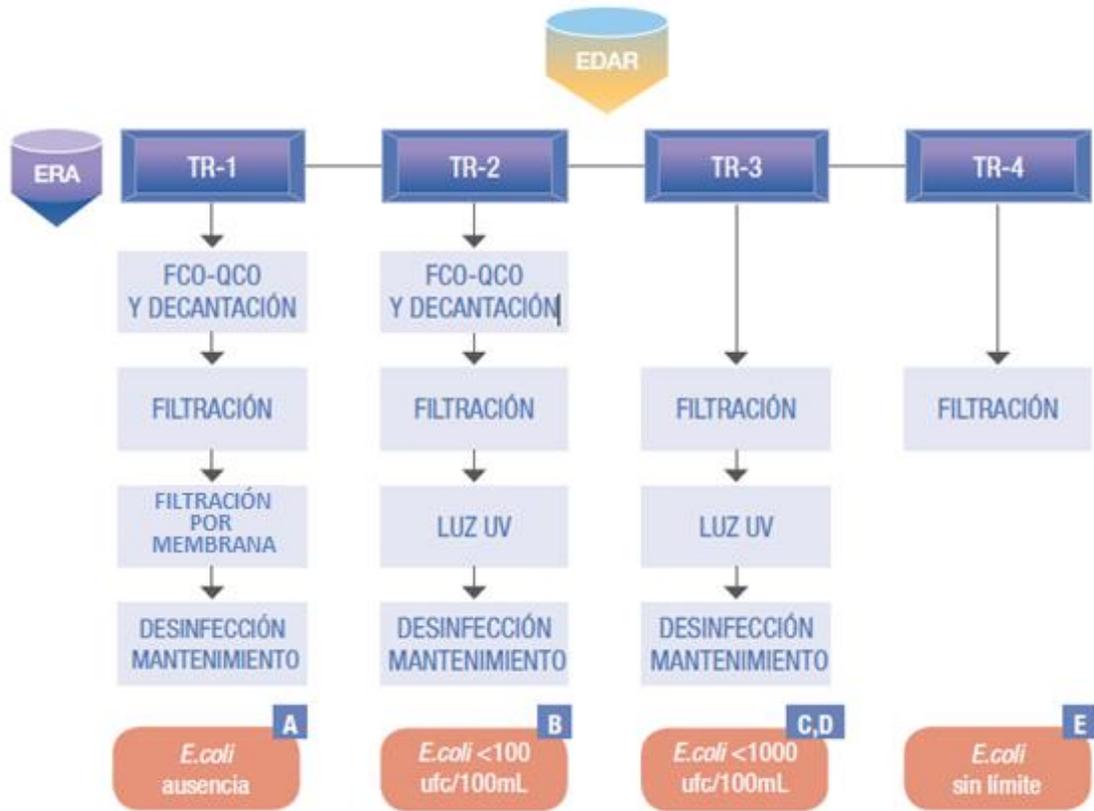


Figura 17: Líneas de tratamiento dependiendo la calidad del agua regenerada. [26]

La propuesta de tratamientos ha sido realizada de forma general, por lo que cada caso particular deberá ser estudiado individualmente para comprobar el tratamiento más adecuado que dependerá tanto de la calidad del efluente depurado como del uso del agua regenerada. Existen además otros condicionantes que se deben considerar, no solo técnicos sino también económicos.

Entonces, atendiendo a los valores máximos admisibles (VMA) y el uso que se le vaya a dar del agua regenerada (Industrial, agrícola y urbano), el tratamiento de regeneración a realizar es el TRATAMIENTO 1, el cual este compuesto por:



Figura 18: Tratamiento para regeneración de aguas a realizar. [Elaboración Propia]

Sin embargo, este tratamiento de regeneración de aguas puede realizarse de diversas formas ya que, en cada tramo del tratamiento, hay varias posibilidades las cuales se nombrarán más adelante.

El tratamiento tipo 1 consta en primer lugar de una unidad de tratamiento físico-químico con decantación, seguida de filtración, cuyo objetivo es la reducción de los sólidos en suspensión.

Como primera aproximación, se puede suponer que debido a los tratamientos llevados a cabo en la propia E.D.A.R. de Bedia, que dan como resultado una baja concentración de sólidos en suspensión (Tabla 4) no serán necesarios los tratamientos anteriores.

En segundo lugar, se aplica una filtración mediante membranas donde se reducen de manera muy importante nematodos intestinales, Escherichia coli y Legionella spp. y sirve para afinar los parámetros físico-químicos objetivo de la primera fase como la turbidez.

Por último, se aplica la desinfección de mantenimiento, con el objetivo de asegurar la calidad del efluente regenerado hasta el punto de entrega al usuario, con la que se asegura la eliminación total de coliformes y demás riesgos microbiológicos.

Sin embargo, debido a las características del afluente de salida de la EDAR, en concreto la reducida cantidad de Sólidos en Suspensión no será preciso la utilización de un Tratamiento físico-químico con decantación, ya que en ella ya se realizan los tratamientos de decantación, tanto primaria como secundaria.

Es por esto, que se analizarán los siguientes tratamientos para la regeneración del afluente de salida de la EDAR de Bedia:

TRATAMIENTOS DE FILTRACIÓN POR MEMBRANAS			
ÓSMOSIS INVERSA	NANOFILTRACIÓN	ULTRAFILTRACIÓN	MICROFILTRACIÓN

Tabla 7: Tratamientos de filtración por membrana posibles. [Elaboración Propia]

TRATAMIENTOS DE DESINFECCION DE MANTENIMIENTO		
CLORACIÓN	OZONIZACIÓN	RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UV)

Tabla 8: Tratamientos de desinfección de mantenimiento posibles. [Elaboración Propia]

5.1.- FILTRACIÓN POR MEMBRANAS:

La filtración por membrana se ha convertido en una tecnología muy aceptada y extendida para operaciones de separación en las últimas décadas.

Cuando hablamos de filtración por membrana, estamos utilizando un término genérico que en realidad engloba una serie de procesos de separación con características diferenciadas.

Lo que hace que todos estos procesos se agrupen en una misma tecnología es que todos ellos tienen en común que utilizan membranas que actúan como elemento filtrante.

Una membrana actúa como una pared de separación selectiva que permite que ciertas sustancias la puedan atravesar e impide que otras lo hagan, por lo que estas últimas quedan por tanto retenidas.

Aplicando esta tecnología de filtración al tratamiento del agua, las membranas permiten el paso del agua mientras que retienen los sólidos en suspensión y otra serie de sustancias.

Hay dos parámetros fundamentales que determinan la efectividad de un proceso de filtración por membranas: la productividad (retención) y la selectividad (flujo). Estos dos parámetros dependen del tipo de membrana empleado, de ahí la importancia de seleccionar adecuadamente el tipo de membrana más adecuado a cada caso concreto.

A continuación, se definen algunos términos básicos correspondientes a la filtración por membranas:

- Alimentación: el agua a tratar que llega a las membranas procedente del pretratamiento y acondicionamiento.
- Permeado: es el producto obtenido a través de la membrana, el agua filtrada.
- Rechazo: es lo que se conoce como concentrado, las sales u otras partículas retenidas por las membranas.
- Recuperación: es la eficiencia del sistema y se valora midiendo el Porcentaje de la alimentación que se transforma en permeado (producto).

En cada tipo de membrana el mecanismo de separación es diferente, jugando en general un papel importante en las interacciones moleculares entre las membranas y los fluidos. En la purificación, el agua pasa a través de la membrana en virtud a una fuerza impulsora, o a una combinación de fuerzas impulsoras, dejando atrás alguna porción de sus impurezas originales como un concentrado.

Es decir, una membrana se puede definir como una película delgada que separa 2 fases y actúa como barrera selectiva al transporte de materia. En la Tabla 9 se aprecian las distintas clasificaciones de las membranas según el tamaño de poro. [27]

Las tecnologías de filtración por membrana que se aplican habitualmente al tratamiento de aguas residuales, potables, salobres y desalinización son:

- Microfiltración (MF).
- Ultrafiltración (UF).
- Nanofiltración (NF).
- Osmosis inversa (OI).

	Ósmosis inversa	Nanofiltración	Ultrafiltración	Microfiltración
Membranas	Asimétrica	Asimétrica	Asimétrica	Simétrica. Asimétrica
Grueso	150 mm	150 mm	150-250 mm	10-150 mm
Capa superficial	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
Tamaño de poro	0,002 mm	0,002 mm	0,05-0,2 mm	0,2-5 mm
Rechazos	HMWC LMWC Cloruro Sodio, glucosa Aminoácidos Proteínas	HMWC, mono, di y oligo-sacáridos, aniones polivalentes	Macromoléculas. Proteínas, polisacáridos y virus	Partículas barro, bacterias
Materiales de membrana	CA capa delgada	CA capa delgada	Cerámica, PSO, CA, PVDF, capa delgada	Cerámica, Pp, PSO, PVDF
Módulo de membrana	Tubular, enrollada en espiral y planas	Tubular, enrollada en espiral y planas	Tubular, enrollada en espiral, de fibra hueca y planas	Tubular, fibra hueca y planas
Presión	15-150 bars	5-35 bars	1-10 bars	2 bars

Tabla 9: Clasificación del tipo de filtración por membranas según el tamaño del poro. [28]

En la Figura 19 se puede ver de forma esquemática cómo pueden quedar retenidas distintas sustancias dependiendo del tamaño de poro de la membrana. Infiuye mucho en la composición y en el módulo de membranas el tipo de agua residual que se va a tratar. Principalmente existen dos tipos de materiales que se suelen utilizar, poliméricos y cerámicos.

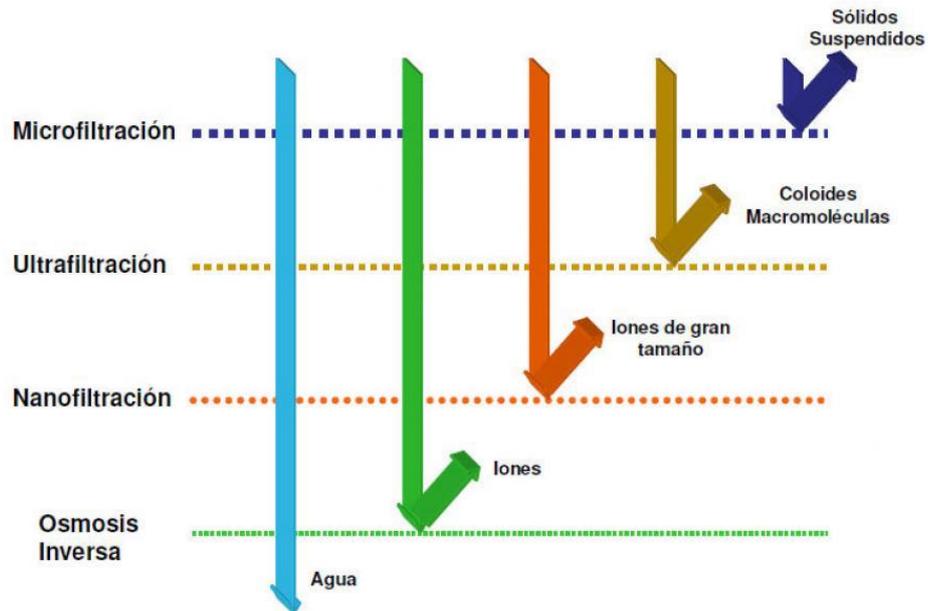


Figura 19: Partículas retenidas por los distintos tipos de filtración por membranas. [29]

Las membranas cerámicas suelen tener mayor estabilidad química, mecánica y térmica que las membranas poliméricas, pero como inconveniente tienen que son muy frágiles, por lo que la mayoría de las empresas que comercializan membranas destinadas a tratamientos de aguas utilizan membranas poliméricas.

Las membranas poliméricas más usadas normalmente en tratamientos de aguas son las derivadas de compuestos de celulosa, poliamidas, etc.

Por otro lado, existe una clasificación de las membranas atendiendo a la configuración del módulo, es decir, a cómo se dispone la membrana para poder ser utilizada. Las principales configuraciones existentes en el mercado son:

- Sistemas de membranas tubulares

Es la configuración más simple, la membrana se moldea sobre la pared interior de un tubo soporte poroso de distintas longitudes. Sus diámetros interiores están entre 6 y 40mm. La capa activa en este tipo de membranas suele encontrarse en la superficie interior del tubo.

El resto del espesor presenta una estructura porosa. La solución a tratar circula por el interior, el permeado fluye radialmente del interior hacia el exterior y el rechazo o concentrado se obtiene en el otro extremo del tubo, como se muestra en la Figura 23. Las membranas fabricadas en esta forma son mayoritariamente "integrales", aunque algunos fabricantes también suministran membranas "compuestas de capa fina" tubulares.

En este sistema la membrana está en el interior de un tubo. Los diámetros de tubo pueden ir de 0,25 a 1 pulgada, y se limpian fácilmente. El ensuciamiento de este tipo de membrana es más lento que otros, pues utiliza diámetros de tubo mayores cuando la filtración es de dentro hacia fuera (Figura 20).

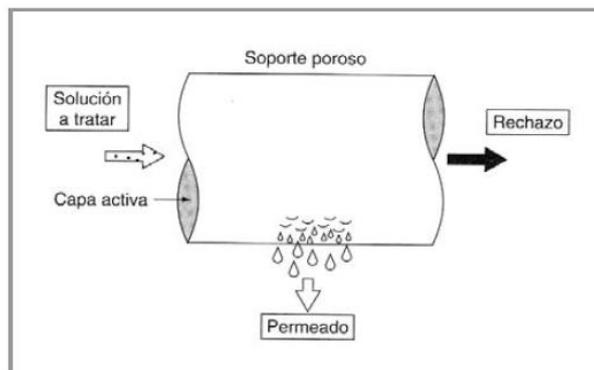


Figura 20: Esquema membranas tubulares. [28]

La ventaja principal de los sistemas tubulares es que sus orificios permiten manejar partículas más grandes y procesar influentes con grandes concentraciones de partículas. Su mayor desventaja es su costo asociado con el reemplazo de los tubos de membrana. Los tubos porosos de soporte generalmente se fabrican de fibra de vidrio, y el tubo completo y su membrana deben reemplazarse una vez que se ha dañado con contaminación irreversible. Son menos costosas que las membranas de fibra hueca, espiral o placa y bastidor.

- Sistema de membrana de fibra hueca

La tecnología de membrana hueca para tratamiento del agua provee una de las formas más sencillas y efectivas tanto para aclarar como para desinfectar el agua. Las membranas de fibra hueca, las cuales parecen mechones de fideos que son huecos por dentro, utilizan la exclusión física.

Los muros poliméricos de los mechones de membrana tienen billones de poros que actúan como colador para filtrar las partículas, turbidez y patógenos al mismo tiempo que permiten el flujo de agua a través de la membrana con un bajón de presión virtualmente inexistente. [30]

Las velocidades de trabajo en estos módulos son normalmente bajas y los módulos pueden operar incluso sin recirculación. Así las fibras huecas trabajan en la región de flujo laminar. Pero incluso en este régimen, los empujes pueden ser altos debido al flujo muy pequeño en los canales.

Otra ventaja, que ha llevado al éxito a las fibras huecas de ultra y microfiltración en el tratamiento de agua, es la capacidad de barrido debido a que las fibras son autoportantes. En la ultrafiltración el barrido se realiza sometiendo al permeado a una presión mayor que la alimentación. El cambio de la dirección del caudal a través de las paredes de la fibra, hace posible desprender la capa de partículas depositadas en la superficie, transportándolas fuera del módulo. En microfiltración, debido a las grandes dimensiones de los poros, puede utilizarse aire para el barrido.

La Figura 21 y 22 muestra una sección transversal de este tipo de membranas.

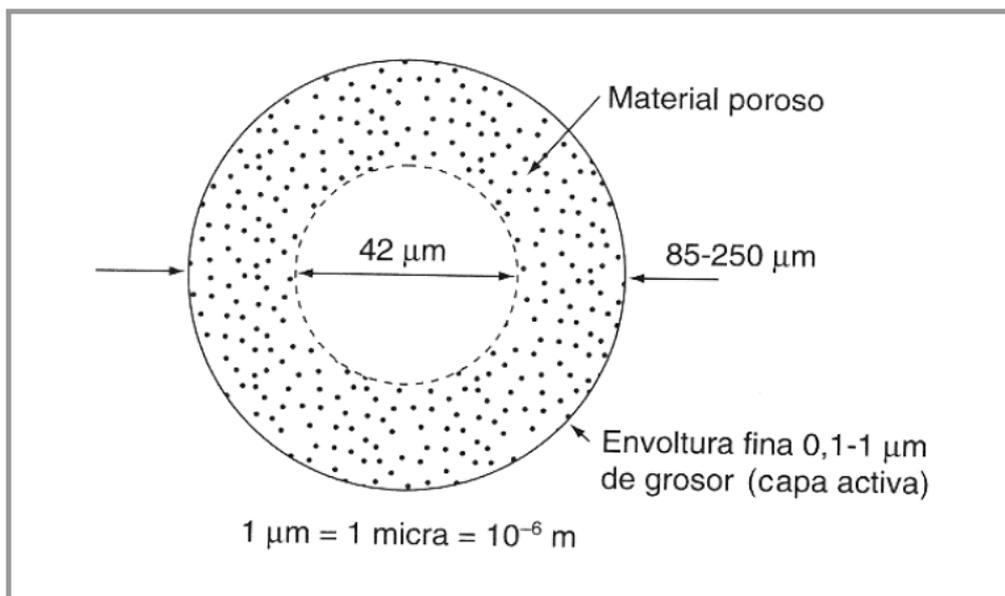


Figura 21: Sección transversal del sistema de membrana de fibra hueca. [28]

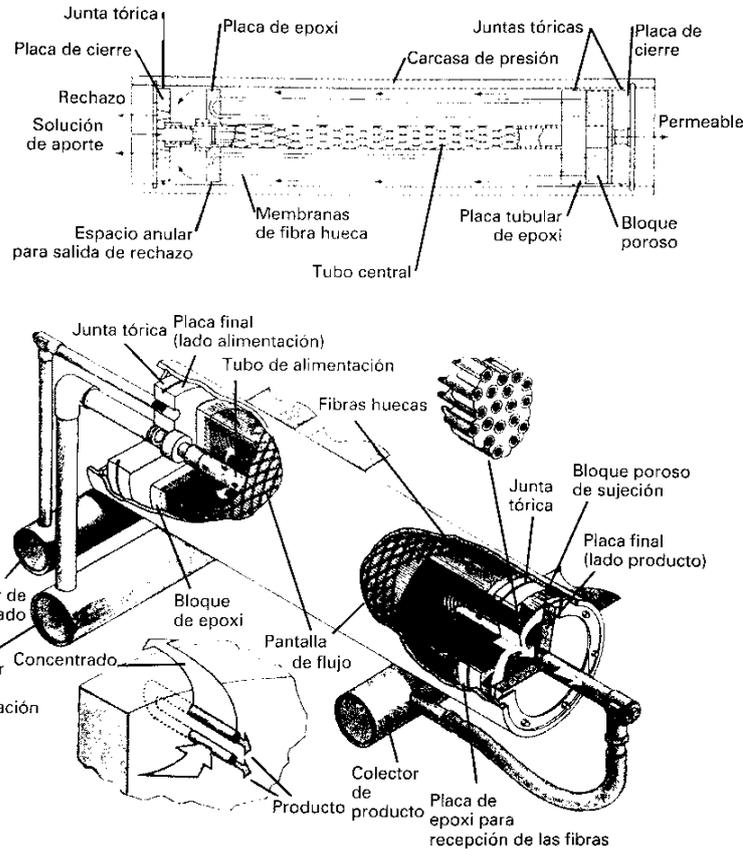


Figura 22: Esquema del equipo completo del sistema de membrana de fibra hueca. [28]

- Sistema de membrana de placa y bastidor

Éste utiliza hojas de membrana planas y ofrece flexibilidad. Las unidades típicas consisten en una serie de platos con membranas de ultrafiltración o microfiltración pegadas a ambos lados del plato (Figura 23).

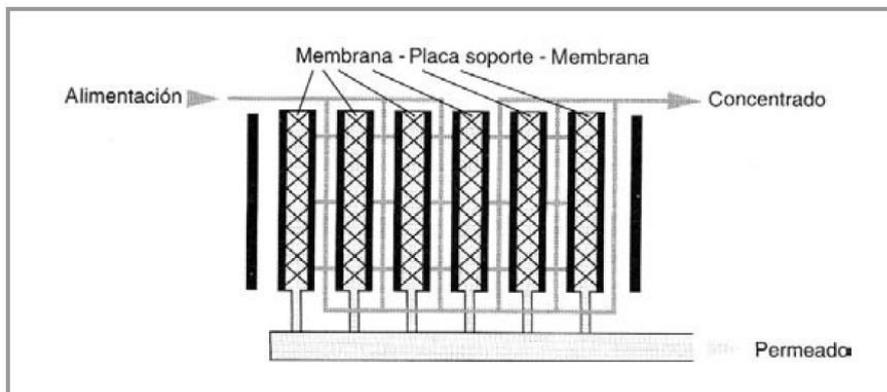


Figura 23: Esquema del sistema de membrana de placa y bastidor [28]

Los platos en forma de disco están colocados de modo que formen una especie de filtro cilíndrico. El número de platos en un módulo está limitado al volumen de flujo que pueda manejar la entrada y salida del sistema y la velocidad mínima de entrecruzamiento requerida a través de cada superficie de membrana.

En estos sistemas el ensuciamiento de la superficie de la membrana se disminuye introduciendo energía mecánica en el sistema para prevenir que las partículas se adhieran a los poros, por ejemplo, induciendo vibraciones en el sistema.

- Sistema de membrana en espiral

Estos elementos consisten en dos hojas de membranas separadas por un polímero de textil de refuerzo; esta tela soporta la membrana, para las altas presiones de operación, y provee del canal de flujo por donde el agua clarificada sale (Figura 24).

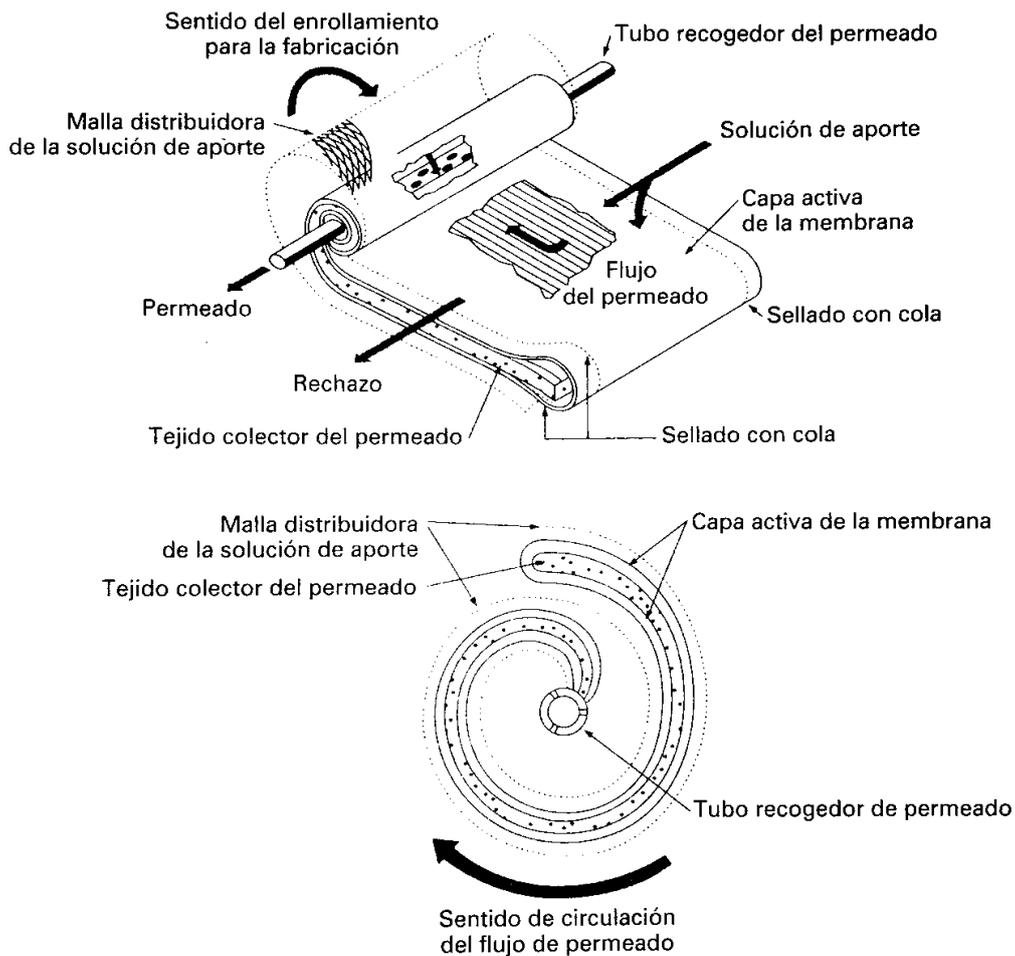


Figura 24: Esquema del sistema de membrana en espiral [28]

El material de la membrana está pegado en espiral en un cartucho cilíndrico para prevenir contra la contaminación del agua limpia.

Hay dos desventajas que destacar en estas membranas; la primera es que tanto la membrana como su contenedor deben reemplazarse una vez que se ha contaminado, y la segunda, que tiene dificultad en manejar materiales viscosos o aquellos que tengan gran cantidad de concentraciones de sólidos, debido a la poca luz de paso existente al estar enrollada la membrana. [28]

5.2.- DESINFECCION DE MANTENIMIENTO:

La desinfección se considera el principal mecanismo para la desactivación de organismos patógenos que pueden ser causantes de serios problemas en la salud tanto de las personas como de los animales.

Se denomina desinfección al proceso de destrucción o de inactivación de los gérmenes patógenos. Desinfección no es lo mismo que esterilización, en la cual se eliminan todos los microorganismos, es decir, se busca un rendimiento de eliminación del 100%. La esterilización no suele ser el objetivo final en el tratamiento de aguas. La eficacia de la desinfección depende de:

- El tipo de desinfectante que se utilice
- La dosis de desinfectante
- El tipo de gérmenes a eliminar
- La concentración de gérmenes en el agua a tratar
- El tiempo de contacto entre desinfectante y agua
- Otras características del agua: cantidad de materia orgánica, temperatura, pH, etc.

Por ejemplo, la presencia de materia orgánica empeora los rendimientos de la desinfección, ya que una parte del desinfectante puede ser consumida en la oxidación de esa materia orgánica.

El propósito de este proceso se centra en reducir de manera notable la cantidad de organismos vivos en el agua tratada al menor coste posible. [27]

Son tres los métodos comunes en la desinfección de aguas:

- Cloración

La utilización del cloro como desinfectante es el método de desinfección más común, la cloración juega un papel muy importante en todo el mundo para evitar infecciones. Se están utilizando numerosos derivados clorados para llevar a cabo estas desinfecciones, como pueden ser cloro gas, hipoclorito o dióxido de cloro; el ácido hipocloroso es el que efectúa una función germicida, pudiendo el resto de compuesto transformarse en él previa reacción con el agua.

El cloro y sus derivados son sustancias de tipo oxidante, las cuales actuarán por mecanismos de oxidación, destruyendo la célula tras provocar la rotura de la pared celular.

Para una correcta desinfección con cloro hay que tener en cuenta una serie de variables, como son el tipo de microorganismo que se quiere eliminar, concentración del desinfectante y tiempo

de contacto, pH (influirá en presencia o no de ácido hipocloroso), temperatura, turbidez, compuestos nitrogenados, hierro, manganeso o sulfuro de hidrógeno.

Atendiendo a las variables antes citadas se puede tener distinto comportamiento del cloro en función de la concentración del mismo con respecto a las sustancias a eliminar.

Cabe destacar el poder de inactivación de microorganismos que posee, normalmente las bacterias se eliminan de una forma correcta, aunque la presencia de sólidos en suspensión puede afectar en gran medida el proceso de desinfección.

A medida que se incrementa la adición de cloro, se empieza a realizar la oxidación de la materia orgánica, lo que da lugar a una disminución del cloro residual conforme se incrementa la dosificación de cloro hasta un valor mínimo denominado punto de ruptura.

Tras el punto de ruptura, si se continúa adicionando cloro se vuelve a detectar un aumento en el cloro residual presente en el agua, tal y como aparece en la Figura 25.

