



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



*ESTUDIO PARA LA MEJORA DE LA RED DE AGUAS PLUVIALES DEL MUNICIPIO DE
MONCADA (VALENCIA) Y SU AFECCIÓN AL BARRANCO DEL CARRAIXET, MEDIANTE
EL EMPLEO DE HUMEDALES ARTIFICIALES COMO TANQUES DE TORMENTA.*

Memoria

Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Caminos, Canales y Puertos

Universidad Politécnica De Valencia

Autor: Juan José Verdú Macián

Tutor: Vicent Benedito Durá

Cotutor: Daniel Aguado García

Titulación: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2015/2016

Valencia, Septiembre 2016

“El agua es el vehículo de la naturaleza”

-Leonardo da Vinci-

Agradecimientos

Del estudiante: al profesor, al amigo, al caminante.....

Empiezo con estas palabras por el simple hecho, de que mirando atrás, podría ver numerosa gente a la que le estoy eternamente agradecida tanto por su apoyo, sus consejos y su amabilidad e incluso no olvidar a aquella gente que me lo ha puesto más difícil, porque de ellos ha brotado en mí la fuerza y la sabiduría que pueda tener hoy día.

Primero debo hacer mención de mis tutores (Vicent Benedito Durá, Daniel Aguado García y Miguel Martín Monerris) que me dieron la posibilidad de realizar algo, en el cual tenía gran interés, como es el de transformar un tanque de tormenta en un sistema naturalizado y dar una serie de servicios a la población. No solo me dieron esa posibilidad sino que me aportaron información y consejos en todo momento, por tanto, por eso y por mucho más, Gracias.

Son muchas las personas que conoce un hombre, pero muy pocos los amigos que realmente uno tiene. Por eso debo dar gracias a mis amigos por el apoyo dado en todo momento tanto con el tfg como en el tema personal, Gracias.

Por último, no puedo olvidarme de mi familia, que es la que realmente o mayoritariamente me han inculcado una serie de valores que hacen de mí una persona con la entereza necesaria para franquear cualquier barrera; Gracias.

Ha sido un camino largo desde que comencé esta carrera pero ahora puedo vislumbrar la culminación de un ciclo y la apertura de otro. No puedo olvidarme por tanto de darle gracias a la vida, a Dios por todo lo que he vivido; Gracias.

Resumen

Desde que el hombre dejó de ser nómada y pasó a ser sedentario hasta la revolución industrial, los vertidos del hombre, tanto al terreno como a las aguas, fueron creciendo con la población. Se pensaba que tanto el terreno como las aguas tenían la capacidad suficiente para depurar los contaminantes, pero con el tiempo, el crecimiento de las poblaciones produjo enfermedades que trasladaron los vertidos a zonas lejanas a las poblaciones. Todo esto unido junto a la sofisticación de los materiales (materiales plástico, etc.; desde la revolución industrial hasta nuestros días) ha producido además, materiales no biodegradables que afectan a la flora y fauna.

Es por tanto, en el 2000, cuando aparecen las normativas europeas de aguas que buscan la mejora de las aguas en toda Europa, y el uso eficiente y eficaz de ellas. A partir de esta normativa se extenderán numerosas normativas. Los diferentes países de la comunidad europea seguirán estas normas y podrán ser aún más restrictivas si así lo deciden. En España seguiríamos la normativa Europea, luego la estatal y por último la comunitaria para conseguir un buen uso y estado de nuestras aguas.

Pero no es, hasta hace poco tiempo, cuando se empieza a tener mayor conciencia y a poner mayores esfuerzos en conseguir un nivel en cantidad y calidad de agua en toda Europa. El cambio climático poco a poco ha ido recabando en las ideas de las personas y hay una mayor tendencia de conservadurismo y acoplamiento de nuestras construcciones con la naturaleza.

Esta tendencia de acoplamiento de los sistemas naturales a nuestras poblaciones buscando la reducción de la carga contaminante y los problemas de inundaciones es lo que se busca en este estudio junto a mayores objetivos como veremos posteriormente.

En nuestro estudio, primero hablaremos de la problemática de las aguas pluviales para entender cómo actúan y responden las diferentes estructuras de la zona norte de Moncada frente a los vertidos realizados al barranco del Carraixet. Conseguiremos a partir del estudio de las aguas pluviales obtener unos caudales y volúmenes para nuestros sistemas y así reducir la carga contaminante al barranco del Carraixet.

A partir de aquí observaremos el terreno disponible y plantearemos dos hipótesis de la cual elegiremos la que mejor nos salga económicamente y ambientalmente hablando.

Realizaremos por tanto un sistema de balsas de sedimentación-laminación y humedales artificiales con suficiente extensión como para poder depositar todas o gran parte de las aguas de lluvia e incluso depurara mayor cantidad de aguas pluviales junto a una cantidad de agua residual bajando las arquetas de los colectores que discurren hacia el casco antiguo.

A partir de los datos de los rendimientos de estos sistemas en otros lugares podremos suponer una calidad adecuada de nuestras aguas que darán vida al barranco del Carraixet.

También comentaremos el ecosistema que se puede formar a partir de la zona aguas arriba de nuestra zona de estudio. Esta zona, con poco agua de cierta calidad, posibilita la aparición de una gran variedad de fauna y flora.

Resume

Des que el l'home deix de ser nòmada i va pasar a ser sedentari fins a la revolució industrial, els abocaments de l'home, tant al terreny com a les aigües, van ser creixent amb la població. Es pensava que tant el terreny com les aigües tenien la capacitat suficient per a depurar els contaminants, però amb el temps, el creixement de les poblacions va produir malalties que van traslladar els abocaments a zones llunyanes a les poblacions. Tot açò unit junt amb la sofisticació dels materials (materials plàstic, etc., des de la revolució industrial fins als nostres dies) ha produït a més materials no biodegradables que afecten la flora i fauna.

És per tant en el 2000, quan apareixen les normatives europees d'aigües que busquen la millora de les aigües en tota Europa, i l'ús eficient i eficaç d'elles. A partir d'esta normativa s'entendran nombroses normatives. Els diferents països de la comunitat europea seguirán estes normes i podrán ser encara més restrictives si així ho decidixen. A Espanya seguirem la normativa Europea, després l'estatal i finalment la comunitària per a aconseguir un bon ús i estat de les nostres aigües.

Però no és, fins fa poc de temps, quan es comença a tindre major consciència i a posar majors esforços a aconseguir un nivell en quantitat i qualitat d'aigua en tota Europa. El canvi climàtic a poc a poc ha anat demanant en les idees de les persones i hi ha una major tendència de conservadorisme i adaptament de les nostres construccions amb la naturalesa.

Esta tendència d'adaptament dels sistemes naturals a les nostres poblacions buscant la reducció de la càrrega contaminen i els problemes d'inundacions és el que es busca en este estudi junt amb majors objectius com veurem posteriorment.

En el nostre estudi, primer parlarem de la problemàtica de les aigües pluvials per a entendre com actuen i responen les diferents estructures de la zona nord de Moncada enfront dels abocaments realitzats al barranc del Carraixet. Aconseguirem a partir de l'estudi de les aigües pluvials obtenir uns cabals i volums per als nostres sistemes no convencionals que milloren la qualitat de les aigües al barranc del Carraixet.

A partir d'ací observarem el terreny disponible i plantejarem dos hipòtesis de la qual triarem la que millor enisca econòmicament i ambientalment parlant.

Realitzarem per tant un sistema de basses de sedimentació-laminació i aiguamolls artificials amb suficient amplitud com per a poder depositar totes o gran part de les aigües de pluja i inclús depurara major quantitat d'aigües pluvials junt amb una quantitat d'aigua residual abaixant les arquetes dels col.lectors que discorren cap al nucli antic.

Apartir de les dades dels rendiments d'estos sistemes en altres llocs podrem suposar una qualitat adequada de les nostres aigües que donaran vida al barranc del Carraixet i a més es podrá fer un magatzematge d'una certa quantitat d'aigua per al seu ús tant per al reg com la neteja de carrers.

Tambe comentarem l'ecosistema que es pot formar a partir de la zona aigües dalt de la nostra zona d'estudi. Esta zona amb poc aigua d'una certa qualitat posibilita l'aparició d'una gran varietat de fauna i flora.

Abstract

Since man stopped being nomadic and became sedentary until the industrial revolution, discharges of man, both the ground and the waters were growing with the population. It was thought that both the land and the waters had sufficient capacity to purge contaminants, but over time, the population growth occurred diseases discharges moved to remote areas to towns. All this coupled with the sophistication of materials (plastic materials, etc .; from the industrial revolution to the present day) has also produced non-biodegradable materials affecting nature.

It is therefore in 2000, when European water regulations seeking improved water across Europe and the efficient and effective use of them appear. From this legislation will extend numerous regulations. Different countries of the European community will follow these rules and may be even more restrictive if they so choose. In Spain would follow the European, then state regulation and finally the community to get good use and condition of our waters.

But it is not until recently, when you start to be more aware and to make greater efforts to achieve a level quantity and quality of water throughout Europe. Climate change has slowly been gathering in the ideas of people and there is a greater tendency to conservatism and coupling of our buildings with nature.

This trend coupling of natural systems to our populations and improving water is what is sought in this study with larger goals as we shall see later.

In our study, we first discuss the problem of rainwater to understand how they work and answer the different structures of northern Moncada against discharges Carraixet made the ravine. Get from the study of rainwater obtain flows and volumes for our unconventional systems that improve water quality Carraixet the ravine.

From here we see the available land and raise two hypotheses which will choose the best out economically and environmentally us talking.

We will therefore system of basins and artificial wetlands broad enough to deposit all or most of the rainwater and even purge them from time to time an amount of residual water down manholes collectors running towards the old town.

From the data yields of these systems elsewhere we can assume an adequate quality of our waters that give life to the ravine Carraixet and also can make storage a certain amount of water to use for both irrigation and the street cleaning.

Also we discuss the ecosystem that can be formed from the upstream zone of our study area. This area with little waters of a certain quality possible the appearance of a variety of animals and vegetables in the ecosystem.

Résumé

Depuis que l'homme a cessé d'être nomade et est devenu sédentaire jusqu'à la révolution industrielle, les rejets de l'homme, à la fois que le sol et les eaux ont été de plus en plus avec la population. On pensait que la terre et les eaux avaient une capacité suffisante pour éliminer les contaminants, mais au fil du temps, la croissance de la population produisit des maladies qui démenageaient des déchets vers des zones éloignées des villes. Tout cela ajouté à la sophistication des matériaux (matières plastiques, etc.;. De la révolution industrielle à nos jours) a également produit des matériaux non biodégradables lesquels affectent la flore et la faune.

Il est donc en 2000, lorsque les réglementations européennes en eau qui cherchent améliorer l'eau à travers l'Europe et utiliser avec efficacité et efficacité d'elles, apparaissent.

Ce projet de loi permettra de prolonger de nombreux règlements. Les différents pays de la Communauté Européenne suivront ces règles et peuvent être encore plus restrictives si ils le desirassent. L'Espagne suivrait puis la régulation européenne pour obtenir une bonne utilisation avec la consideration de l'état de nos eaux.

Mais ce n'est que récemment, lorsqu'on commence à être plus conscients et à redoubler les efforts pour parvenir à une quantité de niveau et la qualité de l'eau dans toute l'Europe. Le changement climatique a lentement recueilli dans les idées de personnes et il y a une plus grande tendance à la conservation et le couplage de nos bâtiments avec la nature.

Ce couplage des tendances des systèmes naturels à nos populations et l'amélioration de l'eau est ce qui est recherché dans cette étude avec des objectifs plus importants que nous verrons plus tard.

Dans notre étude, nous allons aborder les problèmes de l'eau de pluie pour comprendre comment ils fonctionnent et répondre aux différentes structures du nord de Moncada contre les décharges du ravin de Carraixet. On va pouvoir obtenir de l'étude de l'eau de pluie l'obtention des flux et volumes pour nos systèmes non conventionnels qui améliorent la qualité de l'eau du ravin de Carraixet.

De là, nous allons observer les terres disponibles nous extrayons deux hypothèses avant mentionnées qui choisiront le meilleur plan économique et environnemental duquel nous allons parler.

Nous allons donc effectuer le système lagunage et les zones humides artificielles assez larges pour déposer la totalité ou la plupart de l'eau de pluie et même de déboguer de temps en temps une quantité d'eau résiduelle vers le bas des collectionneurs qui courent vers la vieille ville.

À partir des données de ces systèmes ailleurs, on peut supposer une qualité correcte de nos eaux qui donnent vie au ravin de Carraixet et peut également faire le stockage d'une certaine quantité d'eau à utiliser à la fois pour l'irrigation et le nettoyage des rues.

Aussi, nous discuterons l'écosystème qui peut être formé à partir de la zone en amont de notre zone d'étude. Cette zone avec peu d'eau d'une certaine qualité, permettra l'apparition d'une variété de la faune et de la flore.

Nous allons donc le système lagunage et les zones humides artificielles assez larges pour déposer la totalité ou la plupart de l'eau de pluie et même de les purger de temps en temps une quantité d'eau résiduelle bas regards collectionneurs courant vers la vieille ville.

Des rendements de données de ces systèmes ailleurs, on peut supposer une qualité adéquate de nos eaux qui donnent vie au ravin Carraixet et peut également rendre le stockage d'une certaine quantité d'eau à utiliser à la fois pour l'irrigation et la le nettoyage des rues.

Aussi, nous discutons de l'écosystème qui peut être formé à partir de la zone amont de notre zone d'étude. Cette zone avec peu d'eau d'une certaine qualité possible l'apparition d'une variété de la faune et de la flore.



ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICAS

1.	Introducción-problemática de las aguas pluviales.....	12
1.1	Razones motivadoras para el Estudio	14
1.2	Zona de estudio	17
1.3	Problemática	27
2.	Objetivos	32
3.	Estado del Arte.....	35
3.1	Normativa de Red.....	37
3.1.1	Criterios de Red.....	37
3.1.2	Nuestra red	40
3.2	El lagunaje.....	50
3.2.1	Introducción	50
3.2.2	Fundamentos.....	53
3.2.3	Esquema de funcionamiento.....	55
3.2.4	Tipos de lagunas	58
3.2.5	Mecanismos de depuración	61
3.2.6	Factores que influyen en el proceso de Lagunaje	68
3.2.7	Diseño del Lagunaje.....	71
3.2.8	Construcción de una instalación de Lagunaje	76
3.2.9	Puesta en servicio de una instalación de lagunaje	91
3.2.10	Mantenimiento y Explotación de una instalación de Lagunaje	94
3.3	Humedales artificiales	101
3.3.1	Introducción	101
3.3.2	Fundamentos.....	103
3.3.3	Tipos de humedales artificiales	104



3.3.4	Esquema de funcionamiento.....	108
3.3.5	Mecanismos de depuración	112
3.3.6	Diseño de los Humedales Artificiales	120
3.3.7	Construcción de los Humedales Artificiales	125
3.3.8	Puesta en servicio.....	138
3.3.9	Mantenimiento y explotación	139
4.	Descripción de la zona de estudio	149
5.	Propuesta y dimensionamiento para la selección de la alternativa utilizada.....	165
5.1	Primera aproximación para las Alternativas	167
5.3	Segunda Alternativa	172
6.	Valoración económica y ambiental	176
6.1	Movimiento de tierras.....	178
6.2	Pretratamiento y Tratamiento primario (Lagunajes anaerobios).	180
6.3	Tratamiento secundario (lagunaje facultativo).....	181
6.4	Tratamiento terciario (lagunaje de maduración).....	182
6.5	Humedales Artificiales.....	182
6.6	Conducciones y arquetas.....	184
6.7	Valoración ambiental	186
7.	Propuesta de solución.....	190
8.	Resumen y Conclusiones	193
9.	Referencias.....	196



Índice Figuras:

FIGURA I. 1: ESQUEMA DE LAS OBLIGACIONES DEL ARTÍCULO 5 DE LA DIRECTIVA 2000/60/CE (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2004).	15
FIGURA I. 2: IMAGEN DE LOS DISTINTOS BARRIOS Y POLÍGONOS DE MONCADA (IMAGEN DEL TERRASIT).	17
FIGURA I. 3: IMAGEN SOBRE PLANO, DE LA DIRECCIÓN DEL FLUIR DE LAS AGUAS PLUVIALES HACIA LOS COLECTORES PRINCIPALES (SEGÚN EL PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	18
FIGURA I. 4: IMAGEN DE LA ROTONDA AL NORTE DEL BARRIO LOS VIRGEN DE LOS DOLORES (AL LADO OESTE DE LAS VÍAS) POR DONDE TUERCE HACIA LA IZQUIERDA UN COLECTOR QUE CONECTA CON EL COLECTOR D800 MM QUE COMUNICA MASIES CON SAN ISIDRO Y VIERTE SUS AGUAS AL BARRANCO DEL CARRAIXET (VISITA A CAMPO).	20
FIGURA I. 5: IMAGEN DEL TÚNEL QUE COMUNICA MASIES CON SAN ISIDRO Y POR EL CUAL PASA EL COLECTOR D 800 MM QUE VIERTE AL BARRANCO DEL CARRAIXET (VISITA A CAMPO).	20
FIGURA I. 6: IMAGEN DE LA CALLE 130 POR DONDE BAJA EL COLECTOR D 1400 MM QUE RECOGE GRAN PARTE DE LAS AGUAS PLUVIALES Y LAS COMUNICA CON EL COLECTOR DE LA DEFENSA (VISITA A CAMPO).	21
FIGURA I. 7: IMAGEN SOBRE PLANO DE LOS PRINCIPALES COLECTORES QUE VIERTEN SUS AGUAS AL BARRANCO DEL CARRAIXET (SEGÚN EL PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	22
FIGURA I. 8: IMAGEN DE LA ROTONDA DONDE SE COMUNICAN LOS COLECTORES, D 1400 MM (CALLE OESTE) Y D1000 MM (CALLE ESTE). COMIENZO DEL COLECTOR DE LA DEFENSA CON SU CORRESPONDIENTE ALIVIADERO (CAJERO DEFENSA);(VISITA A CAMPO).	23
FIGURA I. 9: IMAGEN DE LA CALLE DEL CEMENTERIO DONDE SE COMUNICA LA ROTONDA DEL COMIENZO DEL COLECTOR DE LA DEFENSA CON EL TÚNEL QUE PASA LAS VÍAS DEL FERROCARRIL Y DIRIGE EL AGUA HA VERTIDO EN EL CARRAIXET (VISITA A CAMPO).	23
FIGURA I. 10: IMAGEN DE LA ROTONDA DONDE SE UBICA EL CAJERO (CON SU RESPECTIVO ALIVIADERO) DONDE SE COMUNICAN EL COLECTOR DE LA DEFENSA QUE VIENE DE NORTE A SUR EN ESTA IMAGEN Y EL COLECTOR D 700 MM DEL ESTE DE LA IMAGEN (VISITA A CAMPO).	24
FIGURA I. 11: IMAGEN DEL TÚNEL QUE COMUNICA CON EL BARRACO DEL CARRAIXET (HACIA EL NORTE) Y POR EL CUAL PASARÁ NUESTRO COLECTOR DE LA DEFENSA (VIENE DEL SUR); (VISITA A CAMPO).	25
FIGURA I. 12: IMAGEN SOBRE PLANO DE LAS INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES (AZUL) Y DE LAS PREVISTAS EN EL PLAN DIRECTOR (ROJO); (SEGÚN EL PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	26
FIGURA III. 1: IMAGEN DONDE APARECEN LOS COLECTORES QUE CONECTAN CON EL COLECTOR DE LA DEFENSA (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	41
FIGURA III. 2: IMAGEN DE LOS VALORES DE PENDIENTE EN TANTO POR UNO DE LA RED DE SANEAMIENTO DE MONCADA (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	45
FIGURA III. 3: TECNOLOGÍAS APLICADAS EN PEQUEÑAS POBLACIONES POR ORDEN DE ABUNDANCIA Y CCAA (LA DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES EN PEQUEÑAS POBLACIONES ESPAÑOLAS).	53
FIGURA III. 4: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA TECNOLOGÍA DE LAGUNAJE (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	54
FIGURA III. 5: COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE LAGUNAJE CON LOS FENÓMENOS DE AUTODEPURACIÓN NATURAL QUE SE DAN EN LOS CAUCES NATURALES (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	55
FIGURA III. 6: DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA INSTALACIÓN DE LAGUNAJE (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	55



FIGURA III. 7: DESBASTE CON REJA DE LIMPIEZA MANUAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	56
FIGURA III. 8: DESARENADO ESTÁTICO.....	57
FIGURA III. 9: IMAGEN DE UN DESENGRASADOR ESTÁTICO.....	58
FIGURA III. 10: ESQUEMA DE LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	59
FIGURA III. 11: ESQUEMA DE UNA LAGUNA FACULTATIVA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	61
FIGURA III. 12: EXCAVACIÓN DEL CONFINAMIENTO DE UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	78
FIGURA III. 13: HORMIGÓN DE LIMPIEZA EN EL FONDO DE LA EXCAVACIÓN DE UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	79
FIGURA III. 14: COLOCACIÓN DE LA ARMADURA EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	79
FIGURA III. 15: HORMIGONADO DE LA SOLERA EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	80
FIGURA III. 16: COLOCACIÓN DEL ENCOFRADO EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	80
FIGURA III. 17: ENCOFRADO EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	81
FIGURA III. 18: HORMIGONADO DE LAS PAREDES EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	81
FIGURA III. 19: RETIRADA DEL ENCOFRADO EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	82
FIGURA III. 20: ENCOFRADO DEL RESTO DE LA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	82
FIGURA III. 21: IMPERMEABILIZACIÓN DE LAS PAREDES DE LA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	83
FIGURA III. 22: RELLENO Y COMPACTACIÓN DEL TERRENO CIRCUNDANTE EN UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	83
FIGURA III. 23: VERTEDERO DE SALIDA DE UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	84
FIGURA III. 24: EXCAVACIÓN DEL CONFINAMIENTO EN UNA LAGUNA FACULTATIVA Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	86
FIGURA III. 25: COMPACTACIÓN DE LA CORONACIÓN DE LA LAGUNA FACULTATIVAS Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	87
FIGURA III. 26: DETALLE DE LA ARQUETA DE SALIDA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	87
FIGURA III. 27: COLOCACIÓN DE LA LÁMINA DE GEOTEXTIL EN UNA LAGUNA FACULTATIVA Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	88
FIGURA III. 28: COLOCACIÓN DE LA LÁMINA PLÁSTICA DE PEAD EN LAGUNAS FACULTATIVAS Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	88
FIGURA III. 29: TERMOSOLDADO DE LAS LÁMINAS DE PEAD EN LAGUNAS FACULTATIVAS Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	89
FIGURA III. 30: LAGUNA FACULTATIVA Y DE MADURACIÓN IMPERMEABILIZADA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	89



FIGURA III. 31: PREPARACIÓN DE TALUDES PARA EL ENCACHADO EN LAGUNAS FACULTATIVAS Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	90
FIGURA III. 32: ENCACHADO DE LOS TALUDES DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS Y DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	90
FIGURA III. 33: LLENADO DE UNA LAGUNA ANAEROBIA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	92
FIGURA III. 34: LLENADO DE UNA LAGUNA FACULTATIVA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	93
FIGURA III. 35: LLENADO DE UNA LAGUNA DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	94
FIGURA III. 36: RETIRADA DE FLOTANTES EN UNA LAGUNA ANAEROBIA.	95
FIGURA III. 37: RETIRADA DE FLOTANTES EN UNA LAGUNA DE MADURACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	97
FIGURA III. 38: ELIMINACIÓN MANUAL DE LA VEGETACIÓN DE LOS TALUDES DE LAS LAGUNAS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	98
FIGURA III. 39: ELIMINACIÓN MEDIANTE HERBICIDA DE LA VEGETACIÓN DE LOS TALUDES DE LAS LAGUNAS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	98
FIGURA III. 40: SECCIÓN DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	105
FIGURA III. 41: CORTE TRANSVERSAL DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	105
FIGURA III. 42: CORTE LONGITUDINAL DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	107
FIGURA III. 43: CORTE LONGITUDINAL DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	107
FIGURA III. 44: ESQUEMA DE UNA FOSA SÉPTICA DE DOS CÁMARAS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	110
FIGURA III. 45: ESQUEMA DE UN TANQUE IMHOFF (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	110
FIGURA III. 46: DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO MEDIANTE HAFSS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	111
FIGURA III. 47: DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO MEDIANTE HAFSS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	111
FIGURA III. 48: LAGUNAJE DE MADURACIÓN EN COLA DE UN HAFSS, A MODO DE TRATAMIENTO TERCIARIO (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	112
FIGURA III. 49: DETALLE DE LA ZONA DE RIZOMAS Y DE RAÍCES DE UNA PLANTA DE CARRIZO (PHRAGMITES AUSTRALIS, IZQUIERDA). DETALLE DEL AERÉNQUIMA DE UNA PLANTA DE CARRIZO (PHRAGMITES AUSTRALIS); (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	115
FIGURA III. 50: PRINCIPALES PROCESOS DE DEPURACIÓN QUE TIENEN LUGAR EN LOS HUMEDALES ARTIFICIALES (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	120
FIGURA III. 51 EXCAVACIÓN DEL CONFINAMIENTO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	126
FIGURA III. 52: PERFILADO DE LOS TALUDES DEL CONFINAMIENTO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	126
FIGURA III. 53: COLOCACIÓN DE UNA LÁMINA DE GEOTEXTIL EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	127



FIGURA III. 54: HUMEDAL IMPERMEABILIZADO (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	127
FIGURA III. 55: SUJECCIÓN DE LA LÁMINA PLÁSTICA MEDIANTE GRAPA METÁLICA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	128
FIGURA III. 56: CHAPA DEFLECTORA EN LA SALIDA DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	128
FIGURA III. 57: TUBERÍAS DE DRENAJE PARA LA EVACUACIÓN DE EFLUENTES EN HAFSS HORIZONTALES. LAS TUBERÍAS QUEDAN EMBUTIDAS EN UNA CAPA DE BOLOS DE 50-100 MM (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	129
FIGURA III. 58: ENLACE DE LAS TUBERÍAS DE DRENAJE CON LA TUBERÍA DE EVACUACIÓN A TRAVÉS DEL FONDO DE LA ARQUETA DE SALIDA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	130
FIGURA III. 59: RECUBRIMIENTO DE DRENES CON UNA CAPA DE BOLOS DE 50-100 MM (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	130
FIGURA III. 60: TUBERÍA DE EVACUACIÓN DE EFLUENTES, CONECTADA A LAS TUBERÍAS DE DRENAJE (PERMITE CONTROLAR EL NIVEL DEL AGUA EN EL SUSTRATO FILTRANTE (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	131
FIGURA III. 61: CONJUNTO DE TUBERÍAS DE DRENAJE PARA LA EVACUACIÓN DE LOS EFLUENTES DEPURADOS EN UN HAFSS VERTICAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	131
FIGURA III. 62: LAS TUBERÍAS DE DRENAJE SE VAN CUBRIENDO CON UNA CAPA DE GRAVA DE 25-40 MM (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	132
FIGURA III. 63: DETALLES DE LAS TUBERÍAS DE EVACUACIÓN DE EFLUENTES EN LA ARQUETA DE SALIDA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	132
FIGURA III. 64: COLOCACIÓN DE LAS CHIMENEAS DE VENTILACIÓN EN UN HAFSS VERTICAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	133
FIGURA III. 65: DETALLE DE LAS CHIMENEAS DE VENTILACIÓN EN UN HAFSS VERTICAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	133
FIGURA III. 66: ASPECTO DE UN HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL RECIÉN PLANTADO Y AL AÑO DE SU PLANTACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	136
FIGURA III. 67: PLANTA DE PHRAGMITES AUSTRALIS PROCEDENTE DE VIVERO (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	137
FIGURA III. 68: DISTRIBUCIÓN DE LAS BANDEJAS CON PLANTAS DE VIVERO PARA LOGRAR UNA PLANTACIÓN UNIFORME DEL HUMEDAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	137
FIGURA III. 69: HAFSS VERTICAL AL AÑO DE SU PLANTACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	138
FIGURA III. 70: SIEGA MANUAL DE LA PLANTACIÓN DE CARRIZO UNA VEZ SECA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	141
FIGURA III. 71: SIEGA MECANIZADA DE LA PLANTACIÓN DE CARRIZO UNA VEZ SECA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	142
FIGURA III. 72: EVACUACIÓN DE LA BIOMASA SECA TRAS LA SIEGA DE UN HUMEDAL (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	142
FIGURA III. 73: EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN DE UN HAFSS TRAS SU SIEGA (20 FEBRERO 2006); (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	143
FIGURA III. 74: EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN DE UN HAFSS TRAS SU SIEGA (13 MARZO 2006); (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	143
FIGURA III. 75: EVOLUCIÓN DE LA VEGETACIÓN DE UN HAFSS AL AÑO DE SU SIEGA (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).....	144