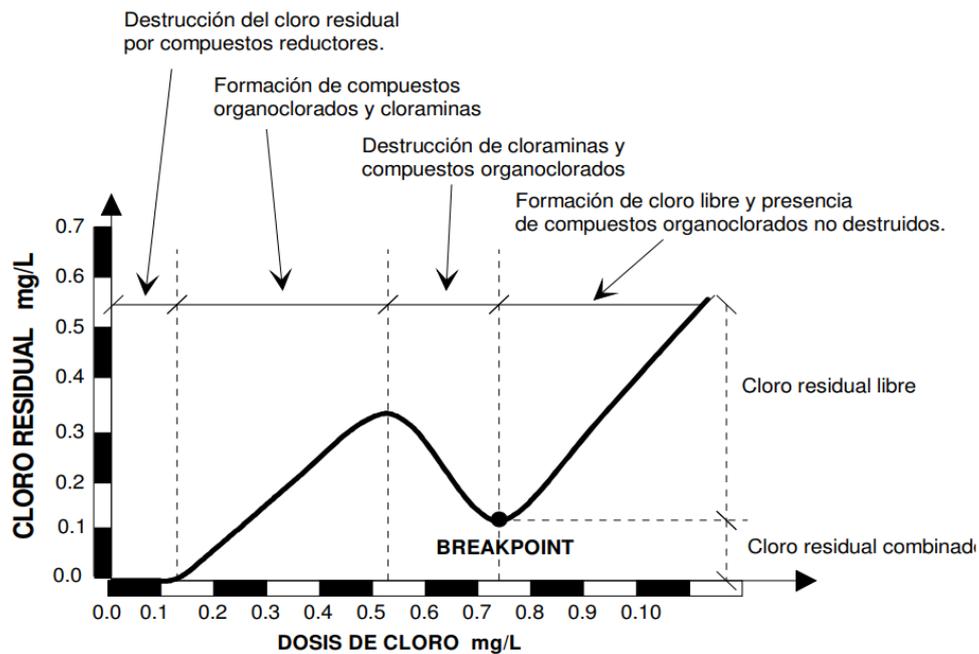


Figura 25: Grafica representativa de la evolución del cloro residual en función de la dosis de cloro. [31]

Además, se necesita una gran concentración de cloro libre para inactivar quistes y algunos virus, por tanto, se requiere una adecuada dosificación de la cantidad de cloro a utilizar, para conseguir con la parte residual del desinfectante que quede en el agua, la inactivación de dichos quistes y virus. Garantizando así que la calidad del agua se mantendrá constante hasta el final según los parámetros de salida del tratamiento de regeneración.

La principal desventaja de la cloración es la generación de subproductos tóxicos encontrándose como subproductos los trihalometanos, ácidos haloacéticos y halógenos orgánicos disueltos, que han sido identificados como potencialmente cancerígenos. Aunque este problema no es de

especial relevancia en la desinfección de aguas residuales tratadas, ya que no van a ser de consumo doméstico.

Además, hay que tener en cuenta los riesgos que conllevan el transporte y almacenamiento de cloro, siendo los riesgos del manejo y manipulación de cloro los siguientes:

- Irritación de las mucosas, tracto respiratorio y ojos.
- Una exposición prolongada puede provocar tos, irritación, puede resultar un edema pulmonar, incluso la muerte.
- El cloro en estado gaseoso tiende a hidrolizarse en presencia de humedad, formando ácido hidroclohídrico, el cual irrita los ojos y la piel.



Figura 26: Tanque de Cloración [32]

A continuación, se expondrá un breve resumen de las ventajas e inconvenientes de la utilización de esta tecnología en la reutilización de agua:

Ventajas:

- La cloración es una tecnología bien establecida.
- En la actualidad la cloración es más eficiente en términos de costo que la radiación ultravioleta o la desinfección con ozono (excepto cuando la descloración y el cumplimiento con requisitos de prevención de incendios son requeridos).
- El cloro residual que permanece en el efluente del agua residual puede prolongar el efecto de desinfección aún después del tratamiento inicial, y puede ser medido para evaluar su efectividad.
- La desinfección con cloro es confiable y efectiva para un amplio espectro de organismos patógenos.
- El cloro es efectivo en la oxidación de ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos.
- La cloración permite un control flexible de la dosificación.
- El cloro puede eliminar ciertos olores molestos durante la desinfección.

Inconvenientes:

- El cloro residual, aún a bajas concentraciones, es tóxico a los organismos acuáticos y por ello puede requerirse la descloración.
- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos (tales como los metanos trihalogenados (MTH)).
- El nivel total de sólidos disueltos se incrementa en el agua efluente.
- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas han mostrado resistencia a dosis bajas de cloro, incluyendo los oocistos de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Entamoeba histolytica* y *Giardia lamblia*, y los huevos de gusanos parásitos.
- Se desconocen los efectos a largo plazo de la descarga de compuestos de la descloración al medio ambiente.

- Ozonización

La formación de los trihalometanos en el agua debido a procesos de cloración hizo que se desarrollaran distintas líneas de investigación para evitar la formación de estos productos. Estas investigaciones llevaron a la utilización del ozono como agente oxidante para la desinfección de aguas potables. La aplicación de la ozonización es un método de desinfección de aguas potables que se está aplicando ya en la actualidad, pero no es un método solamente aplicable a aguas potables, sino que también se puede aplicar como desinfección de aguas residuales.

Hoy en día el ozono es una especie química totalmente conocida. La corta vida del ozono tanto en estado gaseoso como en disolución acuosa no permite su almacenamiento por lo que debe generarse in situ.

La reacción es fuertemente endotérmica y no espontánea, por lo que el ozono no puede ser generado por activación térmica del oxígeno, siendo los principales métodos de generación de ozono los siguientes:

- Electrolisis.
- Generación fotoquímica.
- Generación radioquímica.
- Descarga eléctrica de alto voltaje.

El poder oxidante del ozono es grande. Este gran poder oxidante se puede ver en la Tabla 10 donde se observa que el ozono tiene un mayor poder desinfectante que los productos basados en cloro.

Microorganismo	Desinfectante			
	Cloro libre (pH 6-7)	Cloramina (pH 8-9)	Dióxido de cloro (pH 6-7)	Ozono (pH 6-7)
<i>E. coli</i>	0,034-0,05	95-180	0,40-0,75	0,02
Polio 1	1,1-2,5	770-3.740	0,2-6,7	0,1-0,2
Rotavirus	0,01-0,05	3.810-6.480	0,2-2,1	0,006-0,060
Fago f2	0,08-0,18	-	-	-
<i>G. Lamblia</i>	47->150	-	-	0,5-0,6
<i>G. Muris</i>	30-630	1.400	7,20-18,5	1,8-2,0

Tabla 10: Tabla del poder desinfectante del Ozono. [28]

Este poder oxidante anteriormente comentado del ozono se utiliza para eliminar multitud de compuestos y tiene una gran capacidad para eliminar algunos compuestos de la industria farmacéutica. En los últimos años el ozono ha adquirido cierta relevancia en la oxidación de disruptores endocrinos y una óptima eliminación de coliformes en aguas residuales.

A pesar de todas las ventajas comentadas anteriormente el ozono presenta una serie de inconvenientes que se enumerarán a continuación.

Problemas de la ozonización

- Influencia de la concentración de sólidos en suspensión en la efectividad del proceso.
- Influencia de la concentración de materia orgánica en la resistencia de determinados organismos.
- Formación de subproductos.
- Elevado coste energético.

En la Tabla 11 se observan distintos subproductos que se pueden formar cuando se utilizan los desinfectantes típicos que actualmente están más extendidos.

Desinfectante	Subproducto	Desinfectante	Subproducto	Desinfectante	Subproducto
Cloro	Trihalometanos (THM)	Cloraminas	Ácidos Haloacéticos (HAA)	Ozono	Bromato
	Ácidos Haloacéticos (HAA)		Nitrito/nitrato		Carbón orgánico disuelto biodegradable
	Haloacetinitrilos (HAN)		Cloruro y bromuro de cianógeno		Aldehídos y cetonas
	Halopicrina		1,1 dicloropropanona		Cetoácidos
	Halocetonas		Trihalometanos (THM)		Bromoformo y compuestos bromados
	Clorofenoles		Organocloraminas		Peróxidos
	Cloruro y bromuro de cianógeno				Epóxidos
	Hidrato de cloral				Nitrosaminas
	Aldehídos de bajo peso moléculas				

Tabla 11: Subproductos generados por el Ozono y el Cloro. [28]

A pesar de que con los métodos de ozonización no se generan trihalometanos como con los métodos que utilizan cloro, se generan otra serie de subproductos tóxicos para el ser humano.

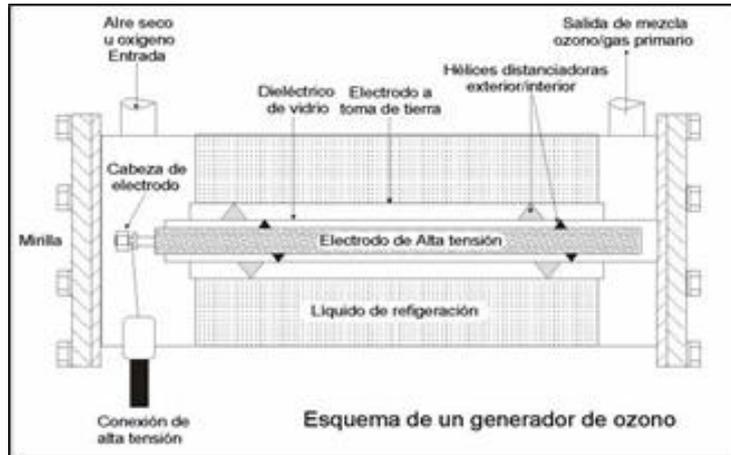


Figura 27: Esquema de un generador de Ozono. [33]

A continuación, se expondrá un breve resumen de las ventajas e inconvenientes de la utilización de esta tecnología en la reutilización de agua:

Ventajas:

- El ozono es más eficaz que la utilización del cloro para la desinfección o destrucción de virus y bacterias.
- El proceso de ozonización utiliza un periodo corto de contacto (aproximadamente de 10 a 30 minutos).
- No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso de ozonización porque el ozono se descompone rápidamente.
- Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.
- El ozono es generado dentro de la planta, existiendo así muy pocos problemas de seguridad industrial asociados con el envío y el transporte.
- El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (O.D.) del efluente. El incremento de O.D. puede eliminar la necesidad de reaeración y también puede incrementar el nivel de O.D. en la corriente de agua receptora.

Inconvenientes:

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas o quistes.
- El proceso de ozonización es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo cual se requieren equipos complicados y sistemas de contacto eficientes.
- El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo así de materiales resistentes tales como el acero inoxidable.

- El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica del oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) o carbono orgánico total (COT).
- El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto deben ser destruidos para evitar que los trabajadores estén expuestos a ellos.
- El costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y a la demanda de energía eléctrica.

- Ultravioleta

La desinfección con ultravioleta (UV) es uno de los métodos de desinfección en aguas residuales más prácticos debido a que es capaz de inactivar bacterias, virus, esporas y quistes de protozoos.

La desinfección con radiación ultravioleta es aplicada en aguas industriales y para la desinfección de agua residual tratada; evidentemente para el agua de consumo la desinfección con este sistema es mucho más eficaz que cuando se aplica con agua residual ya que la turbidez de esta última es mayor y la transmisión de la UV disminuye.

El efecto germicida de la luz UV se vincula a la energía asociada a la longitud de onda o frecuencia asociada a la luz UV que es capaz de producir daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos.

En la Figura 28 se observa el espectro electromagnético situándose la radiación UV por debajo del espectro visible.

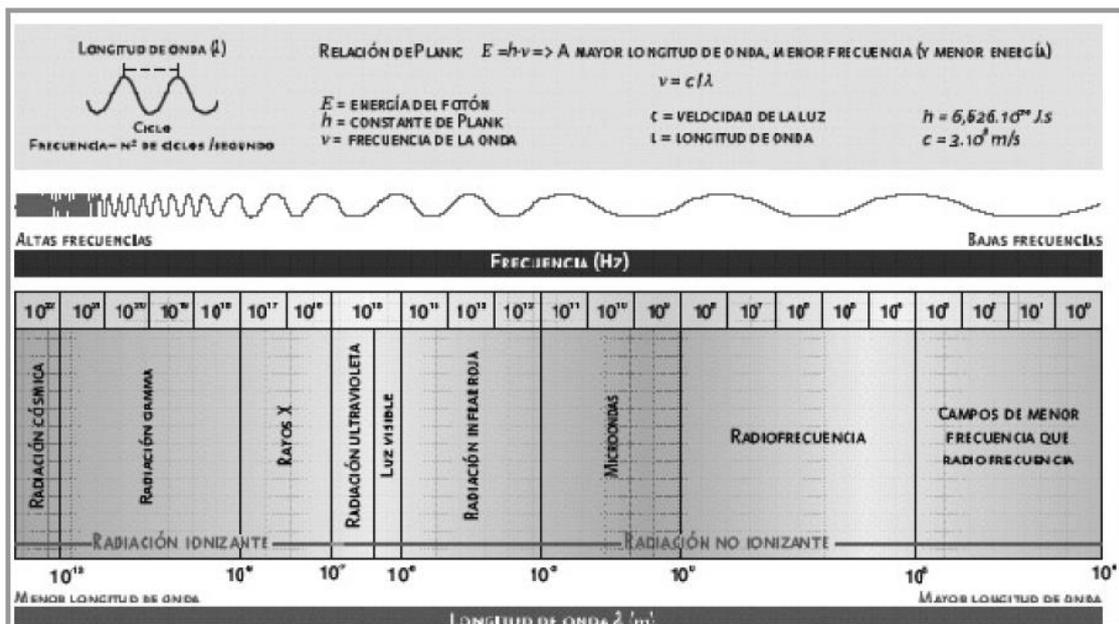


Figura 28: Espectro electromagnético. [28]

Dentro del espectro electromagnético de la UV se puede dividir en cuatro zonas:

- UV-vacío ($100\text{nm} < \lambda < 200\text{nm}$)
- UV-C ($200\text{nm} < \lambda < 280\text{nm}$) Onda corta
- UV-B ($100\text{nm} < \lambda < 200\text{nm}$) Onda media
- UV-A ($100\text{nm} < \lambda < 200\text{nm}$) Onda larga

Encontrándose la máxima adsorción de luz UV en los microorganismos con un $\lambda=254\text{ nm}$, longitud de onda irradiada por las lámparas usadas convencionalmente.

La inactivación del número de microorganismos depende únicamente de la dosis, pudiéndose compensar un menor tiempo de exposición con una mayor irradiación.

La tecnología de desinfección con ultravioleta está creciendo en interés desde que se ha demostrado su efectividad en la eliminación de quistes de Giarda y huevos de Cryptosporidium.

Por otro lado, uno de los grandes inconvenientes de la utilización de la UV es la fotorreactivación. Se ha demostrado que muchos microorganismos son capaces de reparar sus ácidos nucleicos dañados por la luz ultravioleta.

A pesar de los inconvenientes esta tecnología está siendo ampliamente utilizada en aguas residuales.

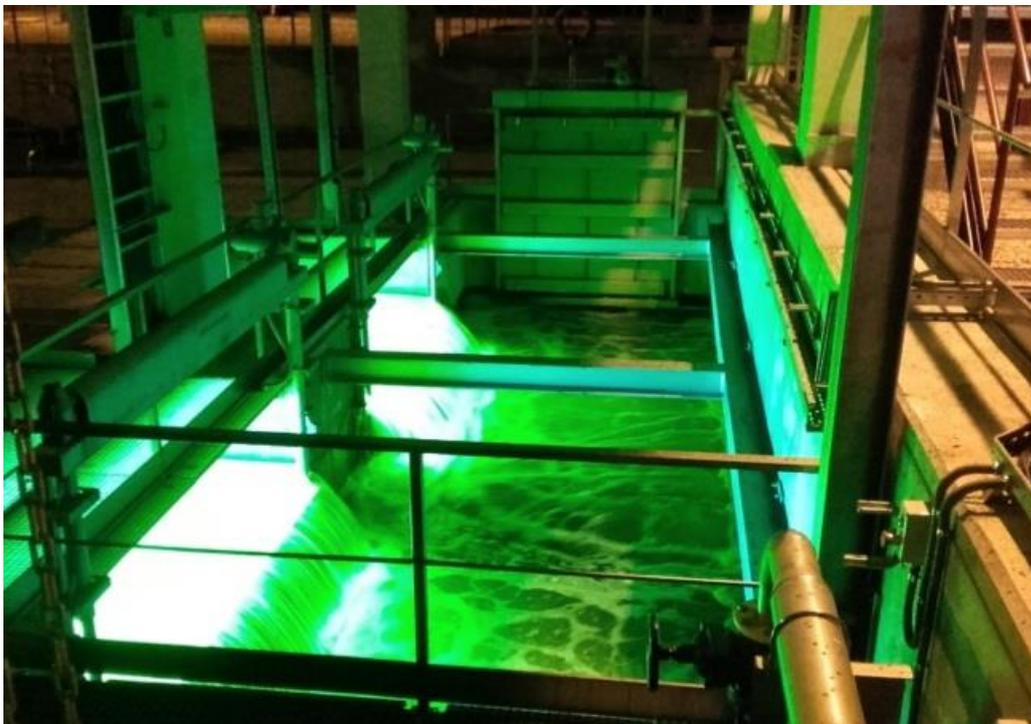


Figura 29: Tecnología de radiación UV. [34]

A continuación, se expondrá un breve resumen de las ventajas e inconvenientes de la utilización de esta tecnología en la reutilización de agua:

Ventajas:

- La desinfección con luz UV es eficaz para la desactivación de la mayoría de los virus, esporas y quistes.
- La desinfección con luz UV es más un proceso físico que una desinfección química, lo cual elimina la necesidad de generar, manejar, transportar, o almacenar productos químicos tóxicos, peligrosos o corrosivos.
- No existe ningún efecto residual que pueda afectar a los seres humanos o cualquier otro organismo acuático.
- La desinfección con luz UV es de uso fácil para los operadores.
- La desinfección con luz UV tiene un periodo de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión).
- El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

Inconvenientes:

- La baja dosificación puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes.
- Algunas veces los organismos pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un "mecanismo de reparación", también conocido como fotoreactivación o, en ausencia de radiación, como "reparación en oscuro".
- Un programa de mantenimiento preventivo es necesario para controlar la acumulación de sólidos en la parte externa de los tubos de luz.
- La turbidez y los sólidos suspendidos totales (SST) en el agua residual hacen que la desinfección con luz UV sea ineficaz. El uso de la desinfección con lámparas UV de baja presión no es tan efectivo en el caso de efluentes secundarios con niveles de SST mayores a 30 mg/L.
- La desinfección con luz UV no es tan económica como la desinfección con cloro, pero los costos son competitivos cuando la cloración requiere descloración y se cumple con los códigos de prevención de incendios.

5.3.- SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVAS MÁS ADECUADAS:

Una vez explicadas todas las alternativas posibles para el tratamiento de regeneración, hay que elegir las más adecuadas para los usos Urbanos, Agrícolas e Industriales que se pretende dar al agua tratada.

De todos los procesos de membrana, utilizaremos la ultrafiltración ya que puede rechazar tanto las macromoléculas como los sólidos en suspensión y por ende reduce la turbidez y elimina virus, bacterias y demás microorganismos que infectan las aguas de salida de la EDAR. Esto permite cumplir con las estrictas restricciones que se necesitan para cumplir con el uso industrial (tabla 6)

Asimismo, la fibra hueca capilar propia de los tratamientos de ultrafiltración, es el tipo de membrana cuya limpieza y densidad compacta es superior al resto de las analizadas anteriormente. Además, mediante su uso se obtiene una óptima calidad de permeado y su costo es reducido con respecto a los demás tipos de membranas, tal y como aparece en la Tabla 12.

Criterios	Placa y bastidor	Módulo espiral	Módulo tubular	Fibra hueca	
				Fibra (OI)	Capilar (UF/MF)
Densidad compacta	+	++	-	+++	+++
Limpieza in situ	+	-	++	-	-
Limpieza de barrido	-	-	-	-	+++
Costo de módulo	+	+++	-	+++	+++
Caída de presión	-	++	+++	++	++
Volumen extraído	+	+	-	+++	++
Calidad de permeado	+	-	+++	-	++

- Clara desventaja
 +++ Clara ventaja

Tabla 12: Criterios de selección de alternativas para la elección del tipo de membrana. [35]

Seguido a este proceso de membrana, es de suma importancia una desinfección de mantenimiento. De esta forma se impide la activación de los microorganismos cuando el agua se encuentra en los tanques de almacenamiento para su posterior aplicación en los usos descritos anteriormente.

De los tres métodos mencionados, el más extendido es la cloración, que sigue manteniéndose a la cabeza de los sistemas de desinfección del agua. La cloración es una tecnología muy extendida y aceptada. A los largos plazos de eficacia del sistema se unen los bajos costes que representan este tipo de instalaciones en cuanto a implantación, servicio y mantenimiento. Frente a los costes de los sistemas de desinfección ultravioleta u ozonización, la cloración resulta la opción más económica.

Además, tal y como indican los inconvenientes de los procesos de desinfección por empleo de ultravioleta u ozonización, una baja dosificación de ozono o rayos ultravioleta puede no desactivar efectivamente algunos virus, esporas y quistes. Asimismo, los organismos se pueden reparar o invertir los efectos destructivos de la radiación UV mediante un "mecanismo de reparación", también conocido como fotoreactivación.

Cabe destacar que, el ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así que los gases de escape que salen de la cámara de contacto son muy peligrosos para los trabajadores que estén expuestos a ellos. Además, el costo del tratamiento puede ser relativamente alto en cuanto a la inversión de capital y a la demanda de energía eléctrica.

Por dichos motivos, la opción más viable para la desinfección del agua una vez tratada en los procesos de membrana es la cloración. [27, 28, 30, 31, 35]

6.- DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Para realizar la descripción del proyecto se tomará como referencia, entre otros, el libro de “Maquinaria para tratamiento y depuración de aguas” de José Carlos Segura Cobo, [27].

Seleccionada la mejor alternativa posible de todos los procesos para la reutilización de agua residual, en este apartado se especificará de forma concreta cada alternativa. El proyecto de ampliación de la EDAR de Bedia está compuesto por las siguientes fases:

- Etapa de Bombeo
- Proceso de membrana
- Desinfección de mantenimiento
- Etapa de bombeo post-desinfección
- Almacenamiento del agua tratada

Previamente a la descripción de las diferentes fases para la regeneración de aguas residuales se va a hacer una pequeña sinopsis de las acciones a realizar en base a las alternativas seleccionadas y tomando como premisa las exigencias del RD 1620/2007 para la reutilización de aguas residuales.

Desde la arqueta de salida de la decantación secundaria se dirige el agua clarificada hasta el pozo de bombeo situado justo al lado del decantador secundario, desde donde se conducirá el agua hasta el proceso de ultrafiltración. Es mediante este proceso que se reducirán tanto los sólidos en suspensión del agua a tratar como los microorganismos (*Escherichia Coli*, Nematodos intestinales y *Legionella spp*) y la turbidez.

Tras el proceso de ultrafiltración, es necesario una post-desinfección de seguridad mediante cloración para evitar que los virus y bacterias eliminados mediante la ultrafiltración vuelvan a aparecer.

Por último, para poder almacenar el caudal de agua ya tratada y desinfectada en los tanques de almacenamiento, será necesario la utilización de un pozo de bombeo post-desinfección mediante el cual almacenar el agua y poder abastecer los servicios de baldeo de calles y extinción de incendios en el municipio de Arratia, la refrigeración industrial de la industria siderúrgica de Bedia y para el regadío de las zonas agrícolas del municipio.

El proyecto de ampliación de la EDAR de Bedia se realizará teniendo en cuenta los caudales punta recibidos en los últimos años, tal y como se detalla en el Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario, para así justificar futuras mejoras dentro de la EDAR.

A continuación, se detalla la posición de los equipos necesarios para desarrollar el proyecto de ampliación de la EDAR de Bedia, tales como, los pozos de bombeo, los equipos de ultrafiltración, la cámara de cloración y los tanques de almacenamiento de agua ya tratada.

La posición se detalla con los siguientes colores:

- Etapa de Bombeo inicial (Morado)
- Proceso de membrana (Rojo)
- Desinfección de mantenimiento (Azul)
- Etapa de bombeo post-desinfección (Negro)

- Almacenamiento de las aguas (Blanco)
- Conducciones (Verde)

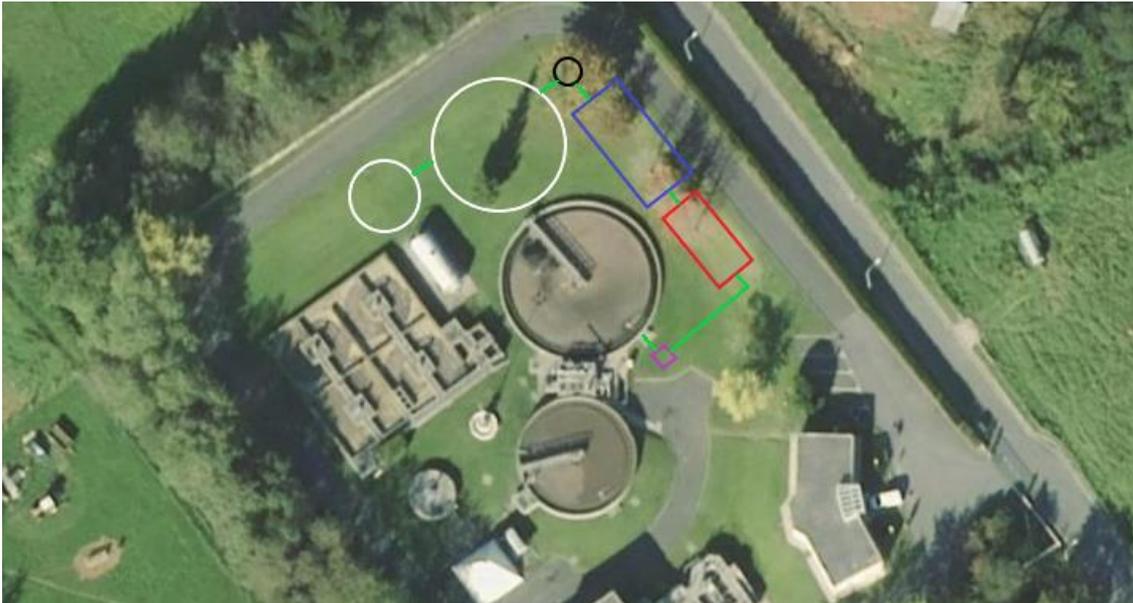


Figura 30: Esquema de los equipos para desarrollar la regeneración de las aguas de la EDAR de Bedia. [36]

6.1.- BOMBEO INICIAL.

6.1.1.- Introducción

Son varios los casos en los que puede surgir la necesidad de contar con una estación de bombeo (estaciones de tratamiento de aguas, redes de alcantarillado, tanques de tormentas, trasvases para sistemas de regadío, centrales eléctricas, instalaciones portuarias, etc....).

Aquí únicamente se abordan los tipos de estaciones de bombeo utilizados para actuar en la entrada y a veces en la salida de estaciones depuradoras de aguas residuales, así como en algunos tramos intermedios. Este tipo de instalaciones puede utilizarse indistintamente para un bombeo de aguas residuales o para uno de aguas potables.

En líneas generales podemos definir una estación de bombeo como una instalación acondicionada para elevar el agua desde una cota de nivel baja, trasladándola a otra cota de nivel superior, utilizando para este fin, los equipos de bombeo más adecuados.

Cuando el agua no puede ser conducida por gravedad a través de canales abiertos o de tuberías porque las condiciones topográficas no lo permiten, es preciso recurrir a la implantación de una estación elevadora.

6.1.2.- Recomendaciones

A la hora de diseñar el pozo de bombeo se debe prestar especial atención a una serie de recomendaciones. Citamos algunas:

- La forma geométrica del pozo debe diseñarse de forma que garantice la existencia mínima de zonas en las que se puedan acumular sedimentos en el fondo y costra en la superficie líquida.
- Si el pozo dispone de algunas zonas muertas en las que el agua repose tranquilamente, es fácil que se forme una costra superficial, ya que parte de los fangos y residuos de pequeño volumen y bajo peso específico tienden a flotar acumulándose en esas zonas muertas. Para impedir la formación de esas costras, es conveniente que periódicamente se realice una bajada en el nivel de agua dentro del pozo, de manera que aumente la velocidad de circulación y se genere una cierta turbulencia para que esos flotantes sean evacuados por las propias bombas.
- En ningún caso deberá entrar aire en las bombas.
- El fondo del pozo se tiene que diseñar con una pendiente adecuada hacia la zona de las bombas, y con pequeños chaflanes en los encuentros entre la parte baja de las paredes y el fondo. De esta forma se puede evitar la sedimentación dentro del pozo con el problema añadido de la aparición de malos olores. Los mismos cambios de nivel de agua dentro del pozo que se emplean para eliminar la costra superficial, servirán para arrastrar los sedimentos que puedan haberse acumulado por decantación en el fondo.
- El avance del agua que entra en el pozo debe dirigirse hacia las bombas sin que se originen vórtices.
- Para evitar que en la superficie se formen remolinos que ayuden a que el aire penetre en el pozo, los tabiques deben diseñarse de forma que se eviten las zonas muertas. Un tabique actuando como deflector colocado frente a la entrada de agua, ayuda a disminuir la posibilidad de formación de vórtices y remolinos. La cota de nivel líquido dentro del pozo también evita la presencia de estos remolinos.
- Se aconseja que el tiempo de retención del agua en el interior del pozo de bombeo no sea superior a 60 minutos.
- Se tiene que disponer de bombas de reserva.
- Las bombas seleccionadas para la instalación tendrán capacidad suficiente para evacuar el caudal punta horario además de contar con bombas de reserva para casos de averías de las bombas principales.
- Todas las bombas serán idénticas, tanto las principales como las de reserva.

6.1.3.- Equipos posibles a emplear

Los equipos protagonistas en las estaciones de bombeo son las bombas, entre las que destacan principalmente tres modelos como los tipos más empleados, si bien de estos tres equipos, es el último que se menciona el que se está implantando más en la actualidad, quedando los otros dos modelos para un número de casos más contados. Estos tres tipos son:

- Bomba de Tornillo de Arquímedes o Tornillo de Arquímedes
- Bombas sumergibles de hélice
- Bombas sumergibles centrífugas

6.1.3.1.- Tornillo de Arquímedes

El funcionamiento de estas bombas está basado en el principio de Arquímedes aplicado a la elevación de aguas. Esta elevación o bombeo de aguas se realiza a lo largo de un tramo de canal inclinado desde una cota inferior de un pozo de toma hasta un punto situado en una cota superior.

Los tornillos de Arquímedes son un tipo especial de bombas volumétricas que no requieren una regulación ante posibles variaciones de caudal. Dentro de una estación depuradora convencional se utilizan principalmente tanto para el bombeo de agua bruta de cabecera de planta al pretratamiento, como para el bombeo de fangos recirculados.

Al ser capaces de elevar grandes caudales que contengan sólidos de un tamaño considerable, aunque es posible, no siempre es preciso instalar previamente a estos equipos ningún tipo de rejillas de retención.

El rendimiento de estos tornillos podemos decir que es muy satisfactorio, pudiéndose llegar a obtener grandes capacidades de bombeo de aguas bastante cargadas de sólidos, lo que supone un alto rendimiento hidráulico, entre un 33% y un 70% aproximadamente.

Un motorreductor eléctrico transmite el movimiento de rotación a una hélice enrollada en espiral sobre un eje central (tornillo de Arquímedes). Al rotar el sinfín, el comienzo de la hélice que se encuentra sumergida en el pozo de toma empieza a elevar el agua. Conforme va rotando la hélice, el agua va ascendiendo paso a paso hasta llegar a la cota más alta del canal inclinado desde donde inmediatamente después es vertida a otro canal o colector desde el que iniciará su recorrido por gravedad hacia los siguientes procesos.

La capacidad de un tornillo de Arquímedes va en función de una serie de características constructivas y de diseño como son: la cota de nivel líquido en el pozo de toma, la inclinación del canal donde se aloja el tornillo, la separación existente entre el exterior de la hélice y el canal, el diámetro de la hélice, el diámetro del tubo donde se enrolla la hélice, el número de hélices, el paso entre hélices y la velocidad de rotación.

Los tornillos de Arquímedes pueden tener diámetros de hélice de hasta 4 metros o incluso algo más y son capaces de elevar caudales del orden de los 7000 litros/segundo, con alturas de elevación de hasta 10 metros.



Figura 31: Bomba de tornillo de Arquímedes. [37]

6.1.3.2.- Bombas Sumergibles de Hélice

Las bombas sumergibles de hélice pertenecen a un grupo de bombas diseñadas especialmente para la elevación de caudales grandes de agua (residual, potable, marina o pluvial) a unas alturas no superiores a los 12 metros.

Su instalación se realiza en posición vertical, reduciéndose así de forma notable la superficie necesaria para su montaje.

Básicamente están formadas por un motor y la parte hidráulica cuya disposición hacen que el conjunto se convierta en un grupo compacto, eficaz y de una gran solidez.

Respecto al montaje de estas bombas, por lo general no presenta ningún tipo de dificultad, ya que se trata simplemente de introducir la bomba por el tubo de descarga con la ayuda de algún aparato de elevación como puede ser un puente grúa o pórtico de carga apropiada. Para la extracción de la bomba del tubo descarga, la maniobra es igual de sencilla. En la práctica, cuando las bombas son de gran tamaño y de peso considerable, este ensamble embridado puede llegar a suprimirse ya que el propio peso de la bomba la mantiene constantemente en su posición incluso cuando está funcionando.

A continuación, y de manera general se relacionan algunos aspectos y recomendaciones a considerar en las instalaciones de elevación por bombas sumergibles de hélice.

Es importante que el agua captada por la bomba lo haga de manera continua y uniforme y no presente turbulencias, entradas de aire o vórtices, ya que un flujo no uniforme y continuo puede influir negativamente en el rendimiento eficaz de la bomba. Se pueden generar niveles de ruido altos y pueden aparecer problemas de vibraciones indeseadas. Una llegada de agua con turbulencias también repercute negativamente en la eficacia y se puede ver aumentada la posibilidad de vórtices que además de los problemas anteriores de vibraciones y ruidos,

también pueden producir cavitaciones y arrastrar hacia el interior de la bomba sólidos de tamaño considerable que pueden ser causantes de importantes daños en la parte hidráulica e indirectamente en el motor.



Figura 32: Puesta en obra de Bombas sumergibles de Hélice. [38]

Una instalación de elevación con bombas sumergibles de hélice, aparte de la propia bomba, está compuesta por tres zonas diferenciadas:

- Zona de entrada.
- Zona de aspiración.
- Pozo.

La zona de entrada tiene la función de suministrar el agua que se quiere elevar hacia una cota superior. Esta zona de entrada es alimentada por el agua que llega procedente de alguna infraestructura (tanques de tormentas, red de alcantarillado, etc....).

La zona de aspiración conduce el flujo hacia los pozos de manera continua y uniforme.

Los pozos se deben diseñar y dimensionar en función del caudal a bombear y del tamaño de la bomba elegida. La entrada al pozo debe estar en el lugar más apropiado para evitar así posibles turbulencias. En pozos en los que se instalan varias unidades de bombas es aconsejable colocar tabiques divisores para favorecer un flujo más o menos simétrico de entrada a las diversas bombas del pozo.

6.1.3.3.- Bombas Sumergibles Centrifugas

Las bombas sumergibles centrífugas se emplean con excelentes resultados en el bombeo de aguas residuales urbanas e industriales, así como para el bombeo de fangos.

Este tipo de bombas se instalan por lo general para trabajar sumergidas en pozos convencionales, en pozos prefabricados o en fosas sépticas.

Aunque es necesario aclarar que no presenta ningún problema el que puedan instalarse y funcionar perfectamente en seco, siempre que en este caso vayan provistas de un sistema de refrigeración adecuado.

Son bombas muy versátiles que pueden usarse tanto para aguas residuales y para aguas potables ya sea en grandes instalaciones o en plantas piloto o equipos compactos o transportables.

En cuanto a la forma de montaje, pueden instalarse y trabajar en posición horizontal o en posición vertical.

Se trata de bombas muy seguras y eficaces, diseñadas para poder operar en condiciones muy adversas y de manera continua incluso en el caso de aplicaciones de servicios pesados.

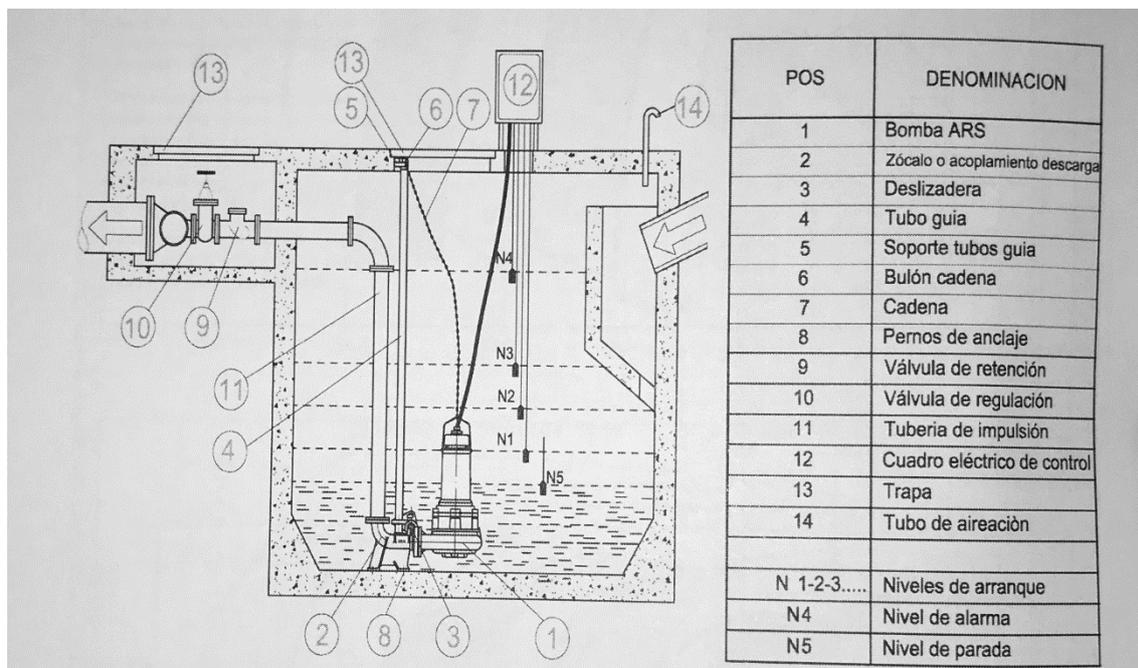


Figura 33: Croquis de Bomba sumergible centrífuga en el pozo de bombeo. [27]

Existen diferentes tipos de impulsores:

- Multicanal: apropiado para aguas residuales acumuladas en el interior de fosas sépticas.
- Monocanal: al igual que los impulsores multicanal, son recomendables para trasiego de aguas residuales de fosas sépticas.
- Triturador: este tipo de impulsor se utiliza para aguas residuales ligeramente cargadas y que puedan contener filamentos u otros sólidos triturables.
- Vortex: garantiza pasos libres e integrales en el trasiego de aguas residuales muy cargadas con sólidos e incluso fibras y filamentos en suspensión.

A continuación, se detallan algunos principios generales a considerar en las instalaciones de elevación por bombas sumergibles centrífugas. Es importante que la llegada del agua captada

por la bomba lo haga de manera constante y uniforme y no presente turbulencias, entradas de aire o vórtices.

Si no se dan estas condiciones, el rendimiento hidráulico de las bombas puede ser menor del requerido.

Los vórtices pueden modificar de manera notable la operatividad de las bombas, afectando entre otras cosas a la potencia consumida y al rendimiento.

6.1.4.- Solución adoptada

De los equipos habitualmente empleados en los pozos de bombeo, la solución adoptada para este proyecto de ampliación serán las bombas sumergibles centrifugas.

Se elegirá este tipo de equipos de bombeo ya que tanto las bombas de tornillo de Arquímedes como las bombas sumergibles de hélices no son capaces de elevar el caudal de agua a tratar a más de 12 metros.

Esto será un impedimento para su empleo en este proyecto ya que, al usar equipos de ultrafiltración, tal y como indicamos en el Anejo II de cálculo de la línea de presión y pérdidas de carga (Apartado 7.1.), será necesario elevar el caudal de agua a tratar a una altura de elevación de 23 metros, es decir, casi 3 bares de presión

Por otro lado, las bombas sumergibles centrifugas, se trata de bombas de alta presión muy seguras y eficaces, diseñadas para poder operar en condiciones muy adversas, que cumplen con los requerimientos de presión de los equipos de ultrafiltración. Además, se emplean con excelentes resultados en el bombeo de aguas residuales urbanas e industriales.

Para el bombeo del agua a regenerar hacia los equipos de ultrafiltración se empleará bombas sumergibles multicanal DMR trifásica modelo DRM/A150-230-52 de 52 kW de potencia y una tensión nominal de 400 V con un caudal máximo y mínimo de 27 a 270 m³/h capaz de impulsar el agua a una altura de elevación entre 58,2 a 38,5 metros en función del caudal.



Figura 34: Bomba sumergible multicanal DMR. [44]

El pozo de bombeo constará de 2 bombas sumergibles más una de repuesto para cubrir posibles averías u operaciones de mantenimiento, haciendo un total de 3 bombas colocadas.

Además, también se dispondrá de una cuarta bomba desmontada y guardada fuera del pozo de bombeo para una rápida sustitución en caso de avería.

6.1.5.- Características constructivas

El accionamiento de la bomba se consigue con un motor trifásico asíncrono en jaula de ardilla totalmente estanco con una protección IP-68 y aislamiento clase F para 155° C, preparado para trabajar sumergido y resistir el agua a presión. Este motor está construido con cámara de lubricación, con electrodo para control de estanqueidad y con un sensor térmico en el bobinado que vigila la temperatura. La refrigeración del motor se hace mediante una camisa doble que disipa el calor gracias a la recirculación continua del propio fluido bombeado.

El eje rotor está equilibrado dinámicamente y junto con el impulsor rota sobre rodamientos superiores e inferiores con engrase permanente.

La estanqueidad entre el eje rotor, entre el motor y la parte hidráulica la proporciona una junta mecánica de la alta calidad de carburo de silicio que soporta el sentido de giro sea cual sea su dirección, así como los cambios bruscos de temperatura a la que se pueda ver expuesta.

En la parte hidráulica está alojado el impulsor, que por su diseño permite el paso de líquidos sucios y fuertemente cargados.

6.2.-ULTRAFILTRACIÓN.

6.2.1.- Introducción

La ultrafiltración (UF) es un proceso de membranas de alta resistencia, que, operando a unos valores de presión determinados por el fabricante de los módulos, se emplea para la reducción tanto los sólidos en suspensión del agua a tratar como los microorganismos (*Escherichia Coli*, *Nematodos intestinales* y *Legionella spp*) y la turbidez.

6.2.2 Solución adoptada

En primer lugar, como ya se ha expuesto en el estudio de alternativas, no será necesario la utilización de procesos físico-químicos previos a la ultrafiltración, ya que en la E.D.A.R. de Bedia, se realizan decantación primaria y secundaria y la calidad obtenida en el tratamiento secundaria es más que aceptable. Esto queda patente por las características del efluente procedente de la decantación secundaria y por los parámetros requeridos por los equipos de ultrafiltración (ambas descritas en el Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario). En dicho anejo se puede comprobar que el efluente del secundario cumple con las especificaciones requeridas por el equipo de ultrafiltración elegido.

Además, tal y como se indica en dicho Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario, la solución adoptada para clarificar y regenerar el agua procedente de la decantación secundaria para su posterior utilización en la mancomunidad de Arratia en las labores de extinción de incendios, baldeo de calles o regadío de los procesos de membrana disponibles, será la ultrafiltración, en concreto la Ultrafiltración Continua (UC).



Figura 35: Equipo de ultrafiltración continua de Fluytec. [45]

La tecnología de producción continua, permite producir un caudal constante de agua ultrafiltrada incluso durante los lavados.

Esta innovación evita la instalación de los depósitos y bombas de retro lavado, así como los depósitos pulmón y bombas de transferencia a procesos instalados aguas abajo.

Todo ello conlleva los siguientes beneficios y ventajas:

- Producción continua: Incluso durante lavados
- Menor Espacio: Hasta un 75% menos de espacio por la eliminación de tanques, bombas, etc.
- Menor coste y mantenimiento: Gracias a la eliminación de equipo, controles, terreno, etc.

Se colocarán dos equipos de ultrafiltración en paralelo c-UF40 de 40 módulos de ultrafiltración cada uno, capaces de producir entre 100 y 240 m³/h de agua tratada.

6.2.3.- Instalación del equipo

Esta instalación producirá una media de 340 m³/h sin necesidad de trabajar con caudales cercanos a su límite de capacidad, lo cual favorecerá a unas posibles ampliaciones en el futuro.

Los diámetros de la instalación que se emplearan en las conexiones de alimentación y producto vienen ya prefijados de fábrica, cuyo valor mínimo es:

- Tubería de entrada para la alimentación: d225 flange (225 mm)
- Tubería de salida del producto: d225 flange (225mm)

Además, los diferentes equipos que integran el proceso de ultrafiltración, es decir, los dos equipos c-UF40 irán dentro de un módulo prefabricado de 7 metros de ancho, 15 metros de largo y 4 metros de alto de los pilares.

La cubierta estará formada por un panel sándwich de 30 centímetros prelacado más un falso techo PURAL de 30 centímetros y la fachada estará formada por un panel sándwich de 35 centímetros.

La superficie total de la nave será de 120 m² con una pendiente de cubierta del 25% cuya altura de la cumbrera será de 5 metros, considerando, debido a la zona en la que se encuentra la EDAR de Bedia.

6.2.4.- Calidad del permeado

Tal y como se indica en el apartado anterior, selección de alternativas, para poder regenerar el agua procedente de la decantación secundaria para su posterior utilización en la mancomunidad de Arratia en las labores de extinción de incendios, baldeo de calles o regadío el agua debe atender a los siguientes valores máximos admisibles:

- **NEMATODOS INESTINABLES:** 1 huevo/ 10L. Un huevo por cada 10 litros de muestra
- **ESCHERICHIA COLI:** Ausencia UFC/ 100mL. Ningún rastro de unidades formadoras de colonias por cada 100 mililitros de muestra. Siendo las UFC's unidades de medida para la cuantificación de microorganismos, en este caso de la bacteria E. Coli.
- **SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN:** 5mg/ L. 5 mg por cada litro
- **TURBIDEZ:** 1 UNT. Una unidad nefelométrica de turbidez. Siendo las UNT unidades de medida de la turbidez en líquidos.
- **OTROS CRITERIOS:** Legionella spp. Ausencia UFC/L

Por dicho motivo, se utilizará la ultrafiltración continua con el objetivo de reducir dichos valores. Y estos son los valores finales del permeado una vez el agua procedente del decantador secundario es ultrafiltrada

- Turbidez: < 0,2 NTU
- Recobro de agua: 85 - 95%
- Rechazo de bacterias: > 9 log
- Rechazo de virus: > 5 log

Cumpliendo así con el Anexo I.A: Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos de la Ley 11/2005, de 22 de junio, del Plan Hidrológico Nacional.

6.3.- DESINFECCIÓN DE MANTENIMIENTO.

6.3.1.- Introducción

Tras el proceso de ultrafiltración, es necesario una desinfección de seguridad mediante cloración para evitar que los virus y bacterias eliminados mediante la ultrafiltración vuelvan a aparecer de tal manera que se garantice en una buena calidad de las aguas para la reutilización de las mismas en la industria, regadío, baldeo de calles o extinción de incendios.

La EDAR de Bedia no dispone de una cámara de cloración en su tratamiento secundaria, por lo que se procederá a la construcción de dicha cámara.

6.3.2- Características constructivas

La cámara de cloración será un depósito de forma cubica formado por hormigón armado recubierto de una capa que lo proteja.

Tal y como se indica en el Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario, las dimensiones Las dimensiones del tanque tendrán una anchura de 8 metros y un largo de 20 metros debido al espacio disponible dentro de la EDAR, con una profundidad de 3 metros.

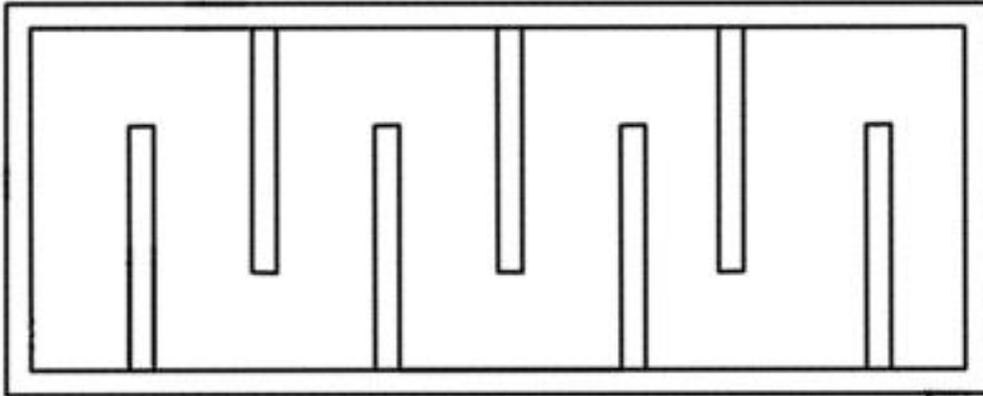


Figura 36: Vista en planta de la cámara de cloración. [Elaboración Propia]

6.3.3- Agente desinfectante:

La utilización del cloro como desinfectante es el método de desinfección más común, la cloración juega un papel muy importante en todo el mundo para evitar infecciones. Se están utilizando numerosos derivados clorados para llevar a cabo estas desinfecciones, como pueden ser cloro gas o hipoclorito de sodio.

Hipoclorito de sodio (NaClO): Se suele utilizar en pequeñas comunidades. Se presenta en forma líquida. El hipoclorito se almacena en depósitos y se bombea e introduce directamente a la masa de agua mediante una bomba dosificadora. Cuando los consumos son muy bajos se puede diluir el desinfectante en agua para tener que bombear caudales mayores, pero con bombas comerciales.

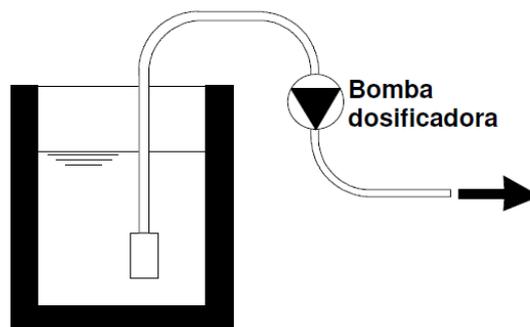


Figura 37: Croquis simplificado de la cloración mediante hipoclorito de sodio. [31]

Cloro gas: Se utiliza en grandes y medianos abastecimientos. Se suministra en botellas a presión. La presión interna de éstas depende de la temperatura y se eleva con la misma.

Pueden utilizarse depósitos en forma de botella, provistos en su parte superior de una llave de paso, mediante cuya apertura se obtiene cloro gaseoso a la presión correspondiente a la temperatura del cloro líquido. No es recomendable la inyección del gas directamente al agua, por lo que se utilizan formas indirectas. En el diagrama de la figura siguiente se presentan los elementos de una instalación típica.

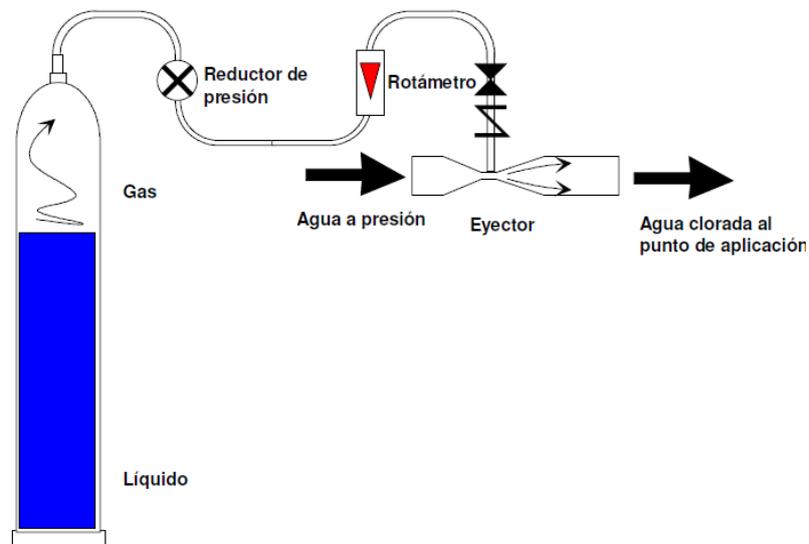


Figura 38: Croquis simplificado de la cloración mediante Cloro gas. [31]

El clorador debe suministrar siempre la misma dosis, aunque la presión del gas cambie. Una solución habitual es mezclar el gas con agua mediante un sistema de aspiración hidráulica que extrae el cloro de un sistema con dispositivos de regulación y de medición.

Hay que tener muy en cuenta en las instalaciones la toxicidad y agresividad del cloro. Se debe colocar sistemas de protección contra fugas y de neutralización.

6.3.4 Solución adoptada

Por dichos motivos, se utilizará el hipoclorito de sodio (NaClO) como agente desinfectante ya que es un proceso de desinfección mucho más seguro y sencillo que el empleo de cloro gas.

Una vez realizada la dosificación, el agua debe estar en contacto con el cloro un determinado tiempo para que la desinfección sea efectiva. En aguas potables se utilizan tiempos de contacto superiores a los 30 minutos, que se suelen cumplir en los depósitos de almacenamiento. En aguas residuales que se van a verter hay que construir depósitos laberínticos especiales, tanques de desinfección, para tener tiempos de retención superiores a 15 minutos.

Dicha dosificación se realizará de forma automática mediante equipos de control en función del caudal de entrada a la cámara de cloración ya que esta variará en función de la demanda.

En lo que al equipo de medición y control respecta, se colocara dentro de la nave prefabricada para que este no sufra ningún desperfecto ante días lluviosos, al igual que la bomba encargada

de llevar el agente desinfectante desde el depósito de almacenamiento hasta la tubería de salida del equipo de ultrafiltración, para así mezclar el hipoclorito de sodio (NaClO) con el agua filtrada.



Figura 39: Equipo de medición y control del cloro. [39]

6.4.- ETAPA DE BOMBEO POST-DESINFECCIÓN.

6.4.1.- Introducción.

Para poder almacenar el caudal de agua ya tratada y desinfectada en los tanques de almacenamiento, será necesario la utilización de un pozo de bombeo prefabricado que reciba dicho caudal por gravedad y que mediante bombas sumergibles sea propulsado, ya que este, al pasar de los equipos de ultrafiltración a la cámara de cloración, se encontrará a la presión atmosférica (1 atm) debido a que el agua está al aire libre.

6.4.2.- Características constructivas.

A diferencia del pozo de bombeo inicial para el agua procedente del tratamiento secundario, este no necesitara de un tiempo de retención tan elevado ya que no tendrá partículas en suspensión que necesite depositar en el fondo ya que estas han sido previamente eliminadas mediante el equipo de ultrafiltración.

6.4.3.-Solucion adoptada.

Tal y como se indica en el Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario, el pozo de bombeo post-desinfeccion será prefabricado de la marca Salher modelo CVC-PB-D-4 con un volumen total: 11800 L y un volumen útil de 9800 L.

Para el bombeo del agua regenerada hacia los tanques de almacenamiento se utilizarán bombas trifásicas vortex de 15 kW de potencia y una tensión nominal de 400 V capaces de impulsar un caudal entre 40 a 200 m^3/h a una altura manométrica total de 19,4 a 12,1 metros en función de dicho caudal.

El pozo de bombeo constará de 2 bombas sumergibles más una de repuesto para cubrir posibles averías u operaciones de mantenimiento, haciendo un total de 3 bombas colocadas.

Además, también se dispondrá de una cuarta bomba desmontada y guardada fuera del pozo de bombeo para una rápida sustitución en caso de avería.

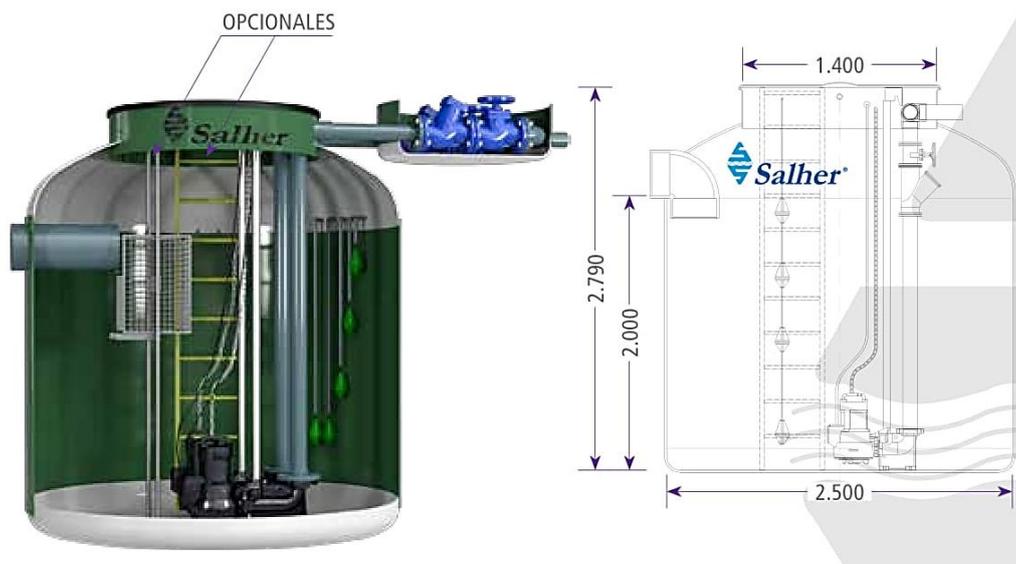


Figura 40: Pozo de bombeo prefabricado Salher. [40]

6.5.- TANQUES DE ALMACENAMIENTO.