FIGURA IV. 1: PARCELACIÓN DONDE SE DISPONDRÁN NUESTRAS ALTERNATIVAS DEL ESTUDIO	151
FIGURA IV. 2: EN ROJO TERRENOS DE CULTIVO QUE SE INTENTARA NO OCUPAR (IMAGEN GOOGLE).....	151
FIGURA IV. 3: MAPA WEB GEOLÓGICO DE ARCGIS ONLINE (INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA).	162
FIGURA IV. 4: MAPA DE PERMEABILIDAD DEL TERRENO EN ESPAÑA (INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA).	163
FIGURA IV. 5: VISIÓN CERCANA DE LA PERMEABILIDAD DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO Y SU RESPECTIVA LEYENDA AMPLIADA (INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA).	164
FIGURA V. 1: SUPERFICIE EN M ² DEL ECOTANQUE (IMAGEN TERRASIT)	168
FIGURA V. 2: IMAGEN DE LA SUPERFICIE PARA LA 2ª Balsa y los humedales artificiales (IMAGEN TERRASIT).	169
FIGURA V. 3: IMAGEN DE LA SUPERFICIE PARA LA SEGUNDA Balsa (IMAGEN TERRASIT).....	169
FIGURA V. 4: IMAGEN DE LA SUPERFICIE DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES (IMAGEN TERRASIT).	170
FIGURA V. 5: ALTERNATIVA N ^o 1 DE ACTUACIÓN (IMAGEN GOOGLE MAPS).	171
FIGURA V. 6: LAGUNA ANAEROBIA EN LA PRIMERA ACTUACIÓN (IMAGEN GOOGLE MAPS).....	172
FIGURA V. 7: ALTERNATIVA N ^o 2 CON SUS RESPECTIVOS ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS (EN GRIS: PRETRATAMIENTO Y ECOTANQUES; EN VERDE CLARITO: Balsa de sedimentación-laminación 2 y 3, EN COLOR VERDE OSCURO: HUMEDALES ARTIFICIALES, EN AZUL MARINO: COLECTOR D2000 DE LA DEFENSA, EN AZUL MÁS CLARITO: LAS TUBERÍAS, EN NEGRO: LAS VÁLVULAS Y EN MARRÓN LAS ARQUETAS DE SALIDA); (TERRASIT).	173
FIGURA VI. 1: IMAGEN DEL ECOSISTEMA FORMANDO AGUAS ARRIBA DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO EN EL BARRANCO DEL CARRAIXET (VISITA A CAMPO).....	187
FIGURA VI. 2: IMAGEN DEL ECOSISTEMA FORMANDO AGUAS ARRIBA DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO EN EL BARRANCO DEL CARRAIXET (VISITA A CAMPO).....	188
FIGURA VI. 3: ECOSISTEMA NATURAL QUE SE FORMA AGUAS ARRIBA DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO EN EL BARRANCO DEL CARRAIXET. EN ROJO: ACEQUIA POR DONDE VIERTEN AL BARRANCO. EN VERDE: EL ECOSISTEMA NATURAL FORMADO (IMAGEN GOOGLE)	189
FIGURA VII. 1: ALTERNATIVA N ^o 2 CON SUS RESPECTIVOS ESTRUCTURAS Y ELEMENTOS (EN GRIS: PRETRATAMIENTO Y ECOTANQUES; EN VERDE CLARITO: Balsa 2 y 3, EN COLOR VERDE OSCURO: HUMEDALES ARTIFICIALES, EN AZUL MARINO: COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA, EN AZUL MÁS CLARITO: LAS TUBERÍAS, EN NEGRO: LAS VÁLVULAS Y EN MARRÓN LAS ARQUETAS DE SALIDA); (TERRASIT).	192



Índice de Tablas

TABLA I. 1: PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES CON SU MÁXIMO Y MÍNIMOS (EN ROJO) EN MONCADA (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	28
TABLA I. 2: ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES MENSUALES DE MONCADA Y DESTACANDO EL MÁXIMO O LOS TRES MÁXIMOS DE LAS CORRESPONDIENTES PRECIPITACIONES (EN ROJO); (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	30
TABLA I. 3: MÁXIMO DE LOS DOS TRIMESTRES Y MÁXIMO MENSUAL (EN ROJO); (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).....	31
TABLA I. 4: NÚMERO MÁXIMO DE DÍAS SIN PRECIPITACIONES DESDE 1990 A 2013 (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).....	31
TABLA III. 1: COLECTOR 991-992 (D 1000 MM) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	41
TABLA III. 2: COLECTOR 993-992 (D 2000 MM AGUAS ARRIBA) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).....	42
TABLA III. 3: COLECTOR 658-657 (D 500 MM AGUAS ARRIBA) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).....	42
TABLA III. 4: COLECTOR 660-1196 (D 800 MM AGUAS ARRIBA) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).....	43
TABLA III. 5: COLECTOR 987-988 (D 300 MM AGUAS ARRIBA) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).....	43
TABLA III. 6: COLECTOR 1198-990 (D 2000 MM AGUAS ARRIBA) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).....	43
TABLA III. 7: COLECTOR 657-656 (D 500 MM AGUAS ABAJO) QUE UTILIZAREMOS PARA LA BÚSQUEDA DEL CAUDAL QUE DISCURRE POR EL COLECTOR D2000 MM DE LA DEFENSA A SU SALIDA HACIA EL BARRANCO DEL CARRAIXET (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).....	44
TABLA III. 8: CAUDALES FUNCIONALES Y MÁXIMOS DE LOS DIFERENTES COLECTORES (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).....	44
TABLA III. 9: CÁLCULO DEL CAUDAL RESIDUAL (QR); (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	45
TABLA III. 10: CÁLCULO DE LOS FACTORES K Y KA PARA EL POSTERIOR CÁLCULO DEL CAUDAL CIRCULANTE (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	45
TABLA III. 11: CÁLCULO DE PO PARA OBTENER EL VALOR DE LA INTENSIDAD (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	46
TABLA III. 12: DIFERENTES FORMAS DE CÁLCULO DE NUESTRA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA. (SE ELIGE LA DEL MÉTODO REGIONAL QUE ES EL MÁS CONSERVADOR Y PARA T15 AÑO); (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).....	46
TABLA III. 13: CÁLCULO PARA T15, DEL CAUDAL TOTAL, DIÁMETRO REQUERIDO, VELOCIDAD ADMISIBLE (CON LOS RADIANES QUE OCUPA EN LA SUPERFICIE INTERIOR DEL COLECTOR) Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA SU ACEPTACIÓN (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	46
TABLA III. 14: PRECIPITACIONES PARA UN CV Y UN PERIODO DE RETORNO (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).....	47
TABLA III. 15: VALORES FINALES DE PRECIPITACIÓN PARA UN PERIODO DE RETORNO CON EL MÉTODO REGIONAL (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	47



TABLA III. 16: CÁLCULO PARA T ₂ , DEL CAUDAL TOTAL, DIÁMETRO REQUERIDO, VELOCIDAD ADMISIBLE (CON LOS RADIANES QUE OCUPA EN LA SUPERFICIE INTERIOR DEL COLECTOR) Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN PARA SU ACEPTACIÓN (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	48
TABLA III. 17: COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE ELIMINACIÓN CONVENCIONALES Y LOS LAGUNAJES (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	67
TABLA III. 18: VALORES RECOMENDADOS DE CARGA VOLUMÉTRICA, EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE DISEÑO Y RENDIMIENTOS QUE SE ALCANZAN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	72
TABLA III. 19: REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	101
TABLA III. 20: REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS REALIZADOS EN ZONAS SENSIBLES PROPENSAS A EUTROFIZACIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	101
TABLA III. 21: CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES MEDIOS EMPLEADOS COMO EMPLEADOS COMO SUSTRATOS EN LOS HAFSS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	121
TABLA III. 22: VALORES DE K _R Y θ_R , PARA CADA TIPO DE CONTAMINANTE (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	122
TABLA III. 23: VALORES UMBRALES PARA LOS DISTINTOS CONTAMINANTES (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	123
TABLA III. 24: VALORES DE LOS PARÁMETROS K _T , θ_R Y C*, PARA LOS DISTINTOS CONTAMINANTES (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	124
TABLA III. 25: REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	146
TABLA III. 26: REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS REALIZADOS EN ZONAS SENSIBLES PROPENSAS A EUTROFIZACIÓN. SEGÚN LA SITUACIÓN LOCAL, SE PODRÁN APLICAR UNO O LOS DOS PARÁMETROS. SE APLICARÁ EL VALOR DE CONCENTRACIÓN O EL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN (MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES).	147
TABLA IV. 1: IRRADIANCIA DE JULIO A DICIEMBRE EN DIFERENTES CIUDADES (AEMET).	153
TABLA IV. 2: HORAS DE CALOR VALENCIA, MANISES (AEMET).	156
TABLA IV. 3: HORAS DE CALOR VALENCIA (AEMET).	156
TABLA IV. 4: VALORES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE TEMPERATURA (DATOSCLIMA).	157
TABLA IV. 5: VELOCIDADES DEL VIENTO (AEMET).	158
TABLA IV. 6: NÚMERO DE DÍAS CON RACHAS DE VIENTO IGUAL O SUPERIOR A 55 KM/H Y 91 KM/H (AEMET).	159
TABLA IV. 7: PATRÓN MUNICIPAL DE HABITANTES (AEMET).	159
TABLA IV. 8: POBLACIÓN DE MONCADA SEGÚN EL AÑO (AEMET).	160
TABLA IV. 9: PROYECCIÓN DE POBLACIÓN EN MONCADA SEGÚN EDAD Y SEXO HASTA 2019 (AEMET).	160
TABLA IV. 10: PRECIOS MEDIOS DE LA TIERRA (AEMET).	161
TABLA V. 1: VOLÚMENES DE LOS ECOTANQUES SEGÚN EL PERIODO DE TIEMPO ESTIMADO Y PARA UNA PROFUNDIDAD DADA.	167
TABLA V. 2: VOLUMEN DEL ECOTANQUE PARA LOS TRES DÍAS MÁS LLUVIOSOS SEGÚN EL PERIODO DE RETORNO (T ₁₅ +2*T ₂); (CÁLCULOS EN EXCEL).	168
TABLA V. 3: VOLUMEN DEL HUMEDAL SEGÚN MES, 3 MESES O EL AÑO (CÁLCULOS EN EXCEL).	169



TABLA V. 4: VOLUMEN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES CON VALORES MEDIOS DE PRECIPITACIÓN CON Y SIN PICOS (CÁLCULOS EN EXCEL).	170
TABLA V. 5: CAUDAL MÁXIMO PARA T15 (CAUDAL REAL 6,034 M ³ /S) Y CAUDAL PARA T2 (CÁLCULOS CON EXCEL).	174
TABLA V. 6: VOLÚMENES DE ACUMULACIÓN DE LOS ECOTANQUES O BALSAS DE SEDIMENTACIÓN (CÁLCULOS CON EXCEL)..	174
TABLA V. 7: VOLUMEN DE ACUMULACIÓN PARA LA Balsa 2 Y LA 3 (CÁLCULOS CON EXCEL).	175
TABLA V. 8: LONGITUD Y ANCHURA DE NUESTROS HUMEDALES ARTIFICIALES (CÁLCULOS CON EXCEL).	175
TABLA VI. 1: VOLUMEN Y COSTE DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL PRETRATAMIENTO (CÁLCULOS CON EXCEL).	178
TABLA VI. 2: VOLUMEN Y COSTE DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE LAS LAGUNAS ANAEROBIAS (CÁLCULOS CON EXCEL).	179
TABLA VI. 3: VOLUMEN Y COSTE DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS DE LA LAGUNA FACULTATIVA Y DE MADURACIÓN (CÁLCULOS CON EXCEL).	179
TABLA VI. 4: VOLUMEN Y COSTE DEL RELLENO DE LA LAGUNA DE MADURACIÓN Y LOS HUMEDALES ARTIFICIALES (CÁLCULOS CON EXCEL).	179
TABLA VI. 5: VOLÚMENES Y COSTES DE TODO EL SISTEMA DE TRATAMIENTO (CÁLCULOS CON EXCEL).	179
TABLA VI. 6: VOLÚMENES, FERRALLADO, ENCOFRADO Y COSTES EN EL PRETRATAMIENTO (CÁLCULOS CON EXCEL).	180
TABLA VI. 7: VOLÚMENES, FERRALLADO, ENCOFRADO Y COSTES EN LOS LAGUNAJES ANAEROBIOS (CÁLCULOS CON EXCEL). ..	181
TABLA VI. 8: SUPERFICIES DE IMPERMEABILIZACIÓN Y COSTES EN LA LAGUNA FACULTATIVA (CÁLCULOS CON EXCEL).	182
TABLA VI. 9: SUPERFICIES DE IMPERMEABILIZACIÓN Y COSTES EN LA LAGUNA DE MADURACIÓN (CÁLCULOS CON EXCEL). ...	182
TABLA VI. 10: SUPERFICIES DE IMPERMEABILIZACIÓN, BOLOS, TUBERÍAS, CAPA VEGETAL Y COSTES EN LOS HUMEDALES ARTIFICIALES (CÁLCULOS CON EXCEL).	184
TABLA VI. 11: NÚMERO Y COSTES DE LAS TUBERÍAS, VÁLVULAS Y ARQUETAS (CÁLCULOS CON EXCEL).	185
TABLA VI. 12: COSTE TOTAL DE LA OBRA CON O SIN IMPERMEABILIZACIÓN PARA UNA O DOS FASES (CÁLCULOS CON EXCEL).	185
TABLA VI. 13: COSTE TOTAL FINAL DE LA OBRA (CÁLCULOS CON EXCEL).	185
TABLA VI. 14: COSTE TOTAL FINAL DE LA OBRA (CÁLCULOS CON EXCEL).	185

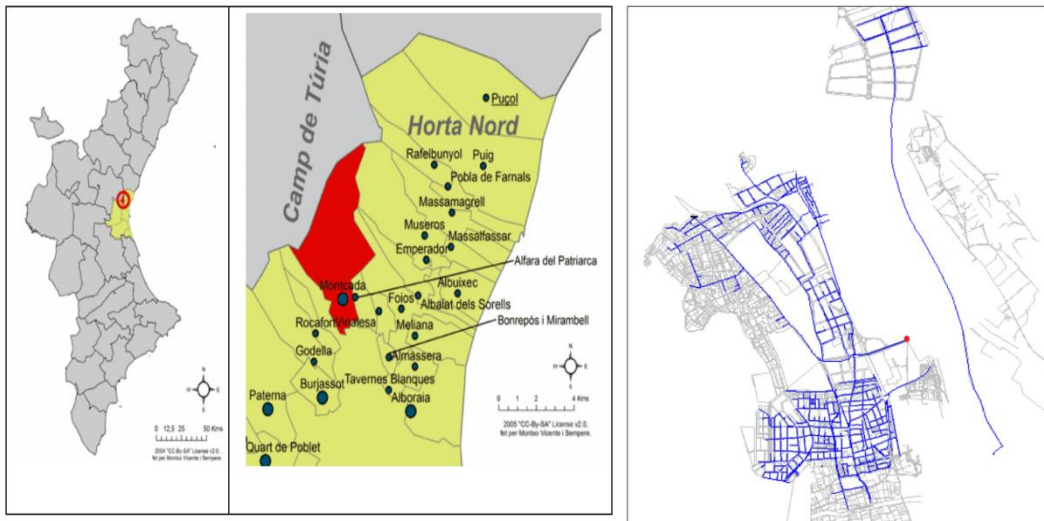


Índice de Gráficas

GRÁFICA I. 1: PRECIPITACIONES DIARIAS ANUALES EN MONCADA (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).	28
GRÁFICA I. 2: PRECIPITACIONES MENSUALES ANUALES; (CÁLCULOS MEDIANTE EXCEL).....	30
GRAFICA IV. 1: IRRADIACIÓN GLOBAL MEDIA DIARIA EN EL MES DE ENERO PARA DIFERENTES CIUDADES. IRRADIANCIA DIRECTA E INDIRECTA, GLOBAL Y MEDIA DIARIA PARA VALENCIA (AEMET)	152
GRAFICA IV. 2: PROYECCIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS HASTA 2100 EN VALENCIA (AEMET).....	153
GRAFICA IV. 3: PROYECCIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS HASTA 2100 EN VALENCIA CON DIFERENTES MÉTODOS (AEMET).	154
GRAFICA IV. 4: PROYECCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y PERIODOS SECOS (AEMET).	154
GRAFICA IV. 5: PROYECCIONES DE PERIODOS SECOS (AEMET).	155
GRAFICA IV. 6: TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS PARA 2013-2016 Y 2015-2016 (DATOSCLIMA).....	157
GRAFICA IV. 7: EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN DE MONCADA DESDE 1900 (PLAN DIRECTOR DE SANEAMIENTO DE MONCADA).	160
GRAFICA IV. 9: VISIÓN CERCANA DE NUESTRA ZONA EN EL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA (INSTITUTO GEOLÓGICO DE ESPAÑA).	163



1. Introducción-problemática de las aguas pluviales



Situación geográfica de Moncada (según el Plan director de saneamiento de Moncada) y vertido de un colector al cauce (Imagen de Google).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



1.1 Razones motivadoras para el Estudio

La situación mundial en cuanto a niveles cuantitativos y cualitativos de las aguas no es un problema que aparezca en nuestros días sino que viene desde tiempo atrás incubándose y se ha ido acrecentando en el tiempo con la contaminación producida por el ser humano y la constante falta de regulación y concienciación en temas de aguas.

Este problema existencial, en el sentido de, estrés hídrico, es aún más preocupante por el simple hecho de los efectos del cambio climático, que hacen del agua un bien escaso y que es necesario proteger para la propia supervivencia de nuestra especie y del resto de especies.

En Europa la unión europea ha realizado normativas (Directiva Marco del Agua, DMA) para dicha regulación y control y que se van actualizando cada 5 años para conseguir que los países se conciencien y caminen hacia la búsqueda de una Europa sin carencia de agua y con unos niveles de calidad según el uso al que vaya destinado. Habrá países que se encuentran más al sur de Europa que se verán expuestos a una climatología más extrema en cuanto a la aparición de lluvias más puntuales (escasas) y de aparición más torrencial, como también al aumento de temperaturas que crean todo ello situaciones de sequía que hay que intentar soslayar.

En lo que se refiere a los países más al norte este aumento de temperaturas es también acusado pero de una manera más suave ya que las lluvias son más constantes. Las lluvias que se dan, carecen de la calidad necesaria, debido a que arrastran una cantidad de contaminantes suspendidos en la atmosfera (debido a la contaminación atmosférica provocada por el hombre) y los depositan en cierta medida en las aguas continentales.

Toda esta problemática descrita nos lleva a buscar sistemas más eficientes y eficaces que consigan captar las escasas lluvias, transformarlas en aguas con una calidad satisfactoria según el uso al que se pretende que sean destinadas y mejorar la calidad de vertidos para la concreción de un medio natural más aceptable, que el que se puede ver hoy en día en ciertos lugares. Ser más eficientes utilizando energías renovables y buscando el gasto mínimo, como también la utilización de nuevas tecnologías que forman un papel muy importante hoy en día creando numerosos avances en distintos campos.

Al final, todo ello, nos lleva a una evolución humana en consonancia con un mundo natural que se dirige de forma paralela a nosotros con un vínculo que no se puede romper ya que necesitamos nosotros de la naturaleza para la propia vida.

La disponibilidad por tanto de agua a nivel mundial es un problema de primer orden. A nivel comunitario se ha producido un gran avance normativo en materia de aguas a través de la aprobación de la Directiva Marco en el año 2000 y, por primera vez, se observa el agua desde el punto de vista cualitativo e integral (cómo está el agua que hay y cómo están los ecosistemas asociados), y no sólo cuantitativo (cuánta agua hay). Pero para cumplir con los objetivos establecidos en esta y otras normas no basta con el esfuerzo de las Administraciones.



Las empresas o particulares que realizan vertidos ilegales deben cesar y estar más concienciados en sus repercusiones. En el caso que no lo estén se les impondrán sanciones elevadas para la protección de las aguas y todos los sistemas que la rodean.

Respecto del impacto que un vertido de escorrentías urbanas genera, esto implica que ya no se puede admitir un vertido en función de sus características intrínsecas sino que debe evaluarse en función de su impacto sobre el medio receptor de acuerdo con los objetivos a lograr.

Para la evaluación necesaria que propone la directiva en cuanto a presiones e impactos, el Ministerio de Medio ambiente estableció un Manual en 2004 para el análisis de presiones e impactos relacionados con la contaminación de las masas de agua superficiales. La primera revisión se realizó en diciembre de 2013 y después cada 6 años se continuara su seguimiento.

La evaluación de la presiones e impactos se integra dentro de los estudios requeridos en el artículo 5, que son el análisis de las características de la demarcación, el estudio de la repercusión de la actividad humana sobre el estado de las aguas superficiales y subterráneas y el análisis económico del uso del agua.

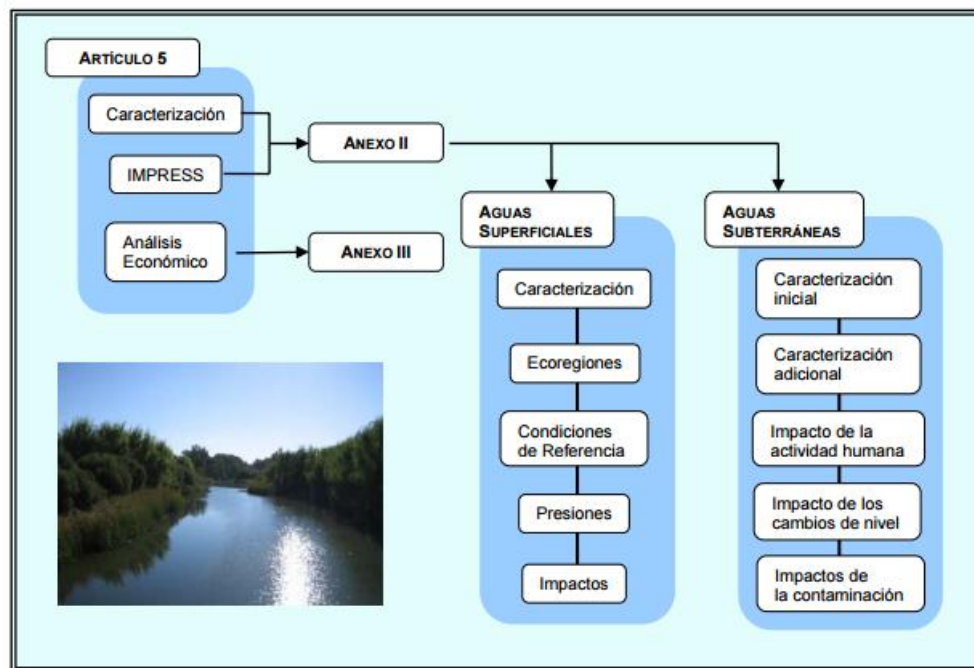


Figura I. 1: Esquema de las obligaciones del artículo 5 de la Directiva 2000/60/CE (Ministerio de Medio Ambiente, 2004).



Para mejorar la calidad de esos vertidos se necesitan sistemas convencionales o no convencionales. Los sistemas convencionales son las tradicionales EDAR que se disponen para las grandes ciudades debido a su elevada población y que dan muy buenos resultados, pero cuando se trata de poblaciones más pequeñas y con gran amplitud de espacio se pueden utilizar los sistemas no convencionales que dan unos rendimientos buenos, si se construyen adecuadamente ,(para la carga orgánica y metales pesados en el caso de redes unitarias, que son mayoritarias y para la carga orgánica o pluvial para redes separativas),que proporcionan menores costes de construcción, operacionales y de mantenimiento. Se trata de sistemas más naturalizados que no requieren mucha energía y que no producen impacto ambiental negativo, creando ecosistemas en su entorno.

En cuanto a las redes unitarias o separativas podemos decir que la mayoría trasiega el caudal a estas EDAR, pero al disponer de sistemas convencionales y espacio en pequeñas poblaciones como Moncada, se puede buscar puntos de conexión en la red para disminuir la carga que se dirige a la EDAR y depositarla en estos sistemas que aunque más lentos hacen la misma función que las EDAR.

Los sistemas no convencionales como: filtros verdes, lagunaje, humedales artificiales...etc.se utilizaban antiguamente de forma rudimentaria porque el agua proveniente de las ciudades se dejaba reposar en balsas naturales, lagos, humedales o en el propio terreno y estos realizaban la depuración lenta de los contaminantes siempre que no se sobrepasara su límite de admisión, en el cual se contaminaría el medio.

En nuestros días hay una tendencia creciente en la búsqueda de vivir en consonancia con el medio y por eso se vuelven a utilizar estos métodos desde hace unos años pero de una manera más eficaz ya que hay un mayor control debido a su estudio exhaustivo (Un buen dimensionamiento y diseño, que da muy buenos resultados).

La calidad del agua obtenida de estos sistemas no convencionales podemos decidirla según el diseño que se haga; proporcionado aguas de calidad para el riego, baldeo de calles...etc. y por supuesto a vertido a cauce.

Todo ello me ha llevado a elegir, gracias a mis tutores, una población como Moncada en la cual se le pueden aplicar un sistema de balsas de retención y laminación con humedales y buscar una serie de objetivos que veremos más adelante.



1.2 Zona de estudio

Nos encontramos al noreste de la capital Valenciana, a una distancia de unos 13 km en coche (aproximadamente unos 25 minutos) desde el centro de la capital y a unos 10 km de la costa (aproximadamente 20 minutos). Localización: WGS84 Geográficas (Lon.: 00°23'26.10"W Lat.: 39° 33'14.50"50N); ETRS89 UTM zona 30N (X: 724126.02510 Y: 4381669.55641).

La zona urbana de Moncada está formada por: el casco urbano de la ciudad, barrio de la Virgen de los Dolores, del Pilar, de las torres, Masías, alquería del Gordo y los tres polígonos industriales (Virgen de los dolores, Moncada II y Moncada III).