6.5.1- Introducción.

Para poder abastecer los servicios de baldeo de calles y extinción de incendios en el municipio de Arratia, la refrigeración industrial de la industria siderúrgica de Bedia y para el regadío de las zonas agrícolas del municipio, es necesario la colocación de tanques de almacenamiento del agua ya ultrafiltrada y clorada.

Además, hay que tener en cuenta el caudal de diseño para la ampliación de la EDAR, ya que al día se pueden llegar a tratar 6816 m³ de agua que ha de ser almacenada en caso de no poder usarse a media que se va regenerando.

6.5.2.- Solución adoptada.

Tal y como se indica en el Anejo I Dimensionamiento, se colocarán dos tanques de agua en línea de 6,002 metros de alto (Altura de referencia 05) y 18,228 metros de diámetro (diámetro referencia 24) el primero y 10,668 metros de diámetro (diámetro de referencia 14) el segundo.

El primer tanque de 18,228 metros de diámetro tendría un volumen útil de 1458 m³ y el segundo tanque de 10,668 metros de diámetro tendría un volumen útil de 496 m³, que sumados darían un volumen útil de 1954 m³.

Por lo que, teniendo en cuenta que un día a pleno rendimiento en la EDAR de Bedia se pueden llegar a tratar 6816 m³ de agua, tendría capacidad suficiente para almacenar toda el agua tratada durante aproximadamente 7 horas.



Figura 41: Tanque de almacenamiento de agua regenerada. [41]

6.6.- OTROS ELEMENTOS IMPORTANTES DEL PROYECTO.

6.6.1.- Conducciones.

Tal y como se indica en el Anejo II Calculo de la línea de presión y perdidas de carga, las tuberías empleadas tendrán las siguientes características:

La tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas está pensada para su utilización con aguas regeneradas para su posterior utilización en el riego de parques y jardines, baldeo de calles... El color morado es distintivo de su aplicación, lo que permite la identificación de las redes, de especial interés en zonas urbanas.

Las tuberías tendrán un revestimiento exterior de aleación zinc más pintura epoxi y un revestimiento interior de mortero de cemento según EN 197-1.



Figura 42: Tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas. [42]

Las Conducciones de los equipos de ultrafiltración tendrán un diámetro nominal de 250 mm y un diámetro exterior de 274 mm.

Sin embargo, en las conducciones del resto de los equipos el diámetro nominal será de 300 mm y el diámetro exterior de 326 mm.

6.6.2.- Válvula de reducción de presión.

Tal y como se indica en el Anejo II Calculo de la línea de presión y perdidas de carga, al final del tramo entre el proceso de membrana y la cámara de cloración, debido a la alta presión que tendrá el agua ultrafiltrada, se colocará una válvula reductora de presión para que dicha agua este a la presión suficiente capaz de llenar el tanque de cloración y no desgastar las paredes.



Figura 43: Válvula de reducción de presión. [43]

La válvula reductora de presión es una válvula de control de operación hidráulica accionada por diafragma, que reduce la presión alta aguas arriba a una presión menor y constante aguas abajo, sin que le afecten las fluctuaciones en la demanda o en la presión aguas arriba.

Este tipo de válvulas permite:

- Reducción de caudales y fugas
- Protección contra los daños por cavitación
- Amortiguación del ruido
- Protección contra roturas
- Ahorro en el mantenimiento del sistema

7.- PROCESO CONSTRUCTIVO.

La construcción del tratamiento terciario de la EDAR de Bedia se realizará con el fin de obtener la regeneración del agua residual y de esta forma abastecer los servicios de baldeo de calles y extinción de incendios en el municipio de Arratia, la refrigeración industrial de la industria siderúrgica de Bedia y los sistemas de regadío de las zonas agrícolas del municipio.

Gran parte de los equipos con los que se realizará dicha ampliación serán equipos prefabricados, con el fin de obtener unos tiempos de construcción menores y un menor coste en el proceso constructivo.

La obra civil comenzará con la adecuación del terreno, mediante el desbroce y limpieza del terreno con arbustos, con medios mecánicos, y demolición de pavimento de aglomerado asfáltico en calzada, con martillo neumático, con el fin de obtener un terreno liso y llano en el cual poder mover la maquinaria necesaria para realizar las cimentaciones y las excavaciones necesarias.

Una vez adecuado el terreno, se procederá a realizar los movimientos de tierra necesarios. Para la construcción de la cámara de cloración en la cual se desinfectará el agua ultrafiltrada para su desinfección se realizará una excavación a cielo abierto, con medios mecánicos.

De la misma forma se realizarán las aberturas necesarias en el terreno para la construcción del pozo de bombeo inicial y para la colocación del pozo de bombeo post-desinfección prefabricado.

También se preparará la explanada para construir las cimentaciones de los equipos de ultrafiltración y las cimentaciones de los tanques de almacenamiento de agua regenerada.

Para la construcción de la cámara de cloración, antes de empezar con las paredes y fondo de la cámara es importante una compactación mecánica de fondo de excavación con el fin de obtener un firme lo más rígido posible, evitando así asentamientos diferenciales, ya que dicha cámara almacenará un gran volumen de agua. Tras la compactación del terreno a las paredes de la excavación se le dará un riego impermeabilizante que proteja las paredes de hormigón armado de la humedad del terreno.

Una vez realizadas todas las protecciones y aislamientos, se comenzará con la construcción de las paredes y fondo de la cámara de cloración con el montaje y desmontaje de sistema de encofrado a una cara con acabado visto con textura lisa en el cual se colocarán las armaduras de acero corrugado B400S y B500S, y se verterá el hormigón HA-25/B/20/IIa tras un hormigonado de limpieza del fondo con hormigón HL-200/B/20.

Una vez fraguado y listo, a todas las paredes de la cámara de cloración y al fondo de esta, se les dará un revestimiento que las proteja del proceso de cloración.

Hay que tener en cuenta, que previo a la construcción de los pozos de bombeo y la cámara de cloración, se realizarán las aberturas necesarias en las paredes de estos para poder pasar las conducciones.

La construcción del pozo de bombeo inicial será muy similar a la construcción de la cámara de cloración con el fin de tener un proceso constructivo más sencillo, usando el mismo tipo de hormigón y acero de las armaduras. Sin embargo, hay que tener en cuenta unos detalles

constructivos muy importantes como la construcción de un fondo inclinado en el pozo de bombeo para evitar la entrada de sólidos depositados en el fondo en las bombas y la construcción de un pequeño muro que evite las turbulencias ocasionadas por colocar dos bombas sumergibles en paralelo.

Para los equipos de ultrafiltración, con el fin de obtener un apoyo firme para evitar vibraciones y un suelo rígido sobre el que poder trabajar, se dispondrá una losa de cimentación de hormigón armado.

Esta losa se construirá también para la colocación sobre ella de la nave prefabricada.

Dicha losa de cimentación está construida con los mismos materiales que las paredes de la cámara de cloración y el pozo de bombeo inicial, al igual que lo estará la cimentación de los tanques de almacenamiento. La cimentación se resolverá con un hormigonado "in situ", compuesto hormigón de limpieza HL-200/B/20 seguido por una capa de hormigón HA-25/B/20/IIa armado con acero corrugado B400S y B500S.

Paralelamente y de igual manera, se preparará la explanada sobre la cual, acto seguido, se va a comenzar con la construcción de la cimentación de los tanques de almacenamiento de agua regenerada.

Se colocarán dos cimentaciones circulares, una de 19 metros de diámetro para el primer tanque y otra de 11 metros de diámetro para el segundo, con el fin de soportar las cargas que se transmitirán al terreno debido al gran volumen que almacenan.

A diferencia de la cimentación del equipo de ultrafiltración, que tienen un peso mucho más reducido en comparación a cualquiera de los tanques llenos, bajo la cimentación de estos se colocará una capa de zahorra que absorba las tensiones que la cimentación sufrirá, repartiéndolas de una mejor manera por el terreno.

El siguiente paso a realizar serán las excavaciones para la ejecución los tramos soterrados de las diferentes conducciones.

Acto seguido, se procederá a la colocación de los equipos de ultrafiltración continua c-UF40 y a la colocación de la nave prefabricada para proteger dicho equipo de las inclemencias del tiempo por las empresas las cuales nos los suministran, "FLUYTEC" y "PATEC", que además se encargaran de su transporte a obra.

Tras la colocación de estos equipos, debido al poco espacio disponible dentro de la EDAR de Bedia y la dificultad de maniobra de los camiones de transporte, se colocará el pozo de bombeo de la empresa "SALHER" en la abertura previamente realizada en el terreno. Después, se procederá a la colocación de los tanques de almacenamiento de la empresa "TANKEROS".

Una vez colocados todos los equipos prefabricados se procederá al anclaje de ellos en las fijaciones, para así anclarlos en su posición final.

Tras anclar los equipos se procederá a la colocación de las conducciones necesarias, tubería de fundición dúctil K-9 con un revestimiento exterior de aleación zinc más pintura epoxi y un revestimiento interior de mortero de cemento. También se colocarán todos los pequeños

aparatos de la línea necesarios para que esta pueda funcionar como las válvulas de embocadura, de desembocadura, reductoras de presión, de medición, de desviación...

Después habrá que rellenar la zona de excavación que ha quedado hueca tras la colocación de las tuberías mediante material procedente de la propia excavación y revegetando la zona.

Una vez realizado todo el sistema de conducciones, se colocarán el número de bombas sumergibles necesarias para impulsar el caudal a regenerar, calculadas en el apartado 3 del Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario.

Se colocará el tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio de la empresa "EFISA" además de los sistemas de mediación y control de hipoclorito de sodio y de cloro residual, con el cual realizar la desinfección de mantenimiento del agua regenerada.

Por último, se realizarán todas las conexiones eléctricas necesarias de las bombas sumergibles, equipos de cloración, equipos de ultrafiltración, pozos de bombeo y equipos de control.

Cabe destacar, que previo al inicio de las operaciones se realizaran todas las comprobaciones necesarias para asegurar el buen funcionamiento del tratamiento terciario.

Además, todos los escombros y el resto de material a desechar se llevarán al vertedero más cercano, el vertedero de Artigas, a unos 8 km aproximadamente de la EDAR de Bedia.

8.- PLANIFICACIÓN DE LA OBRA

En la planificación y programación de la ejecución de una obra, se trata de definir el calendario de ejecución de un conjunto de actividades.

Para la ejecución de dicho plan, se ha tenido en cuenta que las maquinarias y los procesos constructivos no deben solaparse ya que esto ocasionaría que algunas tareas tengan que parar y esperar a que la anterior termine. Esto deriva en pérdidas de tiempo y de dinero.

Se ha realizado el plan en función del ritmo de avance de las máquinas y procesos constructivos sobre el terreno, por ejemplo, para la realización de la excavación de la cámara de cloración y de los pozos de bombeo debemos de esperar a que estos trabajos terminen para realizar otra unidad de obra, ya que no se dispone de mucho espacio dentro de la EDAR de Bedia.

Finalmente, y antes de dar por finalizado el proyecto, se procederá a un breve periodo de prueba de las instalaciones para garantizar que todo funciona según lo previsto.

El diagrama de Gantt es una de las técnicas más usadas para la toma de decisiones, y así programar y controlar proyectos. También llamada los diagramas de barras, ha sido útil por mucho tiempo a los administradores y gerentes de compañías, con el fin de generar el curso de acción para el desarrollo de las actividades y operaciones que involucra el complejo mundo de proyectos que tienen las empresas en el desarrollo de productos y servicios al mercado o sociedad en general.

A continuación, se dispone el diagrama de Gantt obtenido.

9.- RESUMEN DEL PRESUPUESTO.

CAPÍTULO 1: DEMOLICIONES.	941,00 €
CAPÍTULO 2: ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO.	1.644,36 €
CAPÍTULO 3: MOVIMIENTO DE TIERRAS.	28.698,48 €
CAPÍTULO 4: ESTRUCTURA CÁMARA DE CLORACIÓN.	46.835,09 €
CAPÍTULO 5: ESTRUCTURA POZO DE BOMBEO INICIAL.	3.073,08 €
CAPÍTULO 6: CIMENTACIÓN TANQUES DE ALMACENAMIENTO.	64.335,80 €
CAPÍTULO 7: CIMENTACIÓN EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN.	18.263,14 €
CAPÍTULO 8: CONDUCCIONES.	6.202,17 €
CAPÍTULO 9: EQUIPOS ETAPA DE BOMBEO INICIAL.	105.853,92 €
CAPÍTULO 10: EQUIPOS ETAPA DE ULTRAFILTRACIÓN.	271.450,00 €
CAPÍTULO 11: EQUIPOS ETAPA DE CLORACIÓN.	11.606,00 €
CAPÍTULO 12: EQUIPOS ETAPA DE BOMBEO POST-DESINFECCIÓN.	72.020,00 €
CAPÍTULO 13: EQUIPOS ETAPA DE ALMACENAMIENTO.	400.000,00 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DE LA OBRA.	1.030.923,04 €

Sumándole al Presupuesto de Ejecución Material de la obra el PEM del Estudio de Seguridad y Salud de valor 13.053,21 €, el presupuesto de Ejecución Material total del proyecto es:

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DEL PROYECTO.	1.043.976,25 €
--	----------------

El presupuesto de Ejecución Material del proyecto asciende a la cantidad de; UN MILLÓN CUARENTA Y TRES MIL NOVECIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS CON VEINTICINCO CÉNTIMOS.

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DEL PROYECTO.	1.043.976,25 €
Gastos Generales (13%)	135.716,91 €
Beneficio Industrial (6%)	62.638,57 €
Presupuesto de licitación sin I.V.A.	1.242.331,73 €
I.V.A. de la cantidad anterior	260.889,66 €
PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN POR CONTRATA DEL PROYECTO.	1.503.221,39 €

El presupuesto de Ejecución por Contrata del Proyecto de ampliación y mejora de la estación depuradora de aguas residuales de Bedia (Bizkaia) para la reutilización del agua mediante tratamiento terciario asciende a la cantidad de; UN MILLÓN QUINIENTOS TRES MIL DOSCIENTOS VEINTIUN EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS.

10.- NORMATIVA

NORMATIVA EUROPEA

- Directiva 2000/60/CE del 23 de octubre del 2000, por la que se establece un marco comunitario en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 91/271/CEE del 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Directiva 92/43/CEE del 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y la flora silvestres.
- Directiva 2009/147/CE del 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres.
- Directiva 2006/42/CE del 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas.
- Directiva 2004/108/CE de 15 de diciembre de 2004, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.
- Directiva 2006/95/CE de 12 de diciembre de 2006, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.

NORMATIVA NACIONAL:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, Incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva 92/43/CEE de Hábitats y la Directiva 2009/147/CE de Aves de la Unión Europea.
- Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino crea y regula la Red de Áreas Marinas Protegidas de España, de la que podrán formar parte las Zonas Especiales de Conservación y las Zonas de Especial Protección para las Aves, de la Red Natura 2000.
- Real Decreto Legislativo 1/2001 del 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (última modificación 07/03/2018)
- Real Decreto 8549/1986 del 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 1620/2007 del 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

- Orden SCO/778/2009 del 17 de marzo, sobre métodos alternativos para el análisis microbiológico del agua para consumo humano. (Cuyos métodos son extrapolables a la medición de parámetros de aguas residuales y regeneradas)
- Real Decreto 865/2003 del 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la Legionelosis.
- Real Decreto 907/2007 del 6 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Ley 22/1988 del 28 de julio, de Costas (última modificación 11/12/2015)
- Real Decreto 509/1996 del 15 de marzo de desarrollo del RD-ley 11/1995, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Orden ARM/1312/2009 del 20 de mayo, por la que se regulan los sistemas para realizar el control efectivo de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del dominio público hidráulico, de los retornos al citado dominio público hidráulico y de los vertidos al mismo.
- Ley 20/2009 del 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades.
- Ley 16/1986 del 25 de abril, de desarrollo de actuaciones para la promoción y mejora de los sistemas de eliminación y tratamiento de residuos líquidos.
- Real Decreto 1341/2007 del 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño.
- Real Decreto 1247/2008 del 18 de julio, por el cual se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural, EHE-08.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. (BOE núm. 77, de 29 de marzo de 1996).
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (BOE núm. 97, de 23/04/1997, Última actualización 04/07/2015).
- Ley de Expropiación Forzosa del 16 de Diciembre de 1954.

- Decreto de 26 de abril de 1957 por el que se aprueba el Reglamento de la Ley de Expropiación Forzosa.
- Ley 8/1987, de 20 de noviembre, sobre creación de los Jurados Territoriales de Expropiación Forzosa.
- Ley 2/2006, de 30 de junio, de Suelo y Urbanismo.
- Real Decreto 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.
- Real Decreto 3288/1978, de 25 de agosto, por el que se aprueba el reglamento de gestión urbanística para el desarrollo y aplicación de la ley sobre régimen del suelo y ordenación urbana.
- Real Decreto 2187/1978, de 23 de junio, por el que se aprueba el reglamento de disciplina urbanística para el desarrollo y aplicación de la ley sobre régimen del suelo y ordenación urbana.
- Real Decreto 2159/1978, de 23 de junio, por el que se aprueba el reglamento de planeamiento para el desarrollo y aplicación de la ley sobre régimen del suelo y ordenación urbana.
- Decreto 635/1964, de 5 de marzo, que aprueba el reglamento de edificación forzosa y registro municipal de solares.
- Ley 20/2009 del 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades.

NORMATIVA PAÍS VASCO:

- DECRETO 215/2012, de 16 de octubre, por el que se designan Zonas Especiales de Conservación catorce ríos y estuarios de la región biogeográfica atlántica y se aprueban sus medidas de conservación.

NORMATIVA ESPECÍFICA (UNE, ASTM, GUÍAS, INSTRUCCIONES TÉCNICAS...)

- Guía técnica para la prevención y control de la Legionelosis
- Norma UNE 100030:2017. Prevención y control de la proliferación y diseminación de Legionella en instalaciones.
- Norma UNE-EN 340 EPIS.

- UNE-EN ISO 12944-5:2018 Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores. (ISO 12944-5:2018).
- Norma UNE-EN 1508:1999, Para depósitos “Abastecimiento de agua. Requisitos para sistemas y componentes para el almacenamiento de agua”.
- Norma UNE EN 752- 4:1997.
- UNE-EN 14992:2008+A1:2012 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para muros.
- Norma UNE-EN 809/AC: 2002. Bombas y grupos motobombas para líquidos. Requisitos comunes de seguridad.
- Norma UNE-EN ISO 12100-1:2003. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: Terminología básica, metodología.
- UNE-EN 598:2008+A1:2009 Tuberías, accesorios y piezas especiales de fundición dúctil y sus uniones para aplicaciones de saneamiento. Requisitos y métodos de ensayo.
- Norma UNE-EN ISO 12100-2:2003. Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 2: Principios técnicos.
- Norma UNE-EN 60034. Máquinas eléctricas rotativas. Características asignadas y características de funcionamiento.
- UNE-EN ISO 898-1:2015 Características mecánicas de los elementos de fijación de acero al carbono y de acero aleado. Parte 1: Pernos, tornillos y bulones con clases de calidad especificadas. Rosca de paso grueso y rosca de paso fino. (ISO 898-1:2013).
- UNE-EN 61.000-6. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6: Normas genéricas.
- UNE-EN 12050. Plantas elevadoras de aguas residuales para edificios e instalaciones. Principios de construcción y ensayo.
- Guía para la aplicación de R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de Aguas Depuradas.
- ITC MIE APQ-3: Almacenamiento Cloro.
- UNE-EN 10346:2015 Productos planos de acero recubiertos en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.

- ITC MIE-APQ-6: Almacenamiento de líquidos corrosivos.
- Normativa UNE-EN ISO/IEC 17025 para los sistemas de control de los análisis y muestreos rutinarios.
- Norma ISO 11731 parte 1. Detección y enumeración de Legionella.
- Código API 650 sobre Tanques de Almacenamiento.
- NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: Normas de seguridad.
- Normas UNE 80 serie 300 de hormigón en masa o armado.
- ASTM C465: Especificaciones sobre aditivos en hormigón.
- Normas UNE serie 36 sobre materiales siderúrgicos.
- MV-102 de acero para hormigón armado.
- Norma UNE 7278 de inspección de chapas por ultrasonidos.
- Normas UNE sobre válvulas.

Aparte de esta normativa, también se tendrá en cuenta toda la normativa incluida en el Pliego de Prescripciones Técnicas y en el Estudio de Seguridad y Salud.

Dicha normativa no está incluida en este apartado debido a que es más específica, pero al igual que la aquí mencionada, será de cumplimiento obligatorio.

11.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Información general. Arratiako Udalen Mankomunitatea/Mancomunado de Arratia.
<http://www.arratia.net/es-ES/Mancomunidad/Paginas/default.aspx>
- [2] Eustat. Densidad de población de la C.A. de Euskadi por ámbitos territoriales.
http://www.eustat.eus/bankupx/pxweb/es/spanish/-/PX_2212_ep2demb.px#axzz5rDwrSDMd
- [3] Web Oficial del municipio de Bedia. Información. Ereño barrio de Bedia.
<http://www.bedia.biz/es-ES/Turismo/Bediaysusbarrios/Paginas/Ereno.aspx>
- [4] Web Oficial del municipio de Bedia. Información. Bidekoetxe y Asteitza barrios de Bedia.
<http://www.bedia.biz/es-ES/Turismo/Bediaysusbarrios/Paginas/BidekoetxeAsteitza.aspx>
- [5] Web Oficial del municipio de Bedia. Información. Ibarra barrio de Bedia.
<http://www.bedia.biz/es-ES/Turismo/Bediaysusbarrios/Paginas/IbarraBediakoleaBarroeta.aspx>
- [6] Web Oficial del municipio de Bedia. Información. Mugartatza barrio de Bedia.
<http://www.bedia.biz/es-ES/Turismo/Bediaysusbarrios/Paginas/Mugartatza.aspx>
- [7] Web Oficial del municipio de Bedia. Información. Eroso barrio de Bedia.
<http://www.bedia.biz/es-ES/Turismo/Bediaysusbarrios/Paginas/ErosoUgarte.aspx>
- [8] Agencia del agua. Euskadi. Demanda de agua de la comunidad autónoma del País vasco síntesis.
http://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/demandas_agua/es_demandas/adjuntos/Demandas%20de%20Agua%20CAPV%20Sintesis.pdf
- [9] Esquema. Tratamiento de aguas residuales.
<https://didactalia.net/comunidad/materialeducativo/recurso/tratamiento-de-aguas-residuales/2b8b769e-f0c5-43e7-81f0-b362540cc75e>
- [10] Consorcio de Aguas. EDAR de Bedia.
<https://www.consorciodeaguas.eus/Web/OficinaPrensa/visitasVirtuales.aspx>
- [11] Revista. Aguas Residuales. Tratamientos terciarios para la reutilización de agua.
<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/tratamientos-terciarios-para-la-reutilizacion-de-agua-8BQ2i>
- [12] Información. Características medias del agua recibida por la EDAR de Bedia. Aportado por el consorcio de Aguas.
- [13] Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. La calidad de salida de las aguas según R.D. 1620/2007.
https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620_2007_tcm30-213764.pdf

- [14] Uraren Euskal Agentzia/Agencia Vasca del Agua. Información geográfica. Visor GIS. Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 1990. <http://www.uragentzia.euskadi.eus/appcont/gisura/>
- [15] Uraren Euskal Agentzia/Agencia Vasca del Agua. Información geográfica. Visor GIS. Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 1995. <http://www.uragentzia.euskadi.eus/appcont/gisura/>
- [16] Uraren Euskal Agentzia/Agencia Vasca del Agua. Información geográfica. Visor GIS. Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 2002. <http://www.uragentzia.euskadi.eus/appcont/gisura/>
- [17] Uraren Euskal Agentzia/Agencia Vasca del Agua. Información geográfica. Visor GIS. Vuelo sobre el emplazamiento de la EDAR de Bedia de 2018. <http://www.uragentzia.euskadi.eus/appcont/gisura/>
- [18] GeoEuskadi. Infraestructura de datos espaciales. Visor mapas GeoEuskadi. Mapa Geológico de los usos del suelo del emplazamiento y proximidades de la EDAR de Bedia. <http://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoEuskadiWAR/index.jsp>
- [19] GeoEuskadi. Infraestructura de datos espaciales. Visor mapas GeoEuskadi. Leyenda Usos del Suelo. <http://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoEuskadiWAR/index.jsp>
- [20] GeoEuskadi. Infraestructura de datos espaciales. Visor mapas GeoEuskadi. Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia. <http://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoEuskadiWAR/index.jsp>
- [21] GeoEuskadi. Infraestructura de datos espaciales. Visor mapas GeoEuskadi. Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia con la cartografía del terreno. <http://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoEuskadiWAR/index.jsp>
- [22] Información. Tabla comparativa de los valores de entrada y salida de la EDAR de Bedia para reúso. Aportado por el consorcio de Aguas.
- [23] Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620%202007_tcm30-213764.pdf
- [24] Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. Tratamientos de regeneración de agua residual. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620%202007_tcm30-213764.pdf
- [25] Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. Tipos de calidad del agua regenerada.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620_2007_tcm30-213764.pdf

[26] Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. Líneas de tratamiento dependiendo la calidad del agua regenerada.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620_2007_tcm30-213764.pdf

[27] José Carlos Segura Cobo. Bellisco Ediciones 2009. "Maquinaria para tratamiento y depuración de aguas. Fundamentos y Aplicaciones"

[28] Francisco Osorio Robles, Juan Carlos Torres Rojo y Mercedes Sánchez Bas. Ediciones Díaz de Santos 2010. "Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes."

[29] Revista. Aguas Residuales. Partículas retenidas por las distintas membranas. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/filtracion-mediante-membranas-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales>

[30] Instituto de tecnologías rurales. Filtración por membranas de fibras huecas. <https://www.agualimpia.mx/pages/tecnolog%C3%ADa>

[31] Apuntes. Ingeniería Ambiental - Grado en Ingeniería de Obras Públicas. Tema: Desinfección, Cloración y Ozonización. ftp://ceres.udc.es/Grado_TECIC/Cuarto_Curso/Ingenieria_Ambiental/Desinfeccion/TEMA-desinfecci%C3%B3n-rev140225-ajb.pdf

[32] Información. Cloración. Tanque de cloración. <https://www.bebesymas.com/hogarhenkel/125-anos-salvando-vidas-razones-por-las-que-la-lejia-es-el-desinfectante-mas-universal>

[33] Madrid Blogs. Aplicación de la ozonización en el tratamiento de aguas: descripción y funcionamiento. Esquema de un generador de ozono. <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477>

[34] Revista. Aguas Residuales. Tecnología de radiación UV. <https://www.aguasresiduales.info/revista/casos-de-exito/tratamiento-terciario-con-eliminacion-de-microcontaminantes-en-la-edar-de-viveros-de-la-villa-de-madrid>

[35] Aurelio Hernández Muñoz. Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos. 5ª Edición 2001. "Depuración y desinfección de aguas residuales."