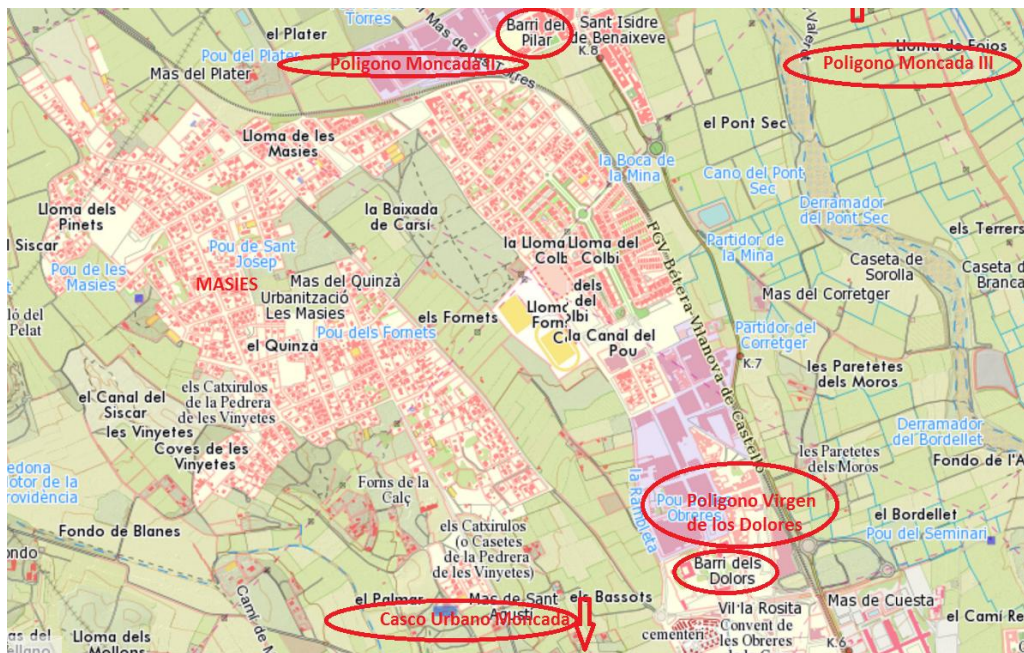


Figura I. 2: Imagen de los distintos barrios y polígonos de Moncada (Imagen del Terrasit).

Nos encontramos en una suave depresión en el cual las aguas pluviales discurren de norte a sur por la topografía del terreno. Esta depresión se ve limitada por el Barranco del Carraixet al este, el del Palmar al oeste y al sur el cauce del barranco del Palmaret alt, construido y controlado por Confederación hidrográfica del Júcar hace 12 años.

El casco antiguo situado al sur se ve influenciado por el discurrir de las aguas de norte a sur y repercutido por dichas aguas al disponer de dos barreras urbanísticas como son la acequia de Moncada y la vía del ferrocarril. Hay que mencionar que Moncada solo dispone de dos salidas de aguas residuales, una en el entorno del camí de Benifaraig (aguas fecales y pluviales de toda la ciudad) y se dirigen a la estación depuradora de Alborai. En lo que se refiere al Polígono industrial Moncada III posee un Ramal de aguas negras que se dirige por el camí del Pou hasta Vinalesa.



En el siguiente plano podemos observar tanto los barrancos como las acequias y líneas férreas. En color más rosado se puede observar la dirección del discurrir de las aguas y hay tres puntos singulares que son:

- a) El entorno de la calle 138, donde un tramo del Barranco del Palmar entra en contacto con una zona urbana provocando periódicos problemas a un grupo de 7 viviendas unifamiliares.
- b) El colector de pluviales de la Defensa, data del 1965 y se trata de un colector ovoide que podemos asimilar a uno de diámetro 2000 mm. Esta realizado en hormigón en masa y arranca desde la zona del cementerio (calle 130) hasta el barranco del Carraixet. Este colector es de gran importancia para la ciudad ya que corta el flujo norte-sur (gracias a unos aliviaderos que hacen pasar 1/5 del agua residual con la pluvial, por lo que ira diluida) que viene de Masies, de la zona del polígono industrial de la Virgen de los Dolores y desviarla al barranco del Carraixet.
- c) El colector-acequia exclusivamente de aguas pluviales en la av. De Germanías que arranca en el cruce con Sant Roc y desemboca en la acequia de Moncada, a la altura del Molí. Sin este colector habrían puntos con graves problemas de inundación.

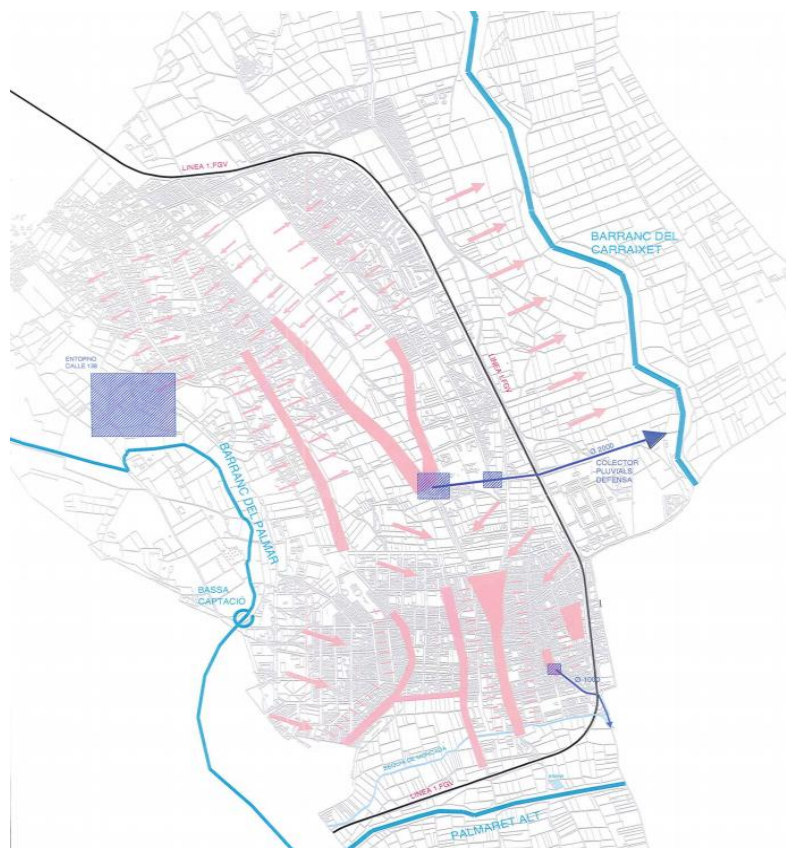


Figura I. 3: Imagen sobre plano, de la dirección del fluir de las aguas pluviales hacia los colectores principales (según el Plan Director de Saneamiento de Moncada).



En lo que se refiere a nuestro estudio se centrará en las aguas pluviales diluidas que serán trasgadas por el colector de la Defensa (zonas de Masies, polígono y barrios de la Virgen de los Dolores) y las provenientes de la zona Norte de los barrios de la Virgen de los Dolores que vierten al barranco del Carraixet con colectores de diámetro 800.

En el siguiente plano se pueden observar las infraestructuras de la zona norte. Hay que señalar que todo el municipio consta de un alcantarillado de aguas residuales a excepción de una pequeña zona de Masies.

Podemos observar al este del barranco del Carraixet un colector de diámetro 300 que trasiega una carga proveniente del polígono industrial de Moncada III y la conecta con la EDAR de Alboraiá. Las aguas pluviales por tanto se orientan hacia al este, hacia una ligera depresión que comunica con un barranco en Museros.

En la zona Norte de los barrios de la Virgen de los Dolores a ambos lados de las vías del ferrocarril se sitúan tres colectores en dirección este para verter al barranco del Carraixet que son:

- a) El primero lo encontramos en el entorno de la rotonda de San Isidro que evacua las aguas pluviales del polígono industrial Moncada II. Colector de diámetro 800.
- b) El segundo lo encontramos en la zona sur de San Isidro, en concreto por la calle Valdesierra hasta el Carraixet, que permite evacuar las aguas sobrantes de San Isidro. Colector de diámetro 800.
- c) El tercero se trata de un colector que pasa por el túnel que comunica Masies con San Isidro y vierte sus aguas pluviales al Barranco del Carraixet. Consta también en este caso con un colector de diámetro 800.



Figura I. 4: Imagen de la rotonda al norte del barrio los Virgen de los Dolores (al lado oeste de las vías) por donde tuerce hacia la izquierda un colector que conecta con el colector D800 mm que comunica Masies con San Isidro y vierte sus aguas al barranco del Carraixet (visita a campo).



Figura I. 5: Imagen del túnel que comunica Masies con San Isidro y por el cual pasa el colector D 800 mm que vierte al barranco del Carraixet (visita a campo).



Todo el sistema que hemos estado comentando, es un sistema unitario de recogida de aguas de toda la ciudad. Se trata de un sistema unitario de aguas negras y pluviales. Este punto es importante ya que es el punto de partida de problemas que derivan en contaminación de cauces.

En lo referente a las aguas fecales que se dirigen de norte a sur hasta tropezarse con la barrera insalvable del colector de aguas pluviales de la defensa ocurre lo siguiente:

- i. En el colector de diámetro 1400 que recogen gran parte de las aguas de Masies discurre por la calle 130 hasta conectar con la defensa, en este punto se produce una separación de flujos de agua, pasando las aguas fecales en régimen sin lluvia, a un colector del casco urbano que a su vez discurre por la avenida del cementerio y se integra en el flujo de la ciudad. Pero cuando se producen episodios de lluvias y para no sobrecargar la red municipal, a través de un aliviadero pasa al colector de la defensa.



Figura I. 6: Imagen de la calle 130 por donde baja el colector D 1400 mm que recoge gran parte de las aguas pluviales y las comunica con el colector de la Defensa (visita a campo).



- ii. En el caso de los colectores de diámetro 1000 y el de 700 vierten las aguas negras al cajero de la defensa y mediante un elemento separador se integran en el flujo de la ciudad. En los momentos de episodios de lluvias se sobrepasara el nivel del aliviadero de este punto y se dirigirá al barranco del Carraixet. El efluente de aguas que vierte al barranco se halla contaminado con aguas negras, aunque diluidas.

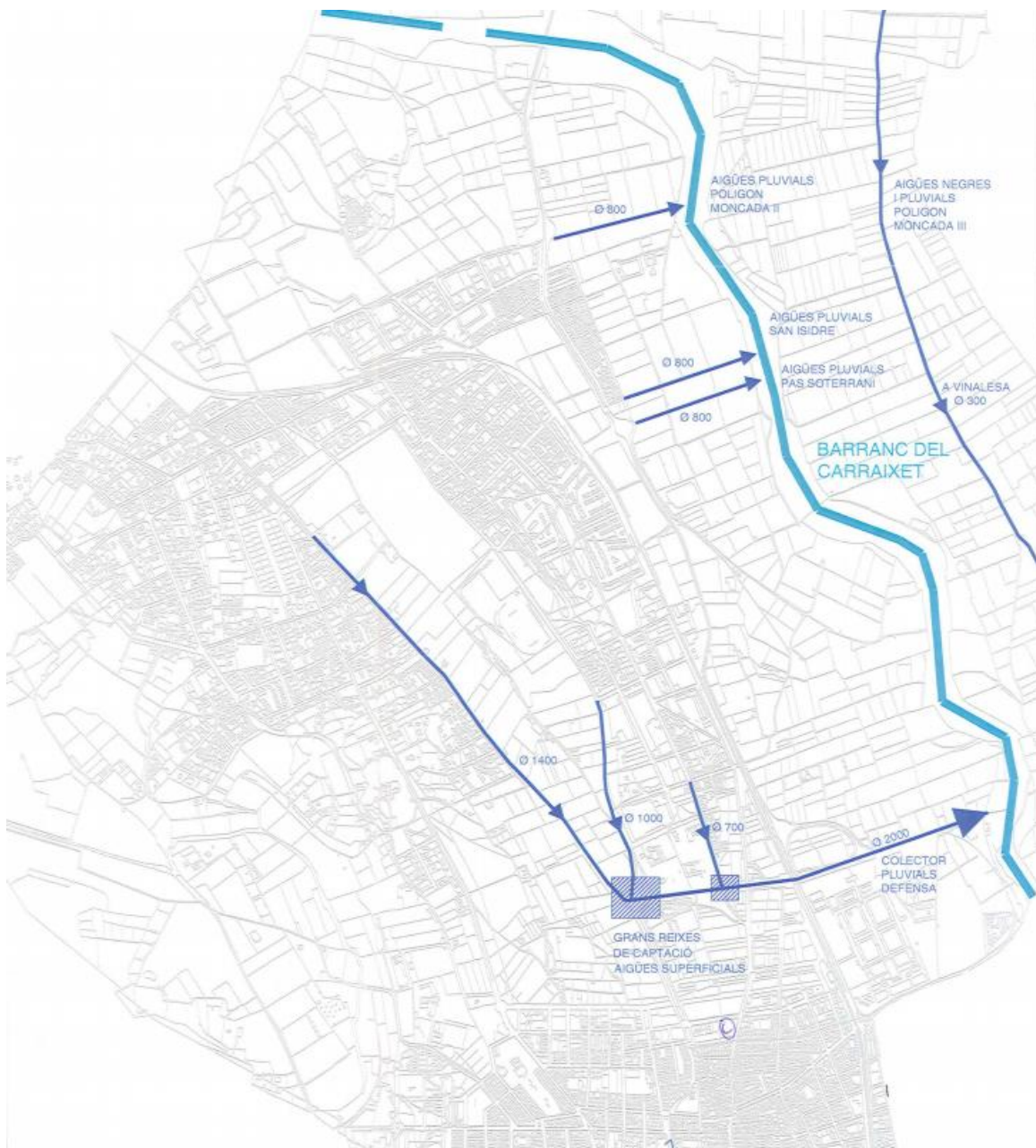


Figura I. 7: Imagen sobre plano de los principales colectores que vierten sus aguas al barranco del Carraixet (según el Plan Director de Saneamiento de Moncada).



Figura I. 8: Imagen de la rotonda donde se comunican los colectores, D 1400 mm (calle Oeste) y D1000 mm (calle Este). Comienzo del colector de la Defensa con su correspondiente aliviadero (Cajero Defensa) ;(visita a campo).



Figura I. 9: Imagen de la calle del cementerio donde se comunica la rotonda del comienzo del colector de la defensa con el túnel que pasa las vías del ferrocarril y dirige el agua ha vertido en el Carraixet (visita a campo).



Figura I. 10: Imagen de la rotonda donde se ubica el cajero (con su respectivo aliviadero) donde se comunican el colector de la Defensa que viene de Norte a Sur en esta imagen y el colector D 700 mm del Este de la imagen (visita a campo).



Figura I. 11: Imagen del túnel que comunica con el barranco del Carraixet (hacia el Norte) y por el cual pasará nuestro colector de la Defensa (viene del Sur); (visita a campo).

Se prevé realizar en este plan director un colector de diámetro 1200 mm que discurrirá por la parte este, pegado a la línea del ferrocarril (con un tanque de tormenta de capacidad para 6500 m³ al final con la finalidad de captar las primeras aguas contaminadas de la defensa y no verterlas al Carraixet; posteriormente se propone el bombear estas aguas a la red para que vayan a la depuradora de Alboraya) y los dos aliviaderos de pluviales de la zona de Masies que desemboca en el barranco del Palmaret.

En el casco antiguo donde confluyen todas las aguas, históricamente se tenía serios problemas de inundación (tanto en calles con una especie de estrangulamiento como también por la incapacidad de la EDAR municipal en el camino de Beniferri) por lo que la Confederación Hidrográfica del Júcar implantó un nuevo cauce, el del Palmar alt. que estableció una regulación en la cual parte del agua que producía inundaciones pasaba de forma aérea a este barranco y se dirigía a la EDAR de Alboraya por el Camino de Beniferri y la otra parte se vierte al barranco o acequias del entorno.

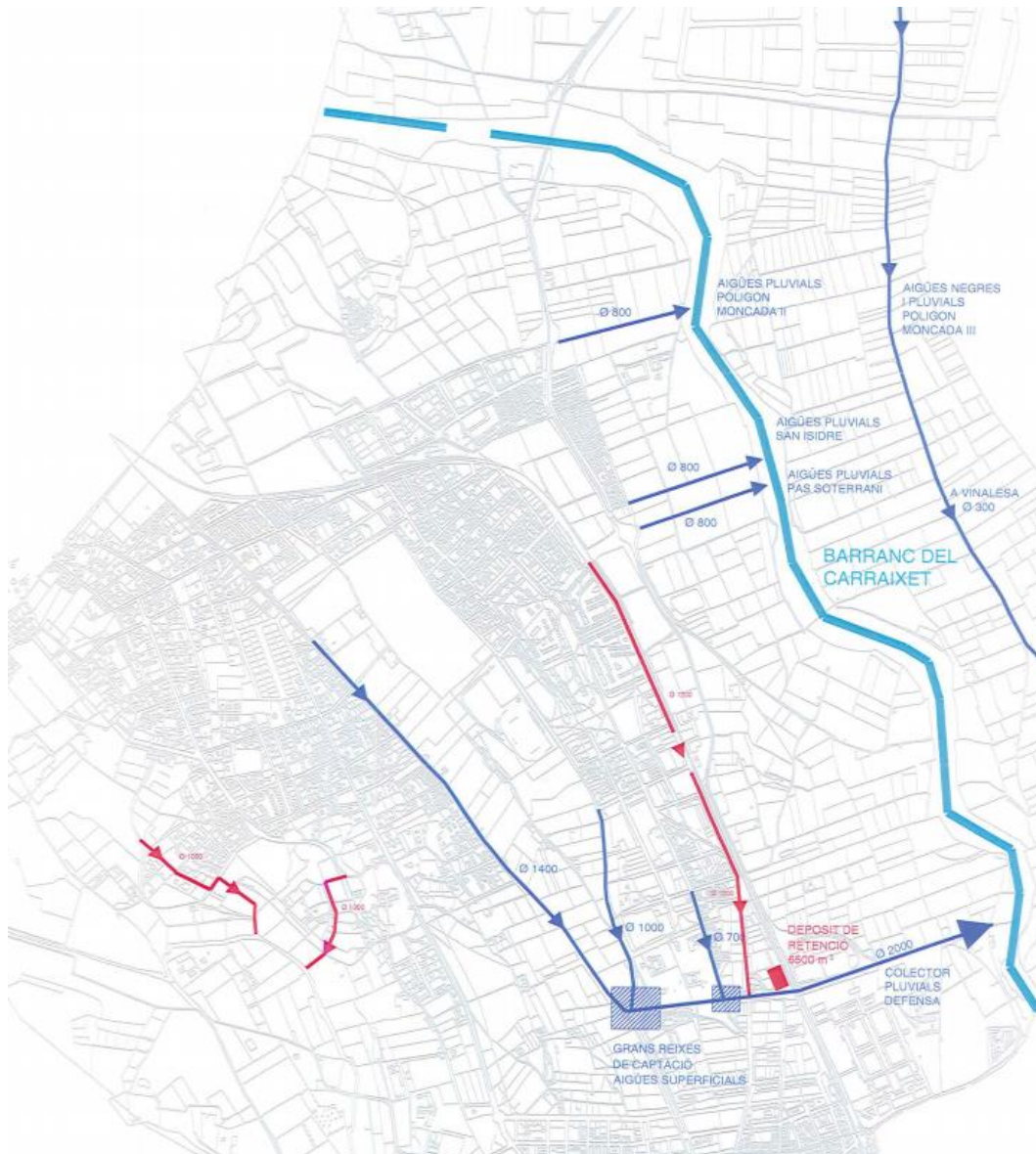


Figura I. 12: Imagen sobre plano de las infraestructuras existentes (Azul) y de las previstas en el Plan Director (rojo); (según el Plan Director de Saneamiento de Moncada).

Durante muchos años no se disponía de la posibilidad de solucionar el problema de las aguas pluviales, ya que se disponía de una red obsoleta y no se disponía la posibilidad de verter a un cauce adecuado. En estos momentos sendos problemas (cauce y cuello de botella con colectores de diámetro 2000 mm y 1800 mm) han sido solucionados de forma satisfactoria y el problema se centra ahora en los colectores que conectan con la red del casco antiguo que habrá que mejorarlas para evitar ahí desbordamientos y poder conducir parte de las aguas por el colector de la defensa al barranco.



De aquí surge en el plan director la idea de disponer un tanque de tormenta justo en el paso inferior del colector de la defensa con la vía férrea (zona oeste de la vía) y otros dos en el casco antiguo para poder recoger cierto caudal de agua residual junto el caudal pluvial que arrastra metales pesados (criterio de dilución: 1 parte de fecal y 5 partes de agua de lluvia). Este tipo de depósitos son necesarios para evitar la contaminación en los cauces.

Por tanto dentro de nuestra zona de estudio que es Moncada nos hemos centrado en la búsqueda de un tanque de tormenta naturalizado realizado con sistemas no convencionales que podamos ubicar, de manera que puedan captar la mayor cantidad de aguas pluviales posibles (llevaran siempre una quinta parte de agua residual por lo menos) y esta zona se encuentra justo al Este de de la vía del ferrocarril en el cual hay disponibilidad de terrenos para realizar el estudio o en la zona que se ha comentado antes, que iría ubicado el tanque de tormenta del plan director.

1.3 Problemática

La problemática reside en la contaminación producida por descargas de sistemas de colectores unitarios y la manera de resolverlo. Para ello habrá que satisfacer un caudal con una cierta carga contaminante para poder hacer uso de los sistemas no convencionales que centraran sus esfuerzos en su tratamiento regulado, y así, evitar tanto problemas de inundación en Moncada como de contaminación en el barranco del Carraixet.

Aquí aparece la necesidad de hacer un estudio de las precipitaciones que se dan en Moncada tanto en cantidad como en intensidad, frecuencia, duración y para un área determinada sacar una primera aproximación de volumen. Posteriormente, según nuestros colectores (D1400, D1000, D500, D300 mm que confluyen al de D2000 mm) que recogen el agua de cierta área más una 1/5 parte de la residual, sacar un caudal para nuestros sistemas no convencionales.

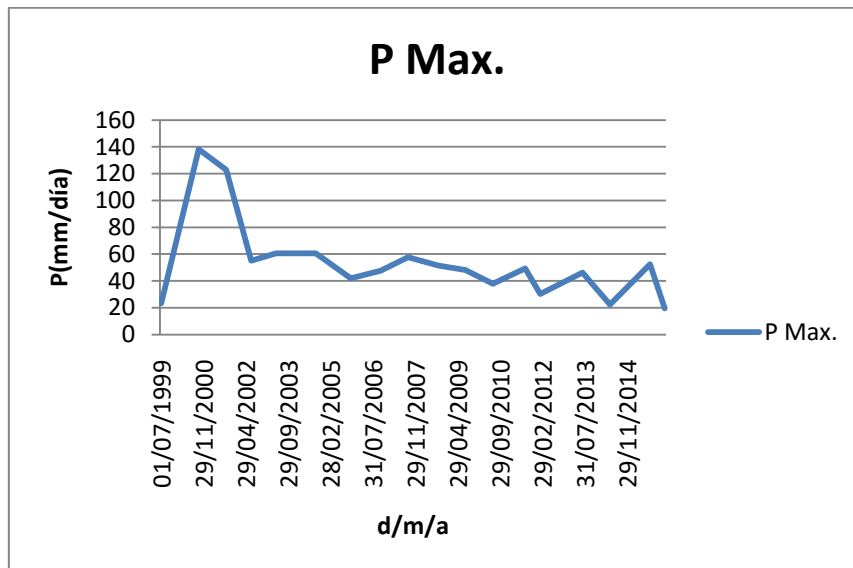
Las estaciones pluviométricas en las cuales me he apoyado en un primer momento fueron las de Valencia y Valencia aeropuerto (gracias a AEMET) pero al poco tiempo en IVIA pude encontrar una estación pluviométrica al norte de Moncada que me provee de datos de precipitación diarios desde 1999 hasta mayo del 2016.

A partir de estos datos pluviométricos he obtenido las precipitaciones máximas diarias en cada año para observar entre que valores máximos nos encontramos y en qué mes del año se dan.



día/mes/año	P Max.	
02/07/1999	23,4	mm/día
24/10/2000	138,3	mm/día
19/09/2001	122,8	mm/día
01/07/2002	55,1	mm/día
06/05/2003	60,7	mm/día
03/09/2004	60,7	mm/día
11/11/2005	42	mm/día
08/11/2006	47,8	mm/día
11/10/2007	57,7	mm/día
13/10/2008	51,6	mm/día
23/09/2009	48,2	mm/día
19/08/2010	37,8	mm/día
24/09/2011	49,4	mm/día
20/03/2012	30,3	mm/día
26/08/2013	46,2	mm/día
03/07/2014	22,4	mm/día
02/11/2015	52,5	mm/día
09/05/2016	19,6	mm/día

Tabla I. 1: Precipitaciones máximas anuales con su máximo y mínimos (en rojo) en Moncada (cálculos mediante Excel).



Gráfica I. 1: Precipitaciones diarias anuales en Moncada (cálculos mediante Excel).



El máximo valor de precipitación diaria se da en Octubre del año 2000, un año con elevadas lluvias como veremos después en la siguiente tabla. Entre los menores de los siguientes máximos tendríamos el de Mayo de 2016, teniendo valores hasta Mayo; sino sería el de julio del año 2014.

Si observamos la tabla, podemos decir que el año de 1999, justo antes de las grandes precipitaciones del 2000 que continuaron con inercia al año 2001 (con elevadas precipitaciones también y en estos años con los mayores máximos), fueron escasas. A partir de estos dos años (2000-2001), la inercia irá disminuyendo en el tiempo produciéndose valores normales entre 50-60 mm/día como valor máximo, después 40-50 mm/día y después 30-40 mm/día. Toda esta inercia se corta a partir del 2014 en el cual estamos entorno a los 20 mm/día, pasando al 2015 con un máximo rondando los 50 mm/día y por último en 2016 en torno a 20 mm/día, por debajo hasta mayo, pero no se prevé que suba mucho más este máximo.

Por tanto desde 2014 los valores del par de años en cuanto a precipitaciones diarias máximas se separan aún más y nos da una idea de que en los próximos dos años se pueden dar grandes lluvias y torrenciales gracias aún cambio climático que acentúa estos efectos. Las estaciones parecen alargarse en el tiempo y se prevé que las precipitaciones máximas y la Temperatura se desacoplen de sus meses habituales de altas precipitaciones y altas temperaturas.

En la siguiente tabla se va a poder observar las precipitaciones mensuales para cada mes del año, desde 1999 hasta 2016. En el costado derecho de la tabla las precipitaciones mensuales la que aparecerán serán las totales de cada año y para los tres meses con mayores máximos.

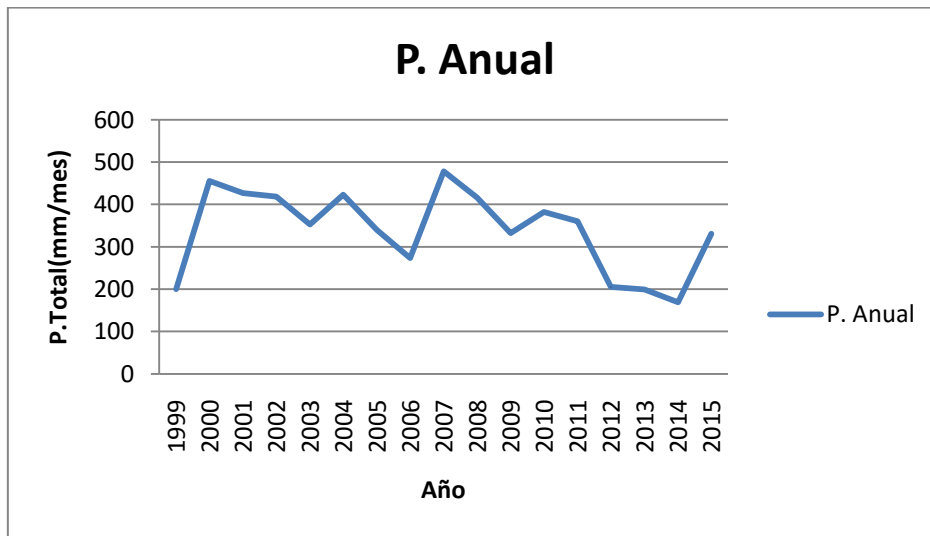
En la parte inferior tendremos las precipitaciones mensuales totales para un mes; más abajo la suma de las tres precipitaciones mensuales máximas del mes y aún más abajo y por último la precipitación mensual máxima del mes.

Todo ello se realiza con la intención de entender mejor las precipitaciones del lugar (precipitaciones extremas que puedan suceder en estos años, precipitaciones constantes a lo largo del año, periodo de sequías) y así poder dimensionar nuestro tanque naturalizado teniendo en cuenta estas previsiones.



Años	Precipitación Mensual												P. Anual	Precipitación trimestral	
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		Marzo-Abril-Mayo	Sept-Oct-Nov
1999	2	1,7	16,33	5,4	3,8	2	49,5	1	59,1	46	6,8	6,2	199,83	25,53	111,9
2000	48,2	0	57,7	22,1	17,1	11,6	0,8	0	8,7	263	3,1	22,9	455,2	96,9	274,8
2001	16,9	22,5	13,4	46,9	32,7	2,7	0,1	1,8	153,3	36,2	57,9	42	426,4	93	247,4
2002	23,5	22,5	11,9	47	4,6	2,7	0,1	1,8	168,1	36,2	57,9	42	418,3	63,5	262,2
2003	4,5	45,8	8,9	51,6	79,8	8,7	1,7	30,4	45,9	45,6	14	16	352,9	140,3	105,5
2004	0,6	37,7	19,5	38,2	88,5	23,2	5	38,2	121,8	11,7	0,1	38,5	423	146,2	133,6
2005	0	84,9	4,8	26,8	19,1	13,4	8,6	14,4	37,5	42,6	73,7	14,2	340	50,7	153,8
2006	44,6	37,8	3,4	8,2	15,4	6,2	1	1,3	31,8	17,3	95,2	10,8	273	27	144,3
2007	47,1	40,8	14,7	52,3	28	18	0	16,6	84,6	150,1	0,6	25,2	478	95	235,3
2008	2,6	39,7	8,2	8,3	108	41,8	2,8	8,3	22,8	129,7	14,1	29,9	416,1	124,4	166,6
2009	26,1	18,9	22,5	44,6	3,5	0,9	4	22	128,3	7,3	0,4	53,4	331,9	70,6	136
2010	53,7	30,9	43,2	18,9	54,3	33,6	2,9	42,5	27,8	51,8	7	15,3	381,9	116,4	86,6
2011	23,9	2,4	78,1	42,7	38,6	20,9	3	0,9	52,8	22	62,8	11,9	360	159,4	137,6
2012	21,6	0,8	33,8	25,8	1,7	4,87	0	0	10	48,1	50,8	8	205,47	61,3	108,9
2013	4,3	4,8	49,3	51,1	11,3	7,7	3,2	48,7	0,7	10,2	1,3	7	199,6	111,7	12,2
2014	4	14,9	16,6	9,9	2,5	10,4	23,1	1,5	25,8	10,5	21,7	28,2	169,1	29	58
2015	3,7	4,9	121,4	2,8	10,7	61,6	8,5	14,7	19,9	28,9	53,3	0,2	330,6	134,9	102,1
2016	2,1	6,4	9,3	15,4	30,1	0	0	0	0	0	0	0	63,3	54,8	0
Sumas M.	329	417,4	533,03	518	550	270	114	244,1	998,9	957,2	520,7	371,7			
Suma Max. M.	147	122,7	349,6	309	910	103	72,6	49,5	1884,5	1688,5	509,5	120,1			
Máximo M.	53,7	84,9	121,4	52,3	108	61,6	49,5	48,7	168,1	263	95,2	53,4			

Tabla I. 2: Análisis de las precipitaciones mensuales de Moncada y destacando el máximo o los tres máximos de las correspondientes precipitaciones (en rojo); (cálculos mediante Excel).



Gráfica I. 2: Precipitaciones mensuales anuales; (cálculos mediante Excel).



Si observamos la Precipitación Anual podemos decir que coincide con lo que comentábamos antes. En 1999 hay unas precipitaciones por debajo de la media y entonces se dan valores de precipitación Anual elevados (lluvias elevadas en ciertos meses del año) en los años siguientes. Año 2000, 2001 y 2002 por encima de los 400 mm/mes luego el 2003 por encima de 300 mm/mes y entonces vuelve un pico por encima de los 400 mm/mes en el 2004. Nada más pasar el 2004 los valores van disminuyendo y los picos se dan de forma más espaciada (en lo que se refiere a valores entorno a 400 mm/mes). 2004 por encima de 300 mm/mes y 2003 por encima de 200 mm/mes. Entonces se dan dos picos de 400 mm/mes en los años 2007, 2008; luego entorno a los 300 mm/mes los años 2009, 2010 y 2011; seguidamente se da un año entorno a los 200 mm/mes (Año 2012) y dos años en torno a los 100 mm/mes (Años 2013-2014). En el 2015 tenemos un valor más alto en torno a los 300 mm/mes y por último tenemos el 2016 que tenemos valores hasta Mayo pero que no muestran buenas perspectivas de llover mucho en los siguientes meses.

La tendencia por tanto es a que se produzcan lluvias torrenciales de gran volumen en los próximos años debido posiblemente a un cambio climático que acentúa estos ciclos.

Los meses más lluviosos son Marzo-Abril-Mayo y Sept.-Oct.-Nov. Con estos meses sacaremos una primera aproximación del volumen de nuestro ecotanque.

En la siguiente tabla hemos podido sacar el Máximo para los dos trimestres y el máximo mensual que se da en Octubre. Según para cuanto tiempo queramos recoger agua en nuestro ecotanque lo dimensionaremos para un volumen u otro.

	Marzo-Abril-Mayo	Sept.-Oct.-Nov.	TOTAL		Max 2 Trim.		Max Mens.	
Suma Trim.	445,9	784,4	1230,3	mm/(l/m2)	784,4	mm/(l/m2)	263	mm/(l/m2)
Max Trim.	159,4	274,8	434,2	mm/(l/m2)				

Tabla I. 3: Máximo de los dos trimestres y Máximo mensual (en rojo); (cálculos mediante Excel).

Además para la regulación del caudal que tenemos que administrar a nuestro ecotanque tendremos que tener el máximo número de días que al ecotanque no le va a llegar lluvias para poder regularlo adecuadamente.

Analizando nuestras precipitaciones mensuales y diarias podemos observar que parte de junio no ha llovido y ha continuado sin llover hasta parte de Septiembre en el año 2012. En la siguiente tabla podemos observar el máximo número de días sin agua, que puede estar nuestro ecotanque, teniendo en cuenta nuestros datos.

SIN LLUVIA	
tmax	
90	días
2012	

Tabla I. 4: Número máximo de días sin precipitaciones desde 1990 a 2013 (cálculos mediante Excel).



Si se quiere hacer predicciones con escenarios futuros para periodos largos de tiempo AEMET proporciona esta fuente de Datos para hacer valoraciones de proyectos.

2. Objetivos



Imágenes de los diferentes objetivos buscados (Eliminar un % de caudal que se dirige a depuradora, Eliminar la salida al barranco de caudales elevados y con cierta cantidad contaminante, sistemas de lagunaje y humedales, modificar el aliviadero, mejora de los ecosistemas con flora y fauna, crear un lugar de recreo o turístico y obtener un agua con cierta calidad disponible para el barranco, el riego o baldeo de calles); (Imágenes de Google).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



Con este estudio lo que se busca es entender el funcionamiento de la red de Moncada para realizar la conexión a nuestros sistemas (balsas de sedimentación y laminación junto a los humedales artificiales) en el mejor sitio posible y así conseguir un caudal proveniente de la red unitaria que puedan asumir nuestros sistemas debido al espacio accesible para este fin (sin llegar a ocupar campos de cultivo). La carga de agua domestica, residual y pluvial a tener en cuenta o a concretar (si se puede mejorar con la disminución del nivel en las arquetas de los aliviaderos que conectan los colectores que vienen de N a S con el colector de la defensa que va de O a E) será la responsable del tipo de sistemas a utilizar.

Por tanto se barajaran diferentes alternativas según la red que tenemos, la topografía del terreno, la profundidad de los colectores de interés; todo ello para la búsqueda de la mejor localización y el uso del mejor sistema.

La finalidad será por tanto el de:

- a) Disminuir la posibilidad de inundaciones en zonas más conflictivas.
- b) La mejora ambiental del entorno del Carraixet gracias a los sistemas utilizados (sistemas más naturalizados), no hay impactos negativos sino positivos en general.
- c) Mejora del Barranco del Carraixet al disponer de agua de cierta calidad durante periodos del año o durante todo el año dependiendo si los sistemas utilizados se centran solo en aguas pluviales con un poco de aguas residuales domesticas diluidas (1/5 de todas las residuales) o por el contrario se decide bajar la arquetas de los aliviaderos de la Defensa proporcionando un Caudal más constante y con una mayor carga residual; pero esto se decidirá más adelante.
- d) Facilidad en la aparición de nuevos o mejores ecosistemas con todo tipo de fauna y flora. Observando el ecosistema, formado aguas arriba con poca agua disponible, se realizara un inventario de las especies en flora y fauna que pueden formarse.
- e) Posibilidad de una zona lúdica o de recreo para los habitantes de Moncada o para el sector turístico.
- f) El sistema instaurado tendrá una cierta inversión que habrá que pagar en la tarifa pero con el tiempo al ser un sistema que no requiere muchos costes de construcción, operacional o de manteniendo a la larga saldrá rentable. Rentable también con respecto al coste ambiental.



3. Estado del Arte



Imágenes de los colectores, lagunaje anaerobio, lagunaje facultativo, lagunaje de maduración, humedales artificiales, colector de salida y ecosistemas formados (Imágenes de Google).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



3.1 Normativa de Red

Desde la anterior publicación de la normativa de Obras de Saneamiento de la Ciudad de Valencia, en el año 2004, para la concepción del proyecto, construcción, mantenimiento y explotación de una red de saneamiento y drenaje urbano ha habido cambios sustanciales en la legislación, acompañada de documentos, normativas y legislación en la materia, como normas nacionales, internacionales, Directivas de la Unión Europea, Reglamentos de Obligado cumplimiento.

El cumplimiento de las funciones tradicionales de una red de saneamiento, función higienista, función anti-inundación y función anti-contaminación, ha obligado a que las modernas redes de saneamiento y drenaje urbano configuren sistemas hidráulicos complejos (colectores, aliviaderos, depósitos de retención, estaciones de bombeo, etc.)

Así pues, todo esto ha motivado al Ayuntamiento de Valencia a la revisión y actualización de la actual normativa de Obras de Saneamiento de la Ciudad de Valencia.

Como documento actualizado, se recoge en él la nueva legislación y aquellos cambios propiciados por los avances técnicos y tecnológicos, así como la reglamentación aplicable a las redes de saneamiento y a los elementos estructurales.

Esta edición se conocerá como “Normativa para Obras de Saneamiento y Drenaje Urbano de la Ciudad de Valencia. Año 2015” y sustituye por completo a los anteriores textos aprobados.

La presente Normativa, actualizada y revisada, ha sido redactada para su uso en la Ciudad de Valencia y los diferentes núcleos urbanos que conforman su término municipal. Para aplicarla a otros ámbitos geográficos se pueden utilizar sin mayor problema los elementos normalizados definidos.

En casos singulares serán los Servicios Municipales los que indicarán qué proyectos pueden quedar excluidos de la presente Normativa, debiendo aportarse, por consiguiente, cálculos específicos hidráulicos, hidrológicos, mecánicos y de diseño de los elementos de saneamiento instalados.

3.1.1 Criterios de Red

Existen dos estructuras de captación de aguas:

- Red Unitaria
- Red separativa

Observar para la zona de estudio cuales son los colectores que participan y determinar si son de tipo unitario o separativo.



Como sistemas de circulación se puede considerar 3:

- Por gravedad
- Elevación
- Impulsión continua

Determinar cuál es el sistema predominante en nuestra red y localizar los lugares donde se utilizan.

El sistema de circulación será preferentemente por gravedad, evitando en lo posible los sistemas de elevación e impulsión continua. Los sistemas de elevación e impulsión serán útiles para casos especiales.

En cuanto a pendientes, estas vendrán impuestas por las condiciones de velocidades mínimas de circulación ($V_{\text{máx.}}$: 4, V_{min} : 0,9)

En la medida de que es deseable una circulación en régimen lento, esto junto con otras condiciones de velocidades máximas, supondrá una limitación de las pendientes.

Si observamos las uniones estas deberán de evitar remansos en los colectores secundarios, que disminuyen drásticamente su capacidad, en las uniones entre tramos de colectores se procurará dar continuidad a la línea de clave y en su defecto, a la línea de energía. En caso de no poder cumplir esta condición, deberán calcularse adecuadamente los tramos afectados para comprobar su capacidad real.

En los entronques con un colector visitable, los colectores secundarios deberán disponer de un pozo lateral de caída de aguas residuales.

En lo referente a profundidades, independientemente de los recubrimientos mínimos en función del tipo de material del conducto, la línea de energía deberá situarse siempre por debajo de la línea del terreno, de tal forma que sea posible la evacuación de las aguas recogidas por las acometidas e imbornales conectados, para el periodo de retorno correspondiente, y no se produzcan reflujos indeseables.

El uso de sistemas de drenaje sostenible de acuerdo con la normativa vigente en la Comunidad Valenciana sobre prevención del riesgo de inundación, se fomentará el uso de Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS de su acrónimo en inglés, Sustainable Drainage Systems) para la gestión del drenaje de aguas pluviales. Por lo tanto, la presente normativa insta a que se utilicen este tipo de soluciones en ámbitos de nueva urbanización y en zonas de poca densidad de edificación como por ejemplo las pedanías de la ciudad.

Habría que hacer un estudio de la población futura para las zonas de influencia para nuestros colectores que aportaran a nuestros sistemas convencionales.



Los nuevos proyectos de urbanización incorporarán, en la medida de lo posible, medidas para fomentar la infiltración en las superficies de los aparcamientos, viales, centro de glorietas, medianas ajardinadas, alcorques y jardines. Se propone en ese sentido el uso de soluciones como los pavimentos permeables o el rebaje de los bordillos de las aceras en aquellas situaciones en que se pueda redirigir la escorrentía superficial hacia zonas donde se facilite su infiltración (alcorques, zonas verdes, etc.), sin perjuicio del uso de todas aquellas soluciones que se engloban en este conjunto de técnicas.

En cuanto al dimensionamiento hidráulico, elementos de regulación, dimensionamiento mecánico, las características de nuestros conductos y los elementos singulares que están presentes en esta normativa se seguirá para el estudio de nuestra red.

Las principales normativas, aparte de la ya mencionada, que nos servirán para el obligado cumplimiento y guía en todo lo relacionado con las aguas serán:

- [Directiva 2008/105/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, relativa a las **normas de calidad ambiental** en el ámbito de la política de aguas.
- **Directiva Marco del Agua.** [Directiva 2000/60/CE](#) del Parlamento europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (ya mencionada anteriormente).
- [Directiva 2006/118/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de diciembre de 2006 relativa a la **protección de las aguas subterráneas** contra la contaminación y el deterioro.
- [Directiva 2006/7/CE](#) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la **calidad de las aguas de baño** y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE.
- [Decisión 2001/2445 CE](#), por la que se aprueba la **lista de sustancias prioritarias** en el ámbito de la política de aguas y se modifica la Directiva 2000/60 CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- [Convenio Europeo del Paisaje](#), adoptado en Florencia (Italia) el 20 de octubre de 2000. Tiene como objetivo fundamental la protección, gestión y ordenación de los paisajes europeos. España lo ha ratificado el 26 de noviembre de 2007 (BOE de 5/02/2008) y está en vigor desde el 1º de marzo de 2008.
- [Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991](#), relativa a la **protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos** utilizados en la agricultura.



- [Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991](#), sobre el **tratamiento de las aguas residuales urbanas**. Los vertidos de aguas residuales urbanas constituyen, por su importancia, la segunda fuente de contaminación de medios acuáticos en forma de eutrofización. Esta directiva va encaminada a armonizar al nivel comunitario las medidas de tratamiento de esas aguas.
- [Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992](#), relativa a la **conservación de los hábitats naturales** y de la fauna y flora silvestres.
- [Directiva 91/414/CEE del Consejo, de 15 de julio 1991](#), relativa a la **comercialización de productos fitosanitarios**.
- [Directiva 86/278/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1986](#), relativa a la **protección del medio ambiente** y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura.
- [Directiva 85/337/CEE del Consejo, de 27 de junio de 1985](#), relativa a la evaluación de las **repercusiones de determinados proyectos públicos y privados** sobre el medio ambiente.

3.1.2 Nuestra red

En lo referente a nuestra red podemos decir que el procedimiento de cálculo o de revisión de la red, que hemos seguido es el siguiente:

EL primer paso que se hizo fue la búsqueda de un caudal para nuestros sistemas no convencionales partiendo de la base del plano de la figura I.8. En este plano aparecen los colectores (D1400, D1000, D700, D2000) medios que reciben las aguas pluviales y residuales (1/5 parte) en un sistema unitario. Los datos disponibles en ese momento para el cálculo de nuestro caudal no eran suficientes (pendientes de los colectores, diámetros, periodo de retorno, áreas de influencia exactas, Tipo de material en los colectores) y por tanto tuvimos que esperar a la reunión con el técnico de Moncada para que nos facilitara la información suficiente para la determinación de nuestro caudal. Gracias a ello pudimos tener rangos de pendientes, tipos de materiales para nuestros colectores, el periodo de retorno utilizado y diámetros y caudales en los colectores). Todo estos datos los introducimos en una hoja Excel y así calibramos nuestros colectores para posibles modificaciones de los parámetros involucrados a posteriori si es necesario y aumentar nuestro caudal a capturar.

En la siguiente imagen aparecen los colectores del plan director y posteriormente las tablas con caudales que hemos utilizado:

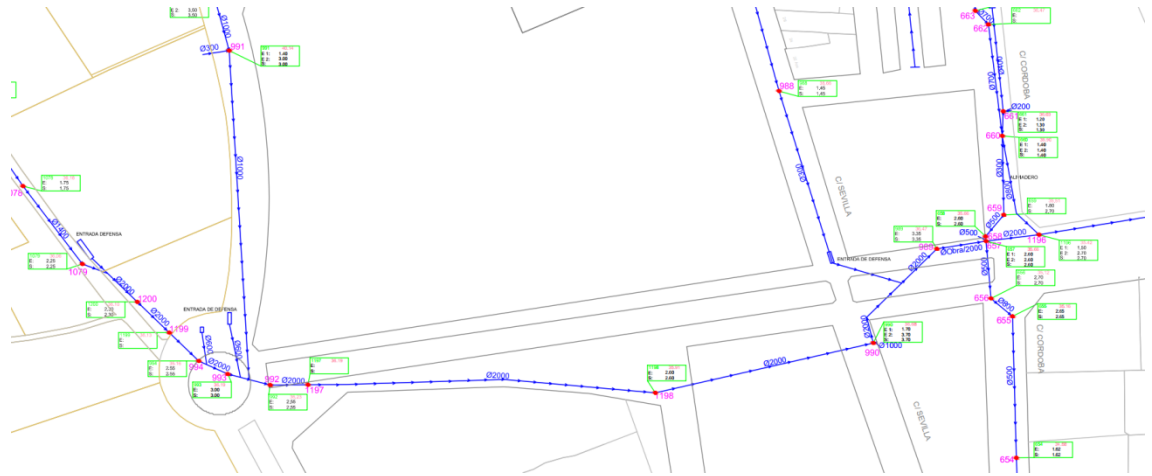


Figura III. 1: Imagen donde aparecen los colectores que conectan con el colector de la Defensa (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

ID	De Nodo	A Nodo	Qf	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)
40131	4013	4014	0,29	0,000	0,203	0	2,5
40141	4014	1068	0,941	0,000	0,208	0	2,51
11951	1195	1194	0,167	0,000	0,022	0	1,47
11941	1194	1191	0,174	0,000	0,032	0	1,87
11911	1191	1070	0,799	0,000	0,035	0	0,77
9911	991	992	3,186	0,000	2,227	0	2,78
9881	988	NF08	0,17	0,000	0,203	0	2,76
9901	990	NF08	10,887	0,000	5,569	0	2,13
NF081	NF08	989	8,779	0,000	5,796	0	2,07
65712	657	656	0,381	-0,110	0,270	-0,55	1,92
6561	656	655	1,25	-0,110	0,227	-0,21	1,01
6551	655	654	0,148	-0,109	0,188	-0,53	1,02
6541	654	653	0,153	-0,109	0,280	-0,53	1,35
6531	653	652	0,153	-0,008	0,295	-0,04	1,49
6521	652	651	0,324	-0,008	0,325	-0,04	1,6
6511	651	70	0,274	0,000	0,269	0	1,33
701	70	68	0,092	0,000	0,329	0	1,61
681	68	66	0,181	0,000	0,386	0	1,89

Tabla III. 1: Colector 991-992 (D 1000 mm) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).



ID	De Nodo	A Nodo	Qf	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)
106811	1068	1069	3,975	0,000	2,588	0	5,39
106911	1069	1070	4,17	0,000	2,599	0	5,6
107011	1070	1071	9,852	0,000	2,633	0	5,42
107111	1071	1072	14,848	0,000	2,633	0	6,65
107211	1072	1073	11,861	0,000	2,632	0	6,01
107311	1073	1074	12,171	0,000	2,632	0	4,42
107411	1074	1075	5,819	0,000	2,630	0	3,4
107511	1075	1076	4,994	0,000	2,629	0	3,29
107611	1076	1077	6,547	0,000	2,627	0	3,77
107711	1077	1078	7,11	0,000	2,619	0	3,47
107811	1078	1079	9,07	0,000	2,609	0	2,22
107911	1079	1200	1,396	0,000	2,605	0	1,7
120011	1200	1199	9,33	-0,021	2,602	-0,33	1,11
119911	1199	994	9,238	-0,045	2,602	-0,24	1,03
99411	994	993	3,488	-0,070	2,601	-0,3	1
99311	993	992	4,2	-0,094	2,602	-0,4	0,99
99211	992	1197	5,548	-0,002	4,814	-0,04	1,83

Tabla III. 2: Colector 993-992 (D 2000 mm aguas arriba) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

ID	De Nodo	A Nodo	Qf	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)
66111	661	660	0,181	0,000	0,066	0	0,91
66012	660	659	0,125	0,000	0,148	0	2,05
65911	659	658	0,739	0,000	0,156	0	2,34
65811	658	657	0,474	0,000	0,158	0	1,84

Tabla III. 3: Colector 658-657 (D 500 mm aguas arriba) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).



66411	664	663	0,822	0,000	0,672	0	2,38
66311	663	662	2,496	0,000	0,723	0	3,15
66211	662	660	1,162	0,000	0,821	0	2,41
66011	660	1196	1,564	0,000	0,814	0	4,11

Tabla III. 4: Colector 660-1196 (D 800 mm aguas arriba) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

ID	De Nodo	A Nodo	Qf	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)
96511	965	966	0,262	0,000	0,335	0	4,47
96611	966	967	0,183	0,000	0,365	0	5,01
96711	967	968	0,442	0,000	0,382	0	5,26
95311	953	985	0,12	0,000	0,033	0	0,63
98511	985	986	0,104	-0,002	0,094	-0,03	1,23
98611	986	987	0,107	-0,011	0,103	-0,15	1,34
98711	987	988	0,113	0,000	0,110	0	1,46

Tabla III. 5: Colector 987-988 (D 300 mm aguas arriba) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

99311	993	992	4,2	-0,094	2,602	-0,4	0,99
99211	992	1197	5,548	-0,002	4,814	-0,04	1,83
119711	1197	1198	5,169	0,000	5,049	0	1,91
119811	1198	990	4,363	0,000	5,453	0	2,13

Tabla III. 6: Colector 1198-990 (D 2000 mm aguas arriba) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).



ID	De Nodo	A Nodo	Qf	Qmin (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Vmin (m/s)	Vmax (m/s)
401311	4013	4014	0,29	0,000	0,203	0	2,5
401411	4014	1068	0,941	0,000	0,208	0	2,51
119511	1195	1194	0,167	0,000	0,022	0	1,47
119411	1194	1191	0,174	0,000	0,032	0	1,87
119111	1191	1070	0,799	0,000	0,035	0	0,77
99111	991	992	3,186	0,000	2,227	0	2,78
98811	988	NF08	0,17	0,000	0,203	0	2,76
99011	990	NF08	10,887	0,000	5,569	0	2,13
NF0811	NF08	989	8,779	0,000	5,796	0	2,07
65712	657	656	0,381	-0,110	0,270	-0,55	1,92

Tabla III. 7: Colector 657-656 (D 500 mm aguas abajo) que utilizaremos para la búsqueda del caudal que discurre por el colector D2000 mm de la Defensa a su salida hacia el barranco del Carraixet (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

Todo ello nos lleva a un colector de diámetro 2000 mm que se dirige al Carraixet. Este colector será la suma de los caudales de los colectores D2000, D300, D800 mm.

Diametros(mm)	Qmax(m ³ /s)	Qf(m ³ /s)
D2000	5,453	4,363
D300	0,103	0,107
D500	0,156	0,474
D800	0,814	1,564
D2000 Carraixet	6,37	6,034

Tabla III. 8: Caudales funcionales y máximos de los diferentes colectores (cálculos mediante Excel).

Nuestra instalación de ecotanques o balsas de sedimentación-laminación se dimensionara para un caudal máximo y en el caso de que se necesitase o se decidiese un mayor aporte de caudal bajaríamos las arquetas de los aliviaderos para un mayor aporte de caudal residual constante y se recalcularía el colector de 2000 mm para que no tenga problemas de capacidad y de velocidades procurando que no se produzca ni erosión ni sedimentación.

Para calibrar los colectores se ha utilizado una hoja Excel que ahora mostraremos con un Ejemplo y también nos hemos apoyado en el swmm y por supuesto en los datos del plan director de saneamiento de Moncada.