[36] GeoEuskadi. Infraestructura de datos espaciales. Visor mapas GeoEuskadi. Vista del emplazamiento de la EDAR de Bedia. <http://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoEuskadiWAR/index.jsp>

[37] Hidrometalica. Tornillo de Arquimedes. <https://hidrometalica.com/tornillo-arquimedes/>

- [38] Hidrotec Aguas. Catálogo de productos FLYGT. Bombas de hélice para el bombeo de grandes volúmenes. [http://www.hidrotecaguas.com/catalogos/Bombas de Helice vertical series PL y LL.pdf](http://www.hidrotecaguas.com/catalogos/Bombas_de_Helice_vertical_series_PL_y_LL.pdf)
- [39] FILTEC, tecnologías del agua al servicio de la industria. Catálogo de productos. Equipos industriales. Análisis y dosificación. Paneles de regulación. <https://www.depuradoras.es/paneles-de-regulacion-149/174-grupo-de-cloracion-automatico-174.html>
- [40] SALHER, Water Solutions Worldwide. Catálogo de productos. Pozos de bombeo prefabricados. [https://www.salher.com/images/documentos/pdf/productos es2/es cvc-pb-d.pdf](https://www.salher.com/images/documentos/pdf/productos_es2/es_cvc-pb-d.pdf)
- [41] TANKEROS, depósitos para reserva de aguas. Catálogo de productos. Depósitos de agua de acero inoxidable. <https://www.tankeros.com/depositos-agua-acero-inoxidable/>
- [42] DICONA, materiales de construcción. Catálogo de productos. Tuberías de abastecimiento. Tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas. [http://www.dicona.es/catalogo_de_productos/02-Tuberia de abastecimiento.pdf](http://www.dicona.es/catalogo_de_productos/02-Tuberia_de_abastecimiento.pdf)
- [43] EEPM, Estudios Energéticos Para Mantenimiento. Catálogo de productos PRESSMAN. Perdidas de carga. Válvula de reducción de presión. <http://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rdida-de-Carga-en-Tuberi%CC%81as.pdf>
- [44] EBARA, Tecnología Japonesa. Catálogo de productos. DRM. Bombas sumergibles para aguas residuales. Multicanal. <http://www.ebara.es/productos/bombas-para-aguas-residuales/drm/>
- [45] FLUYTEC, filtration technologies. Catálogo de productos. Tecnologías de membrana. Equipos de ultrafiltración continua. [http://www.fluytec.com/pdf/FLUYTEC equipoC-UF ES.pdf](http://www.fluytec.com/pdf/FLUYTEC_equipoC-UF_ES.pdf)
- [46] PATEC, grupo de empresas. Naves prefabricadas. Diseño 3D. <https://www.patec.org/configurador-3D.php>
- [47] Aguas Residuales. Evaluación del tiempo de contacto efectivo en cámaras de cloración. <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/evaluacion-del-tiempo-de-contacto-efectivo-en-camaras-de-cloracion-mediante-simulacion-cfd>
- [48] Elaguapotable. Cloración mediante Hipoclorito de sodio (NaClO). <http://www.elaguapotable.com/hipoclorito.htm>
- [49] Elaguapotable. Cloración mediante Cloro gas. <http://www.elaguapotable.com/cloracion1.htm>
- [50] EFISA, tanques y equipos industriales. Catalogo. Dimensiones del tanque de almacenamiento de la disolución de Hipoclorito de sodio (NaClO). <https://efisa.mx/tanques-almace.html>
- [51] EFISA, tanques y equipos industriales. Catálogo de productos. Tanques de almacenamiento de hipoclorito de sodio (NaClO). <https://efisa.mx/empresa.html>

- [52] TANKEROS, depósitos para reserva de aguas. Medidas y capacidades de los tanques cilíndricos. <https://www.tankeros.com/medidas-y-capacidades/>
- [53] José Agüera Soriano. Editorial ciencia 3. “Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas.”
- [54] Universidad de Granada. Aula Virtual. Diseño del sistema de tuberías y cálculo de las bombas.
<https://www.ugr.es/~aulavirtualpfc/qi/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- [55] Laboratorio de ingeniería sostenible. Tuberías, aspectos generales.
http://www.lis.edu.es/uploads/9a1e3fcb_8a38_4e17_acc8a6bc97ae14.pdf
- [56] PAM Saint-Gobai, soluciones completas de canalizaciones. Tubería de fundición dúctil.
<https://www.pamline.es/tuberia-fundicion-ductil>
- [57] DICONA, materiales de construcción. Catálogo de productos. Tuberías de abastecimiento.
http://www.dicona.es/catalogo_de_productos/02-Tuberia_de_abastecimiento.pdf
- [58] Universidad Nacional de Ingeniería de Perú. Facultad de Ingeniería civil departamento de hidráulica e hidrología. Flujo Uniforme. Coeficiente de rugosidad.
http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/07_Flujo_uniforme.pdf
- [59] StudyLib. Tecnología fotovoltaica aplicada al bombeo de agua. Densidad relativa y viscosidad del agua a diferentes temperaturas. <https://studylib.es/doc/175411/densidad-relativa-y-viscosidad-del-agua-a-diferentes>
- [60] Docsity. Documentos. Diagrama de Moody. <https://www.docsity.com/es/diagrama-moody/3973145/>
- [61] EEPM, Estudios Energéticos Para Mantenimiento. Perdidas de carga en tuberías.
<http://www.eepm.es/wp-content/uploads/2018/04/PRESSMAN-Pe%CC%81rddida-de-Carga-en-Tuberi%CC%81as.pdf>
- [62] Universidad Veracruzana. Facultad de ingeniería mecánica eléctrica. Manual de prácticas de laboratorio para perdidas en tuberías, de banco básico de hidráulica hm 150.
<https://docplayer.es/9451933-Manual-de-practicas-de-laboratorio-para-perdidas-en-tuberias-de-banco-basico-de-hidraulica-hm-150-trabajo-practico-educativo.html>

ANEJO 1: DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO TERCIARIO

ÍNDICE ANEJO 1: DIMENSIONAMIENTO DEL TRATAMIENTO Terciario

1.- INTRODUCCIÓN:.....	86
2.- TRATAMIENTO Terciario:	87
3.- ETAPA DE BOMBEO:.....	88
3.1.- DIMENSIONAMIENTO DEL POZO DE BOMBEO:	88
3.2.- ELECCIÓN DE LA BOMBA SUMERGIBLE:	88
4.- PROCESO DE MEMBRANA.....	91
4.1.- CONDICIONES INICIALES DEL EFLUENTE:.....	91
4.2.- ELECCIÓN DEL EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN:.....	91
4.3.- INSTALACIÓN:	93
5.- DESINFECCION DE MANTENIMIENTO	97
5.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE CLORACIÓN	99
5.2.- SUMINISTRO DEL AGENTE DESINFECTANTE:.....	100
6.- ETAPA DE BOMBEO POST-DESINFECCIÓN	104
6.1.- DIMENSIONAMIENTO DE POZO DE BOMBEO	104
6.2.- ELECCIÓN DEL POZO DE BOMBEO Y BOMBAS SUMERGIBLES:	104
7.- TANQUES DE ALMACENAMIENTO:	106
7.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO:	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 44: Bomba sumergible multicanal DMR. [44].....	89
Figura 45: Equipo de ultrafiltración continua de Fluytec. [45]	94
Figura 46: Diseño 3D de la nave prefabricada para la protección del equipo de ultrafiltración. [46]	96
Figura 47: Detalle de la cloración mediante hipoclorito de sodio (NaClO). [48]	97
Figura 48: Detalle de la cloración mediante Cloro gas. [49]	98
Figura 49: Vista en planta de la cámara de cloración. [Elaboración Propia]	99
Figura 50: Tanques de almacenamiento de hipoclorito de sodio (NaClO). [51]	102
Figura 51: Equipo de medición y control del cloro. [39]	102
Figura 52: Pozo de bombeo prefabricado Salher. [40].....	104
Figura 53: Tanque de almacenamiento cilíndrico. [41].....	107
Figura 54: Tanque de almacenamiento rectangular. [41].....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 13: Tabla de características de las bombas sumergibles DRM. [44].....	89
Tabla 14: Calidad de las aguas de salida del tratamiento secundario de la EDAR de Bedia. [Elaboración Propia].....	91
Tabla 15: Requerimientos del agua de alimentación del equipo de ultrafiltración continua. [Elaboración propia] [45].....	92
Tabla 16: Modelos de ultrafiltración continua disponibles en la empresa Fluytec. [45].....	93
Tabla 17: Parámetros de operación del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 [Elaboración Propia] [45].....	94
Tabla 18: Calidad de permeado del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 [Elaboración Propia] [45].....	95
Tabla 19: Catalogo de tanques de almacenamiento de hipoclorito de sodio (NaClO). [Elaboración Propia] [50].....	101
Tabla 20: Tabla de Características de los diferentes pozos de bombeo Salher. [40]	105
Tabla 21: Medidas y capacidades de los tanques cilíndricos de la empresa Tankeros. [52]	108

1.- INTRODUCCIÓN:

Debido a la incipiente necesidad del municipio de Bedia y del Mancomunado de Arratia de una mejora del suministro de agua regenerada, evitando el uso innecesario de agua potable de la red general para el enfriamiento de los procesos industriales en siderurgia, como para el baldeo de calles, extinción de incendios y regadío de zonas agrícolas, el tratamiento terciario a realizar en la EDAR de Bedia se planteará para la totalidad del agua recibida de todo el Mancomunado de Arratia.

Como ya se ha mencionado en la Memoria descriptiva, la EDAR recibe al año un total de 1.408.495 m³ de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, y aguas pluviales. Este caudal, previamente tratado en la EDAR, equivale a 3.858,89 m³/día teniendo máximos de caudal o caudales punta de 6.818 m³/día.

Sin embargo, debido a que en épocas de lluvia la EDAR no puede tratar todo el caudal de agua residual y pluvial que recibe, se considera que el caudal diario que recibe la EDAR es el máximo, para así asegurar el caudal medio que habitualmente recibe y si se produjese una ampliación de la EDAR este pudiera realizar el tratamiento terciario con un caudal mayor.

En definitiva, contando el caudal punta antes mencionado, el dimensionamiento se hará contando con 284 m³/h como caudal de diseño.

2.- TRATAMIENTO TERCIARIO:

Desde la arqueta de salida de la decantación secundaria se dirige el agua clarificada hasta el pozo de bombeo situado justo al lado del decantador secundario. Previo paso por una arqueta de control de circulación de caudales.

3.- ETAPA DE BOMBEO:

Para poder realizar la regeneración de las aguas que salen del decantador secundario mediante el tratamiento terciario es necesario elevar la altura manométrica del agua lo suficiente para que se pueda realizar el tratamiento de ultrafiltración con la presión necesaria. Además, debido a que el tanque de contacto para el tratamiento de Cloración es al aire libre, será necesario incluir impulsores posteriores para poder llenar los tanques de almacenamiento de agua regenerada.

Se ha tomado como referencia bibliográfica el libro de “Maquinaria para tratamiento y depuración de aguas” de José Carlos Segura Cobo, el libro de “Depuración y desinfección de aguas residuales” de Aurelio Hernández Muñoz y el libro de “Mecánica de fluidos incomprensibles y turbomáquinas hidráulicas” de José Agüera Soriano.

3.1.- DIMENSIONAMIENTO DEL POZO DE BOMBEO:

Antes de comenzar con el dimensionamiento del pozo, hay que tener en cuenta que se han de tomar tiempos de retención inferiores a 60 minutos y que como antes se ha mencionado el caudal de diseño para el pozo de bombeo será el del caudal punta 284 m³/h.

- Tiempo de retención (t_R): 5 minutos = 300 segundos
- Caudal de diseño: $Q = 284 \text{ m}^3/\text{h} = 78,89 \text{ L/s}$

Por tanto, teniendo en cuenta el tiempo de retención y el caudal de diseño, el volumen a bombear por el pozo de bombeo, y por tanto el de la bomba, se puede calcular de forma sencilla:

Volumen de agua a bombear (V):

$$V = Q \times t_R = 78,89 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 300\text{s} = 13416 \text{ L}$$

Es decir, la capacidad del pozo tendrá que ser como mínimo de $V = 13416 \text{ L} = 13,416 \text{ m}^3$

Altura del pozo (h):

$$h = \frac{V}{\text{Ancho} \times \text{Largo}} = \frac{13,416 \text{ m}^3}{3 \text{ m} \times 3 \text{ m}} = 1,50 \text{ m}$$

Bastaría con un pozo que tuviese una profundidad de un metro y cincuenta centímetros, pero se sobredimensiona hasta los 2 m.

Obteniendo así un pozo de un volumen de $V = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 18 \text{ m}^3$

3.2.- ELECCIÓN DE LA BOMBA SUMERGIBLE:

Las bombas que serán instaladas deben satisfacer las siguientes características:

- Caudal a bombear: $78,89 \text{ L/s} = 284 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura manométrica a suministrar del agua: 23,0363 m (Anejo II Calculo de la línea de presión y pérdidas de carga, apartado 7.1.)

Tras mirar las diferentes opciones, se ha decidido instalar bombas sumergibles multicanal DMR de la empresa “EBARA”, ya que están principalmente diseñadas para bombear aguas residuales y fecales no corrosivas con sólidos en suspensión. Particularmente adecuadas para el vaciado de fosas sépticas y drenaje de lugares sujetos de inundarse.



Figura 44: Bomba sumergible multicanal DMR. [44]

Este tipo de bombas tienen las siguientes prestaciones:

- Máxima inmersión: 20 m.
- Temperatura máx. del líquido vehiculado: 40°C
- Refrigeración: Mediante el líquido vehiculado.
- Máximo paso de sólidos: 105 mm.

Y está compuesta de los siguientes materiales:

- Cuerpo de impulsión, impulsor, carcasa y tapa de motor: Hierro Fundido GG-25.
- Eje motor: Ac. Inoxidable AISI 420B
- Cierre mecánico: Carburo de Silicio/Silicio
- Cable: Neopreno H07RN/F

La empresa proporciona una serie de tablas de características para, en función de las necesidades de cada proyecto, utilizar la más adecuada:

Modelo	P2 (kW) 3~	Int. absorbida (A) 3~ 400 V	Paso de Sólidos Ø (mm)	DN	l/min m³/h	Q=Caudal											Nº Accesorios			
						200	450	600	900	1050	1200	1500	2100	2700	3300	Kit Acopla.	Curva 90°	Brida roscada	Soporte pie bba.	
						12	27	36	54	63	72	90	126	162	198					
H=Altura manométrica total (m)																				
DRM/A65-106-3,1	3,1	5,8	30	65		14,2	12,9	11,8	9,2	7,8	6	-	-	-	-	2	21		32	
DRM/A65-111-3,6	3,6	6,6	30	65		17,4	16,1	15	12,7	11	9,2	-	-	-	-	2	21		32	
DRM/A80-123-5,0	5,0	9,1	30	80		21	20,1	19,6	17,5	16,7	14,8	11	-	-	-	5	22		32	
DRM/A80-132-6,0	6,0	10,9	30	80		25,5	24	23	20,3	18,8	17	13,5	-	-	-	5	22		32	
DRM/A80-155-7,5	7,5	13,5	30	80		30	28,9	27,8	25	23,3	21,2	16,8	-	-	-	5	22		33	

Modelo	P2 (kW) 3~	Int. absorbida (A) 3~ 400 V	Paso de Sólidos Ø (mm)	DN	l/min m³/h	Q=Caudal											Nº Accesorios			
						450	900	1200	1500	2100	2700	3300	3900	4500	5400	Kit Acopla.	Curva 90°	Brida roscada	Soporte pie bba.	
						27	54	72	90	126	162	198	234	270	324					
H=Altura manométrica total (m)																				
DRM/A100-165-12	12	21,7	40	100		33,8	30,5	28	25,5	19,5	12,5	-	-	-	-	6	23		34	
DRM/A100-175-14,9	14,9	26,8	40	100		37,3	35	32,5	30,5	24,5	17,5	9	-	-	-	6	23		34	
DRM/A100-185-16,6	16,6	29,8	40	100		44	40,6	38	35,5	29,5	22	14	-	-	-	6	23		34	
DRM/A100-195-18,2	18,2	32,6	40	100		46	43,5	41,5	-	-	-	-	-	-	-	6	23		34	
DRM/A100-190-20	20	35,8	40	100		47	44,5	42,9	40,5	34	26	17	-	-	-	6	23		36	
DRM/A150-210-35	35	61,8	50	150		49	48	47,2	46	43,6	40,6	36	32	-	-	7	24		37	
DRM/A150-220-40,2	40,2	71	50	150		53,8	52,5	51,2	50,2	47,5	45	41,8	38,5	-	-	7	24		37	
DRM/A150-230-52	52	90,1	50	150		58,2	57,5	56,5	55,8	53,5	50,5	47	43	38,5	-	7	24		37	

Tabla 13: Tabla de características de las bombas sumergibles DRM. [44]

En función de las necesidades para realizar el tratamiento terciario, la bomba sumergible más adecuada será la, DRM/A150-230-52.

Las características del tipo de bomba seleccionada son:

- Marca: DMR
- Modelo: DRM/A150-230-52
- Potencia: 3 ~ 52 kW
- Tensión nominal: 3 ~ 400 V
- Caudal: de 27 a 270 m³/h
- Altura manométrica total: de 58,2 a 38,5 m en función del caudal

Por lo tanto, el pozo de bombeo constara de 2 bombas sumergibles más una de repuesto para cubrir posibles averías u operaciones de mantenimiento, haciendo un total de 3 bombas colocadas.

Cada bomba trabajará para cubrir como máximo 162 m³/h para así impulsar el agua a una altura manométrica de 50,5 metros, es decir, 5 bares de presión.

De esta forma, se superarán las pérdidas de carga producidas de 23,0363 m y los equipos de ultrafiltración podrán trabajar a una presión más que suficiente.

Dicha presión tiene unos valores de entre 2 y 7 bares para por realizar la ultrafiltración de manera adecuada, tal y como se indica en el siguiente apartado.

Además, también se dispondrá de una cuarta bomba desmontada y guardada fuera del pozo de bombeo para una rápida sustitución en caso de avería.

4.- PROCESO DE MEMBRANA

El efluente tras ser impulsado por las bombas sumergibles en el pozo de bombeo llegara a los procesos de membrana descritos en la memoria descriptiva, la Ultrafiltración.

Es mediante este proceso que se reducirán tanto los sólidos en suspensión del agua a tratar como los microorganismos (Escherichia Coli, Nematodos intestinales y Legionella spp) y la turbidez.

4.1.- CONDICIONES INICIALES DEL EFLUENTE:

Las características del efluente de salida de la EDAR de Bedia previas al tratamiento terciario a dimensionar son:

Sólidos en suspensión SST	8,54 (mg/L)
Demanda biológica de oxígeno DBO5	3,89 (mg O2/L)
Demanda química de oxígeno DQO	46,01 (mg O2/L)
Nitratos N-NH3	0,91 (mg N/L)
Fosfatos P-PO4	0,73 (mg P/L)

Tabla 14: Calidad de las aguas de salida del tratamiento secundario de la EDAR de Bedia.
[Elaboración Propia]

4.2.- ELECCIÓN DEL EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN:

Una vez consultados diferentes catálogos de empresas distribuidoras de los equipos de ultrafiltración y teniendo en cuenta aquellos equipos que logren reducir la turbidez, sólidos en suspensión y microorganismos, de tal manera que alcancemos los requisitos necesarios según la normativa para su reuso, existen dos tipos de equipos de ultrafiltración:

- Ultrafiltración Convencional
- Ultrafiltración Continua

Las dos tipologías de equipo de ultrafiltración han sido escogidas del catálogo de la empresa especializada en tratamiento de aguas "Fluytec".

La tecnología de producción continua, permite producir un caudal constante de agua ultrafiltrada incluso durante los lavados.

Esta innovación evita la instalación de los depósitos y bombas de retrolavado, así como los depósitos pulmón y bombas de transferencia a procesos instalados aguas abajo.

Todo ello conlleva los siguientes beneficios y ventajas:

- Producción continua: Incluso durante lavados
- Menor Espacio: Hasta un 75% menos de espacio por la eliminación de tanques, bombas, etc.
- Menor coste y mantenimiento: Gracias a la eliminación de equipo, controles, terreno, etc.

Por dichos motivos, y ya que las características de filtración de ambos equipos son similares, se utilizará la Ultrafiltración Continua en la ampliación de la EDAR de Bedia.

Los parámetros de utilización del equipo de ultrafiltración continua que se va a utilizar en este proyecto, cuya información ha sido suministrada por la empresa “Fluytec”, son los siguientes:

Requerimientos del agua de alimentación		
	Típico en uso	Máximo permitido
Turbidez (UNT)	<50	300
Sólidos en Suspensión SST (mg/L)	<50	100
Carbono orgánico total	<10	40
Demanda química de oxígeno DQO (mgO₂/L)		60
Presencia de Cloro (mg/L)	0,5	200
Aceites/Grasas (mg/L)	0	<2
pH	6 – 9	2 – 11
Temperatura (°C)	25	40

Tabla 15: Requerimientos del agua de alimentación del equipo de ultrafiltración continua. [Elaboración propia] [45]

Una vez conocidos los requerimientos del agua a la entrada del equipo de del agua a la entrada del equipo de ultrafiltración, se decidirá si hay que hacer pretratamientos al efluente de entrada o si las condiciones del agua que sale del pozo de bombeo cumplen con los estándares exigidos por los equipos de ultrafiltración.

Por lo tanto, comparamos las características iniciales del efluente con la tabla de Requerimientos del agua de alimentación.

Tal y como indica la Tabla 15, el equipo de ultrafiltración tiene problemas para trabajar cuando el efluente de salida del tratamiento secundario se encuentra a una temperatura superior a 40°C. Sin embargo, se considerará que el agua se encuentra a temperatura ambiente.

Analizando el pH, se observa que los equipos de ultrafiltración permiten trabajar con un grado de acidez o basicidad muy amplio (2 – 11) y debido a que las aguas residuales que recibe la EDAR tienen un pH neutro (7,77), no es necesario aplicar ningún tipo de proceso de estabilización.

En lo que a los factores físicos respecta, la cantidad de sólidos en suspensión que contiene el agua depurada (8,54 mg/L) es claramente inferior al valor típico de operación de la instalación de ultrafiltración (50 mg/L). Aunque no se disponga del dato de turbidez, considerando la

estrecha relación que existe entre los sólidos en suspensión y la turbidez en el agua, se puede asimilar que ésta también será inferior al valor típico admitido a la entrada del tratamiento.

Así pues, no será necesario disponer pretratamientos físicos antes del proceso de membrana.

Analizando los parámetros microbiológicos/orgánicos, se puede ver que la Demanda Química de Oxígeno del agua (46,01 mgO₂/L) está por debajo de los 60 mgO₂/L de máxima que se aceptan para el normal funcionamiento de la instalación. Al igual que antes la Dirección de Explotación de la EDAR de Bedia no tiene los datos del Carbono Orgánico Total del agua depurada, por no ser uno de los parámetros a controlar, al menos directamente, según la normativa de vertido. Aun así, se va a suponer que cumpliendo con la DQO también se cumplirá con el COT.

Por consiguiente, tampoco se requerirá la disposición de pretratamientos de esterilización antes de la ultrafiltración.

La limitación en la presencia de Cloro ha llevado a determinar que, en el orden de aplicación de los tratamientos, la ultrafiltración se disponga antes que la cloración. De esta forma, las membranas no se verán afectadas por dosis de cloro que puedan dañar, sobre todo a largo plazo, los polímeros que las conforman.

Debido a los diferentes procesos de flotación y desengrasado que se llevan a cabo en el pretratamiento y tratamiento secundario, los aceites y las grasas tras la decantación del proceso biológico se van a considerar por debajo de los 2 mg/L límite.

4.3.- INSTALACIÓN:

Una vez determinado que equipo de ultrafiltración a instalar, existen diferentes modelos dependiendo fundamentalmente de su producción de agua tratada y número de módulos en la empresa "FLUYTEC":

Modelos c-UF

Modelo	c-UF4XS	c-UF4S	c-UF05	c-UF08
Producción	1.0 - 5.0 m ³ /h	3.0 - 8.0 m ³ /h	8.0 - 30.0 m ³ /h	20.0 - 50.0 m ³ /h
Nº de módulos UF	4	4	5	8
Modelo de módulo	FUM-012	FUM-020	FUM-060	FUM-060
Dimensiones, mm (LxWxH)	2.850 x 850 x 1.850	3.420 x 945 x 1.850	5.090 x 970 x 2.280	4.880 x 1.355 x 2.280
Conexiones				
- Alimentación	d32 flange	d40 flange	d75 flange	d110 flange
- Producto	d32 flange	d40 flange	d75 flange	d110 flange
- Rechazo	d32 flange	d40 flange	d75 flange	d110 flange
Modelo	c-UF14	c-UF20	c-UF26	c-UF40
Producción	30 - 80 m ³ /h	50 - 110 m ³ /h	65 - 150 m ³ /h	100 - 240 m ³ /h
Nº de módulos UF	14	20	26	40
Modelo de módulo	FUM-060	FUM-060	FUM-060	FUM-060
Dimensiones, mm (LxWxH)	6.080 x 1.355 x 2.280	7.280 x 1.355 x 2.280	8.480 x 1.355 x 2.280	11.300 x 1.355 x 2.280
Conexiones				
- Alimentación	d125 flange	d140 flange	d160 flange	d225 flange
- Producto	d125 flange	d140 flange	d160 flange	d225 flange
- Rechazo	d125 flange	d140 flange	d160 flange	d225 flange

Tabla 16: Modelos de ultrafiltración continua disponibles en la empresa Fluytec. [45]

De acuerdo con las características de la EDAR de Bedia, y el caudal de diseño (284 m³/h) colocaremos dos equipos de ultrafiltración en paralelo c-UF40 de 40 módulos de ultrafiltración cada uno, capaces de producir entre 100 y 240 m³/h de agua tratada.

Por lo tanto, esta instalación producirá una media de 340 m³/h sin necesidad de trabajar con caudales cercanos a su límite de capacidad, lo cual favorecerá a unas posibles ampliaciones en el futuro.



Figura 45: Equipo de ultrafiltración continua de Fluytec. [45]

Los diámetros de la instalación que se emplearan en las conexiones de alimentación y producto vienen ya prefijados de fábrica, cuyo valor mínimo es:

- Tubería de entrada para la alimentación: d225 flange (225 mm)
- Tubería de salida del producto: d225 flange (225mm)

Cabe destacar que, tal y como antes se ha mencionado, la instalación de un equipo de ultrafiltración continua evita la instalación de los depósitos y bombas de retrolavado, así como los depósitos pulmón y bombas de transferencia a procesos instalados aguas abajo, lo que simplifica su instalación y su uso, ya que mientras uno de los módulos se limpia con la propia agua tratada los demás módulos siguen funcionando a pleno rendimiento.

Los parámetros de operación del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 son los siguientes:

Recobro de agua	85 - 95%
Presión transmembrana	0,2 - 2 bar
Presión de operación	2 - 7 bar
Contrapresión	> 1,5 bar
Diámetro poros	(0,001 - 0,1 μm)
Consumo de energía	< 0,1 kWh/m ³
Voltaje	400 VAC/3/50 Hz

Tabla 17: Parámetros de operación del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 [Elaboración Propia] [45]

Obteniendo la siguiente calidad de permeado:

Permeado de alta calidad	SDI15 < 2,5
Turbidez	< 0,2 NTU
Alto rechazo de bacterias	> 9 log
Alto rechazo de virus	> 5 log

Tabla 18: Calidad de permeado del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 [Elaboración Propia] [45]

Es decir, el equipo c-UF40 puede trabajar a una presión de operación de entre 2 a 7 bares, siendo 7 bares la presión máxima de operación, presión a la cual el equipo puede sufrir problemas o roturas por exceso de presión, y 2 bares la presión mínima de operación, ya que, si no se alcanza dicho valor mediante las bombas sumergibles, no se produciría adecuadamente el proceso de ultrafiltración.

Otro parámetro importante es la presión transmembrana, que sería la caída de presión que se produce debido al uso de estos equipos en el efluente impulsado por las bombas sumergibles cuando los poros de las membranas están llenos, siendo esta caída de presión de 2 bares cuando los poros están colmados y de 0,2 bares cuando los módulos están recién lavados.

La contrapresión es la caída de presión producida en el lavado de los módulos, pero debido a que estos equipos ya vienen dimensionados de fábrica con las bombas necesarias para cumplir dicha contrapresión, no tendremos en cuenta este valor en el cálculo del dimensionamiento del equipo de ultrafiltración continua.

Por lo tanto, obtenemos un alto rechazo de virus y bacterias, y unos valores de turbidez más que aceptables ya que el máximo requerido según la normativa es de 1 UNT. [45]

Además, los diferentes equipos que integran el proceso de ultrafiltración, es decir, los dos equipos c-UF40 irán dentro de un módulo prefabricado de 7 metros de ancho, 15 metros de largo y 4 metros de alto de los pilares.

La cubierta estará formada por un panel sándwich de 30 centímetros prelacado más un falso techo PURAL de 30 centímetros y la fachada estará formada por un panel sándwich de 35 centímetros.

La superficie total de la nave será de 120 m² con una pendiente de cubierta del 25% cuya altura de la cumbrera será de 5 metros, considerando, debido a la zona en la que se encuentra la EDAR de Bedia una carga de nieve de 37 kg/m² y una carga de viento de 84 kg/m², según los datos aportados por la empresa que montará la nave prefabricada, "PATEC".



Figura 46: Diseño 3D de la nave prefabricada para la protección del equipo de ultrafiltración. [46]

5.- DESINFECCION DE MANTENIMIENTO

Tras el proceso de ultrafiltración, como ya hemos mencionado en la memoria descriptiva, es necesario una post-desinfección de seguridad mediante cloración para evitar que los virus y bacterias eliminados mediante la ultrafiltración vuelvan a aparecer.

La EDAR de Bedia no dispone de una cámara de cloración en su tratamiento secundaria, por lo que se procederá a la construcción de dicha cámara.

Al igual que en el proceso de ultrafiltración, el caudal de partida para el dimensionamiento de la cámara de cloración será el caudal de diseño previamente calculado.

En un tanque de cloración, en condiciones estacionarias y en el que no exista ningún tipo de recirculación, el tiempo de contacto vendrá dado por:

$$TRH = V/Q$$

Donde V es el volumen del tanque, Q será el caudal a tratar y TRH el tiempo de residencia hidráulico.

El cálculo ha de plantearse para el peor escenario posible, que en principio será para el caudal máximo.

El tanque se dimensiona para cumplir un Concentración de desinfectante total (CT) suficiente que consiga inactivar los patógenos. Este valor de CT dependerá de la temperatura del agua, del pH, del tipo de patógeno... [47]

Las técnicas de almacenamiento, manipulación y dosificación dependerán de las diferentes formas en que podemos encontrar los compuestos de cloro utilizados en desinfección.

Hipoclorito de sodio (NaClO): Se suele utilizar en pequeñas comunidades. Se presenta en forma líquida. El hipoclorito se almacena en depósitos y se bombea e introduce directamente a la masa de agua mediante una bomba dosificadora. Cuando los consumos son muy bajos se puede diluir el desinfectante en agua para tener que bombear caudales mayores, pero con bombas comerciales.

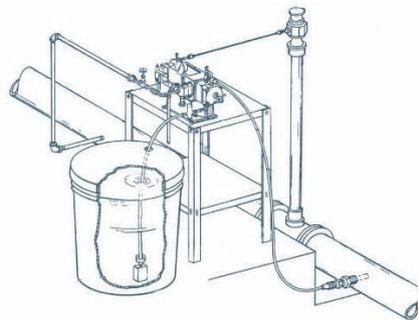


Figura 47: Detalle de la cloración mediante hipoclorito de sodio (NaClO). [48]

Cloro gas: Se utiliza en grandes y medianos abastecimientos. Se suministra en botellas a presión. La presión interna de éstas depende de la temperatura y se eleva con la misma.

Pueden utilizarse depósitos en forma de botella, provistos en su parte superior de una llave de paso, mediante cuya apertura se obtiene cloro gaseoso a la presión correspondiente a la temperatura del cloro líquido. No es recomendable la inyección del gas directamente al agua, por lo que se utilizan formas indirectas. En el diagrama de la figura siguiente se presentan los elementos de una instalación típica.

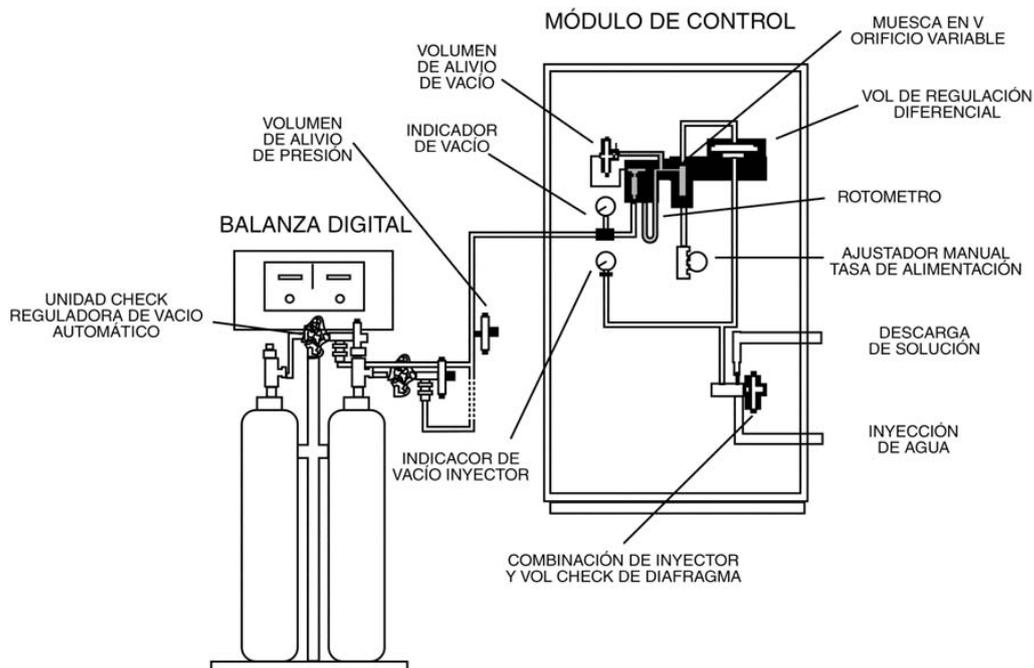


Figura 48: Detalle de la cloración mediante Cloro gas. [49]

El clorador debe suministrar siempre la misma dosis, aunque la presión del gas cambie. Una solución habitual es mezclar el gas con agua mediante un sistema de aspiración hidráulica que extrae el cloro de un sistema con dispositivos de regulación y de medición.

Hay que tener muy en cuenta en las instalaciones la toxicidad y agresividad del cloro. Se debe colocar sistemas de protección contra fugas y de neutralización.

Por dichos motivos, se utilizará el hipoclorito de sodio (NaClO) como agente desinfectante ya que es un proceso de desinfección mucho más seguro y sencillo que el empleo de cloro gas.

Una vez realizada la dosificación, el agua debe estar en contacto con el cloro un determinado tiempo para que la desinfección sea efectiva. En aguas potables se utilizan tiempos de contacto superiores a los 30 minutos, que se suelen cumplir en los depósitos de almacenamiento. En aguas residuales que se van a verter hay que construir depósitos laberínticos especiales, tanques de desinfección, para tener tiempos de retención superiores a 15 minutos.

Dicha dosificación se realizará de forma automática mediante equipos de control en función del caudal de entrada a la cámara de cloración ya que esta variará en función de la demanda.

5.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE CLORACIÓN

La cámara de cloración será un depósito de forma cubica formado por hormigón armado recubierto de una capa que lo proteja.

Los parámetros de partida para su dimensionamiento serán:

- Caudal a tratar: $Q = 284 \text{ m}^3/\text{h} = 78,89 \text{ L/s}$
- Tiempo de residencia hidráulico: $TRH = 60 \text{ minutos}$
Es el tiempo promedio que una parcela de agua que ingresa al depósito se demora en salir. La recomendación para este parámetro es 30 minutos, pero para garantizar una mejor desinfección se aumenta este parámetro.
- Dosis de cloro: $D = 5 \text{ mg/L}$ de Cloro

La dosis de cloro a emplear va en función de factores como el tipo de agua a tratar, y los requisitos del efluente a la salida del tratamiento. A modo general, se pueden considerar dosis adecuadas las siguientes:

- Dosis para agua residual sin tratar: 6-25 mg/l
- Dosis a la salida de fangos activos: 1-5 mg/l
- Dosis típica: 5-20 mg/l

Por lo tanto:

$$V = Q \times TRH = 78,89 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 3600\text{s} = 284000\text{L} = 284 \text{ m}^3$$

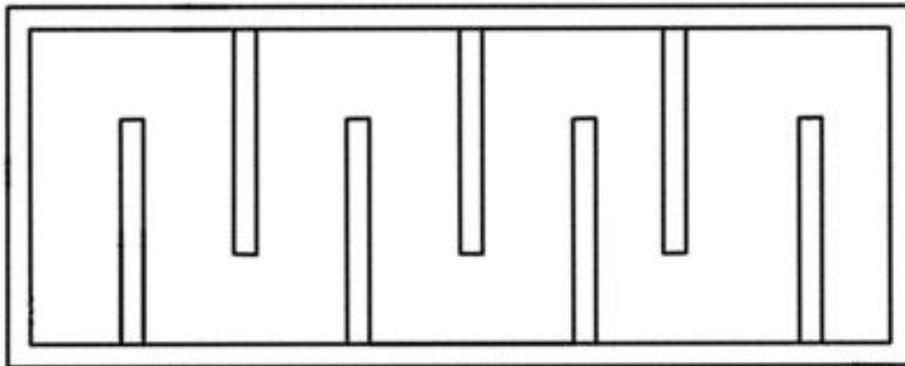


Figura 49: Vista en planta de la cámara de cloración. [Elaboración Propia]

Debido a las características de la EDAR de Bedia, en concreto el espacio disponible dentro de ella para la colocación de nuevos equipos, las dimensiones del tanque serán las siguientes:

- Ancho: 8 metros
- Largo: 20 metros

Con dichas dimensiones y un volumen mínimo de cámara de cloración de 284 m^3 obtenemos la profundidad de dicha cámara:

$$\text{Profundidad de camara} = \frac{V_{camara}}{A_{util}} = \frac{284m^3}{133,06m^2} = 2,13m$$

Se tomará como valor 0,3 metros para ancho de las paredes, ya que suele ser el ancho típico para este tipo de tanques de hormigón armado.

Para tener números más redondos y con la intención de prever futuras ampliaciones, se toma como valor de la profundidad de la cámara de cloración 3 metros. Obteniendo así un Volumen Útil (V_{util}) de:

$$A_{paredes} = 2 \times (20m \times 0,3m + 7,4m \times 0,3m) + 7 \times (5m \times 0,3m) = 26,94m^2$$

$$A_{total} = 20m \times 8m = 160m^2$$

$$A_{util} = A_{total} - A_{paredes} = 133,06m^2$$

$$V_{Util} = A_{util} \times 3m = 133,06m^2 \times 3m = 399,18m^3$$

Volumen más que suficiente para el proceso de desinfección del efluente procedente de la ultrafiltración continua.

Por último, para el cálculo del consumo medio diario (C_{med}) de Cloro se considerará que la dosis media por litro para la desinfección del agua residual será de 5 mg de Cl/L, tal y como antes se menciona, obteniendo un valor de:

$$C_{med} = Q \times D \times 24 \text{ horas}$$

$$C_{med} = 284 \frac{m^3}{h} \times \frac{1000 L}{m^3} \times \frac{5 \text{ mg de Cl}}{L} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} \times 24h = 34,08 \text{ kg de Cloro/dia}$$

Teniendo en cuenta que el Hipoclorito de sodio (NaClO) tiene una riqueza de entre el 13 - 18% de Cloro (Cl), se necesitaran diariamente unos 476,8 kg de disolución de NaClO/día.

$$34,08 \frac{\text{kg Cl}}{\text{dia}} * \frac{74,5 \text{ kg NaClO}}{35,5 \text{ kg Cl}} * \frac{100 \text{ kg disolucion}}{15 \text{ kg NaClO}} = 476,8 \text{ kg de disolucion}$$

Dado que la densidad de la disolución de hipoclorito de sodio es de 1,11 g/cm³ el volumen diario a emplear en la cloración será de 429,55 L/día, en caso de que se trabajase con el caudal de diseño (caudal punta).

5.2.- SUMINISTRO DEL AGENTE DESINFECTANTE:

Para el suministro del agente desinfectante en tanque de contacto, en este caso, Hipoclorito de sodio (NaClO), será necesario la utilización de un equipo de cloración convencional compuesto por:

- Depósito de almacenamiento de cloro.
- Sistema de medición y control.
- Sistema de inyección.

El hipoclorito de sodio es un compuesto químico altamente oxidante por lo que requiere de unos depósitos con determinadas características para poder garantizar su almacenamiento seguro y fiable.

VOLUMEN	DIAMETRO	ALTURA CILINDRICA (Hc)	TAPA CONICA 15°		TAPA TORIESFERICA	
			ALTURA TAPA	ALTURA TOTAL	ALTURA TAPA	ALTURA TOTAL
(m3)	mm	mm	mm	mm	mm	mm
5	1600	2487	214	2701	310	2797
5	2000	1592	268	1860	388	1980
7,5	2000	2387	268	2655	388	2775
10	2000	3183	268	3451	388	3571
10	2400	2210	322	2532	466	2676
12,5	2000	3979	268	4247	388	4367
12,5	2400	2763	322	3085	466	3229
15	2000	4775	268	5043	388	5163
15	2400	3316	322	3638	466	3782
20	2400	4421	322	4743	466	4887
20	3000	2829	402	3231	582	3411
25	3000	3537	402	3939	582	4119
25	3300	2923	442	3365	640	3563
30	3000	4244	402	4646	582	4826
30	3300	3508	442	3950	640	4148
35	3000	4951	402	5353	582	5533

Tabla 19: Catalogo de tanques de almacenamiento de hipoclorito de sodio (NaClO).
 [Elaboración Propia] [50]

De acuerdo con los tanques de almacenamiento de hipoclorito de sodio disponibles en la empresa "EFISA" utilizaremos el tanque de tapa cónica 15° de 10 m³ y 2000 mm de diámetro para así dar servicio a la cámara de cloración durante 24 días.

$$10.000 L * \frac{429,55 L}{dia} = 23,28 dias \rightarrow 24 dias$$



Figura 50: Tanques de almacenamiento de hipoclorito de sodio (NaClO). [51]

En lo que al equipo de medición y control respecta, se colocara dentro de la nave prefabricada para que este no sufra ningún desperfecto ante días lluviosos, al igual que la bomba encargada de llevar el agente desinfectante desde el depósito de almacenamiento hasta la tubería de salida del equipo de ultrafiltración, para así mezclar el hipoclorito de sodio (NaClO) con el agua filtrada.

El equipo de medición será el panel regulador con medidor C640 montado en panel PE-HD de la empresa "FILTEC", incluyendo todos los accesorios necesarios, según la configuración, para su correcto funcionamiento como: filtro protección, sonda, portasondas, válvulas de ajuste de caudal, tuberías de alimentación hidráulica, electroválvula (modelo purga automática), válvula toma de muestras, etc.



Figura 51: Equipo de medición y control del cloro. [39]

Por último, el sistema de inyección estará compuesto por una bomba dosificadora controlada por el equipo de medición y control para regular el caudal de hipoclorito de sodio (NaClO) a suministrar para garantizar una correcta cloración del agua tratada y la cantidad de cloro residual necesario para su posterior almacenamiento. La bomba dosificadora que se empleará será una HC997 pH / Rx-4 de la empresa "FILTEC" con una capacidad 20 L/h a máximo rendimiento y de 10 L/h a 4 bares de presión en condiciones normales, valores más que suficientes para los 17,9 L/h que requiere la cámara de cloración.

$$429,55 \frac{L}{dia} * \frac{1 dia}{24 horas} = 17,9 L/hora$$

6.- ETAPA DE BOMBEO POST-DESINFECCIÓN

Para poder almacenar el caudal de agua ya tratada y desinfectada en los tanques de almacenamiento, será necesario la utilización de un pozo de bombeo prefabricado que reciba dicho caudal por gravedad y que mediante bombas sumergibles sea propulsado, ya que éste, al pasar de los equipos de ultrafiltración a la cámara de cloración, se encontrará a la presión atmosférica (1 atm) debido a que el agua está al aire libre.

6.1.- DIMENSIONAMIENTO DE POZO DE BOMBEO

A diferencia del pozo de bombeo inicial para el agua procedente del tratamiento secundario, éste no necesitara de un tiempo de retención tan elevado ya que no tendrá partículas en suspensión que necesite depositar en el fondo ya que estas han sido previamente eliminadas mediante el equipo de ultrafiltración.

Por lo tanto:

- Tiempo de retención (t_R): 2 minutos = 120 segundos
- Caudal de diseño: $Q = 284 \text{ m}^3/\text{h} = 78,89 \text{ L/s}$

Volumen de agua a bombear (V):

$$V = Q \times t_R = 78,89 \frac{\text{L}}{\text{s}} \times 120 \text{ s} = 9466,8 \text{ L}$$

Es decir, la capacidad del pozo tendrá que ser como mínimo de $V = 9466,8 \text{ L} = 9,4668 \text{ m}^3$

6.2.- ELECCIÓN DEL POZO DE BOMBEO Y BOMBAS SUMERGIBLES:

Las bombas que serán instaladas deben satisfacer las siguientes características:

- Caudal a bombear: $78,89 \text{ L/s} = 284 \text{ m}^3/\text{h}$
- Altura manométrica a suministrar del agua: 8,9289 m (Anejo II Calculo de la línea de presión y perdidas de carga, apartado 7.2.)

Una vez consultados diferentes catálogos de empresas distribuidoras de pozos de bombeo y bombas sumergibles, y teniendo en cuenta el volumen mínimo y el caudal de agua a bombear, en el catálogo de la empresa "SALHER" disponen de los siguientes equipos:

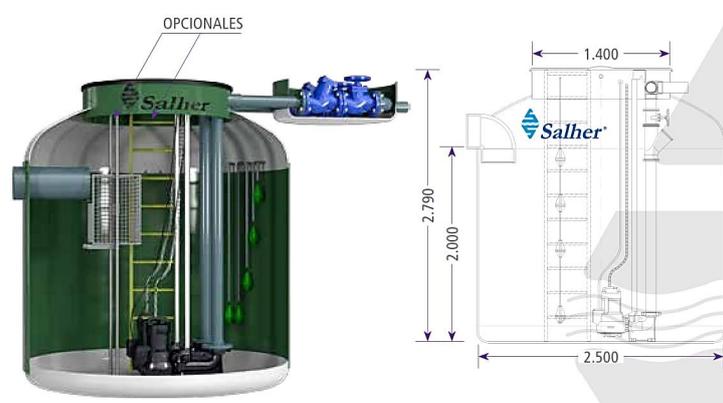


Figura 52: Pozo de bombeo prefabricado Salher. [40]

REFERENCIA	VOL.TOTAL [LITROS]	VOL. ÚTIL [LITROS]	BOMBAS UDS/KW/TENSIÓN	Ø [MM]	ALTURA [MM]	IMPULSIÓN Ø [MM]	Ø T [MM]
CVC-PB-D-1	11.800	9.800	2X5,5 KW III	2.500	2.790	DN100	110-300
CVC-PB-D-2	11.800	9.800	2X7,5 KW III	2.500	2.790	DN100	110-300
CVC-PB-D-3	11.800	9.800	2X11 KW III	2.500	2.790	DN100	110-300
CVC-PB-D-4	11.800	9.800	2X15 KW III	2.500	2.790	DN100	110-300

Nota: Caja de válvulas incluida.

Características bombas: rodete impulsor vortex

BOMBA	POTENCIA (KW)	TENSIÓN (V)	INTENSIDAD (A)		CAUDAL M ³ /H										Ø PASO SÓLIDOS		
					20	40	60	80	100	120	150	180	200	250			
1	5,5	400V T	12,6	M.C.A.	10,7	9,8	9,1	8,4	7,6	6,5						98	
2	7,5	400V T	16,9				13,1	12,3	11,5	10,6	9,8						98
3	11	400V T	22,8				16,2	15,2	14,2	13,4	12,5	11,1	9,8				100
4	15	400V T	30				19,4	18,5	17,7	16,8	15,8	14,4	13	12,1			100

Tabla 20: Tabla de Características de los diferentes pozos de bombeo Salher. [40]

De acuerdo con el volumen mínimo a bombear y la altura manométrica a suministrar del agua, utilizaremos el pozo de bombeo CVC-PB-D-4, que puede llegar a constar de hasta 4 bombas rodete impulsor tipo Vortex.

Las características del tipo de pozo de bombeo son:

- Marca: Salher
- Modelo: CVC-PB-D-4
- Volumen total: 11800 L
- Volumen útil: 9800 L

Las características del tipo de bomba seleccionada son:

- Marca: Salher
- Modelo: CVC-PB-D-4
- Potencia: 3 ~ 15 kW
- Tensión nominal: 3 ~ 400 V
- Caudal: de 40 a 200 m³/h
- Altura manométrica total: de 19,4 a 12,1 m en función del caudal

Por lo tanto, el pozo de bombeo constará de una capacidad de 9800 litros útiles, suficientes para almacenar los 9466,8 L. Además, albergará de 2 bombas sumergibles de base, proporcionadas dentro del modelo de pozo de bombeo, más una de repuesto para cubrir posibles averías u operaciones de mantenimiento, haciendo un total de 3 bombas colocadas.

Cada bomba es capaz de impulsar un caudal de aguade 200 m³/h a una altura manométrica de 12,1 metros, es decir, 1,2 bares de presión a su máximo capacidad de trabajo. De esta forma, se superarán las pérdidas de carga producidas de 8,9289 m.

Además, también se dispondrá de una cuarta bomba desmontada y guardada fuera del pozo de bombeo para una rápida sustitución en caso de avería.

7.- TANQUES DE ALMACENAMIENTO:

Tal y como en la memoria descriptiva hemos mencionado, para poder abastecer los servicios de baldeo de calles y extinción de incendios en el municipio de Arratia, la refrigeración industrial de la industria siderúrgica de Bedia y para el regadío de las zonas agrícolas del municipio, es necesario la colocación de tanques de almacenamiento del agua ya ultrafiltrada y clorada.

7.1.- DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO:

Para la instalación de los tanques de almacenamiento se utilizará el catálogo de la empresa "TANKEROS", una de las empresas de fabricación de depósitos de agua con más de 1.100 proyectos desarrollados alrededor del mundo y más de 20 años de experiencia en el sector, la empresa de depósitos de agua multifuncionales más grande de España y una de las más importantes a nivel internacional.

En su catálogo se podrá encontrar dos tipos de depósitos:

- Tanques de agua cilíndricos: Son muy eficientes en el uso del espacio, logrando una gran capacidad en lugares reducidos. Se puede mejorar la capacidad agrupando varios tanques de agua.

Los tanques se construyen con planchas de acero galvanizado de 2,5 m de largo por 1,25 m de ancho que solapan unas sobre otras. Las planchas, cuyo espesor está en función del diámetro y la altura del depósito, se fabrican conforme a las normas EN 10142 y EN 10111 1998. Las chapas tienen punzonado todo su perímetro para acoplar perfectamente en obra sin necesidad de mecanización posterior. Este ensamblaje se hace con tornillos especiales dispuestos con la cabeza redonda al interior y la tuerca al exterior.

La superficie interior (en depósitos de masilla) se cubre con una pintura bituminosa de color negro que protege la chapa del contacto directo con el agua y oscurece el interior para reducir la aparición de microorganismos. En caso de agua potable o aguas con altos índices de corrosión, el interior se recubre con un revestimiento elástico de poliuretano con gran resistencia a la abrasión.

Las planchas, cuyo espesor está en función del diámetro y la altura del depósito, se fabrican conforme a las normas UNE-EN-10130. Los perfiles están sometidos a tratamiento de galvanizado continuo que supera los 275 gramos de zinc por m² según norma EN 10142. El resto de las piezas: planchas, tornillería y bridas se galvanizan en caliente (Z600) conforme a las normas EN 1461



Figura 53: Tanque de almacenamiento cilíndrico. [41]

- Tanques de agua rectangulares: Son los más utilizados en espacios cerrados y limitados por las formas del edificio. Perfectos para garajes, salas de calderas, azoteas, etc.

La ventaja fundamental de los tanques rectangulares de agua es su facilidad para adaptarse al espacio donde se instalan (cuadrado, rectangular, en forma de "L"). Permiten incluso salvar columnas o dejarlas dentro del depósito. Son perfectos para garajes, salas de calderas, azoteas... consiguiendo la máxima capacidad en el mínimo espacio.

Consisten en una sola virola de planchas plegadas en "greca" de hasta 2,5 m de altura y 1 m de ancho. Dependiendo de sus dimensiones los tanques se refuerzan interiormente con tensores o correas transversales.

Las especificaciones de los materiales son las mismas que para los tanques cilíndricos.



Figura 54: Tanque de almacenamiento rectangular. [41]

Por lo tanto, debido a las características de la EDAR de Bedia, al espacio disponible y que estará en el exterior, utilizaremos tanques de agua cilíndricos.

Observando el catálogo de tanques de agua cilíndricos disponibles por la empresa "TANKEROS", solo podemos disponer unos diámetros y unas alturas de tanque determinadas, tal y como aparece en la Table 18.

Medidas y Capacidades de los Tanques Cilíndricos.																			TANKEROS		
Altura (m):	1,250	1,790	2,438	2,978	3,626	4,166	4,814	5,354	6,002	6,542	7,190	7,730	8,378	8,918	9,566	10,106	10,754	11,294	11,942		
Altura Referencia:	01	15	02	25	03	35	04	45	05	55	06	65	07	75	08	85	09	95	10		
Ø (m)	Radio (m)	Ø ref.	m ³																		
3,048	1,524	04	6	10	15	18	23	27	32	36	41	44	49								
3,810	1,905	05	9	15	23	29	36	42	50	56	63	69	77	83	90						
4,572	2,286	06	13	22	33	42	52	61	72	81	91	100	111	120	130	139	150				
5,334	2,667	07	18	30	44	56	71	83	98	110	124	136	151	163	177	189	204	216	230		
6,096	3,048	08	23	39	58	74	93	108	127	143	162	178	197	212	231	247	266	282	301	316	335
6,858	3,429	09	30	49	73	93	117	137	161	181	205	225	249	269	293	313	337	357	381	401	425
7,620	3,810	10	36	61	91	115	145	169	199	224	253	278	307	332	362	386	416	440	470	495	524
8,382	4,191	11	44	74	110	139	175	205	241	271	306	336	372	402	437	467	503	533	569	598	634
9,144	4,572	12	53	88	131	166	209	244	287	322	365	400	443	478	521	556	599	634	677	712	755
9,906	4,953	13	62	103	153	195	245	286	336	378	428	470	519	561	611	653	703	744	794	836	886
10,668	5,334	14	72	120	178	226	284	332	390	438	496	545	602	651	709	757	815	863	921	969	1.027
11,430	5,715	15	82	137	204	259	326	381	448	503	570	625	692	747	813	869	935	991	1.057	1.113	1.179
12,192	6,096	16	93	156	232	295	371	434	509	573	648	711	787	850	926	989	1.064	1.127	1.203	1.266	1.342
12,954	6,477	17	105	177	262	333	419	490	575	646	732	803	888	959	1.045	1.116	1.201	1.273	1.358	1.429	1.515
13,716	6,858	18	118	198	294	374	469	549	645	725	820	900	996	1.076	1.171	1.251	1.347	1.427	1.522	1.602	1.698
14,478	7,239	19	132	221	327	416	523	612	718	807	914	1.003	1.110	1.199	1.305	1.394	1.501	1.590	1.696	1.785	1.892
15,240	7,620	20	146	244	363	461	579	678	796	895	1.013	1.111	1.229	1.328	1.446	1.545	1.663	1.761	1.880	1.978	2.096
16,002	8,001	21	161	269	400	508	639	747	878	986	1.117	1.225	1.355	1.464	1.594	1.703	1.833	1.942	2.072	2.181	2.311
16,764	8,382	22	177	296	439	558	701	820	963	1.082	1.225	1.345	1.488	1.607	1.750	1.869	2.012	2.131	2.274	2.394	2.537
17,526	8,763	23	193	323	480	610	766	896	1.053	1.183	1.339	1.470	1.626	1.756	1.913	2.043	2.199	2.329	2.486	2.616	2.772
18,288	9,144	24	210	352	522	664	834	976	1.146	1.288	1.458	1.600	1.770	1.912	2.083	2.224	2.395	2.536	2.707	2.848	3.019
19,050	9,525	25	228	382	567	721	905	1.059	1.244	1.398	1.582	1.736	1.921	2.075	2.260	2.414	2.598	2.752	2.937	3.091	3.275
19,812	9,906	26	247	413	613	779	979	1.146	1.345	1.512	1.712	1.878	2.078	2.244	2.444	2.611	2.810	2.977	3.177	3.343	3.543
20,574	10,287	27	266	445	661	840	1.056	1.235	1.451	1.630	1.846	2.025	2.241	2.420	2.636	2.815	3.031	3.210	3.426	3.605	3.821
21,336	10,668	28	286	479	711	904	1.136	1.329	1.560	1.753	1.985	2.178	2.410	2.603	2.835	3.028	3.259	3.452	3.684	3.877	4.109
22,098	11,049	29	307	514	762	970	1.218	1.425	1.674	1.881	2.129	2.336	2.585	2.792	3.041	3.248	3.496	3.703	3.952		
22,860	11,430	30	328	550	816	1.038	1.304	1.525	1.791	2.013	2.279	2.500	2.766	2.988	3.254	3.476	3.742	3.963			
23,622	11,811	31	351	587	871	1.108	1.392	1.629	1.913	2.149	2.433	2.670	2.954	3.190	3.474	3.711	3.995				
24,384	12,192	32	374	626	928	1.181	1.483	1.735	2.038	2.290	2.593	2.845	3.147	3.400	3.702	3.954					
25,146	12,573	33	397	665	987	1.255	1.577	1.845	2.167	2.435	2.757	3.025	3.347	3.615	3.937						
25,908	12,954	34	422	706	1.048	1.333	1.674	1.959	2.301	2.585	2.927	3.212	3.553	3.838							
26,670	13,335	35	447	749	1.111	1.412	1.774	2.076	2.438	2.740	3.102	3.403	3.765	4.067							
27,432	13,716	36	473	792	1.175	1.494	1.877	2.196	2.579	2.896	3.281	3.601	3.964								
28,194	14,097	37	499	837	1.241	1.578	1.983	2.320	2.725	3.062	3.466	3.803									
28,956	14,478	38	527	882	1.309	1.665	2.091	2.447	2.874	3.229	3.656	4.012									
29,718	14,859	39	555	929	1.379	1.754	2.203	2.578	3.027	3.402	3.851										
30,480	15,240	40	584	978	1.451	1.845	2.317	2.711	3.184	3.578	4.051										

fuente: Tankeros S.L.

Tabla 21: Medidas y capacidades de los tanques cilíndricos de la empresa Tankeros. [52]

Teniendo en cuenta el caudal de diseño para la ampliación de la EDAR, al día pueden llegar a tratar 6816 m³ de agua que ha de ser almacenada en caso de no poder usarse a media que se va regenerando.