EL rango de pendientes en el cual nos apoyaremos será:

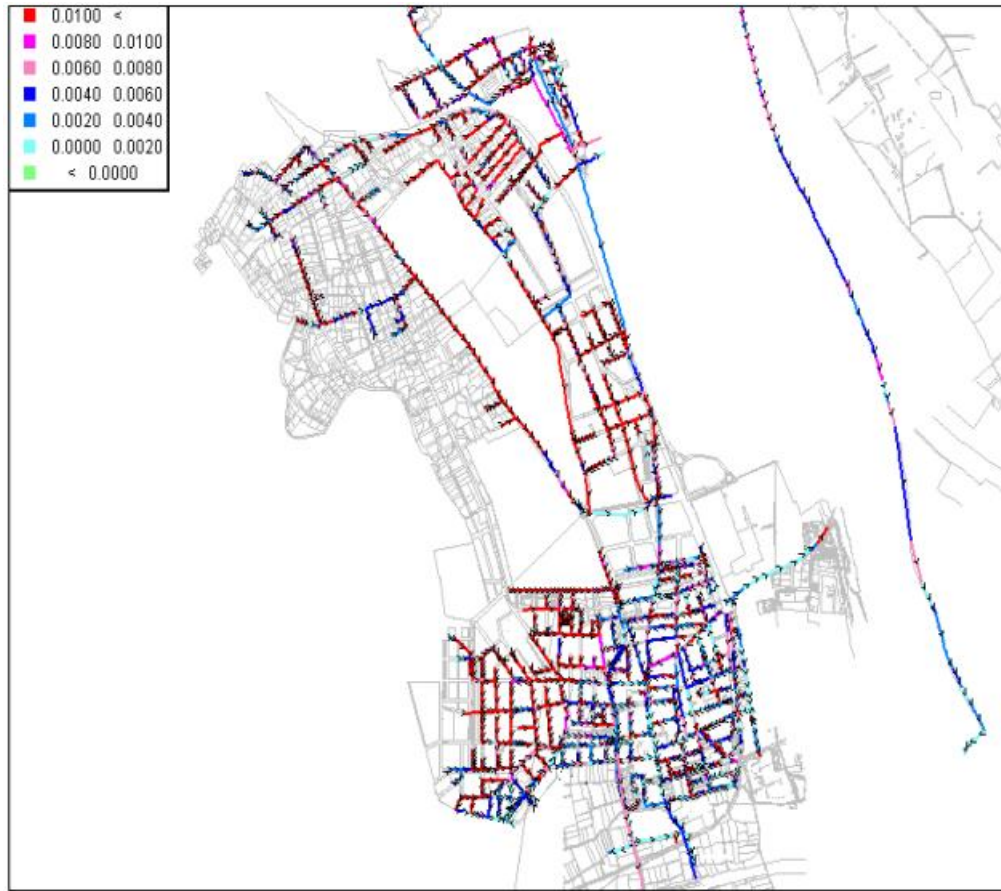


Figura III. 2: Imagen de los valores de pendiente en tanto por uno de la red de saneamiento de Moncada (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

Colector D2000 mm con salida al Carraixet:

i	0,0025								
n	0,015								
Á.	103103,16	m ²	1109793,2	pies ²	12,670316	Ha	>1 Ha	0,12670316	km ²
				Á.Real	17,7	Ha	>1 Ha	0,177	1,28
Kr	1,2	(l/s/Ha) área Urbana	Qr	62,7658677	l/s				
f	2,95507852								

Tabla III. 9: Cálculo del caudal residual (Qr); (cálculos mediante Excel).

PR	15	años		
Hipótesis,	Tc	10	min	
K	1,00754904			
KA	(logA(km ²))/:	1	1,05013512	

Tabla III. 10: Cálculo de los factores k y kA para el posterior cálculo del caudal circulante (cálculos mediante Excel).



	Áreas		90%	10%	
PO	Áreas urbanas	6 mm	5,4		mm
	Jardines	20 mm	2	7,4	

Tabla III. 11: Cálculo de Po para obtener el valor de la intensidad (cálculos mediante Excel).

SQRT.MAX		
Pd	97,8	mm/día
Metodo local con papel log		
Pd	83,88	mm/día
Gumbel		
Pd	117,3	mm/día
Metodo Regional		
	T25	T15
Pd	155,1	121,875 mm/día
MAXPLU		
Pd	Similar al M.R	

Tabla III. 12: Diferentes formas de cálculo de nuestra precipitación máxima diaria. (Se elige la del método regional que es el más conservador y para T15 año); (cálculos mediante Excel).

	Id	5,078125	
	Pd/Po	16,46959459	
I1/Id		11	
It	151,0368418	mm/h	
(10/60)		0,166666667	
C		0,809165016	
Q	6,310095624		
Qt	6,372861492	m ³ /s	
D	1,97386232	m	
	1973,86232	mm	
DN	2000	2 m	
θ	4,382219582	rad	
	-2,2924E-07		
V	2,392122329	<4(m/s)	
grados	360	6,283185307	Radianes
	251,0826869	4,382219582	
Tc	9,391938863	<10 min	
Lo	200	Vo	1,196061165
L1	790	V1	2,392122329

Tabla III. 13: Cálculo para T15, del caudal total, diámetro requerido, velocidad admisible (con los radianes que ocupa en la superficie interior del colector) y tiempo de concentración para su aceptación (cálculos mediante Excel).



En cuanto a las precipitaciones del Método Regional las he sacado gracias a esta tabla:

Cv	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	935	1194	1377	1625	1823	2022	2251	2541
0.31	932	1198	1385	1640	1854	2068	2296	2602
0.32	929	1202	1400	1671	1884	2098	2342	2663
0.33	927	1209	1415	1686	1915	2144	2388	2724
0.34	924	1213	1423	1717	1930	2174	2434	2785
0.35	921	1217	1438	1732	1961	2220	2480	2831
0.36	919	1225	1446	1747	1991	2251	2525	2892
0.37	917	1232	1461	1778	2022	2281	2571	2953
0.38	914	1240	1469	1793	2052	2327	2617	3014
0.39	912	1243	1484	1808	2083	2357	2663	3067
0.40	909	1247	1492	1839	2113	2403	2708	3128
0.41	906	1255	1507	1854	2144	2434	2754	3189
0.42	904	1259	1514	1884	2174	2480	2800	3250
0.43	901	1263	1534	1900	2205	2510	2846	3311
0.44	898	1270	1541	1915	2220	2556	2892	3372
0.45	896	1274	1549	1945	2251	2586	2937	3433
0.46	894	1278	1564	1961	2281	2632	2983	3494
0.47	892	1286	1579	1991	2312	2663	3044	3555
0.48	890	1289	1595	2007	2342	2708	3098	3616
0.49	887	1293	1603	2022	2373	2739	3128	3677
0.50	885	1297	1610	2052	2403	2785	3189	3738
0.51	883	1301	1625	2068	2434	2815	3220	3799
0.52	881	1308	1640	2098	2464	2861	3281	3860

Tabla III. 14: Precipitaciones para un Cv y un periodo de retorno (cálculos mediante Excel).

Pr	25 años						
	plano-guía						
coordenadas	4381859	Y					
U.T.M	723333	x					
referidas al							
USO 30							
Cv	0,51	T	25	K25	2,068	X25	155,1 mm/día
P-	75	(mm/día)					
Pr	2 años						
	plano-guía						
coordenadas	4381859	Y					
U.T.M	723333	x					
Cv	0,51	T	2	K2	0,883	X2	66,225 mm/día
P-	75	(mm/día)					
Pr	15 años						
	plano-guía						
coordenadas	4381859	Y					
U.T.M	723333	x					
Cv	0,51	T	15	K2	1,773	X2	132,95 mm/día
P-	75	(mm/día)					
Pr	10						
	plano-guía						
coordenadas	4381859	Y					
U.T.M	723333	x					
Cv	0,51	T	10	K2	1,625	X2	121,875 mm/día
P-	75	(mm/día)					
P25-10	443						
P15	1772,66667						

Tabla III. 15: Valores finales de precipitación para un periodo de retorno con el método regional (cálculos mediante Excel).



PR	2	años	
Hipótesis,	Tc	10 min	
K	1,007549044		
KA	1-((logA(km^2))	1	1,050135116
SQRT.MAX			
Pd	97,8	mm/día	
Metodo local con papel log			
Pd	83,88	mm/día	
Gumbel			
Pd	117,3	mm/día	
Metodo Regional			
	T25	T15	T2
Pd	155,1	121,875	66,225
MAXPLU			
Pd	Similar al M.R		
	Id	2,759375	
	Pd/Po	8,949324324	
I1/Id		11	
It	82,07109618	mm/h	
(10/60)		0,166666667	
C		0,638168719	
Q	2,704217962		
Qt	2,704217962	m^3/s	
D	1,431222193	m	
	1431,222193	mm	
DN	1500	1,5	
θ	1,92138E-06	rad	
	-0,00064932		
V	4,57553E+18	>0,9 0 0,3 m/s C.A	
grados	360	6,283185307	Radianes
	0,000110087	1,92138E-06	
Tc	4,91018E-18	<10 min	
Lo	200	Vo	2,28777E+18
L1	790	V1	4,57553E+18

Tabla III. 16: Cálculo para T2, del caudal total, diámetro requerido, velocidad admisible (con los radianes que ocupa en la superficie interior del colector) y tiempo de concentración para su aceptación (cálculos mediante Excel).

El caudal máximo que hemos sacado antes es el que buscamos en este colector de salida en nuestra hoja Excel. A partir de una supuesta pendiente (iremos iterando), una rugosidad propia del Hormigón en masa y un área de influencia que disponemos obtenemos un Caudal residual (Qr).

$$Qr = K * A * f = 1,2 \left(\frac{l}{s} Ha \right) * 17,7 (Ha) * 2,95 = 62,76 l/s$$



Posteriormente para un periodo de retorno estipulado en el plan director de 15 años y la hipótesis del tiempo de concentración de 10 min sacamos coeficientes que utilizaremos para nuestro caudal.

$$k = 1 + \frac{Tc^{1,25}}{Tc^{1,25} + 14} = 1 + \frac{\left(\frac{10}{60}\right)^{1,25}}{\left(\frac{10}{60}\right)^{1,25} + 14} = 1,007$$

$$K_A = 1 - \frac{\text{Log } A(\text{Km}^2)}{15} = 1 < (A < 1\text{km}^2)$$

La intensidad que vamos a sacar para los 10 minutos y el coeficiente C junto al resto de coeficientes y el área nos posibilitaran el cálculo del caudal.

$$I_t = I_d * \left(\frac{I_1}{I_d}\right)^{\frac{28^{0,1} - Tc^{0,1}}{28^{0,1} - 1}} = \frac{121,875}{24} * 11^{\frac{28^{0,1} - \left(\frac{10}{60}\right)^{0,1}}{28^{0,1} - 1}} = 151,036\text{mm/h}$$

$$\frac{P_d}{P_0} = \frac{121,875}{7,4} = 16,47$$

$$C = \frac{\left(\left(\frac{P_d}{P_0}\right) - 1\right) \left(\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 23\right)}{\left(\left(\frac{P_d}{P_0}\right) + 11\right)^2} = 0,809$$

$$Q = \frac{C * I * A * k}{3,6} = 6,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_T = 6,31 + 0,062 = 6,37 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 1,548 * \left(\frac{n * Q_T}{i^2}\right)^{\frac{3}{8}} = 1,973 \text{ m} = 2000 \text{ m}$$

$$(\theta - \text{sen}\theta)^5 - \theta^2 * \frac{8192}{D^8} * \left(\frac{Q_n}{Q^2}\right)^3 = 0$$

$$\theta = 4,38$$

$$V = \frac{8Q}{D^2 * (\theta - \text{sen}\theta)} = 2,39 < 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Tc = \left(\frac{L_0}{V_0} + 1,2 * \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i}\right) * \frac{1}{60} = 9,39 < 10 \text{ min}$$



Por tanto el colector no entra en carga y no produce erosión. Se hace lo mismo para un periodo de retorno de 2 años y vemos si se cumplen las condiciones de autolimpieza.

Hemos cogido este último colector como ejemplo porque es el que nos interesa pero el resto de colectores también iteraremos las pendientes y buscaremos el caudal establecido en el plan director.

Sistemas no convencionales

Si hablamos de los sistemas convencionales que vamos a fijarnos (en el tema constructivo primordialmente) para el diseño de nuestras balsas y humedales nos centraremos en el lagunaje para poder retener en una primera parte SS, M.p...etc. y así contener y regular posteriormente el agua en una segunda y tercera fase (laminando y también sedimentando). La cuarta fase iría destinada al sistema de humedales artificiales que junto con el resto se conseguirá un agua que mejoraría ambientalmente el barranco.

3.2 El lagunaje

3.2.1 Introducción

Los sistemas de depuración mediante la tecnología del lagunaje consiste en un medio artificial (balsas, conducciones, etc.) diseñado y construido para que en él se den, de una forma más o menos controlada, los procesos depuradores que se dan de forma natural en ríos y lagos.

El origen del lagunaje podemos situarlo en los embalses en los que antiguamente se almacenaban las aguas residuales para el riego directo de los campos. Se observó entonces que las aguas mejoraban su calidad y con el tiempo se fue investigando en ello hasta el punto de utilizarlo como una forma de depuración de este tipo de aguas.

La primera construcción que se tiene constancia de este tipo de depuración hace referencia al Lago Mitchell en San Antonio (Texas), en el año 1901.

A partir de 1920 se produce un gran desarrollo del Lagunaje (Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, etc.), si bien, no es hasta 1950 cuando se hace un buen dimensionamiento de este tipo de sistema.

En Estados Unidos se dispone de más de 6000 instalaciones de Lagunaje para el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales, junto a un amplio rango de condiciones climáticas.

En lo que se refiere al Mediterráneo este tipo de sistemas están establecidos desde poblaciones rurales de menos de 1000 habitantes como en Francia, a grandes centros urbanos turcos de 360.000 habitantes o de 1.400.000 habitantes en Jordania.



En el caso de España, a finales de los años 80 contaba con unas 100 instalaciones en operación y construcción [MOPT, 1991], destacando el desarrollo que alcanzó en la Región de Murcia, en la que en el periodo 1984-1990 se pusieron en operación 11 depuradoras mediante lagunaje, todas ellas con una capacidad de tratamiento superior a los 20.000 habitantes equivalentes, ascendiendo la capacidad. Total a 473.500 habitantes equivalentes y la superficie ocupada a unas 169 hectáreas [Belchí, 1990].

En el año 2007 se aprobó el Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración 2007-2015 (PNCA), que da respuesta tanto a los objetivos no alcanzados por el anterior Plan Nacional (1995-2005), como a las nuevas necesidades planteadas por la Directiva Marco del Agua y por el Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua). Con este plan, el Ministerio de Medio Ambiente, actual Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, persigue el definitivo cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE y pretende contribuir a alcanzar el objetivo del buen estado ecológico que la Directiva Marco del Agua propugna para el año 2015.

El PNCA dedica especial atención a la depuración de las aguas en aglomeraciones urbanas de pequeño tamaño. De hecho, uno de los nuevos objetivos prioritarios del citado Plan, es abordar el saneamiento y la depuración de los pequeños núcleos de población, inferiores a 2.000 habitantes equivalentes. Sin embargo, estas aglomeraciones urbanas, para los que la Directiva 91/271/CEE pide un “tratamiento adecuado”, no han sido suficientemente estudiadas. Para aumentar el grado de conocimiento del saneamiento y depuración de estos pequeños núcleos, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), dependiente de los Ministerios de Fomento y Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino (MARM), y el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), han llevado a cabo un estudio sobre “La depuración de aguas residuales en las pequeñas poblaciones”, con tres objetivos básicos:

- El estudio de las tendencias actuales observadas en España y otros países de la Unión Europea y resto del mundo.
- El análisis de la situación en I+D+i, estableciendo carencias y necesidades.
- La elaboración de una guía o manual para la implantación de sistemas de depuración adecuados.

Para alcanzar los objetivos planteados, el primer paso ha sido analizar la situación actual de la depuración en estas pequeñas poblaciones. El resultado es un documento titulado “Situación Actual de la Depuración de las Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones”, en el que no sólo se presentan las tecnologías aplicadas en estas aglomeraciones urbanas y el grado de conformidad con la Directiva 91/271/CEE alcanzado, sino que va más allá, incidiendo en cuestiones de gestión y planificación.



En la actualidad, la mayoría de las Comunidades Autónomas disponen, o están en proceso de redacción, de nuevos Planes de Saneamiento y Depuración que reservan una parte importante de sus inversiones a la depuración de las pequeñas poblaciones.

A la hora de planificar el saneamiento y la depuración de las pequeñas poblaciones el primer paso es definir las aglomeraciones, agrupando varios núcleos de población en un único punto de vertido cuando sea posible, para constituir aglomeraciones de mayor tamaño, o bien mediante la conexión de los pequeños núcleos a aglomeraciones existentes y cercanas. No obstante, en muchos casos la aglomeración es imposible y los núcleos quedan dispersos con poblaciones muy pequeñas. Respecto a este aspecto, es posible establecer una división entre aquellas Comunidades Autónomas con un elevado grado de concentración de la población (como Madrid, Murcia, Comunidad Valenciana y algunas de las Islas Canarias) y aquellas que presentan un alto nivel de dispersión en una parte importante de su población (como Galicia, Asturias, Castilla y León y Cataluña en algunas partes de su territorio). En las primeras, se observa la tendencia a aglomerar lo máximo posible los pequeños núcleos, existiendo un número relativamente pequeño de aglomeraciones inferiores a 2.000 h.e., y apostando por tecnologías de depuración intensivas para el tratamiento de sus aguas residuales. En las segundas, debido al elevado número de aglomeraciones definidas, se ha optado por diversificar las tecnologías de depuración a aplicar, abriendo paso también a las extensivas.

La siguiente tabla muestra las tecnologías existentes en la actualidad en algunas de las Comunidades Autónomas ordenadas según su grado de implantación en aglomeraciones menores de 2.000 h.e.



Comunidad Autónoma	1 ^{ra} tecnología (más abundante)	2 ^a tecnología	3 ^{ra} tecnología	Otras tecnologías (menos abundantes)
Andalucía	Tratamiento primario*	Aireación prolongada	Filtros de turba	CBR, Lagunaje, Humedal Artificial, Lechos bacterianos
Aragón	Aireación prolongada	Lechos bacterianos	Biodiscos	Tratamiento primario
Asturias	Tratamiento primario*	Aireación prolongada	Lagunaje	Biológico con eliminación de N y P
Cantabria	Aireación prolongada	Aireación prolongada+ lagunaje	Tratamiento primario	
Castilla-La Mancha	Aireación prolongada y lagunaje	Aireación prolongada y lagunaje	Lechos bacterianos	CBR, tratamientos primarios y filtros verdes
Castilla y León	Tratamiento primario*	Aireación prolongada	Fosas sépticas + filtros biológicos	Lagunaje, lechos bacterianos, filtros de turba
Cataluña	Aireación prolongada	Biodiscos	Humedales artificiales, filtros verdes, lechos bacterianos	Lagunaje, tratamientos primarios
Extremadura	Aireación prolongada	Biodiscos	Lechos bacterianos	Lagunaje
Galicia	Aireación prolongada	Lecho bacteriano	Tratamiento primario	Tratamiento físico-químico
La Rioja	Aireación prolongada	Lechos bacterianos	Lagunaje	Biocilindros
Madrid	Aireación prolongada	Biodiscos	Lechos de turba	Filtros verdes
Navarra	Tratamiento primario (fosa séptica)	Lechos bacterianos	Biomasa fija sobre lecho móvil (MBBR)	Humedal y filtro de arena + lagunaje, aireación prolongada
Valencia	Aireación prolongada	Lechos de turba	Biodiscos/ biocilindros	Lechos bacterianos
País Vasco	Tratamiento primario*	Zanjas, lechos y pozos filtrantes, lagunaje, filtros de turba	Aireación Prolongada	

* Principalmente tanques Imhoff y fosas sépticas

Nota: CBR = Contactores Biológicos Rotativos, SBR = Reactores Secuenciales

Fuente: Planes regionales de saneamiento y depuración.

Figura III. 3: Tecnologías aplicadas en pequeñas poblaciones por orden de abundancia y CCAA (La Depuración de las Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones Españolas).

En resumen, el lagunaje consiste en un sistema de tratamiento natural con un coste mínimo de explotación y mantenimiento, lo que es especialmente atractivo para el tratamiento de las aguas de aquellas aglomeraciones urbanas que carecen de recursos técnicos y financieros para hacer frente a tecnologías de depuración más sofisticadas.

3.2.2 Fundamentos

En el Lagunaje el agua residual a tratar, tras una etapa de pretratamiento, se hace pasar por un conjunto de balsas dispuestas en serie y de profundidad decreciente, en las que se dan, de forma consecutiva, condiciones anaerobias y aerobias.



Figura III. 4: Diagrama de flujo de la tecnología de Lagunaje (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

Tras un tiempo de retención de varios días en las lagunas, en lugar de las horas de los tratamientos convencionales, se descarga un efluente depurado.

Los distintos tipos de lagunas dispuestas en serie, y que se conocen como: Anaerobias, Facultativas y de Maduración, simulan las distintas situaciones de los fenómenos de autodepuración que se dan en los cursos naturales de las aguas.

Si se realiza un vertido de sustancias biodegradables a un cauce, en el punto del vertido se consumirá el oxígeno disuelto presente en el medio a mayor velocidad de la que puede reponerse, llegándose a instaurar condiciones anaerobias, con la consiguiente muerte del medio acuático afectado.

Tras el proceso de contaminación, comienzan los procesos de autodepuración natural, en la que se dan:

- Procesos físicos: sedimentación, flotación.
- Procesos químicos: neutralización, oxidación.
- Procesos biológicos: los microorganismos presentes en las aguas y/o aportados por los vertidos, emplean como sustrato la materia orgánica biodegradable, metabolizándola y transformándola en nueva materia viva.

Tras el vertido se pueden distinguir cuatro zonas:

- Zona de degradación próxima al vertido (I): en ella desaparecen los animales superiores al decaer rápidamente el contenido en oxígeno disuelto de las aguas.
- Zona de descomposición activa (II): se inician las reacciones de descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el vertido, lo que originan el desprendimiento de gases malolientes, presentando las aguas una coloración negruzca.



- Zona de recuperación (III): comienza la degradación vía aerobia de los contaminantes vertidos, procediendo el oxígeno de fenómenos de reaireación superficial y, principalmente, de la actividad fotosintética de las microalgas que colonizan esta zona. Cesa la generación de malos olores y las aguas se clarifican paulatinamente.
- Zona de aguas limpias (IV): el cauce, finalmente, recupera las condiciones existentes previas al vertido.

Los sistemas de lagunaje pueden asimilarse a estas tres primeras zonas.

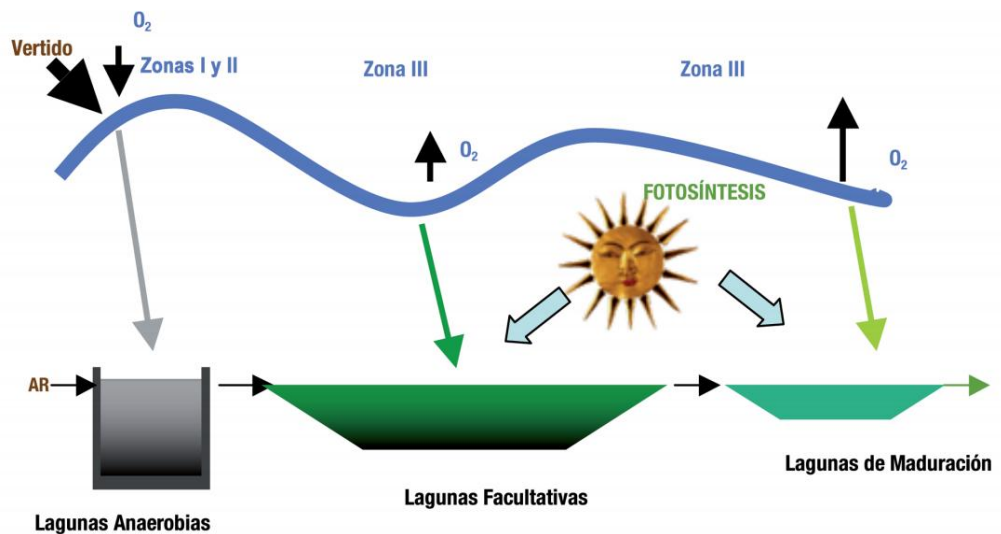


Figura III. 5: Comparación del sistema de lagunaje con los fenómenos de autodepuración natural que se dan en los cauces naturales (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

3.2.3 Esquema de funcionamiento

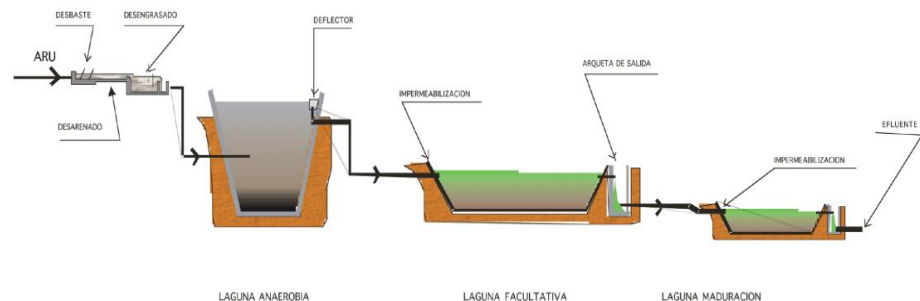


Figura III. 6: Diagrama de flujo de una instalación de Lagunaje (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Este tipo de tratamiento es semejante al de un tratamiento convencional, Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Tratamiento Terciario.

I. Pretratamiento

Tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos y de las grasas y flotantes presentes en las aguas residuales para evitar problemas de obstrucción y distorsión en los demás procesos.

El pretratamiento para los sistemas de lagunaje consta de:

i. Desbaste

Se utiliza rejas de desbaste, de 2-3 cm de separación entre barrotes y de limpieza manual.

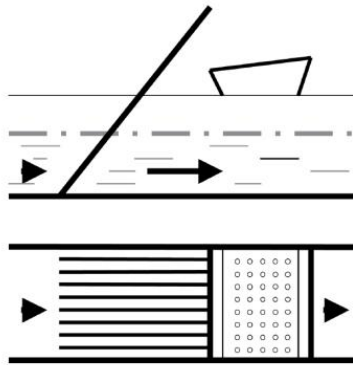


Figura III. 7: Desbaste con reja de limpieza manual (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

ii. Desarenado

Eliminación de materias pesadas de tamaño superior a 0,2, para evitar que sedimenten en canales y conducciones y para proteger a las bombas y otros elementos de la abrasión.

Aparte de las arenas se eliminan también gravas y partículas minerales, así como elementos de origen orgánico, no putrescible (granos de café, huesos, huevos, etc.).

Se suele recurrir para el caso del lagunaje a canales desarenadores estáticos, tanto de flujo variable como de flujo constante.

En las de flujo variable se extraen las arenas manualmente de un canal longitudinal, con una capacidad para el almacenamiento de 4-5 días.

En las de flujo constante se mantiene una velocidad en torno a 0,3 m/s, independientemente del caudal que los atraviesa, de este modo se logra que sedimente la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico (<5% de materia orgánica)



Mediante una sección adecuada de los canales y un perfil parabólico (se suele utilizar sección trapezoidal al ser más fácil de construir) finalizando la obra en una sección de control.

Al final de los canales se dispone de un vertedero de salida de ecuación lineal (Parshall, Sutro).



Figura III. 8: Desarenado estático.

iii. **Desengrasado**

Para la eliminación de las grasas y flotantes se utilizan desengrasadores estáticos, en los que se hacen pasar las aguas a través de un depósito, dotado de una conducción, o tabique, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo, lo que permite que los componentes de menor densidad que el agua queden retenidos en la superficie.

La retirada de las grasas y flotantes se realiza de forma manual.



Figura III. 9: Imagen de un desengrasador estático

II. Tratamiento Primario

Se persigue en esta fase la eliminación de la materia sedimentable y flotante y se logra en las lagunas Anaerobias, dispuestas en cabecera del tratamiento.

III. Tratamiento Secundario

La reducción mediante mecanismos biológicos de la materia orgánica, en forma disuelta coloidal, tiene lugar, vía aerobia en la superficie y vía anaerobia en el fondo, de las Lagunas Facultativas, que se disponen a continuación de la etapa anaerobia.

IV. Tratamiento Terciario

En las Lagunas de Maduración, situadas en cola de tratamiento, y en las que imperan condiciones principalmente aerobias, tiene lugar una mejora de la calidad de las aguas (eliminación de sólidos en suspensión, de materia orgánica remanente, de nutrientes y de patógenos), antes del vertido final de los efluentes depurados, hecho que justifica la denominación adoptada para este tipo de lagunas.

3.2.4 Tipos de lagunas

En función del tipo de reacciones que en ellas predominan, pueden distinguirse tres tipos de lagunas: Anaerobias, Facultativas y de Maduración.



I. **Lagunas Anaerobias**

Se tratan de lagunas de 3 a 5 m de profundidad en las que imperan en toda la masa líquida, salvo en la parte superior, condiciones de ausencia de oxígeno disuelto, por lo que los microorganismos que en ellas se desarrollan son casi exclusivamente bacterias anaerobias.

Entre los mecanismos que contribuyen a mantener el ambiente anaerobio:

- Las elevadas cargas orgánicas con las que se opera ($>100 \text{ g DBO}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$), que hacen que el posible oxígeno introducido en las lagunas con las aguas residuales influentes se consuman rápidamente.
- La generación de sulfuros, vía reducción de los sulfatos presentes en las aguas residuales, que son tóxicos para las microalgas y que, además, al oscurecer las aguas, dificultan la penetración de la luz solar, imposibilitando su desarrollo.
- Su escasa superficie, lo que limita los fenómenos de reaireación superficial

Las aguas que han sido pretratadas ingresan en las lagunas Anaerobias y se produce la decantación de la materia sedimentable, que se va acumulando en el fondo. Los lodos decantados experimentan reacciones de degradación anaerobia, por lo que se van mineralizando (aumenta la relación mineral/volátil), a la vez que disminuyen su volumen.

A los 5-10 años se realizara la purga de los lodos en exceso. Gracias a la volitización estos fangos no serán tan voluminosos.

Como subproducto de las reacciones anaerobias se generara biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, 70/30) que se desprende en forma de burbujas a través de su superficie.

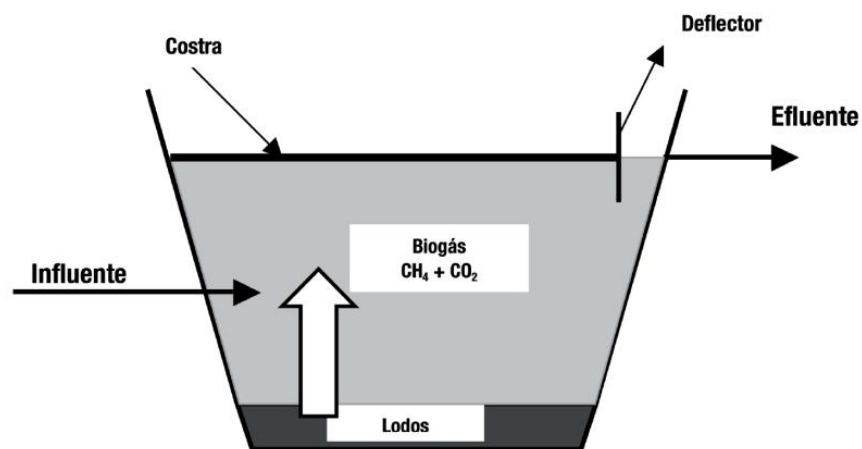


Figura III. 10: Esquema de Laguna Anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Los objetivos de esta fase serán el de retener la mayor cantidad de sólidos sedimentables y flotantes, y también estabilizar los lodos que se van acumulando en el fondo.

II. Lagunas Facultativas

Se trata de lagunas con profundidades de 1 a 2 m y se establecen tres estratos.

- En el fondo se acumulan los sedimentos y se establecen condiciones de anaerobiosis produciéndose situaciones iguales a la laguna anaerobia.
- En la zona intermedia, en la que se dan condiciones muy variables, aparecen bacterias de tipo facultativas.
- En la zona superficial se producen condiciones aerobias, gracias a la actividad fotosintética de las microalgas que en ella se desarrollan y fenómenos en menor medida de reaireación superficial inducidos por el viento.

El espesor de estos estratos variara en función de:

- El momento del día: durante la noche, al cesar la actividad fotosintética, decrece el espesor de la capa aerobia, incrementándose el de la anaerobia.
- Las estaciones: en primavera-verano al intensificarse la actividad de las microalgas se amplía el espesor de la capa aerobia.
- El nivel de carga orgánica aplicada a la laguna: si se sobrecarga la laguna, la zona anaerobia puede extenderse a todo su volumen.

III. Lagunas de Maduración

Estas lagunas tienen espesores de lamina entre 0,8 y 1 m, al soportar bajas cargas orgánicas (se sitúan en cola del tratamiento), y darse en ellas las condiciones propicias para la penetración de la radiación solar, (aguas relativamente claras y poco profundas), adecuadas por tanto para el desarrollo de microalgas, predominan las condiciones de suficiencia de oxígeno y, en consecuencia, en ellas predominan los microorganismos heterótrofos aerobios.

El principal objetivo será conseguir un elevado grado de desinfección de las aguas, mediante el abatimiento de un gran número de los organismos patógenos presentes como también la reducción de micralgas en el efluente final depurado.

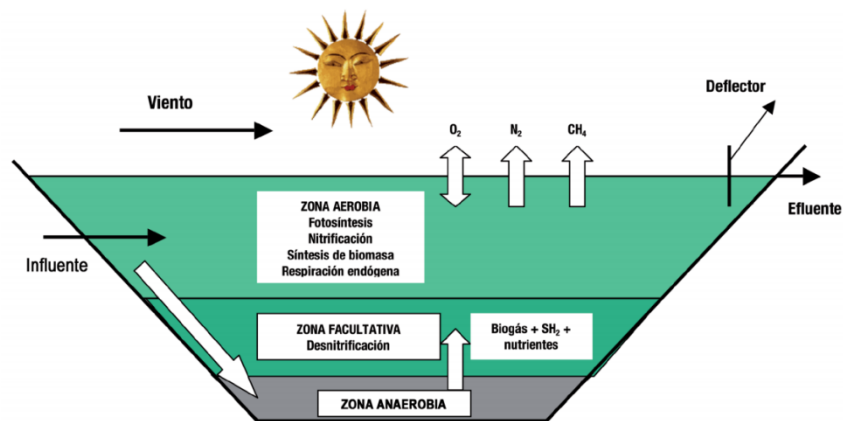


Figura III. 11: Esquema de una Laguna Facultativa (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

3.2.5 Mecanismos de depuración

I. Lagunas Anaerobias

Los mecanismos en los que basan su capacidad depuradora las lagunas Anaerobias son:

- **Eliminación de materia orgánica**

La materia orgánica se encuentra en suspensión, materia coloidal o disuelta. La decantación de los sólidos en suspensión sedimentables elimina materia orgánica particulada. Sobre esta materia orgánica decantada, y sobre la que se encuentra en forma coloidal o disuelta, actúa la flora bacteriana, vía anaerobia.

La degradación de la materia orgánica vía anaerobia se realiza en varias etapas:

- **Etapas hidrolítica:** los compuestos orgánicos complejos (hidratos de carbono, proteínas, lípidos), son transformados en otros más sencillos (monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, glicerol), que sirven de sustrato a las bacterias de la siguiente etapa. En esta etapa también se produce la solubilización de parte de la materia orgánica particulada.



- **Etapa acidogénica:** los compuestos orgánicos sencillos son transformados en ácidos orgánicos volátiles (acético, propiónico y butírico, fundamentalmente), mediante el concurso de bacterias generadoras de ácidos (acidogénicas, acetogénicas).

La capacidad tampón del medio permite mantener los valores de pH próximos a la neutralidad.

Dado que los productos se encuentran poco estabilizados con respecto a los iniciales, los rendimientos de eliminación de materia orgánica que se alcanzan, expresados como DBO5 o DQO, son muy bajos.

- **Etapa metanogénica:** los ácidos orgánicos volátiles, son transformados mediante el concurso de bacterias metanogénicas, en biogás, mezcla de metano y anhídrido carbónico.

En esta fase es en la que tiene lugar realmente la reducción del contenido en materia orgánica, es la fase limitante del proceso global de degradación anaerobia.

Para valores inferiores a 6,2 cesa la actividad metanogénica, por lo que, los ácidos orgánicos generados en la etapa acidogénica, éstos se van acumulando en las lagunas, liberando olores desagradables, los cuales hay que evitar con el control de la carga.

- **Eliminación de sólidos en suspensión**

Los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales están constituidos por materia orgánica e inorgánica en forma particulada. Una parte decantará por su propio peso (sólidos sedimentables), mientras que otros lo hacen gracias a microorganismos que se adhieren a su superficie, formando flóculos de mayor densidad que el agua. Progresivamente, se va formando una capa de lodos en el fondo de las lagunas, susceptible de ser degradada, vía anaerobia, por los microorganismos que en ellas se desarrollan.

- **Eliminación de nutrientes**

- **Nitrógeno:** En las aguas residuales el nitrógeno se encuentra formando parte de compuestos orgánicos (proteínas, ácidos nucleicos) y en forma inorgánica, principalmente como ión amonio.



Tanto el nitrógeno orgánico como el inorgánico pueden encontrarse en disolución o formando parte de la materia particulada. Al final las concentraciones de amoníaco pasan a la otra laguna con concentraciones algo superiores.

- **Fósforo:** En el agua residual el fósforo se encuentra en forma orgánica soluble, inorgánica soluble y en forma particulada (orgánica+inorgánica).

Parte de la materia particulada sedimentara, pasando el fosforo orgánico a ortofosfatos. Los ortofosfatos pueden ser asimilados por los distintos microorganismos en su metabolismo.

- **Eliminación de metales pesados**

En el lagunaje Anaerobio se consiguen elevados rendimientos de eliminación de metales, debido a que el sulfhídrico contenido en las lagunas forma sulfuros insolubles con gran parte de dichos metales, que precipitan y quedan retenidos en los lodos.

Las lagunas anaerobias actúan a modo de trampas de metales, liberando a las posteriores etapas de tratamiento (facultativa, maduración), del efecto tóxico de estos elementos.

- **Eliminación de organismos patógenos**

Su eliminación se produce básicamente vía decantación principalmente en las Lagunas Anaerobias, en las que se logran reducciones del orden del 80%. Hay una cierta eliminación de bacterias fecales, principalmente por decantación de bacterias que se adhieren a los sólidos sedimentables.

- **Condiciones operativas de las Lagunas Anaerobias**

- **pH:** El rango óptimo es de 6,8-7,4 y el extremo de 6,2-7,8.
- **Temperatura:** Los rangos extremos de temperatura son de 15-40 °C, creciendo mejor las bacterias metanogénicas en el rango de 0-35°C.
- **Potencial Redox:** El rango óptimo es de -520 a -530 mV, y el extremo -490 a -550 mV.
- **Tiempo de retención:** tiempos de retención de 2-5 días.



- **Carga orgánica:** La carga volumétrica es más significativa que la superficial, dado que los fenómenos superficiales carecen de importancia en este tipo de lagunas. Las cargas orgánicas volumétricas que se recomiendan oscilan entre 100 y 300 g DBO/m³.d. El valor inferior trata de asegurar condiciones de anaerobiosis y el valor superior intenta minimizar la generación de olores desagradables.

II. Lagunas Facultativas y de Maduración

Los mecanismos en los que se basan estas lagunas son:

- **Eliminación de materia orgánica**

La materia orgánica particulada (efluente de la etapa anaerobia), se elimina principalmente por decantación, experimentando, experimentando la materia sedimentada reacciones de degradación vía anaerobia, que la estabilizan y a la vez que reducen su volumen.

La materia orgánica remanente no sedimentable es degradada vía aerobia por bacterias gracias a la actividad fotosintética de las microalgas. Bacterias y microalgas actúan de forma simbiótica, degradando la materia orgánica presente.

- **Eliminación de sólidos en suspensión**

Una alta proporción de la materia orgánica presente en las aguas a tratar acaba formando parte de las microalgas, con el consiguiente incremento en el contenido en sólidos en suspensión.

En las lagunas Facultativas el rendimiento de eliminación de la materia en suspensión varía a lo largo del año, siendo menor en los momentos de crecimiento masivos de microalgas (primavera, verano), llegando en ciertos momentos a ser negativo, al ser mayor la concentración de sólidos en suspensión a la salida de las lagunas que a su entrada.

En las lagunas de Maduración habrá un efecto filtrante por parte de protozoos y pequeños crustáceos, que eliminan microalgas y por tanto materia orgánica particulada. A pesar de esto, alrededor del 70-90% de la DBO5 es por las microalgas.



La directiva 91/271 CE para el caso concreto de los Lagunajes (pozos fermentativos en el texto original de la Directiva), permite que los rendimientos globales de eliminación de materia orgánica (DBO5, DQO), se calculen sobre muestras filtradas de los efluentes del sistema, siempre y cuando la concentración de sólidos en suspensión en dichos efluentes no supere el valor de 150 mg/l.

Para el resto de sistemas de tratamiento el límite de la concentración de sólidos en suspensión en los efluentes depurados se fija en 30 mg/l. Con esta medida, se asume que al estar constituidos los sólidos en suspensión en los efluentes de los Lagunajes básicamente por microalgas, son menos dañinos para el medio ambiente. Según a donde vayan dirigidas las microalgas supondrán un problema o no.

Si estas algas van dirigidas al riego entonces son muy beneficiosas, incrementan el humus del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua.

En el caso de vertido directo a cauce, estas se dispersan fácilmente y son eliminadas por el zooplancton y generan oxígeno fotosintético en las horas de luz.

- **Eliminación de nutrientes**

- **Nitrógeno:** El medio aerobio, propio de las Lagunas Facultativas y de las de Maduración, es adecuado para el desarrollo de organismos nitrificantes que realizan la conversión del ión amonio a nitrato. Parte de los nitratos formados son asimilados por las algas, que los transforman en nitrógeno orgánico. Igualmente, las microalgas pueden asimilar directamente nitrógeno en forma amoniacal.

Por otro lado, al darse fluctuaciones a lo largo del día del contenido de oxígeno disuelto en las lagunas, decayendo éste durante la noche, tiene lugar en ese período procesos de desnitrificación, que conducen a la pérdida neta de nitrógeno hacia la atmósfera.

El ión amonio también puede desplazarse hacia amoniaco gaseoso, que escapa a la atmósfera, a consecuencia de los elevados valores de pH que se dan en las lagunas fotosintéticas. Mediante fijación biológica, el nitrógeno atmosférico puede ser transformado en formas orgánicas gracias a las cianobacterias.



- **Fósforo:** El ambiente de este tipo de lagunas favorece la eliminación de los fosfatos, dado que a pH alcalino éstos precipitan.

El fósforo que se encuentra en forma particulada sedimenta por procesos de adsorción y coagulación.

Parte del fósforo presente como ortofosfato soluble es utilizado por los microorganismos acuáticos y otra parte, que forma parte de la materia particulada se va depositando en el fondo de las lagunas, puede volver a solubilizarse mediante procesos anaerobios, incorporándose de nuevo a la masa líquida.

- **Eliminación de metales pesados**

En el medio oxidado y con elevados valores de pH, típico de estas lagunas, se produce la precipitación de metales en forma de hidróxidos o de sales insolubles. Como ejemplo, las formas ferrosas pasan a férricas, precipitando como hidróxidos y fosfatos.

- **Eliminación de organismos patógenos**

Las lagunas facultativas y en especial las de Maduración, son muy eficaces en la eliminación de organismos patógenos, siendo los factores que influyen en su eliminación los siguientes:

- **Factores físicos:** La temperatura y la sedimentación son los más importantes
- **Factores fisicoquímicos:** La salinidad del agua, el pH, la concentración de oxígeno disuelto y la intensidad de la luz solar son los más importantes.
- **Factores bioquímicos:** La concentración de nutrientes, presencia de compuestos tóxicos y depredadores, son los principales factores bioquímicos.

El sol, por tanto, juega un triple papel en la eliminación de los agentes patógenos fecales mediante Lagunaje:

- Incrementando la temperatura del agua.
- Haciendo que el pH supere el valor de 9, como consecuencia de los procesos fotosintéticos que tienen lugar.



- Originando elevadas concentraciones de oxígeno disuelto, como subproducto de la actividad fotosintética de las microalgas.

En el caso de los huevos de helmintos, éstos se eliminan básicamente por fenómenos de sedimentación, que tienen lugar principalmente en las Lagunas Anaerobias, primera etapa del tratamiento.

Con relación a la eliminación de virus no se conocen con exactitud los mecanismos por los que se eliminan en los Lagunajes, pero se acepta, generalmente, que esta eliminación ocurre por adsorción sobre los sólidos sedimentables (incluyendo las microalgas), y la posterior decantación de estos sólidos.

La tabla que aparece a continuación compara la eficiencia de eliminación de organismos patógenos en los Lagunajes y en tratamientos convencionales de depuración de aguas residuales urbanas (Mara, 1998).

Patógeno	Eliminación en Lagunajes	Eliminación en tratamientos convencionales
Bacterias	> de 6 potencias	1-2 potencias
Virus	> de 4 potencias	1-2 potencias
Protozoos quistes	100%	90-99%
Huevos de helmintos	100%	90-99%

Nota: 1 potencia = 90%; 2 potencias = 99%; 3 potencias = 99,9%, etc.

Tabla III. 17: Comparación entre los sistemas de eliminación convencionales y los lagunajes (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **Condiciones operativas de las Lagunas Facultativas y de Maduración.**
 - **pH:** La actividad fotosintética provoca que el pH se encuentre entre 7-9.
 - **Temperatura:** Las algas verdes son adecuadas para Tº 30-35ºC, teniendo en cuenta que a partir de los 28ºC baja la actividad fotosintética.
 - **Tiempo de retención:** En el caso de las Lagunas de Maduración, se recomienda un tiempo de retención de 5 días para lograr el abatimiento de patógenos.



- **Carga orgánica:** En este tipo de lagunas es más significativa la carga superficial, dadas las elevadas superficies que presentan para la captación de radiación solar. Dependiendo de la ubicación geográfica, las cargas orgánicas superficiales recomendadas para las Lagunas Facultativas oscilan entre 50 y 400 kg DBO5/ha.d. Para el entorno del mediterráneo se aplican cargas del orden de 100 kg DBO5/ha.d., recomendándose que la carga orgánica superficial a las Lagunas de Maduración no supere el 75% de este valor.

3.2.6 Factores que influyen en el proceso de Lagunaje

- **Radiación solar**

Definimos la radiación solar como el total de luz directa, difusa o dispersa, que se recibe sobre una superficie horizontal, por unidad de superficie y unidad de tiempo, expresándose en Langleys/d ($\text{cal}/\text{cm}^2\cdot\text{d}$).

La radiación dependerá de la latitud del lugar, la altitud, la nubosidad y por la contaminación atmosférica.

La adsorción de dicha radiación solar por las aguas Facultativas y de Maduración juega un papel muy importante en su funcionamiento, al influir sobre:

- La temperatura que alcanzan las aguas en las lagunas.
- La actividad fotosintética de las microalgas y la consiguiente producción de oxígeno y modificación del pH del medio.
- La eliminación de organismos patógenos.

La intensidad de la radiación solar fluctúa a lo largo del día y de las estaciones del año, con la consiguiente repercusión sobre los factores mencionados.

- **Temperatura**

Las dos fuentes de calor que determinan la temperatura del agua son:

- Las aguas residuales que entran en el sistema de lagunaje suelen tener efectos sobre la temperatura mayoritariamente en invierno cuando las lagunas tienen aguas más frías al verterse las aguas residuales domiciliarias (T° más elevada).
- La radiación solar.

La temperatura afecta al comportamiento de los Lagunajes, al actuar sobre:



- La velocidad de las reacciones biológicas.
- El grado de mezcla de las aguas.

- **Nutrientes**

El crecimiento y la actividad de los microorganismos están controlados tanto, por la concentración, como por el tipo de los nutrientes que se encuentran presentes en el medio.

Los requisitos nutricionales se clasifican en:

- Fuente energética.
- Macronutrientes (C, H, O, N, P, K Y S)
- Micronutrientes (Fe, Mg, Ca, B, Zn, Cu, M, Co, Mo, etc.)
- Factores de crecimiento (determinados compuestos orgánicos).

Cuando los nutrientes son limitantes, el crecimiento y la velocidad metabólica son función de la disponibilidad de los mismos.

Según Oswald (1957), el contenido en nitrógeno de las aguas residuales a tratar establece el límite superior que puede alcanzar la concentración de biomasa algal en las lagunas.

La concentración de microalgas que puede alcanzarse viene dada por:

$$[AL]_{max} = 10 * [N]$$

Donde:

[A] máx.: concentración máxima de microalgas (mg/l).

[N]: concentración de N (mg/l).

Por tanto, en un agua residual típica con una concentración de nitrógeno de 40 mg/l pueden alcanzarse concentraciones de microalgas de hasta 400 mg/l.

En el caso del fósforo, dado que éste elemento no excede del 1,5% de la composición de las microalgas, un agua residual típica, con un contenido en fósforo de 8 mg/l, puede mantener crecimientos algales de 530 mg/l.



Las aguas residuales urbanas presentan todos los nutrientes precisos para el correcto desarrollo de los microorganismos involucrados en los procesos biológicos que tienen lugar en los Lagunajes.

- **Viento**

El viento influye sobre el comportamiento de los Lagunajes:

- Contribuyendo a la oxigenación de las aguas vía reaireación superficial, que es función de la velocidad del viento.
- Favoreciendo las condiciones de mezcla en las lagunas, evitando los fenómenos de estratificación.

Un buen grado de mezcla en la capa superior de las lagunas asegura una distribución más uniforme de la DBO₅, del oxígeno disuelto, de las microalgas y de las bacterias, lo que redundará beneficiosamente en el nivel de depuración que se alcanza en el proceso de tratamiento.

En la etapa de diseño de las lagunas debe evitarse colocar sus zonas de entrada y de salida coincidentes con la dirección de los vientos dominantes, ya que ello puede provocar la creación de corrientes superficiales preferenciales, que lleguen a afectar negativamente al rendimiento.

- **Profundidad de las lagunas**

La profundidad de las lagunas afecta a:

- La temperatura del agua: lagunas profundas, con baja relación superficie/volumen (caso de las Lagunas Anaerobias), minimizan la pérdida de calor por radiación a la atmósfera.
- El grado de mezcla de las aguas: la intensidad de mezcla es función de la profundidad, a menor profundidad el viento provoca un mayor grado de mezcla.
- El crecimiento de vegetación de vegetación indeseable en las lagunas: profundidades del orden o superiores a 1 m, son suficientes para evitar estos crecimientos.
- El nivel de consumo de oxígeno por parte de los gases que escapan desde el fondo de las lagunas hasta su superficie: a mayor profundidad de las lagunas mayor grado de oxidación de estos gases.



La evaporación trae como consecuencia un incremento de la salinidad de las aguas almacenadas en las lagunas. En casos extremos, este incremento puede invalidar el empleo de los efluentes depurados para el riego de especies vegetales sensibles a la conductividad de las aguas.

Se estima que valores de evaporación inferiores a 5 mm/d no afectan, de forma apreciable, a la salinidad de las aguas de las lagunas.

Con relación a la precipitación, el nivel oxígeno disuelto en las lagunas puede bajar después de las tormentas, debido a la demanda adicional de oxígeno provocada por los sólidos arrastrados por el agua de lluvia. Además, en días cálidos la lluvia provoca el enfriamiento superficial de las lagunas, con lo que se crea una capa de inversión, que favorece el ascenso de fangos del fondo hacia la superficie, con el consiguiente consumo de oxígeno.

El agua de lluvia también provoca una cierta oxidación de la zona superficial de las lagunas.

- **Presencia de sulfatos en las aguas residuales**

La existencia de compuestos de azufre en el agua residual influente afecta a la biota de las lagunas. Las bacterias que reducen el azufre son:

- **Bacterias incoloras**
- **Bacterias fotosintéticas del azufre**

3.2.7 Diseño del Lagunaje

En lo que se refiere a las lagunas Anaerobias y Facultativas estas se diseñan con el objetivo primordial de la eliminación de DBO₅, mientras que para las lagunas de Maduración se centra en la eliminación de patógenos. Si bien, ello no excluye que en las Lagunas de Maduración también se produzca una cierta eliminación de DBO₅, ni que en las Lagunas Anaerobias y Facultativas también se eliminen patógenos.

- **Lagunas Anaerobias**

Las Lagunas Anaerobias se diseñan para lograr dos objetivos básicos:

- Retener la mayor cantidad de sólidos sedimentables
- Estabilizar los lodos que se van acumulando en las lagunas.



El diseño es básicamente empírico y se basa en criterios de carga volumétrica y/o tiempos de retención.

La carga volumétrica viene dada por:

$$Cv = Ci * Q/V$$

Donde:

Cv: carga volumétrica (g DBO/m³.d).

Ci: DBO5 del influente (mg/l = g/m³)

Q: caudal (m³/d)

V: volumen de la laguna (m³)

$$V = Ci * Qi/Cv$$

Dependiendo de la temperatura de diseño, los valores que suelen emplearse de carga volumétrica se recogen en la siguiente tabla, en la que también se muestran los rendimientos medios de DBO5 para cada situación (Marsa y Pearson, 1986; Mara y col. 1997).

T ^a de diseño (°C)	Carga volumétrica (Cv) (g/m ³ .d)	% eliminación DBO ₅
< 10	100	40
10 – 20	20T-100	2T + 20
20 – 25	10T + 100	2T + 20
> 25	350	70

Tabla III. 18: Valores recomendados de carga volumétrica, en función de la temperatura de diseño y rendimientos que se alcanzan (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

El límite de carga volumétrica se limita a 350g DBO5/m³.d para minimizar la generación de olores desagradables. Este límite es aplicable para el tratamiento de aguas residuales con contenidos en sulfatos menores de 300 mg SO₄/l.



Fijado el valor de C_v , se determina el volumen necesario de la etapa anaerobia, con el que puede determinarse el Tiempo de Retención Hidráulica mediante la expresión:

$$\theta = V/Q$$

Siendo:

θ : Tiempo de Retención Hidráulica (d).

No deben emplearse valores de TRH < 1 d. Si la ecuación anterior nos da menor a un día se deberá entonces tomar como mínimo 2 días y recalcularse el volumen.

Las alturas más usuales de lámina de agua en este tipo de lagunas oscilan entre 3 y 5 m.

La acumulación de lodos en el fondo de las Lagunas Anaerobias se estima entorno a 0,04 m³/habitante equivalente. Año.

Se desaconseja trabajar con Lagunas Anaerobias en serie, ya que las lagunas que reciben los efluentes depurados presentan problemas de operación por la baja carga orgánica aplicada.

La frecuencia de purga de lodos depende de la naturaleza del vertido, carga aplicada y clima de la zona. En función de estas variables la limpieza debe hacerse cada 5-10 años.

Ciertos estudios demuestran que la recirculación es contraproducente, dado que la mayor turbulencia provoca el mantenimiento de sólidos en suspensión, que en ausencia de recirculación se incorporarían a la capa de lodos. El desprendimiento de burbujas de biogás es suficiente para garantizar un nivel adecuado de mezcla.

- **Lagunas Facultativas**

Estas lagunas se diseñan de forma que se favorezcan los mecanismos de oxigenación del medio: actividad fotosintética (principalmente) y reairación superficial.

Dado que las algas precisan luz para generar oxígeno y que la difusión de éste en el agua es muy lenta, la profundidad de estas lagunas oscila entre 1-2 m.



En el dimensionamiento de las Lagunas Facultativas se distinguen los métodos racionales, matemáticos y empíricos.

Los métodos racionales intentan explicar en términos científicos lo que ocurre en las Lagunas Facultativas, asumiendo hipótesis restrictivas tales como:

- La composición de la alimentación es constante durante todo el año.
- El régimen hidráulico en las lagunas se corresponde con un modelo ideal de flujo.
- No se consideran las sedimentaciones de materia orgánica particulada en el fondo de las lagunas
- Las lagunas funcionan en régimen estacionario.
- La cinética de la depuración es de primer orden con una constante de velocidad que varía exponencialmente con la temperatura.

Los métodos matemáticos si bien, pueden ser considerados como una subcategoría de los métodos racionales, se diferencian de los mismos por hacer uso de hipótesis muy diferentes, considerando las lagunas como sistemas dinámicos, con cinéticas complejas y regímenes de flujo no ideales.

Por último, los métodos empíricos son relaciones matemáticas sencillas, deducidas de la observación experimental y que utilizan como variables de diseño: el caudal de aguas residuales a tratar, el tiempo de residencia y la carga orgánica superficial.