Por lo tanto, teniendo en cuenta el espacio disponible en EDAR, se colocarán dos tanques de agua en línea de 6,002 metros de alto (Altura de referencia 05) y 18,228 metros de diámetro (diámetro referencia 24) el primero y 10,668 metros de diámetro (diámetro de referencia 14) el segundo.

El primer tanque de 18,228 metros de diámetro tendría un volumen útil de 1458 m³ y el segundo tanque de 10,668 metros de diámetro tendría un volumen útil de 496 m³, que sumados darían un volumen útil de 1954 m³.

Por lo que, teniendo en cuenta que un día a pleno rendimiento en la EDAR de Bedia se pueden llegar a tratar 6816 m³ de agua, tendría capacidad suficiente para almacenar toda el agua tratada durante aproximadamente 7 horas.

Sin embargo, esto sería en caso de que la EDAR recibiese el máximo caudal a tratar posible, ya que la media diaria de agua a tratar por la EDAR de Bedia actualmente es de 3858,89 m³, por lo que, en este caso, tendría capacidad suficiente para almacenar toda el agua tratada durante aproximadamente 12 horas.

ANEJO 2: CÁLCULO DE LA LINEA DE PRESIÓN Y PERDIDAS DE CARGA

ÍNDICE ANEJO 2: CÁLCULO DE LA LINEA DE PRESIÓN Y PERDIDAS DE CARGA

1.- INTRODUCCIÓN:.....	114
2.- PARÁMETROS INICIALES:.....	115
3.- DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS:	116
3.1.- PRINCIPIOS PARA EL DISEÑO:	116
3.2.- CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DE LA CONDUCCIÓN:.....	116
3.3.- CALCULO DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DE LA CONDUCCIÓN:.....	118
3.4.- SISTEMA DE TUBERÍAS:.....	119
4.- PERDIDAS DE CARGA EN LA LÍNEA:	122
4.1.- PERDÍAS DE CARGA EN CONDUCTOS:	122
4.2.- PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS:.....	124
5.- CALCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA:	126
5.1.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (POZO DE BOMBEO – PROCESO DE MEMBRANA):	126
5.2.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (PROCESO DE MEMBRANA – CÁMARA DE CLORACIÓN):.....	130
5.3.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (CÁMARA DE CLORACIÓN – POZO DE BOMBEO):.....	134
5.4.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (POZO DE BOMBEO - TANQUES DE ALMACENAMIENTO):	134
5.5.- RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA LÍNEA	135
6.- PERDIDAS DE CARGA EN LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL TRATAMIENTO TERCIARIO:	137
6.1.- PERDIDAS DE CARGA DEL EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN.....	137
6.2.- PERDIDAS DE CARGA DE LA CÁMARA DE CLORACIÓN	137
6.3.- PERDIDAS DE CARGA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO.....	138
7.- CÁLCULO DE LA ALTURA DE ELEVACIÓN DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES.....	139
7.1.- BOMBAS SUMERGIBLES DEL POZO DE BOMBEO PARA EL PROCESO DE MEMBRANA	139
7.1.- BOMBAS SUMERGIBLES DEL POZO BOMBEO PARA LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 55: Tubería de fundición dúctil. [56].....	118
Figura 56: Tubería de fundición dúctil K-9 Dicon. [57].....	120
Figura 57: Diagrama de Moody. [60].....	124
Figura 58: Perdidas de carga localizadas en un estrechamiento gradual de sección. [62].....	128
Figura 59: Perdidas de carga localizadas en un ensanchamiento gradual de sección. [62].....	132
Figura 60: Válvula de reducción de presión. [43].....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 22: Velocidad máxima y mínima de un fluido dentro de una tubería. [54]	116
Tabla 23: Catalogo de diámetros de tubería de fundición dúctil K-9. [57]	120
Tabla 24: Coeficientes de rugosidad de los materiales. [58]	121
Tabla 25: Densidad y viscosidad del agua en función de la temperatura. [59].....	123
Tabla 26: Coeficientes adimensionales de pérdida de carga característica de cada elemento singular. [61]	125
Tabla 27: Coeficientes adimensionales de pérdida de carga según diámetros D1 y D2. [61] ...	129
Tabla 28: Coeficientes adimensionales de pérdida de carga según ángulo de conicidad. [61].	132
Tabla 29: Pérdidas de carga totales producidas en cada tramo de la línea. [Elaboración propia]	136
Tabla 30: Parámetros de operación del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 [Elaboración Propia] [45].....	137

1.- INTRODUCCIÓN:

Tal y como hemos comentado en el anejo anterior, para el correcto dimensionamiento de las bombas y demás equipos, es necesario conocer las pérdidas de carga en la línea, ya que, dependiendo de estas, y de la diferencia de cota entre el punto inicial y el final, se dimensionarán los equipos a colocar en la ampliación de la EDAR de Bedia.

Para realizar el Anejo del cálculo de la línea de presión y pérdidas de carga, se han consultado diferentes bibliografías:

- “Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas” de José Agüera Soriano. [53]
- Apuntes de la asignatura “Mecánica de Fluidos e Hidráulica” de la EHU/UPV. De Pedro Arriaga Bayo.
- Apuntes de la asignatura “Gestión de Recursos Hidráulicos e Instalaciones” de la EHU/UPV. De Eneko Madrazo Uribeetxebarria.
- Apuntes de la asignatura “Obas de Abastecimiento y Saneamiento” de la EHU/UPV. De Ángel

2.- PARÁMETROS INICIALES:

Como ya se ha mencionado en la Memoria descriptiva, la EDAR recibe al año un total de 1.408.495 m³ de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, y aguas pluviales. Este caudal, previamente tratado en la EDAR, equivale a 3.858,89 m³/día teniendo máximos de caudal o caudales punta de 6.818 m³/día.

Sin embargo, debido a que en épocas de lluvia la EDAR no puede tratar todo el caudal de agua residual y pluvial que recibe, se considera que el caudal diario que recibe la EDAR es el máximo, para así asegurar el caudal medio que habitualmente recibe y si se produjese una ampliación de la EDAR este pudiera realizar el tratamiento terciario con un caudal mayor.

En definitiva, contando la caudal punta antes mencionado, el dimensionamiento se hará contando con 284 m³/h como caudal de diseño.

3.- DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS:

3.1.- PRINCIPIOS PARA EL DISEÑO:

Para llevar a cabo el diseño de las tuberías que componen las distintas líneas de proceso se dividirán éstas en tramos, cada uno de los cuales estará formado por la porción de línea comprendida entre dos equipos consecutivos. De esta forma los diferentes aspectos a calcular (diámetro óptimo de la conducción, pérdidas de carga, etc.) se evaluarán independientemente para cada uno de estos tramos.

3.2.- CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DE LA CONDUCCIÓN:

Un aspecto muy importante a tener en cuenta para el diseño del sistema de tuberías sistema es el de la velocidad que alcanza el fluido por el interior de las conducciones. Dicha velocidad, en el caso de la circulación isoterma de fluidos incompresibles, viene determinada por el caudal y el diámetro de la sección interna de la conducción, y para cada fluido tiene un valor máximo que no debe ser sobrepasado, ya que de lo contrario puede producirse un deterioro del producto por tratamiento mecánico inadecuado. [54]

Por lo tanto, se tomará como la velocidad mínima del fluido dentro de una tubería entrono a 0,6 m/s para evitar que se produzca la decantación de partículas sólidas en suspensión reduciendo de esta forma el riesgo de obstrucción con el paso del tiempo.

Por el contrario, se suele tomar como calor de referencia para la velocidad máxima 2,5 m/s, una velocidad elevada dentro de una tubería produce mayores pérdidas de carga que si el fluido circula a menor velocidad, además, también se pueden producir otros fenómenos como, golpes de ariete más fuertes, erosiones y ruidos en las tuberías. Aun así, a medida que aumentamos el diámetro, se pueden soportar mayores velocidades sin que aparezcan estos fenómenos.

A continuación, se muestra una tabla donde se pueden ver los valores máximos y mínimos de un fluido dentro de una tubería, sin que esta causa ningún deterioro en ella:

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Tabla 22: Velocidad máxima y mínima de un fluido dentro de una tubería. [54]

Otro aspecto muy importante para la elección del diámetro óptimo de las tuberías es el material del cual están compuestas. Hoy en día, disponemos de un gran abanico de posibilidades, de las cuales las más utilizadas son los siguientes:

Hormigón en masa o armado:

- Es el material por excelencia.
- Diámetros entre 300-3500 mm (con camisa de chapa).
- Atacado por aguas residuales, sulfatos, cloruros, aceites, ARI. Se acentúa el ataque con temperaturas altas.
- Rugoso.
- Gran resistencia mecánica.
- Muy económico.

Gres:

- Mezcla de arcilla molida de distinta composición y agua.
- Diámetros de 200-1400 mm.
- Aconsejable para ARI, ya que no es atacado por corrosivos.
- Liso.
- Soporta presiones de 10 m.c.a.
- Frágil y permeable

Polietileno y plásticos:

- Se obtienen por polimerización del etileno.
- Según el pliego de PTG del MOPU, sólo se puede usar el de alta densidad.
- Diámetros entre 110-600 mm.
- Buena resistencia a productos químicos.

Tuberías aligeradas:

- Son tuberías de PVC, o Polietileno construidas con sección en Y o en I para dar inercia a la sección para resistir aplastamiento.

Fundición dúctil:

- Diámetros entre 80-1000 mm.
- Resistencia a presión interior, acciones exteriores, estanqueidad, durabilidad y buenas características hidráulicas.
- Sensibles a corrosión de ácidos y sulfatos.
- Se usan en lugares concretos expuestos a acciones exteriores.

PVC:

- Alternativa a fibrocemento y gres.
- Ligeras, inertes a aguas agresivas y corrosión y durabilidad muy buena.
- Lisas, aguanta sobrepresiones.
- Sus características resistentes se afectan por encima de 50°C (se reduce el 60%).
- Diámetros entre 110-800 mm. [55]

Por lo tanto, comparando todos los materiales posibles, observamos que la opción más aconsejable para su utilización en las tuberías de la ampliación de la EDAR de Bedia, sería la fundición dúctil, ya que permite unos diámetros de tubería muy variados (80 – 1000 mm), tiene gran resistencia a acciones exteriores, buena durabilidad y se puede utilizar en lugares expuestos a acciones exteriores.

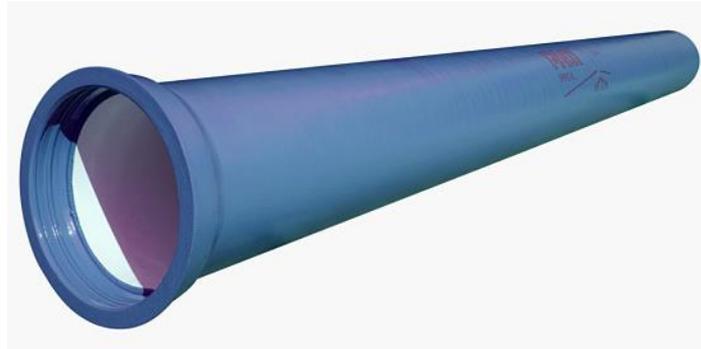


Figura 55: Tubería de fundición dúctil. [56]

3.3.- CALCULO DEL DIÁMETRO ÓPTIMO DE LA CONDUCCIÓN:

Teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas, se puede calcular los diámetros mínimos y máximos mediante:

$$Q = V * S$$

Donde:

- Q = caudal que circula por la tubería (m³/s)
- V = velocidad del fluido dentro de la tubería (m/s)
- S = sección de la tubería (m²)

Y tal y como antes hemos mencionado, el valor de la velocidad del agua en el interior de las tuberías estará comprendido entre 0,6 y 2,5 m/s, el cual no planteará problemas de erosión, ni ruido, ni depósito de sólidos en suspensión.

Por lo tanto, para la velocidad mínima de 0,6 m/s el diámetro resultante será de:

$$Q = V * S \rightarrow S = \frac{284 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{0,6 \frac{m}{s}} = 0,13148 m^2$$

Teniendo en cuenta que las tuberías tienen sección circular el diámetro máximo que se podrá emplear será de:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow 0,13148 m^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 0,409 m = 409 mm$$

Para la velocidad máxima de 2,5 m/s el diámetro resultante será de:

$$Q = V * S \rightarrow S = \frac{284 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{2,5 \frac{m}{s}} = 0,03155 m^2$$

En tuberías tienen sección circular el diámetro mínimo que se podrá emplear será de:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow 0,03155 m^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 0,200 m = 200 mm$$

Teniendo en cuenta que el caudal de diseño empleado para el cálculo del diámetro óptimo de las tuberías es el máximo que puede recibir la EDAR a día de hoy, utilizaremos el diámetro medio entre el diámetro máximo y mínimo calculados, 300 mm.

Sin embargo, debido a que en el proceso de ultrafiltración utilizaremos dos equipos, el caudal de agua se bifurcará en dos tuberías iguales para cada equipo de ultrafiltración, con un caudal circulante de 142 m³/h.

Por dicho motivo, el diámetro máximo y mínimo en este tramo de tuberías será distinto al del resto de conducciones.

Para la velocidad mínima de 0,6 m/s el diámetro resultante será de:

$$Q = V * S \rightarrow S = \frac{142 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{0,6 \frac{m}{s}} = 0,06574 m^2$$

Teniendo en cuenta que las tuberías tienen sección circular el diámetro máximo que se podrá emplear será de:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow 0,06574 m^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 0,289 m = 289 mm$$

Para la velocidad máxima de 2,5 m/s el diámetro resultante será de:

$$Q = V * S \rightarrow S = \frac{142 \frac{m^3}{h} * \frac{1 h}{3600 s}}{2,5 \frac{m}{s}} = 0,01577 m^2$$

En tuberías tienen sección circular el diámetro mínimo que se podrá emplear será de:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow 0,01577 m^2 = \frac{\pi * D^2}{4} \rightarrow D = 0,1417 m = 142 mm$$

En este caso, a diferencia de en el resto de conducciones, debido a que los equipos de ultrafiltración necesitan un tiempo de autolavado en el que reducen la producción de agua, aumentando la carga de trabajo del otro equipo, utilizaremos diámetros más próximos al diámetro máximo.

Es decir, el diámetro óptimo para este tramo de tuberías será de 250 mm.

3.4.- SISTEMA DE TUBERÍAS:

Las tuberías empleadas tendrán las siguientes características:

La tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas está pensada para su utilización con aguas regeneradas para su posterior utilización en el riego de parques y jardines, baldeo de calles... El color morado es distintivo de su aplicación, lo que permite la identificación de las redes, de especial interés en zonas urbanas.

- Norma: EN 545 – 2007 / ISO 2531
- Sistema de unión: Junta automática flexible EPDM según en 681- 1
- Revestimiento exterior: aleación zinc más pintura epoxi
- Revestimiento interior: mortero de cemento según EN 197-1



Figura 56: Tubería de fundición dúctil K-9 Dicona. [57]

Según el catalogo de la empresa “DICONA” disponemos de los siguientes diámetros de tuberías para aguas regeneradas:

DN	Ø EXTERIOR		Ø MÁX. EXT.	DESVIACIÓN ANGULAR			PRESIONES		
	D ext (mm)	Tolerancia	Enchufe	e (min)	Grados	Descentrado	PFA	PMA	PEA
100	118	+1/-2,8	166	2,5	3° 30'	480	59	71	76
125	144	+1/-2,8	197	2,5	3° 30'	480	49	58	63
150	170	+1/-2,9	219	2,5	3° 30'	480	41	49	54
200	222	+1/-3,0	277	3	3° 30'	380	38	45	50
250	274	+1/-3,1	329	3,5	3° 30'	380	36	43	48
300	326	+1/-3,3	386	4	2° 30'	380	34	41	46
350	378	+1/-3,4	439	4,3	2° 30'	280	32	38	43
400	429	+1/-3,5	495	4,6	2° 30'	280	30	36	41
450	480	+1/-3,6	594	4,9	2° 30'	280	29	34	39
500	532	+1/-3,8	604	5,2	2° 30'	280	27	33	38
600	635	+1/-4,0	713	5,8	2° 30'	280	26	31	36
700	738	+1/-4,3	820	7,6	1° 30'	180	29	35	40
800	842	+1/-4,5	932	8,3	1° 30'	180	28	33	38
900	945	+1/-4,8	1047	9	1° 30'	-	27	32	37
1000	1048	+1/-5,0	1159	9,7	1° 30'	-	26	31	36

Tabla 23: Catalogo de diámetros de tubería de fundición dúctil K-9. [57]

Donde:

- PFA: presión hidrostática máxima que un componente puede resistir de forma permanente en servicio.
- PMA: presión máxima que se da algunas veces, incluido el golpe de ariete, que un componente puede soportar en servicio.
- PEA: presión hidrostática máxima que un componente recién instalado es capaz de soportar durante un periodo de tiempo relativamente corto. [57]

Canalizaciones de los equipos de ultrafiltración:

- Diámetro nominal: 250 mm
- Diámetro exterior: 274 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Sección de la tubería:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (0,250 \text{ m})^2}{4} = 0,04908 \text{ m}^2$$

- Velocidad del fluido dentro de la tubería:

$$Q = V * S \rightarrow V = \frac{142 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{0,04908 \text{ m}^2} = 0,8037 \text{ m/s}$$

Canalizaciones del resto de los equipos:

- Diámetro nominal: 300 mm
- Diámetro exterior: 326 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Sección de la tubería:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (0,300 \text{ m})^2}{4} = 0,07068 \text{ m}^2$$

- Velocidad del fluido dentro de la tubería:

$$Q = V * S \rightarrow V = \frac{284 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{0,07068 \text{ m}^2} = 1,1161 \text{ m/s}$$

El coeficiente de rugosidad de se obtendra de la siguiente tabla.

<i>material</i>	<i>k mm</i>
vidrio	liso
cobre o latón estirado	0,0015
latón industrial	0,025
acero laminado nuevo	0,05
acero laminado oxidado	0,15 a 0,25
acero laminado con incrustaciones	1,5 a 3
acero asfaltado	0,015
acero soldado nuevo	0,03 a 0,1
acero soldado oxidado	0,4
hierro galvanizado	0,15 a 0,2
fundición corriente nueva	0,25
fundición corriente oxidada	1 a 1,5
fundición asfaltada	0,12
fundición dúctil nueva	0,025
fundición dúctil usada	0,1
fibrocemento	0,025
PVC	0,007
cemento alisado	0,3 a 0,8
cemento bruto	hasta 3

Tabla 24: Coeficientes de rugosidad de los materiales. [58]

4.- PERDIDAS DE CARGA EN LA LÍNEA:

Tal y como en la memoria descriptiva y en el Anejo I de Dimensionamiento del tratamiento terciario hemos mencionado, para calcular las características de las bombas sumergibles, es necesario conocer las pérdidas de carga producidas en la línea, ya que dichas bombas deben superar la altura manométrica a suministrar del agua.

A medida que avanza el caudal de agua a regenerar por las conducciones y los diferentes equipos, debido a la rugosidad de las tuberías provoca una fricción que se opone al paso de dicha agua.

Las pérdidas de carga se clasifican en dos grupos:

- Pérdidas de carga continuas: que son las producidas por el avance del agua a regenerar por las tuberías.
- Pérdidas de carga localizadas: que son las producidas por elementos puntuales.

4.1.- PERDÍAS DE CARGA EN CONDUCTOS:

Son las denominadas pérdidas de carga continuas, ya que se producen por el rozamiento entre las paredes de las tuberías y el fluido.

Para el cálculo de las pérdidas de carga a lo largo de las tuberías utilizaremos la ecuación de pérdidas de carga en tuberías circulares o ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- f = Coeficiente de fricción de Darcy.
- L = Longitud de la tubería (m).
- V = Velocidad del agua dentro de la tubería (m/s).
- D = Diámetro de la tubería (m).

De todos los términos de la ecuación solo está indeterminado, una vez seleccionada una tubería, el factor de fricción de Darcy (f). Este factor depende fundamentalmente de:

- El régimen de movimiento del fluido.
- De la rugosidad de la tubería.

El régimen del movimiento del fluido puede ser:

- Laminar, cuando las partículas el fluido tienen trayectorias paralelas entre si (el movimiento es lento y regular).
- Turbulento, cuando las partículas del fluido se mueven de forma irregular y variable en el tiempo (el movimiento es desordenado e inestable).
- Transitorio, cuando el moviendo no es claramente ni laminar ni turbulento.

El régimen de movimiento de un fluido se caracteriza por su número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V * D}{\nu}$$

Donde:

- Re = número de Reynolds, adimensional
- V = velocidad media del fluido, m/s
- ν = viscosidad cinemática del fluido, m²/s

Respecto a la viscosidad cinemática del fluido, en este caso agua, se tomará el valor suponiendo una temperatura de fluido entre 10°C y 20°C:

AGUA		
Temp. C ⁰	Densidad Relativa kg/m ³	Viscosidad cinemática m ² /seg
5	1,000	1,520
10	1,000	1,308
15	0,999	1,142
20	0,998	1,007
25	0,997	0,897
30	0,995	0,804
35	0,993	0,727
40	0,991	0,661
50	0,990	0,556
65	0,980	0,442

Tabla 25: Densidad y viscosidad del agua en función de la temperatura. [59]

Por lo tanto, la viscosidad cinemática del fluido será de $1,141 \cdot 10^{-6}$ m²/s

En relación con el número de Reynolds el movimiento del fluido puede establecerse de la siguiente manera:

- Laminar: para Re < 2000
- Transitorio: para 2000 < Re < 4000
- Turbulento: para Re > 4000

Cuando el movimiento del fluido se encuentra en régimen laminar, se utilizará la siguiente fórmula:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Sin embargo, cuando se encuentra en régimen transitorio o turbulento, el coeficiente de fricción se calculará mediante el empleo del diagrama de Moody.

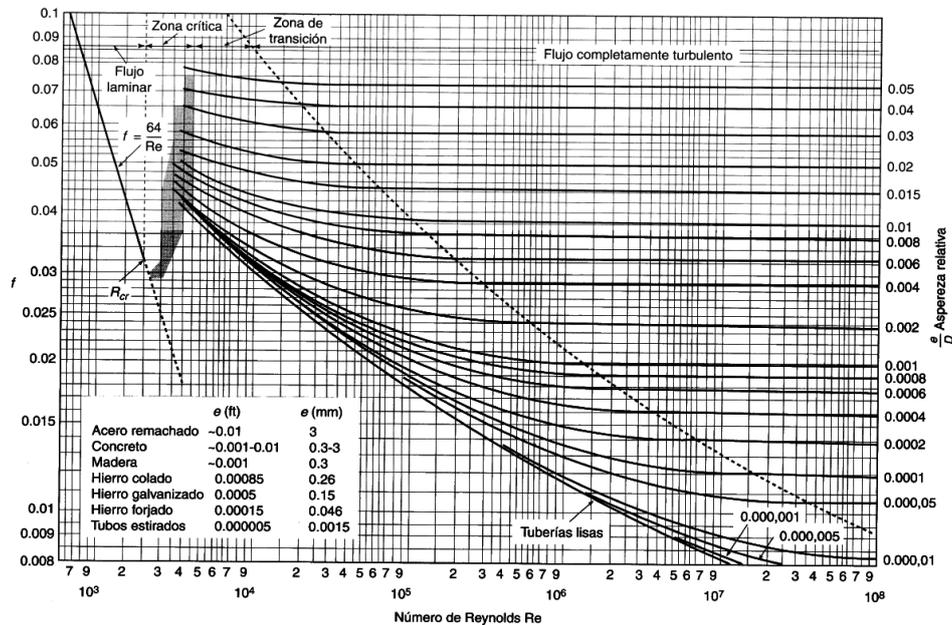


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

Figura 57: Diagrama de Moody. [60]

4.2.- PERDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS:

Estas son las pérdidas de carga debidas a la presencia de piezas especiales en la red de tuberías que hacen variar la dirección o la sección por donde circula el fluido.

Pueden ser calculadas con uno de los siguientes métodos:

- Método directo: utilizando coeficientes que dependen de la forma y dimensiones de las piezas especiales.
- Método del caudal nominal: recurre, para cada pieza especial, al valor de su caudal nominal; esto es, al caudal que le corresponde para una pérdida de presión unitaria predefinida (por ejemplo 1 bar).
- Método de la longitud equivalente: sustituye, cada pieza especial, por un tramo lineal de tubo equivalente que da la misma pérdida de carga.

En general para el dimensionamiento de los tubos y la bomba se recurre al método directo, en cuanto que es suficientemente exacto y fácil de utilizar en la práctica. [61]

Con este método las pérdidas de carga localizadas las podemos calcular mediante la fórmula:

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- K = coeficiente adimensional de pérdida de carga característica de cada elemento singular.
- V = velocidad del agua (m/s)

Para el cálculo del coeficiente adimensional de pérdida de carga característica de cada elemento singular (k) se utilizará la Tabla 26:

Diámetro interno tubo de acero inox, cobre y material plástico		8 - 16 mm	18 + 28 mm	30 + 54 mm	> 54 mm
Diámetro del tubo de acero		3/8" + 1/2"	3/4" + 1"	1 1/4" + 2"	> 2"
Tipo de resistencia localizada	Simbolo				
Curva estrecha a 90° <i>r/d = 1,5</i>		2,0	1,5	1,0	0,6
Curva normal a 90° <i>r/d = 2,5</i>		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90° <i>r/d > 3,5</i>		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva estrecha en U <i>r/d = 1,5</i>		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normal en U <i>r/d = 2,5</i>		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga en U <i>r/d > 3,5</i>		1,5	0,8	0,4	0,4
Ampliación		1,0			
Reducción		0,5			
Derivación simple con T a 90°		1,0			
Confluencia simple con T a 90°		1,0			
Desviación doble con T a 90°		3,0			
Confluencia doble con T a 90°		3,0			
Derivación simple con ángulo inclinado (45° - 60°)		0,5			
Confluencia simple con ángulo inclinado (45° - 60°)		0,5			
Derivación con curva divisoria		2,0			
Confluencia con curva de llegada		2,0			
Válvula de corte directo		10,0	8,0	7,0	6,0
Válvula de corte inclinada		5,0	4,0	3,0	3,0
Saracinesca de paso reducido		1,2	1,0	0,8	0,6
Saracinesca de paso total		0,2	0,2	0,1	0,1
Válvula de esfera paso reducido		1,6	1,0	0,8	0,6
Válvula de esfera paso total		0,2	0,2	0,1	0,1
Válvula de mariposa		3,5	2,0	1,5	1,0
Valvula antirretorno		3,0	2,0	1,0	1,0
Válvula para emisor térmico directa		8,5	7,0	6,0	—
Válvula para emisor térmico en escuadra		4,0	4,0	3,0	—
Detentor directo		1,5	1,5	1,0	—
Detentor en escuadra		1,0	1,0	0,5	—
Válvula de cuatro vías		6,0		4,0	
Válvula de tre vías		10,0		8,0	
Paso a través de radiador		3,0			
Paso a través de caldera de suelo		3,0			

Tabla 26: Coeficientes adimensionales de pérdida de carga característica de cada elemento singular. [61]

5.- CALCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA:

A continuación, se calcula las pérdidas de carga producidas a lo largo de todas las conducciones del circuito para abastecer la ampliación de la EDAR de Bedia.

El cálculo se realizará en el supuesto más desfavorable.

5.1.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (POZO DE BOMBEO – PROCESO DE MEMBRANA):

Previamente a la llegada del caudal de agua a regenerar al pozo de bombeo, dicho agua pasará del decantador secundario a una arqueta de derivación que conducirá el agua hasta el pozo de bombeo. Sin embargo, debido a que no hay ningún equipo intermedio y el agua llegará al pozo de bombeo mediante la acción de la gravedad, por la diferencia de cota, no se tendrá en cuenta las pérdidas de carga producidas en este pequeño tramo de tubería.

Por lo tanto, las pérdidas de carga entre el pozo de bombeo y el equipo de ultrafiltración son las siguientes:

Del pozo de bombeo hasta la desviación doble con T a 90° la conducción empleada es la siguiente:

- Tipo de tubería: tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas
- Diámetro (D): 300 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Caudal (Q): 284 m³/h
- Velocidad del fluido (V): 1,1161 m/s
- Viscosidad cinemática del fluido (ν): 1,141·10⁻⁶ m²/s

Cálculo de la Aspereza Relativa (e/D):

$$\frac{e}{D} = \frac{0,025}{300} = 0,0000833 \approx 0,0001$$

Cálculo del número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{1,1161 \frac{m}{s} * 0,3 m}{1,141 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 293453,11$$

Como Re >> 4000 el movimiento del fluido se encuentra en régimen turbulento.

Por lo tanto, mediante el diagrama de Moody se obtiene el coeficiente de fricción:

$$f = 0,016$$

Tal y como se detalla en los planos la longitud de tubería que se colocará entre el pozo de bombeo y la desviación doble con T a 90° para separar el caudal de agua a regenerar para los dos equipos de ultrafiltración será de 17,5 metros con dos codos a 90°.