Dentro de los modelos racionales tenemos varios modelos como:

- Modelo de Mezcla Completa y cinética de primer orden según Marais (1966) o según Mara o otros.
- Modelo de Flujo Pistón y cinética de primer orden.

Dentro de los modelos matemáticos tenemos el modelo de Flujo Arbitrario y para los modelos empíricos basados en la carga superficial:

- Método de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1987).
La OMS para climas templados recomienda dimensionar las Lagunas Facultativas en lugares de clima templado con cargas superficiales entre 200 y 400 kg DBO₅/ha.d.
- Método indio o ecuación de Arceivala (1973)
- Método de McGarry y Pescod (1970).
- Métodos de Mara (a,b).
- Métodos de Gloyna



- Método empírico israelí
- Y otros.

Dentro de las lagunas Facultativas utilizaremos el método israelí ya que tras muchos años de seguimiento de numerosas instalaciones de Lagunaje, han llegado a la conclusión de utilizar Lagunas Facultativas con cargas superficiales superiores a 100 kg DBO5/ha.d. y también porque en las observaciones y estudios que han realizado sobre los diferentes modelos, resulta que el más conservador es el de Mara, en el cual nos apoyaremos para nuestros cálculos.

- **Lagunas de maduración.**

Los principales parámetros involucrados son el tiempo de retención y la temperatura, su diseño se basa en modelos cinéticos para la eliminación de organismos patógenos, representados generalmente por medio de los coliformes fecales.

La ecuación de diseño más habitual es la desarrollada por Marais en 1974:

$$Ne = \frac{Ni}{1 + kb * t}$$

Ne: número de coliformes fecales/100 ml en el efluente.

Ni: número de coliformes fecales/100 ml en el influente.

Kb: constante de velocidad para la eliminación de coliformes (d-1). Esta constante se relaciona con la temperatura mediante la expresión:

$$kb: 2,6 (1,19)^{(T-20)}$$

Donde:

T: temperatura media del agua (°C).

t: tiempo de retención (d).

La OMS (1987) recomienda un tiempo mínimo de residencia de 5 días si se dispone de una única Laguna de Maduración y de 3 días para cada laguna si se dispone de varias dispuestas en serie.



Tras el dimensionamiento debe comprobarse que la carga superficial con la que opera la primera Laguna de Maduración no supera la carga con la que opera la Laguna Facultativa precedente, recomendándose que no supere el 75% de esta última carga.

3.2.8 Construcción de una instalación de Lagunaje

La etapa constructiva de los Lagunajes es tan importante como la del diseño. Como recomendaciones generales pueden citarse:

- Se recomienda que el número de lagunas sea el máximo posible y como mínimo deben construirse tres. Con mayor número de lagunas el rendimiento aumenta y la concentración de algas al final del lagunaje es menor consiguiéndose un efluente final de mejor calidad.
- En lo que se refiere a la geometría de estas lagunas, las formas arriñonadas o redondeadas dan mejores resultados ya que se evitan zonas muertas y los circuitos (camino preferentes).
- En el caso de lagunas rectangulares se recomiendan relaciones longitud/anchura en el rango de 2/1 a 4/1 para favorecer el flujo pistón y de asegurar un mejor rendimiento.
- Según las características del terreno en el que se asienten las lagunas será necesario o no proceder a la impermeabilización de los confinamientos con lámina plástica o arcilla compactada.
- De forma natural el confinamiento de las lagunas se van impermeabilizando mediante tres mecanismos:
 - Taponamiento físico de los poros del suelo con los sólidos sedimentados
 - Taponamiento químico de los poros del suelo mediante intercambio iónico.
 - Taponamiento biológico por crecimiento de microorganismos.



- Los taludes interiores se construyen con un máximo de 2:1 (horizontal-vertical) para las Lagunas Anaerobias y 3:1 para las Facultativas y de Maduración. Estos taludes deben ir protegidos mediante escolleras contra la erosión que provoca el oleaje debido a la acción del viento. Se tiene que utilizar una distancia de por lo menos 30 cm por arriba y por debajo del nivel del lago.
- Se deben realizar caminos para vehículos y personal en la coronación debiendo estar bien compactada para evitar su deterioro con el tiempo.
- En el movimiento de tierras se debe de intentar compensar las excavaciones con los rellenos.
- En lagunas menores de 2 hectáreas se emplean resguardos en torno a 0,5 m, mientras que para lagunas mayores los resguardos son del orden de 1 m.
- Los puntos de alimentación y de salida de las lagunas se situarán lo más alejado posible, evitando caminos preferenciales.
- En lagunas de gran tamaño se dispondrán varios puntos de alimentación y de salida.
- Debe evitarse la presencia de arboles muy próximos a las lagunas y de cualquier impedimento que dificulte la aireación natural de las mismas.
- Para evitar los posibles olores olfativos, las lagunas deben ubicarse alejadas de los núcleos de población, teniendo en cuenta la dirección de los vientos dominantes.
- Por motivos de seguridad las lagunas deben estar valladas y señalizadas.

Como recomendaciones específicas cabe resaltar:

- **Lagunas Anaerobias:**

- Se construyen con una baja relación superficie/profundidad al objeto de:
 - Minimizar las pérdidas de calor por radiación a la atmósfera.
 - Minimizar los requisitos de terreno para su implantación.
 - Minimizar los arrastres de sólidos desde la capa de sedimentos hasta la superficie de las lagunas.



- Minimizar la oxigenación de las aguas contenidas en las lagunas por fenómenos de reaireación superficial.
 - Conseguir que los fangos se vayan almacenando en una pequeña superficie (en el fondo de las lagunas), lo que facilita su purga periódica.
-
- La profundidad de la lámina de agua oscila entre 3 y 5 m.
 - En general se construyen de forma cuadrada para favorecer, en lo posible, un flujo de tipo mezcla completa.
 - Cuando se trata de lagunas de tamaño reducido suelen construirse en hormigón, con las paredes verticales.
 - La alimentación se efectúa a la mitad de la lámina de agua.
 - En la zona de salida debe proveerse un deflector que limite el escape de flotantes a la etapa facultativa.



Figura III. 12: Excavación del confinamiento de una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 13: Hormigón de limpieza en el fondo de la excavación de una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 14: Colocación de la armadura en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 15: Hormigonado de la solera en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 16: Colocación del encofrado en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 17: Encofrado en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 18: Hormigonado de las paredes en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 19: Retirada del encofrado en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 20: Encofrado del resto de la laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 21: Impermeabilización de las paredes de la laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 22: Relleno y compactación del terreno circundante en una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 23: Vertedero de salida de una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **Lagunas Facultativas y de Maduración:**

- Se construyen con elevadas relaciones superficie/profundidad, al jugar un papel importante en su funcionamiento (radiación solar-fotosíntesis, reaeración superficial).
- Las profundidades de las Lagunas Facultativas oscilan entre 1 y 2 m y las de las Lagunas de Maduración se encuentran en torno a 1m.
- En el diseño de los lagunajes son muy importantes los aspectos geotécnicos. En Europa la mitad de los Lagunajes que funcionan mal tienen su causa en problemas geotécnicos, que fueron obviados en la etapa de diseño.
- Los principales objetivos del estudio geotécnico se centran en asegurar el correcto diseño de los terraplenes y en determinar si el suelo es suficientemente impermeable.



- Debe determinarse la máxima altura del nivel freático y deben medirse las siguientes propiedades del terreno donde se van a localizar las lagunas:
 - Distribución del tamaño de las partículas.
 - Máxima densidad seca y contenido de humedad óptimo (test Próctor modificado).
 - Límites de atterberg.
 - Contenido orgánico.
 - Coeficiente de permeabilidad.
- Al menos deben tomarse cuatro muestras de suelo por hectárea, que deben estar lo menos alteradas posible. Las muestras deben ser representativas del perfil del suelo a una profundidad un metro mayor que la profundidad prevista de las lagunas.
- La tierra que se emplee para la construcción de diques debe compactarse en tongadas de 150-200 mm al 90% de la densidad seca máxima, determinada por el ensayo del Próctor modificado.
- Durante la compactación se da una reducción del 10-30%, por lo que la excavación, por lo que la excavación estimada debe tener esto en cuenta. Después de la compactación el terreno debe tener un coeficiente de permeabilidad, determinado “in situ”, de $< 10^{-7}$ m/s.
- Si el suelo donde se van a ubicar las lagunas presenta una baja permeabilidad, para su impermeabilización bastará con proceder a compactarlo, en caso contrario será necesario proceder a su impermeabilización, recurriendo al empleo de arcillas o bentonitas (que se irán compactando por tongadas, en capas de unos 10 cm de espesor), o utilizando láminas plásticas. Unos de los plásticos más empleados es el polietileno de alta densidad (PEAD), recomendándose espesores en torno a 1 milímetro.
- Para evitar punzamientos por las piedras del propio terreno, se recomienda que por debajo de la lámina plástica se disponga una lámina de geotextil de 150-300 g/cm², o que se extienda una capa de arena.
- Para evitar punzamientos por las piedras del propio terreno, se recomienda que por debajo de la lámina plástica se disponga una lámina de geotextil de 150-300 g/cm², o que se extienda una capa de arena.



- En la impermeabilización mediante lámina plástica deben controlarse exhaustivamente las soldaduras entre las láminas (por aire caliente o por compuestos químicos) y el buen anclaje de las láminas al terreno. El método más habitual para anclar la lámina plástica al terreno en la coronación de los taludes, consiste en excavar una zanja de aproximadamente 1m de ancho, introducir la lámina impermeable y volver a llenar la zanja con tierra para que la lámina quede atrapada. Para este caso se pueden utilizar también grapas metálicas.



Figura III. 24: Excavación del confinamiento en una laguna facultativa y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 25: Compactación de la coronación de la laguna facultativas y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 26: Detalle de la arqueta de salida (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 27: Colocación de la lámina de geotextil en una laguna facultativa y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 28: Colocación de la lámina plástica de PEAD en lagunas facultativas y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 29: Termosoldado de las láminas de PEAD en lagunas facultativas y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 30: Laguna facultativa y de maduración impermeabilizada (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales)



).



Figura III. 31: Preparación de taludes para el encachado en lagunas facultativas y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 32: Encachado de los taludes de las lagunas facultativas y de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



3.2.9 Puesta en servicio de una instalación de lagunaje

Antes de la puesta en servicio de la instalación de lagunaje se procederá a una serie de comprobaciones:

- El correcto funcionamiento de los elementos integrantes del pretratamiento (rejas de desbaste, desarenado y desengrasado), de los elementos de medida de caudal y de las compuertas que permiten el by-pass de las aguas y poner en marcha/paro algunas de las líneas.
- En el caso de que las lagunas se hayan impermeabilizado con lámina plástica, se comprobará visualmente la posible existencia de roturas que pudieran originar infiltraciones, procediéndose a su reparación.

Después de realizar dichas comprobaciones previas se procederá a la progresiva alimentación de las distintas lagunas que integran la estación de tratamiento.

- **Lagunas Anaerobias**

Primero se procederá a su llenado con aguas pretratadas, poniendo en operación el número de lagunas que se especifiquen.

Una vez llenas estas lagunas, se detendrá la alimentación, dejando transcurrir unos días para la instauración de las condiciones de Anaerobiosis (observaremos un oscurecimiento del agua y la aparición de burbujeo en la masa líquida).

Posteriormente se continuará alimentando las lagunas Anaerobias con el caudal de diseño, empleando su efluente para el llenado de las Lagunas Facultativas.



Figura III. 33: Llenado de una laguna anaerobia (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **Lagunas Facultativas**

Cuando los efluentes de la etapa anaerobia alcancen, aproximadamente, la mitad de la profundidad de trabajo de las Lagunas Facultativas, se detendrá la alimentación, hasta que trascurridos unos 15-20 días se observe la aparición en la superficie de estas lagunas de una coloración verdosa, indicativa del desarrollo del fitoplacton (microalgas). A partir de este momento se continuará el llenado con los efluentes anaerobios hasta su rebose.



Figura III. 34: Llenado de una laguna facultativa (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **Lagunas de Maduración**

Los efluentes de las lagunas Facultativas alimentarán a las Lagunas de Maduración. Una vez llenas estas lagunas, comenzarán a generarse efluentes finales depurados, dándose por terminada la fase de puesta en marcha de la estación de tratamiento.



Figura III. 35: Llenado de una laguna de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

Es aconsejable que el periodo de puesta en servicio se realice en primavera-verano, debido a que las temperaturas son mayores y la aclimatación es más rápida.

Si se disponen lagunas sin impermeabilización con lámina plástica, se procederá a su llenado lo más rápido posible para evitar el crecimiento de plantas en el fondo y taludes de las balsas.

3.2.10 Mantenimiento y Explotación de una instalación de Lagunaje

Las operaciones necesarias para la correcta explotación y mantenimiento de los diferentes elementos constitutivos de un sistema de lagunaje.

- **Lagunas Anaerobias**
 - En aquellas instalaciones que posean arquetas de reparto, que permiten enviar las aguas pretratadas hacia las Lagunas Anaerobias teniendo en cuenta que se encuentran siempre en funcionamiento, regularmente se efectuará la extracción de los sedimentos y flotantes acumulados, así como la comprobación del funcionamiento y estanqueidad de las compuertas que permiten regular el número de lagunas en operación.



- El número de Lagunas Anaerobias en operación dependerá de los indicadores de los estudios realizados.
- Periódicamente se realiza la retirada de flotantes en superficie utilizando un recoge hojas de piscina y aprovechando la acción de los vientos que empujan estos a las esquinas o bordes. Los flotantes retirados se introducirán en un contenedor de residuos para su posterior envío a vertedero.



Figura III. 36: Retirada de flotantes en una laguna anaerobia.

- Con una frecuencia que en principio puede fijarse en 5-10 años, se llevará a cabo la purga de los fangos que se han ido acumulando en el fondo de las lagunas en operación. Esta extracción se efectuará preferiblemente en húmedo. Los fangos sustraídos del fondo tendrán una relación mineral/volátil 60/40 aproximadamente y una vez secos podrán ser utilizados como fertilizantes en campos cercanos siempre que se cumplan los requisitos de las normativas correspondientes.

Si no fuese posible entonces iría destinado a depuradoras con tratamiento de fangos.



- Los taludes de tierra pueden resultar dañados por la lluvia o por madrigueras de animales por tanto si se detecta estos problemas deberá procederse a su reparación inmediata, rellenando y compactando las hendiduras.
- Si las lagunas disponen de lámina plástica y se detectan roturas se deberán reparar inmediatamente.
- Especial cuidado en las operaciones en las cuales requiere un caminar por zonas resbaladizas ya que la caída a su interior hace difícil su posterior salida.
- **Lagunas Facultativas y de Maduración**
 - A la salida de las Lagunas Anaerobias se ubicaran normalmente unas arquetas con unas compuertas que permiten regular el caudal a las lagunas facultativas. En estas arquetas con el tiempo se han de extraer los sedimentos y flotantes que hayan podido acumularse, también habrá que comprobarse el funcionamiento y estanqueidad de dichas compuertas. En las arquetas que se disponen para las lagunas de maduración también se realizarán estas operaciones.
 - Periódicamente, se procederá a la retirada de los flotantes que aparezcan en la superficie de estas lagunas. Esta operación evita la proliferación de mosquitos, se efectuará con ayuda de un recoge hojas de piscina, aprovechando los momentos en los que dichos flotantes se han arrastrados a los bordes debidos a la acción del viento.



Figura III. 37: Retirada de flotantes en una laguna de maduración (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- Los taludes de tierra y las láminas de impermeabilización requieren las mismas labores de mantenimiento que las lagunas Anaerobias.
- En las lagunas sin lámina plástica, en las zonas de los taludes próximas al nivel de agua (aproximadamente 1m), se evitará, mediante el empleo de herbicidas adecuados o por eliminación manual con azada, el crecimiento de vegetación espontánea, como medida preventiva contra la proliferación de mosquitos. Esta operación se realizará igualmente en las lagunas Anaerobias que no se impermeabilicen con láminas plásticas.



Figura III. 38: Eliminación manual de la vegetación de los taludes de las lagunas (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 39: Eliminación mediante herbicida de la vegetación de los taludes de las lagunas (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- Mantenimiento de la obra civil y de las conducciones, el control del buen estado del cerramiento, el cuidado de la ornamentación vegetal implantada, el control de roedores, etc.



- Si se entra en contacto con el agua el operario debe utilizar guantes y posteriormente se realizara la limpieza de las manos y de las herramientas utilizadas.
- **Seguimiento del proceso**

Se aconseja que las visitas a la estación depuradora sean diarias, y para dejar constancia de los parámetros controlados, el operador de la estación dispondrá de un cuadernillo en el que anotará:

- La fecha y hora de la visita.
- El caudal tratado de aguas residuales.
- El número de identificación de las Lagunas Anaerobias, Facultativas y de Maduración.
- El aspecto del efluente depurado.
- Las anomalías observadas en los taludes de las lagunas, en los viales y en la obra civil en general.
- Las fechas de realización de las diferentes tareas de mantenimiento: limpieza de desarenadores y desengrasador, retirada de flotantes en las lagunas, extracción de fangos en las Lagunas Anaerobias, eliminación de malas hierbas en taludes y viales, etc.
- Los tiempos de funcionamiento de los sistemas de limpieza de las rejillas en el caso de desbastes automáticos.
- Si la estación depuradora está dotada de energía eléctrica para el accionamiento de los elementos del pretratamiento, para el riego con los efluentes depurados, para iluminación, etc., se anotarán las lecturas de los contadores correspondientes.
- En el apartado de observaciones se registrarán cuantas incidencias se estimen oportunas sobre: las características visuales y olfativas de las aguas residuales (destacando la presencia de sustancias extrañas en las mismas), el posible empleo de los efluentes depurados por los agricultores de la zona, la duración de los períodos de lluvia intensa, etc.

En el caso de que la estación de Lagunaje cuente con equipos electromecánicos (rejillas de desbaste de limpieza automática, tornillo o cintas transportadoras para la evacuación de los residuos generados en el pretratamiento, caudalímetros, bombas, etc.), estos equipos dispondrán de fichas individualizadas donde se registrarán:



- Sus características operativas.
- Las horas de funcionamiento.
- El calendario de operaciones de mantenimiento.
- Las averías sufridas.
- Todas aquellas observaciones que en su funcionamiento se consideren pertinentes.

En lo referente al control diario del proceso de Lagunaje, la observación (visual y olfativa) de las lagunas permitirá determinar, de forma aproximada pero eficaz, si operan o no correctamente. En las Lagunas Anaerobias una coloración en superficie gris-negrucza y la presencia de abundante burbujeo son reflejo de un buen funcionamiento de este tipo de lagunas. Por el contrario, la aparición en las mismas de microalgas o de tonalidades rosáceas son síntomas de que se está alimentando a la laguna con una carga inferior a la estipulada.

Una coloración verdosa y la ausencia de burbujeo son síntomas de un buen funcionamiento de las Lagunas Facultativas y de Maduración, mientras que la aparición de tonalidades rosáceas indicará que estas lagunas están recibiendo más carga de la de diseño. Otro síntoma del buen funcionamiento de este tipo de lagunas es la ausencia de olores desagradables.

Independientemente del seguimiento rutinario, será necesario realizar en laboratorio el control de una serie de parámetros que permitan conocer el nivel de depuración alcanzado, con objeto de poder determinar el grado de cumplimiento de la Directiva 91/271.

En el Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 30 de Mayo de 1991 se publicó la Directiva del Consejo 91/271, de 21 de Mayo de 1991, referente al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

La Directiva contiene estipulaciones relativas al transporte, tratamiento y descarga de las aguas residuales, siendo su objetivo la protección del medio ambiente de los efectos adversos de estos vertidos, estableciendo unos requisitos mínimos para la descarga de dichas aguas residuales.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
DBO ₅ a 20°C sin nitrificación (2)	25 mg/l O ₂	70-90	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación de oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20°C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de nitrificación
DQO	125 mg/l O ₂	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Digestión ácida con dicromato potásico
Total de sólidos en suspensión (3)	35 mg/l (4) (más de 10000 h.e.)	90 (más de 10000 h.e.) (4)	Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105°C y pesaje
	60 mg/l (4) (de 2000 a 10000 h.e.)	70 (de 2000 a 10000 h.e.) (4)	Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2800 a 3200 g), secado a 105°C y pesaje
(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada			
(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTC), si puede establecerse una correlación entre DBO ₅ y el parámetro sustitutivo			
(3) Este requisito es optativo			
(4) de conformidad con el apartado 2 del artículo 4, Directiva del Consejo 91/271			

Tabla III. 19: Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

En el caso de que el vertido final se realice a una zona sensible será necesario proceder también a la determinación de los contenidos en Nitrógeno y Fósforo, de acuerdo con la siguiente tabla:

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Fósforo total	2 mg/l (10000 - 100000 h.e.)	80	Espectrofotometría de absorción molecular
	1 mg/l (más de 100000 h.e.)		
Nitrógeno total (2)	15 mg/l (10000 - 100000 h.e.) (3)	70-80	Espectrofotometría de absorción molecular
	10 mg/l (más de 100000 h.e.) (3)		
(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada			
(2) Nitrógeno total equivale a la suma de nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito			
(3) Estos valores de concentración constituyen medidas anuales. No obstante, los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medidas diarias cuando se demuestre que se obtiene el mismo nivel de protección. En ese caso, la medida diaria no debe superar los 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12°C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales			

Tabla III. 20: Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles propensas a eutrofización (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

3.3 Humedales artificiales

3.3.1 Introducción

Este tipo de tratamiento o sistema se basa en la reproducción artificial de las condiciones propias de las zonas húmedas naturales, con el propósito de alcanzar los objetivos de eliminación de contaminantes que se dan en las mismas.



Dentro de los Humedales artificiales pueden existir dos tipos diferentes de humedal, los Humedales de Flujo Superficial en los que las aguas con poco espesor circulan entre los tallos de las plantas emergentes implantadas en el humedal y los de Flujo Subsuperficial, en el cual las aguas fluyen a través de un sustrato filtrante, que sirve de soporte a la vegetación, no siendo visible el agua en este tipo de humedales.

Este tipo de Humedales de Flujo Subsuperficial tiene su origen gracias a K.Seidel, del Max Plank Institute (Alemania), a comienzos de los años 50. Este lo llamo junto a su compañero R. Kickuth "Root Zone Method" y utilizaban como material filtrante la arcilla.

Gracias a ellos en el 1974 se construye el primer Humedal Artificial europeo a escala real. El problema residía en que se colmataban estos sustratos por falta de tecnología y regulación, no cumpliéndose las expectativas previstas.

Todo esto a finales de los 80 se mejoro al utilizarse gravillas y gravas como medios filtrantes consiguiendo garantizar una adecuada conductividad hidráulica y minimizar los riesgos de colmatación del sustrato, lo que condujo a un auge en la utilización de estas tecnologías.

En cuanto a los Humedales de Flujo Superficial, a partir de los 70 en USA se hace uso de ellos como tratamiento terciario, recibiendo como influentes aguas ya tratadas previamente.

En la actualidad se hace un buen uso de estos sistemas para la depuración de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, y para el tratamiento de las aguas de tormenta y de escorrentía agrícola. También se está haciendo uso de ellos para la deshidratación de lodos de depuradoras.

Este tipo de sistemas se cuentan por miles a nivel mundial, destacando: Estados Unidos, Gran Bretaña, Dinamarca, Alemania, Bélgica, Francia, República checa, etc., en España actualmente se observa un despegue de esta tecnología (80% de los Humedales Artificiales existentes se han construido en estos 5 años, siendo la de flujo subsuperficial la más utilizada. La mayor parte de estos humedales se ubican en Cataluña (Puigagut y col., 2006).



3.3.2 Fundamentos

Como bien hemos comentado anteriormente, estos Humedales Artificiales reproducen el funcionamiento de los Humedales naturales para la eliminación de contaminantes.

Su carácter artificial viene dado por las siguientes particularidades:

- Confinamiento del humedal que se realiza mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- Se emplean sustratos diferentes al terreno original para el enraizamiento de las plantas.
- Se eligen las plantas que van a utilizarse en el humedal.

La depuración de las aguas a tratar se consigue haciéndolas pasar a través de zonas húmedas artificiales, en las que tienen lugar procesos físicos, biológicos y químicos, que conducen a unos efluentes finales depurados.

Los principales componentes que actúan en los Humedales Artificiales serían:

- **El sustrato:** Hace de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula), que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- **La vegetación (macrófitas):** Oxigenan el sustrato, eliminan nutrientes y en el cual también se desarrolla biopelículas.
- **El agua:** que circula a través del sustrato y la vegetación.

La vegetación utilizada será la misma que la de los humedales naturales, plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, enneas, etc.), especies anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.

Estas plantas presentan una elevada productividad (50-70 toneladas de materia seca/ha al año) y toleran bien las condiciones de falta de oxígeno que se producen en suelos encharcados.



3.3.3 Tipos de humedales artificiales

Los humedales artificiales los clasificaremos en función del discurrir de las aguas, por tanto, dispondremos de humedales de flujo superficial (por encima del sustrato) o de humedales de flujo subsuperficial (a través del sustrato). Entonces los llamaremos:

- **Humedales Artificiales de Flujo Superficial**
- **Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial**
- **Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HAFS)**

En estos humedales el discurrir de las aguas es preferencialmente por los tallos de las plantas y esta agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera. Se opera en estos humedales con láminas de agua inferiores a 0,4 m y las balsas se encuentran colonizadas por plantas emergentes.

Los HAFS suelen ser instalaciones de varias hectáreas, que principalmente tratan efluentes procedentes de tratamientos secundarios, y que también se utilizan para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

La alimentación de estos humedales se realiza de forma continua y la depuración tiene lugar en el tránsito de las aguas a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente implantada. Tallos, raíces y hojas caídas sirven de soporte para la fijación de la película bacteriana responsable de los procesos de biodegradación, mientras que las hojas que están por encima de la superficie del agua dan sombra a la masa de agua, limitando el crecimiento de microalgas.

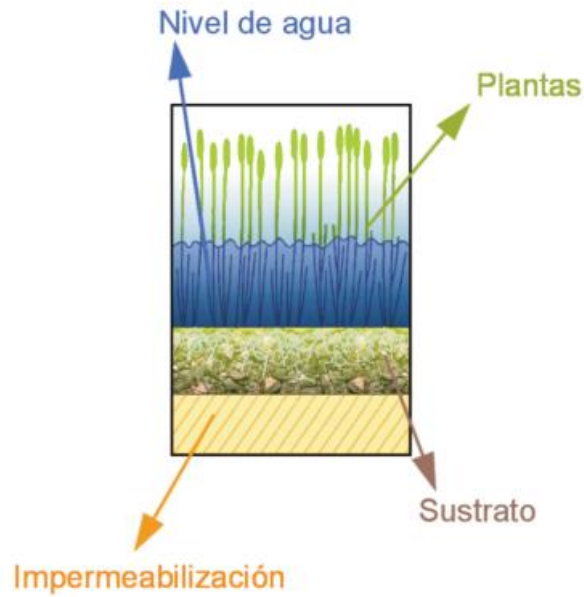


Figura III. 40: Sección de un humedal artificial de flujo superficial (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

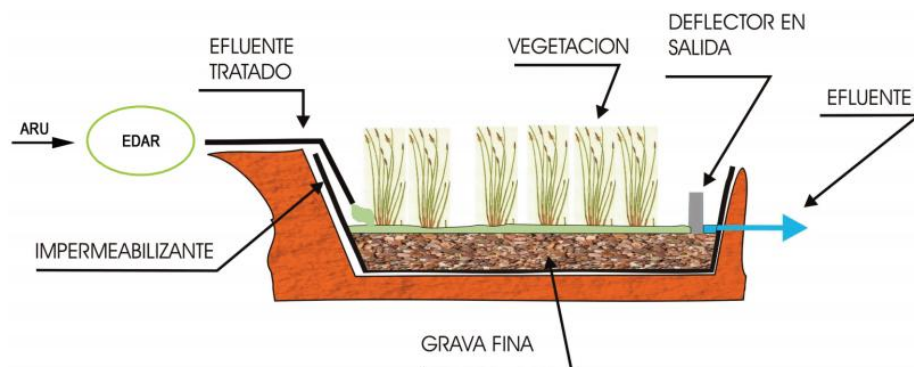


Figura III. 41: Corte transversal de un humedal artificial de flujo superficial (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



- **Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSs)**

Estos humedales se caracterizan porque el agua fluye a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación, que habitualmente suele ser carrizo.