Por lo tanto, las pérdidas de carga continuas:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0,016 * \frac{17,5 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} * \frac{\left(1,1161 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,0593 \text{ m}$$

Pérdidas de carga localizadas:

- Codo normal a 90° (k = 0,4):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,4 * \frac{\left(1,1161 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,0254 \text{ m} * 2 \text{ codos} = 0,0508 \text{ m}$$

- Embocadura (k = 0,5):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,5 * \frac{\left(1,1161 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,0318 \text{ m}$$

- Desviación doble con T a 90° (k = 3)

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 3 * \frac{\left(1,1161 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,1907 \text{ m}$$

- Altura del pozo de bombeo: el pozo de bombeo tendría de 2 m de alto que habría que vencer mediante la impulsión de la bomba.

$$h = 2 \text{ m}$$

Por lo tanto, las pérdidas de carga del pozo de bombeo hasta la desviación doble con T a 90° serán:

$$h_{total} = h_f + h_s + h$$

$$h_{total} = 0,0593 \text{ m} + 0,0508 \text{ m} + 0,0318 \text{ m} + 0,1907 \text{ m} + 2 \text{ m}$$

$$h_{total} = 2,3326 \text{ m}$$

De la desviación doble con T a 90° hasta el equipo de ultrafiltración la conducción empleada es la siguiente:

- Tipo de tubería: tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas
- Diámetro (D): 250 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Caudal (Q): 142 m³/h
- Velocidad del fluido (V): 0,8037 m/s
- Viscosidad cinemática del fluido (ν): 1,141·10⁻⁶ m²/s

Cálculo de la Asperidad Relativa (e/D):

$$\frac{e}{D} = \frac{0,025}{250} = 0,0001$$

Cálculo del número de Reynolds (R_e):

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0,8037 \frac{m}{s} * 0,25 m}{1,141 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 176095,53$$

Como $R_e \gg 4000$ el movimiento del fluido se encuentra en régimen turbulento.

Por lo tanto, mediante el diagrama de Moody se obtiene el coeficiente de fricción:

$$f = 0,017$$

Tal y como se detalla en los planos la longitud de tubería que se colocará entre la desviación doble con T a 90° y el equipo de ultrafiltración será de 3 metros con un codo a 90° .

Por lo tanto, las pérdidas de carga continuas:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0,017 * \frac{3 m}{0,25 m} * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0067 m$$

Pérdidas de carga localizadas:

- Codo normal a 90° ($k = 0,4$):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,4 * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0132 m$$

- Desembocadura ($k = 1$):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 1 * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0330 m$$

- Estrechamiento de la sección:

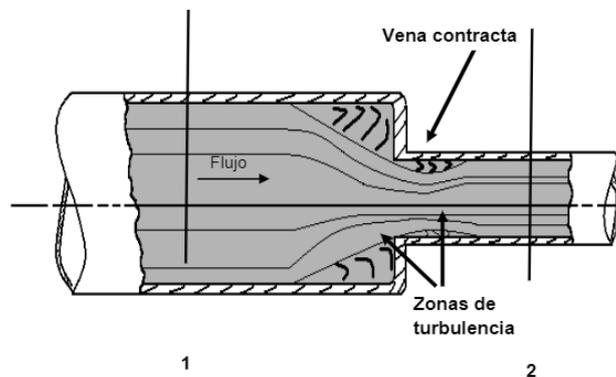


Figura 58: Pérdidas de carga localizadas en un estrechamiento gradual de sección. [62]

En este caso, el flujo continúa convergiendo después de la embocadura durante una cierta distancia, a partir de la cual se produce su ensanchamiento. Por tanto, se formarán turbulencias entre el flujo y las paredes de la tubería, y también entre éstas y la vena líquida contraída, como se indica en la figura 58.

Para calcular las pérdidas de carga debido al estrechamiento, se utilizará la siguiente fórmula:

$$h_s = \left[\lambda * \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)^2 \right] * \frac{V^2}{2g}$$

En este caso, la velocidad del flujo dentro de la tubería, será la velocidad dentro de la tubería más estrecha 0,8037 m/s.

Sin embargo, se puede sustituir por:

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g}$$

Donde el coeficiente adimensional de pérdida de carga característica de cada elemento singular (k) equivale a:

D_1/D_2	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
K	0.08	0.17	0.26	0.34	0.37	0.41	0.43	0.45	0.46

Tabla 27: Coeficientes adimensionales de pérdida de carga según diámetros D1 y D2. [61]

Por lo tanto,

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,08 * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s} \right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0026 m$$

Las pérdidas de carga de desviación doble con T a 90° al proceso de membrana serán:

$$h_{total} = h_f + h_s$$

$$h_{total} = 0,0067 m + 0,0132 m + 0,0026 m + 0,0636 m$$

$$h_{total} = 0,0861 m$$

Es decir, las pérdidas de carga del tramo completo desde el pozo de bombeo hasta el proceso de membrana serán:

$$h_{totales} = h_{total 1} + h_{total 2}$$

$$h_{total} = 2,3326 m + 0,0861 m$$

$$h_{total} = 2,4187 m$$

5.2.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (PROCESO DE MEMBRANA – CÁMARA DE CLORACIÓN):

Una vez realizado el proceso de membrana, el caudal de agua ultrafiltrada pasara a la cámara de cloración. Las pérdidas de carga de este tramo de tuberías serán:

La conducción empleada desde la salida del equipo de ultrafiltración hasta la confluencia doble con T a 90° es:

- Tipo de tubería: tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas
- Diámetro (D): 250 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Caudal (Q): 142 m³/h
- Velocidad del fluido (V): 0,8037 m/s
- Viscosidad cinemática del fluido (ν): 1,141·10⁻⁶ m²/s

Cálculo de la Aspezeza Relativa (e/D):

$$\frac{e}{D} = \frac{0,025}{250} = 0,0001$$

Cálculo del número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{0,8037 \frac{m}{s} * 0,25 m}{1,141 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 176095,53$$

Como Re >> 4000 el movimiento del fluido se encuentra en régimen turbulento.

Por lo tanto, mediante el diagrama de Moody se obtiene el coeficiente de fricción:

$$f = 0,017$$

Tal y como se detalla en los planos la longitud de tubería que se colocará entre el equipo de ultrafiltración y la confluencia doble con T a 90° será de 3 metros con un codo a 90°.

Por lo tanto, las pérdidas de carga continuas:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0,017 * \frac{3 m}{0,25 m} * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0067 m$$

Pérdidas de carga localizadas:

- Codo normal a 90° (k = 0,4):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,4 * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0132 m$$

- Embocadura (k = 0,5):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,5 * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0165 m$$

- Desviación doble con T a 90° (k = 3)

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 3 * \frac{\left(0,8037 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0990 m$$

Entonces, las pérdidas de carga del equipo de ultrafiltración hasta la confluencia doble con T a 90° serán:

$$h_{total} = h_f + h_s$$

$$h_{total} = 0,0067 m + 0,0132 m + 0,0165 m + 0,0990 m$$

$$h_{total} = 0,1354 m$$

De la confluencia doble con T a 90° hasta la cámara de cloración la conducción empleada es la siguiente:

- Tipo de tubería: tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas
- Diámetro (D): 300 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Caudal (Q): 284 m³/h
- Velocidad del fluido (V): 1,1161 m/s
- Viscosidad cinemática del fluido (ν): 1,141·10⁻⁶ m²/s

Cálculo de la Asperidad Relativa (e/D):

$$\frac{e}{D} = \frac{0,025}{300} = 0,0000833 \approx 0,0001$$

Cálculo del número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{1,1161 \frac{m}{s} * 0,3 m}{1,141 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 293453,11$$

Como Re >> 4000 el movimiento del fluido se encuentra en régimen turbulento.

Por lo tanto, mediante el diagrama de Moody se obtiene el coeficiente de fricción:

$$f = 0,016$$

Tal y como se detalla en los planos la longitud de tubería que se colocará entre la confluencia doble con T a 90° y la cámara de cloración será de 1,5 metros sin codos a 90°.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0,016 * \frac{1,5 m}{0,3 m} * \frac{\left(1,1161 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,00508 m$$

Pérdidas de carga localizadas:

- Desembocadura ($k = 1$):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 1 * \frac{\left(1,1161 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0636 m$$

- Ensanchamiento de la sección:

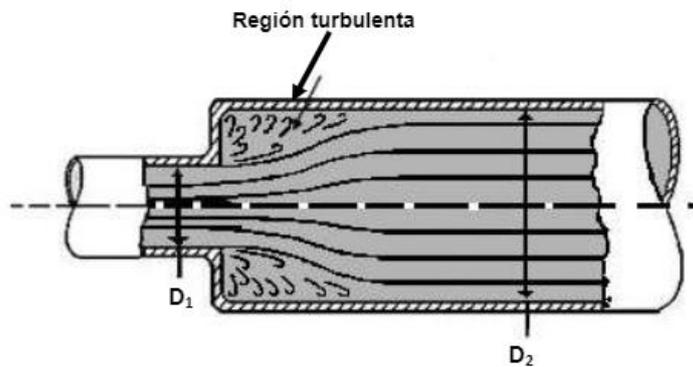


Figura 59: Pérdidas de carga localizadas en un ensanchamiento gradual de sección. [62]

Aunque la tubería se ensanche bruscamente, el flujo lo hace de forma gradual, de manera que se forman torbellinos entre la vena líquida y la pared de la tubería, que son la causa de las pérdidas de carga localizadas.

Para calcular las pérdidas de carga debido al ensanchamiento, se utilizará la siguiente fórmula:

$$h_s = \left[\lambda * \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)^2 \right] * \frac{V^2}{2g}$$

Donde el coeficiente según ángulo de conicidad (λ) equivale a:

λ	6°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°
θ	0.14	0.20	0.30	0.40	0.70	0.90	1.00	1.10

Tabla 28: Coeficientes adimensionales de pérdida de carga según ángulo de conicidad. [61]

En este caso, la velocidad del flujo dentro de la tubería, será la velocidad dentro de la tubería de mayor sección 1,1161 m/s.

Por lo tanto,

$$h_s = \left[\lambda * \left(1 - \frac{D_2^2}{D_1^2} \right)^2 \right] * \frac{V^2}{2g} = \left[1,1 * \left(1 - \frac{0,3^2}{0,25^2} \right)^2 \right] * \frac{\left(1,1161 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0135 m$$

Entonces, las pérdidas de carga de la confluencia doble con T a 90° hasta la cámara de cloración serán:

$$h_{total} = h_f + h_s$$

$$h_{total} = 0,00508 \text{ m} + 0,0636 \text{ m} + 0,0135 \text{ m}$$

$$h_{total} = 0,0822 \text{ m}$$

Es decir, las pérdidas de carga del tramo completo desde el proceso de membrana hasta la cámara de cloración serán:

$$h_{totales} = h_{total 1} + h_{total 2}$$

$$h_{total} = 0,1354 \text{ m} + 0,0822 \text{ m}$$

$$h_{total} = 0,2176 \text{ m}$$

Al final del tramo entre el proceso de membrana y la cámara de cloración, debido a la alta presión que tendrá el agua ultrafiltrada, se colocará una válvula reductora de presión para que dicha agua este a la presión suficiente capaz de llenar el tanque de cloración y no desgastar las paredes debido a una elevada presión.

La presión final de entrada a la cámara de cloración será de 3 m.c.a. lo que equivale a 0,3 bares de presión.

Observando el catálogo de "BERMAD" se tendrá a disposición la siguiente válvula reductora de presión:



Figura 60: Válvula de reducción de presión. [43]

La válvula reductora de presión es una válvula de control de operación hidráulica accionada por diafragma, que reduce la presión alta aguas arriba a una presión menor y constante aguas abajo, sin que le afecten las fluctuaciones en la demanda o en la presión aguas arriba

Este tipo de válvulas permite:

- Reducción de caudales y fugas
- Protección contra los daños por cavitación

- Amortiguación del ruido
- Protección contra roturas
- Ahorro en el mantenimiento del sistema

Este modelo de válvula de reducción de presión de la empresa “BERMAD” permite un rango de ajuste de:

- 0,5 a 3,0 bar (7 a 40 psi)
- 0,8 a 6,5 bar (11 a 95 psi)
- 1 a 16 bar (15 a 230 psi)
- 5 a 25 bar (70 a 360 psi)

Por lo tanto, cumple con los requisitos necesarios para instalarla en la conducción final del tramo de tuberías del equipo de ultrafiltración hasta la cámara de cloración.

5.3.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (CÁMARA DE CLORACIÓN – POZO DE BOMBEO):

Una vez realizada la cloración para mantener el agua ya tratada en condiciones aptas de desinfección y evitar que reaparezcan bacterias y virus, se procede al vertido de dicha agua al pozo de bombeo para después impulsarlo a los tanques de almacenamiento.

Debido a que la cámara de cloración, es un equipo a cielo abierto, el fluido en su interior se encuentra a presión atmosférica (1 atm).

Por lo tanto, se procederá al vertido del agua regenerada por las conducciones que unen la cámara de cloración y el pozo de bombeo mediante gravitación, debido a la diferencia de cota. Es decir, no se tendrá en cuenta las pérdidas de carga producidas en este pequeño tramo de tubería.

5.4.- PÉRDIDAS DE CARGA DEL TRAMO DE TUBERÍAS (POZO DE BOMBEO - TANQUES DE ALMACENAMIENTO):

El último tramo de tuberías a proyectar será la encargada de cubrir el tramo que va desde el pozo de bombeo hasta los tanques de almacenamiento del agua ya regenerada. Por lo tanto, las pérdidas de carga son las siguientes:

La conducción empleada será:

- Tipo de tubería: tubería de fundición dúctil K-9 para aguas recicladas
- Diámetro (D): 300 mm
- Coeficiente de rugosidad (e): 0,025
- Caudal (Q): 284 m³/h
- Velocidad del fluido (V): 1,1161 m/s
- Viscosidad cinemática del fluido (ν): 1,141·10⁻⁶ m²/s

Cálculo de la Aspereza Relativa (e/D):

$$\frac{e}{D} = \frac{0,025}{300} = 0,0000833 \approx 0,0001$$

Cálculo del número de Reynolds (R_e):

$$Re = \frac{V * D}{\nu} = \frac{1,1161 \frac{m}{s} * 0,3 m}{1,141 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}} = 293453,11$$

Como $Re \gg 4000$ el movimiento del fluido se encuentra en régimen turbulento.

Por lo tanto, mediante el diagrama de Moody se obtiene el coeficiente de fricción:

$$f = 0,016$$

Tal y como se detalla en los planos la longitud de tubería que se colocará entre el pozo de bombeo y el tanque de almacenamiento más lejano será de 14 metros sin codos a 90°.

Por lo tanto, las pérdidas de carga continuas:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0,016 * \frac{14 m}{0,3 m} * \frac{\left(1,1161 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0475 m$$

Pérdidas de carga localizadas:

- Embocadura ($k = 0,5$):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 0,5 * \frac{\left(1,1161 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0318 m$$

- Desembocadura ($k = 1$):

$$h_s = k * \frac{V^2}{2g} = 1 * \frac{\left(1,1161 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{m}{s^2}} = 0,0636 m$$

- Altura del pozo de bombeo: el pozo de bombeo tendría de 2,790 m de alto que habría que vencer mediante la impulsión de la bomba.

$$h = 2,790 m$$

Es decir, las pérdidas de carga del tramo completo desde el pozo de bombeo hasta los tanques de almacenamiento serán:

$$h_{total} = h_f + h_s + h$$

$$h_{total} = 0,0475 m + 0,0318 m + 0,0636 m + 2,790 m$$

$$h_{total} = 2,9329 m$$

5.5.- RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA LÍNEA

Si se suman las pérdidas de carga de todos los tramos de tubería a colocar en el tratamiento terciario, se puede obtener la caída total de presión del fluido debido al transporte del mismo entre los diferentes equipos.

Caída total de presión:

$$h_{total} = 2,4187 \text{ m} + 0,2176 \text{ m} + 0 \text{ m} + 2,9239 \text{ m}$$

$$h_{total} = 5,5602 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se presentan las pérdidas de carga producidas en la línea que sufre el fluido el recorrer las tuberías que forman el tratamiento de ultrafiltración, cloración y almacenamiento.

Tramo de tuberías a cubrir	Perdidas de carga (m)
Tratamiento secundario – Pozo de bombeo	0
Pozo de bombeo – Proceso de membrana	2,4187
Proceso de membrana – Cámara de cloración	0,2176
Cámara de cloración – Pozo de bombeo	0
Pozo de bombeo – Tanque de almacenamiento	2,9239

Tabla 29: Pérdidas de carga totales producidas en cada tramo de la línea. [Elaboración propia]

Como se puede observar, las pérdidas de carga producidas a lo largo de toda la circulación, son muy similares a la altura a vencer por las bombas de impulsión del fluido en los pozos de bombeo (2 metros + 2,790 metros).

Por lo tanto, se podría suponer que las pérdidas de carga producidas en la línea debidas a presencia de piezas especiales en la red o que se producen por el rozamiento entre las paredes de las tuberías y el fluido son despreciables.

6.- PERDIDAS DE CARGA EN LOS DIFERENTES EQUIPOS DEL TRATAMIENTO Terciario:

Además de en las conducciones, el fluido sufrirá pérdidas de carga debido a su paso por los diferentes equipos como los procesos de membrana y la cámara de cloración.

6.1.- PERDIDAS DE CARGA DEL EQUIPO DE ULTRAFILTRACIÓN

Tal y como indica en el catálogo el fabricante de los módulos de ultrafiltración continua c-UF40 la presión mínima necesaria para que los módulos puedan trabajar con normalidad ultrafiltrando el agua es de 2 bares de presión y la presión máxima sin que el equipo sufra daños es de 7 bares.

Los parámetros de operación del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 son los siguientes:

Recobro de agua	85 - 95%
Presión transmembrana	0,2 - 2 bar
Presión de operación	2 - 7 bar
Contrapresión	> 1,5 bar
Diámetro poros	(0,001 - 0,1 μm)
Consumo de energía	< 0,1 kWh/m ³
Voltaje	400 VAC/3/50 Hz

Tabla 30: Parámetros de operación del equipo de ultrafiltración continua c-UF40 [Elaboración Propia] [45]

Sin embargo, debido al paso del agua a regenerar por los módulos, producirá una caída de presión transmembrana de 0,2 a 2 bares de presión.

Por lo tanto, en el supuesto más desfavorable, el agua que es filtrada sufre unas pérdidas de carga de 2 bares de presión, lo que equivale a 20,4 m.

6.2.- PERDIDAS DE CARGA DE LA CÁMARA DE CLORACIÓN

Tras el paso del agua por los equipos de ultrafiltración, aunque sufrirá pérdidas de carga, está aún se encontrará en un estado de alta presión.

Debido a la alta presión, tal y como se menciona en el apartado 5.2. de cálculo de pérdidas de carga, se colocará la válvula de reducción de presión para reducir la presión del fluido a 0,3 bares aproximadamente, pudiéndose ajustar en función de las necesidades.

Por lo tanto, el agua al roce con las paredes de la cámara de cloración, sufrirá pérdidas de carga, aunque apreciables, muy reducidas. Es decir, las pérdidas de carga de la cámara de cloración se despreciarán.

Además, hay que tener en cuenta que, tras su paso por la cámara de cloración, el agua desinfectada decantará en un pozo de bombeo por acción de la gravedad, el cual se encargará de impulsarla hasta los tanques de almacenamiento.

6.3.- PERDIDAS DE CARGA DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Una vez el agua se encuentre en el pozo de bombeo post-desinfección, las bombas que se encuentran en él deberán impulsar el agua de tal manera que puedan vencer las pérdidas de carga producidas en la línea debidas a presencia de piezas especiales en la red o que se producen por el rozamiento entre las paredes de las tuberías y además superar la altura de los propios tanques para poder llenarlos.

Los tanques, tal y como hemos mencionado en el Anejo I Dimensionamiento del tratamiento terciario, son dos. Por lo tanto, teniendo en cuenta el supuesto más desfavorable, y ya que los dos tanques tienen la misma altura de 6,005 m las bombas tendrán que superar las pérdidas de carga producidas hasta llegar al segundo tanque más su altura.

7.- CÁLCULO DE LA ALTURA DE ELEVACIÓN DE LAS BOMBAS SUMERGIBLES

Una vez calculadas las pérdidas de carga totales de las conducciones de cada trama entre diferentes equipos, se calculará la altura de elevación que necesitará cada una de las bombas del cuito para así poder realizar el tratamiento terciario y almacenar el agua regenerada en los tanques de almacenamiento.

7.1.- BOMBAS SUMERGIBLES DEL POZO DE BOMBEO PARA EL PROCESO DE MEMBRANA

Las bombas que se encuentran en el pozo de bombeo colocado después del tratamiento secundario, que darán servicio para alimentar los equipos de ultrafiltración, deberán proporcionar una altura de presión al fluido tal que pueda vencer las pérdidas de carga producidas en la línea debidas a presencia de piezas especiales en la red o que se producen por el rozamiento entre las paredes de las tuberías, hasta llegar a dicho equipo, y además, superar las caídas de presión que se producen por el hecho de ultrafiltrar el agua.

Es por esto que, las bombas sumergibles deberán elevar el agua a una altura de:

$$h_{total} = h_{linea} + h_{equipo}$$

$$h_{total} = 2,4187 \text{ m} + 0,2176 \text{ m} + 20,4 \text{ m} = 23,0363 \text{ m}$$

7.1.- BOMBAS SUMERGIBLES DEL POZO BOMBEO PARA LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO

En este caso, las bombas que se encuentran en el pozo de bombeo colocado después de la cámara de cloración encargadas de proporcionar al agua regenerada la altura necesaria para poder llenar los tanques de almacenamiento deberán superar unas pérdidas de carga de:

$$h_{total} = h_{linea} + h_{equipo}$$

$$h_{total} = 2,9239 \text{ m} + 6,005 \text{ m} = 8,9289 \text{ m}$$

ANEJO 3: CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA

ÍNDICE ANEJO 3: CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA

1.- INTRODUCCIÓN	142
2.- CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA	143

1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se determina la Clasificación del Contratista que ha de exigirse en la licitación de las obras definidas en el presente Proyecto de ampliación de la E.D.A.R. de Bedia (Bizkaia) para la regeneración del agua mediante tratamiento terciario, en cumplimiento de lo previsto en:

- Reglamento General de la Ley de Contratos de la Administraciones Públicas aprobó por el Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre.
- Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público.
- Real Decreto 773/2015, de 28 de agosto, por el que se modifican preceptos del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado por el Real Decreto 1098/2001.

2.- CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA

Los grupos y subgrupos de aplicación para la clasificación de empresas en los contratos de obras, a los efectos previstos en el artículo 25 de la Ley, son los siguientes:

Grupo A) Movimiento de tierras y perforaciones

- Subgrupo 1. Desmontes y vaciados.
- Subgrupo 2. Explanaciones.
- Subgrupo 3. Canteras.
- Subgrupo 4. Pozos y galerías.
- Subgrupo 5. Túneles.

Grupo B) Puentes, viaductos y grandes estructuras

- Subgrupo 1. De fábrica u hormigón en masa.
- Subgrupo 2. De hormigón armado.
- Subgrupo 3. De hormigón pretensado.
- Subgrupo 4. Metálicos.

Grupo C) Edificaciones

- Subgrupo 1. Demoliciones.
- Subgrupo 2. Estructuras de fábrica u hormigón.
- Subgrupo 3. Estructuras metálicas.
- Subgrupo 4. Albañilería, revocos y revestidos.
- Subgrupo 5. Cantería y marmolería.
- Subgrupo 6. Pavimentos, solados y alicatados.
- Subgrupo 7. Aislamientos e impermeabilizaciones.
- Subgrupo 8. Carpintería de madera.
- Subgrupo 9. Carpintería metálica.

Grupo D) Ferrocarriles

- Subgrupo 1. Tendido de vías.
- Subgrupo 2. Elevados sobre carril o cable.
- Subgrupo 3. Señalizaciones y enclavamientos.
- Subgrupo 4. Electrificación de ferrocarriles.
- Subgrupo 5. Obras de ferrocarriles sin cualificación específica.

Grupo E) Hidráulicas

- Subgrupo 1. Abastecimientos y saneamientos.
- Subgrupo 2. Presas.
- Subgrupo 3. Canales.
- Subgrupo 4. Acequias y desagües.
- Subgrupo 5. Defensas de márgenes y encauzamientos.
- Subgrupo 6. Conducciones con tubería de presión de gran diámetro.
- Subgrupo 7. Obras hidráulicas sin cualificación específica.

Grupo F) Marítimas

- Subgrupo 1. Dragados.
- Subgrupo 2. Escolleras.
- Subgrupo 3. Con bloques de hormigón.
- Subgrupo 4. Con cajones de hormigón armado.
- Subgrupo 5. Con pilotes y tablestacas.
- Subgrupo 6. Faros, radiofaros y señalizaciones marítimas.
- Subgrupo 7. Obras marítimas sin cualificación específica.
- Subgrupo 8. Emisarios submarinos.

Grupo G) Viales y pistas

- Subgrupo 1. Autopistas, autovías.
- Subgrupo 2. Pistas de aterrizaje.
- Subgrupo 3. Con firmes de hormigón hidráulico.
- Subgrupo 4. Con firmes de mezclas bituminosas.
- Subgrupo 5. Señalizaciones y balizamientos viales.
- Subgrupo 6. Obras viales sin cualificación específica.

Grupo H) Transportes de productos petrolíferos y gaseosos

- Subgrupo 1. Oleoductos.
- Subgrupo 2. Gasoductos.

Grupo I) Instalaciones eléctricas

- Subgrupo 1. Alumbrados, iluminaciones y balizamientos luminosos.
- Subgrupo 2. Centrales de producción de energía.
- Subgrupo 3. Líneas eléctricas de transporte.
- Subgrupo 4. Subestaciones.
- Subgrupo 5. Centros de transformación y distribución en alta tensión.
- Subgrupo 6. Distribución en baja tensión.
- Subgrupo 7. Telecomunicaciones e instalaciones radioeléctricas.
- Subgrupo 8. Instalaciones electrónicas.
- Subgrupo 9. Instalaciones eléctricas sin cualificación específica.

Grupo J) Instalaciones mecánicas

- Subgrupo 1. Elevadoras o transportadoras.
- Subgrupo 2. De ventilación, calefacción y climatización.
- Subgrupo 3. Frigoríficas.
- Subgrupo 4. De fontanería y sanitarias.
- Subgrupo 5. Instalaciones mecánicas sin cualificación específica.

Grupo K) Especiales

- Subgrupo 1. Cimentaciones especiales.
- Subgrupo 2. Sondeos, inyecciones y pilotajes.
- Subgrupo 3. Tablestacados.

- Subgrupo 4. Pinturas y metalizaciones.
- Subgrupo 5. Ornamentaciones y decoraciones.
- Subgrupo 6. Jardinería y plantaciones.
- Subgrupo 7. Restauración de bienes inmuebles históricoartísticos.
- Subgrupo 8. Estaciones de tratamiento de aguas.
- Subgrupo 9. Instalaciones contra incendios.

Las categorías de los contratos de obras, determinadas por su anualidad media, a las que se ajustará la clasificación de las empresas serán las siguientes:

- De categoría a) cuando su anualidad media no sobrepase la cifra de 60.000 euros.
- De categoría b) cuando la citada anualidad media exceda de 60.000 euros y no sobrepase los 120.000 euros.
- De categoría c) cuando la citada anualidad media exceda de 120.000 euros y no sobrepase los 360.000 euros.
- De categoría d) cuando la citada anualidad media exceda de 360.000 euros y no sobrepase los 840.000 euros.
- De categoría e) cuando la anualidad media exceda de 840.000 euros y no sobrepase los 2.400.000 euros.
- De categoría f) cuando exceda de 2.400.000 euros.

Las anteriores categorías e) y f) no serán de aplicación en los grupos H, I, J, K y sus subgrupos, cuya máxima categoría será la e) cuando exceda de 840.000 euros.

Por lo tanto, la empresa contratista que licite las obras incluidas en dicho proyecto deberá tener la siguiente clasificación oficial:

Grupo E) Hidráulicas

- **Subgrupo 1. Abastecimientos y saneamientos.**
- **De categoría e) cuando la anualidad media exceda de 840.000 euros y no sobrepase los 2.400.000 euros.**

ANEJO 4: DECLARACIÓN DE OBRA COMPLETA

D. Josu Eizaguirre Sastre, en cumplimiento del artículo 125 y 127 del Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Publicas (Real Decreto 1098/2001 de 12 de Octubre).

DECLARA

Que el Presente proyecto de ampliación de la E.D.A.R. de Bedia (Bizkaia) para la regeneración del agua mediante tratamiento terciario, se refiere a una obra completa, susceptible de ser entregada al uso correspondiente, comprendiendo todos y cada uno de los elementos precisos para su utilización, sin perjuicio de que pueda ser objeto posteriormente.

Y para que conste, a los efectos oportunos, se firma la presente declaración en Bilbao, a 22 de Julio de 2019.

Bilbao, a 22 de Julio de 2019

JOSU EIZAGUIRRE SASTRE
INGENIERO CIVIL