Los HAFSs son por lo general instalaciones de menor tamaño que los de Flujo Superficial, y que en la mayoría de los casos se emplean para núcleos de población de menos de 2000 habitantes.

Este tipo de humedales responden de una manera más eficaz que los de Flujo Superficial ya que necesitan menor superficie de terreno para su ubicación, evitan los problemas de aparición de olores y de mosquitos, y además presentan una mejor respuesta ante los descensos de la temperatura ambiente.

Como desventaja podría decirse el mayor coste constructivo, motivado principalmente por el coste de adquisición y colocación del sustrato filtrante, y los mayores riegos de colmatación de dicho sustrato.

Según la dirección de estas aguas los HAFSs se clasifican en Horizontales y Verticales.

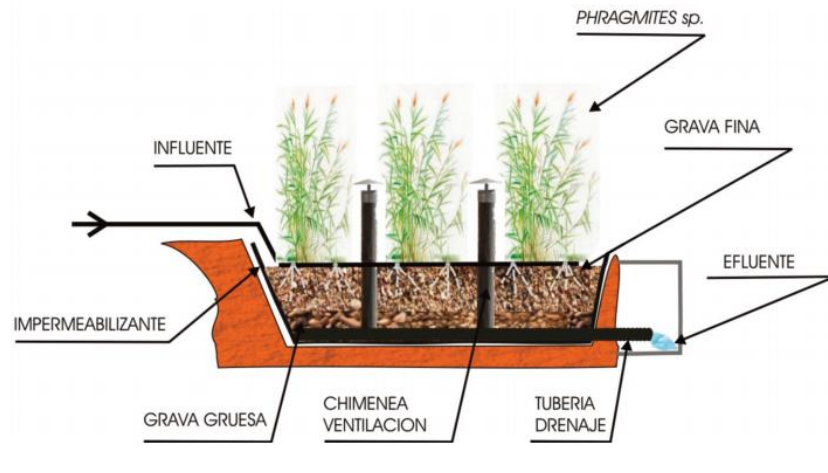


Figura III. 42: Corte longitudinal de humedales artificiales de flujo subsuperficial Horizontal (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

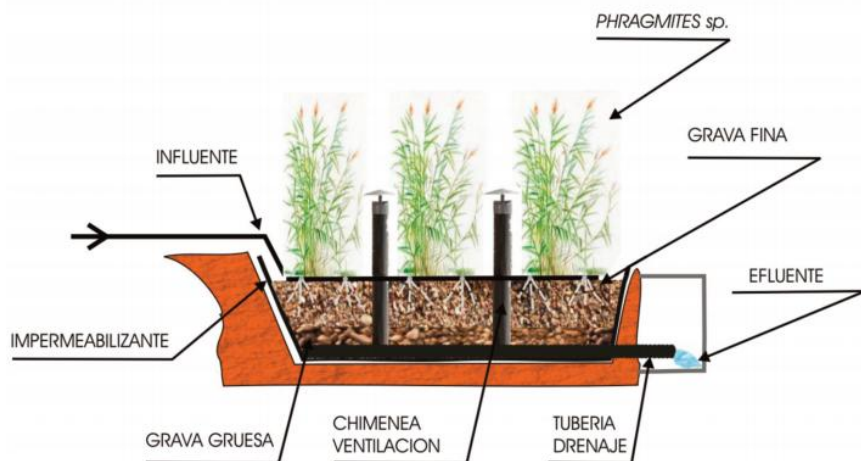


Figura III. 43: Corte longitudinal de humedales artificiales de flujo subsuperficial Vertical (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

En lo referente a los horizontales la alimentación se efectúa de forma continua, atravesando el agua horizontalmente un sustrato filtrante de gravillas-grava de unos 0,6 m de espesor, en el que se fija la vegetación.

A la salida se utiliza una tubería flexible para controlar el agua de encharcamiento permitiendo agua hasta los 5 cm por debajo del nivel de áridos, lo que impide que las aguas sean visibles.



En el caso de los verticales la alimentación es intermitente, para lo cual se recurre a sifones de descarga controlada. Las aguas circulan verticalmente a través de un sustrato filtrante de arena-gravilla, de aproximadamente 1 m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo de los humedales una red de drenaje permite la recogida de los efluentes depurados. A esta red de drenaje se conectan un conjunto de chimeneas, que sobresalen de la capa de áridos con el objetivo de incrementar la oxigenación del sustrato filtrante.

Los de flujo vertical trabajan con cargas superficiales orgánicas superiores a las que se emplean en los horizontales y generan efluentes con un mayor grado de oxigenación. Por otro lado, mientras que los de flujo horizontal operan con tiempos de retención hidráulica de varios días, en los de flujo vertical estos tiempos son de unas horas.

3.3.4 Esquema de funcionamiento

- **Humedales Artificiales de Flujo Superficial**

Los HAFS suelen ubicarse a continuación de estaciones de depuración que alcanzan niveles de tratamiento secundario.

- **Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial**

En este tipo de humedales el procedimiento es semejante al de un tratamiento convencional, con un Pretratamiento, Tratamiento Secundario y, opcionalmente, Tratamiento Terciario.

- **Pretratamiento**

La función que tiene es la misma que la establecida para el lagunaje pero normalmente en este tipo de humedales de Flujo Subsuperficial se utiliza exclusivamente un desbaste de gruesos.



- **Tratamiento primario**

Para conseguir una mayor eliminación de los sólidos en suspensión presentes en las aguas a tratar y minimizar por tanto los riesgos de colmatación del sustrato filtrante, se recurre a la implantación de fosas sépticas o tanques Imhoff, como paso previo a la alimentación a los humedales.

- **Fosas sépticas**

Las fosas sépticas son dispositivos enterrados en los que se deposita la materia sedimentable presente en las aguas residuales. La fracción orgánica de esta materia sedimentada experimenta reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose paulatinamente.

Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimentos dispuestos en serie. Cuando llega el agua al primer compartimento, la materia más densa sedimenta y se deposita en el fondo en forma de lodo, mientras que la materia particulada más ligera forma una costra en la superficie. El agua clarificada pasa al segundo compartimento a través de un orificio practicado en la pared de separación y situado por debajo del nivel líquido. En este segundo compartimento también se da una sedimentación y formación de costra pero en menor magnitud.

Los lodos retenidos en el fondo de los distintos compartimentos experimentan reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose y reduciendo su volumen, lo que permite que las fosas funcionen durante largos períodos de tiempo sin necesidad de purgar el excedente de lodos.

Las burbujas que se forman dificultan la sedimentación de sólidos. Debido a esto se dispone este segundo compartimento y así las partículas más ligeras encuentran condiciones de sedimentación más favorables.

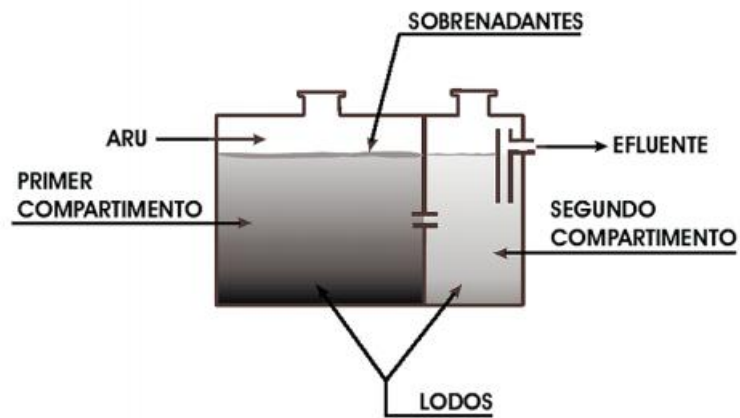


Figura III. 44: Esquema de una fosa séptica de dos cámaras (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

▪ Tanques Imhoff

Los tanques Imhoff constan de un único depósito, en el que se separan la zona de sedimentación que se sitúa en la parte superior, de la de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito. La apertura que comunica ambos recintos no permite el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación., de esta forma se evita que haya problemas de decantación de los sólidos en suspensión sedimentables.

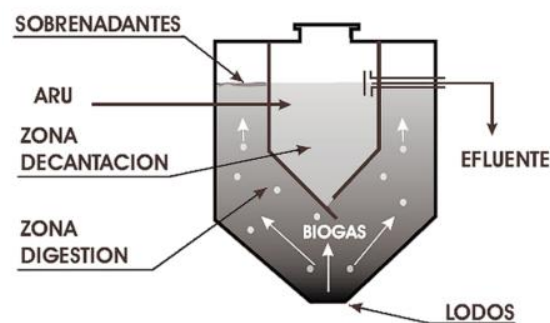


Figura III. 45: Esquema de un tanque Imhoff (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Se debe de hacer un correcto dimensionamiento y operación de los elementos para evitar riesgos de colmatación.

- Tratamiento secundario

Este tratamiento se basa en humedales artificiales que captan las aguas que provienen de fosas sépticas o tanques Imhoff.

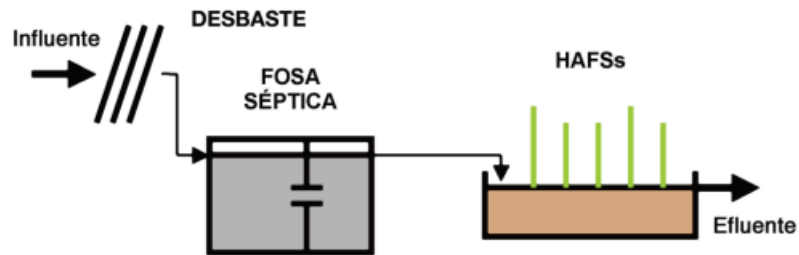


Figura III. 46: Diagrama de flujo del tratamiento mediante HAFSs (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

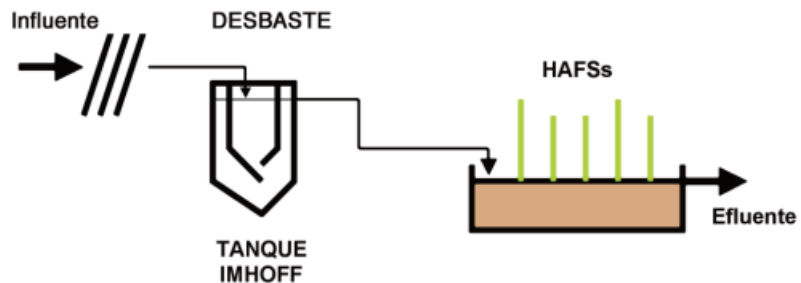


Figura III. 47: Diagrama de flujo del tratamiento mediante HAFSs (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- Tratamiento Terciario

En ocasiones los efluentes de los HAFSs se dirigen a una/s lagunas de maduración para mejorar la cantidad de patógenos, la acción ultravioleta será importante en estas lagunas.

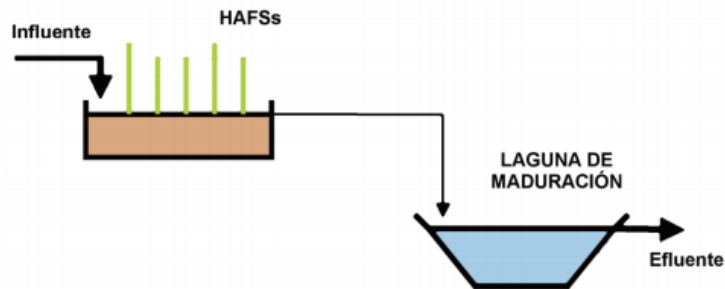


Figura III. 48: Lagunaje de maduración en cola de un HAFSs, a modo de tratamiento terciario (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- Otros esquemas

Se pueden realizar combinaciones de HAFSs Verticales y Horizontales, como también, combinación de HAFSs Verticales sin Tratamiento Primario.

3.3.5 Mecanismos de depuración

Los mecanismos que se utilizan en la eliminación de los principales contaminantes en los Humedales Artificiales son:

- **Eliminación de sólidos en suspensión**

Los procesos que intervienen en esta eliminación son:

- **Sedimentación:** La acción de la gravedad hace decantar la materia en suspensión sedimentable (materia orgánica principalmente).
- **Floculación:** Se produce la decantación de las pequeñas partículas sedimentables, aquellas de menor densidad que el agua, al producirse agregados.
- **Filtración:** Al pasar el agua a través del sustrato, rizomas, raíces y tallos de la vegetación, se produce la retención de materia en suspensión.



En el caso de los HAFS la eliminación de la materia en suspensión tiene lugar, principalmente, por fenómenos de sedimentación y de filtración de las aguas a su paso por toda la masa de tallos y de los restos de vegetación caídos a la masa de agua. En este tipo de humedales para conseguir elevados rendimientos de eliminación de materia en suspensión se requiere disponer de zonas con abundante vegetación, que faciliten la sedimentación (al disminuir la velocidad de paso de las aguas) y la filtración, a la vez que, por el efecto sombra, se evita el crecimiento excesivo de microalgas, que como en el caso de los Lagunajes, podría incrementar los contenidos en sólidos en suspensión en los efluentes finales.

Para la evaluación de la eliminación de materia en suspensión en los HAFS, Reed y col. (1995), proponen la siguiente expresión:

$$SSe = SSi * (0,1139 + 0,00213 * CHS)$$

Siendo:

SSe: concentración de sólidos en suspensión en el efluente (mg/l).

SSi: concentración de sólidos en suspensión en el influente (mg/l).

CHS: carga hidráulica superficial (cm/d), que se calcula con la expresión:

$$CHS = 100 * \frac{Q}{S}$$

Donde:

Q: caudal del influente (m³/d).

S: superficie del humedal (m²).

En los HAFSs la eliminación de materia en suspensión tiene lugar, principalmente, por fenómenos de filtración a través del conjunto que forman el sustrato (sobre el que crecen las plantas), los rizomas y las raíces. Teniendo lugar el mayor porcentaje de eliminación de partículas en suspensión en la zona de entrada a los humedales.

Para la evaluación de la eliminación de la materia en suspensión en los HAFSs, Reed y col. (1995), proponen la siguiente expresión:

$$SSe = SSi(0,1058 + 0,0011 * CHS)$$

Siendo:



SSe: concentración de sólidos en suspensión en el efluente (mg/l).

SSi: concentración de sólidos en suspensión en el influente (mg/l).

CHS: carga hidráulica superficial (cm/d), que se calcula igual que en el caso anterior.

Los sólidos de naturaleza orgánica retenidos en el sustrato experimentan reacciones de biodegradación que se aceleran cuando se producen temperaturas elevadas. Esto podría explicar según el informe de la EPA (2000) porque no se presentan mayores rendimientos de eliminación en verano.

- **Eliminación de materia orgánica**

La materia orgánica que se encuentre en suspensión y sea sedimentable decantará en los humedales y sufrirá procesos de degradación biológica. Igualmente la parte de materia orgánica particulada quedará retenida por filtración, al pasar las aguas por el entramado sustrato-raíces-tallos.

La eliminación de materia orgánica por las dos vías descritas transcurre de forma rápida y en el caso de los HAFSs casi la mitad de la DBO5 se elimina al pasar las aguas por los primeros metros del humedal (Aguirre, P., 2004).

Sobre la materia orgánica disuelta, al igual que sobre la particulada, actúan los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizarán esta materia orgánica a modo de sustrato.

En las distintas modalidades de Humedales Artificiales se dan zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.

Finalmente, cuando se consume toda la materia orgánica disponible, las bacterias empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para su mantenimiento.

El aporte de oxígeno para el mantenimiento de las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena, transcurre de forma diferente en función de la modalidad de Humedal Artificial de que se trate.

En los Humedales Artificiales de Flujo Superficial la aportación de oxígeno se realiza por el viento. Si el humedal presenta una elevada vegetación, elevada densidad estos fenómenos se ven minimizados.



En estos humedales, la aportación de oxígeno por las propias plantas acuáticas tiene una menor importancia, dada que la zona donde éste se libera (rizomas y raíces) se encuentra dentro del propio sustrato, por debajo de la columna de agua y a que casi todo el oxígeno aportado por las plantas se consume por la demanda existente en los sedimentos presentes en el fondo del humedal. Con frecuencia, la zona aerobia queda limitada a las zonas de aguas abiertas y a una porción superior, bastante limitada, de la columna de agua.

En el caso de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical, la oxigenación del sustrato filtrante, en el que se encuentran adheridas las bacterias en forma de biopelícula, se produce, básicamente, por la intermitencia en la forma de administrar la alimentación, de aguas a tratar y por la propia configuración de este tipo de humedales, que permiten, que una vez finalizado un ciclo de alimentación, de aguas a tratar y por la propia configuración de este tipo de humedales, que permiten, que una vez finalizado un ciclo de alimentación, las aguas discurren en sentido descendente a lo largo del sustrato, volviendo el aire a ocupar los huecos que van quedando libre como consecuencia de este desplazamiento.

La vegetación propia de los Humedales Artificiales (plantas acuáticas emergentes), también contribuyen a la oxigenación, suministrando a través de sus raíces y rizomas parte del oxígeno que es producido por fotosíntesis en las hojas, y que es producido por fotosíntesis en las hojas, y que es transportado a lo largo de un canal hueco conocido como aerénquima.



Figura III. 49: Detalle de la zona de rizomas y de raíces de una planta de carrizo (*Phragmites australis*, izquierda). Detalle del aerénquima de una planta de carrizo (*Phragmites australis*); (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

Existen notables discrepancias en lo referente a las tasas de transferencia de oxígeno por los macrófitos, oscilando entre los 0,5-0,6 g O₂/m².d (Tanner y col., 2003) y los 20 g O₂/m².d (USEPA, 1988).



En el caso de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal el oxígeno presente es mucho menor debido a que el sustrato se encuentra saturado de agua, que desplaza los gases atmosféricos de los poros, dando lugar a un sustrato anóxico.

En las zonas de los humedales carentes de oxígeno molecular la degradación de la materia orgánica transcurre vía anaerobia, a lo largo de una serie de etapas concatenadas, en las que los compuestos resultantes de cada etapa sirven de sustrato a la etapa siguiente. Estas etapas son las siguientes:

Etapas hidrolítica, acidogénica y metanogénica.

- **Eliminación de nutrientes**

En lo que se refiere al nitrógeno:

En las aguas que entran en nuestro humedal pueden disponer de nitrógeno en forma orgánica y en forma amoniacal y también como nitritos o nitratos pero en menor medida.

Las formas orgánicas debido a la acción de las enzimas se transformarán en formas amoniacales y a esto lo llamamos amonificación. Parte de estas formas amoniacales será aprovechado por los microorganismos que lo incorporan a su masa celular.

En estos humedales artificiales la manera de eliminar este nitrógeno amoniacal será por:

- Asimilación por las propias plantas del humedal
- Procesos de nitrificación-desnitrificación.

Se ha observado que el nitrógeno amoniacal una vez admitido por las plantas este puede volver al agua en un cierto tiempo debido a la degradación de la biomasa general formada. Por tanto se ha de realizar una siega de las plantas cada cierto tiempo y así evitar que vuelvan al agua estos nitrógenos amoniacales. Si no se hace periódicamente se puede recoger solo el 15-20 % de este nitrógeno amoniacal.



Por tanto la principal manera de eliminación del nitrógeno amoniacal en Humedales Artificiales transcurre mediante procesos combinados de nitrificación-desnitrificación.

Las formas amoniacaes serán adsorbidas por las partículas del sustrato y las partículas orgánicas cargadas eléctricamente, mediante mecanismos de intercambio catiónico. Para la eliminación o reducción de estas formas amoniacaes en el sustrato y partículas orgánicas se precisara de una nitrificación.

La nitrificación es un proceso autotrófico (la energía necesaria para el crecimiento bacteriano se obtiene de la oxidación de compuestos inorgánicos), por el que el nitrógeno amoniacal es transformado en nitrógeno nítrico.

Las bacterias nitrificantes son organismos extremadamente sensibles a gran cantidad de sustancias inhibitoras, tanto orgánicas como inorgánicas, que pueden impedir el crecimiento y la actividad de estos organismos. Las altas concentraciones de amoníaco y de ácido nitroso (HNO_2) pueden resultar inhibitoras, siendo también importante el efecto del pH, cuyo intervalo óptimo es estrecho, entre 7,5 y 8,6.

La temperatura también ejerce una gran influencia sobre el crecimiento de las bacterias nitrificantes. Además para que se produzca la nitrificación es fundamental que existan concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 1 mg/l.

Si el nivel de oxígeno disminuye por debajo de este valor, el oxígeno se convierte en el nutriente limitante del proceso y puede producirse el cese o la ralentización de la nitrificación.

Para la eliminación biológica del nitrógeno se precisa que los procesos de nitrificación vayan seguidos de una desnitrificación.

En un primer momento se produce el paso de nitrato a nitrito y a continuación éste pasa a formas gaseosas que escapan del sistema hacia la atmósfera (óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gas).

El parámetro crítico en los procesos de desnitrificación es la concentración de oxígeno disuelto, cuya presencia suprime el sistema enzimático necesario para su desarrollo.



El pH óptimo para la desnitrificación se sitúa en el intervalo 7-8 viéndose también afectado el proceso por la temperatura.

En lo que se refiere al fósforo:

El fósforo que encontramos en el agua se sitúa tanto en forma orgánica, de ortofosfato inorgánico o de fosfatos complejos. Estos últimos, se hidrolizan dando lugar ortofosfatos, incorporándose entre el 10-20% de los mismos a la biomasa bacteriana.

Las principales formas de eliminación del fósforo son:

- Absorción directa por parte de las plantas.
- Adsorción sobre el sustrato filtrante y sobre las partículas orgánicas.
- Precipitación, mediante reacciones del fósforo con el hierro, aluminio y calcio presentes en las aguas y en el sustrato, dando lugar a la formación de fosfatos insolubles.

Hay que tener en cuenta que la absorción del fósforo por las plantas es mucho menor que la del nitrógeno (esta suele ser del 10%), siendo los fenómenos fisicoquímicos los que verdaderamente lo reducen.

Como respuesta a los cambios del potencial de óxido-reducción, el fósforo fijado y precipitado puede liberarse durante determinadas épocas del año.

Por lo general, en el caso de los HAFSs la eliminación de fósforo no es muy significativa situándose entre el 15-30%. Puede incrementarse este porcentaje de reducción de fósforo mediante el empleo de sustratos filtrantes específicos (p.e. con contenidos en hierro), que potencien la retención del mismo (Arias y col., 2004).

Tanto para Humedales Artificiales Superficiales como Subsuperficiales, Reed y col. (1995), proponen la siguiente expresión:

$$Pe = Pi * \exp * \left(-\frac{Kp}{CHS}\right)$$

Siendo:

Pe: concentración de fósforo en el efluente (mg/l).

Pi: concentración de fósforo en el influente (mg/l).

Kp: constante de reacción con un valor de 2,73 cm/d.

CHS: carga hidráulica superficial (cm/d), que se calcula como en los casos anteriores.



Se ha observado, que en los HAFSs inicialmente se retiene una mayor proporción de fósforo, como consecuencia de que en esta etapa el sustrato presenta una mayor cantidad de zonas disponibles para su adsorción, disminuyendo la capacidad de retención en el tiempo.

- **Eliminación de metales pesados**

La eliminación de metales como el cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, se realiza de diferentes formas:

- **Procesos de adsorción.**
- **Precipitación química.**
- **Sedimentación.**
- **Asimilación por parte de las plantas.**

Los metales retenidos pueden liberarse en determinadas épocas del año, en función de las variaciones del potencial de oxido-reducción que tienen lugar dentro del sistema.

- **Eliminación de organismos patógenos**

Para la eliminación de los diferentes patógenos que puede haber en el agua, utilizaremos diferentes mecanismos:

- La absorción de los patógenos sobre las partículas del sustrato filtrante.
- La toxicidad que sobre los organismos patógenos ejercen los antibióticos producidos por las raíces de las plantas.
- La acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

La eliminación de coliformes fecales se realiza en los primeros tramos del humedal consiguiéndose un 80% de eliminación de estos organismos.

Reed y col. (1995), observaron que los mecanismos de eliminación de estos patógenos eran similares a los de los sistemas de lagunaje por lo que establecieron una expresión parecida a la de estos:

$$C_e = C_i / (1 + t * K_T)^n$$

Siendo:

C_e: concentración de patógenos en el efluente (UFC/100 ml).

C_i: concentración de patógenos en el influente (UFC/100 ml).



KT: constante de reacción (d-1).
n: número de humedales en serie.
T: tiempo de retención (d).

La imagen siguiente muestra los principales procesos que se dan en los Humedales Artificiales y que reducen los contaminantes en las aguas:

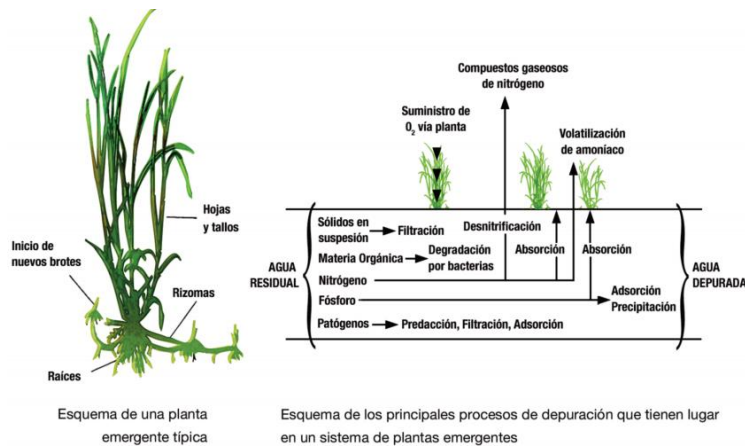


Figura III. 50: Principales procesos de depuración que tienen lugar en los humedales artificiales (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

3.3.6 Diseño de los Humedales Artificiales

A la hora del dimensionamiento de los Humedales Artificiales, tanto de Flujo Superficial como Subsuperficial, parten de la base de considerarlos como reactores de flujo pistón, que siguen cinéticas de primer orden para la eliminación de los distintos contaminantes.

- **Método de Reed y colaboradores**

Este método, desarrollado en 1995, emplea ecuaciones en las que se consideran las constantes de reacción (por unidad de volumen) dependientes de la temperatura.

Para la eliminación, tanto de materia orgánica (DBO₅), como de amoníaco (NH₄⁺) y de nitratos (NO₃⁻), se propone el empleo de la ecuación:

$$\ln\left(\frac{C_i}{C_e}\right) = kT * t$$

Siendo:

C_i: concentración del contaminante en cuestión en el influente (mg/l).



Ce: concentración del contaminante en cuestión en el efluente (mg/l).

KT: constante de reacción (d⁻¹).

t: tiempo de residencia hidráulica (d).

Si tenemos en cuenta que el tiempo de residencia hidráulica viene definido por la relación entre el volumen ocupado por el agua en el humedal (volumen efectivo) y el caudal de alimentación al sistema, se tiene que:

$$t = \frac{Vf}{Q} = S * h * \frac{Ps}{Q}$$

Siendo:

Vf: volumen efectivo (m³).

Q: caudal de alimentación (m³/d).

S: superficie el humedal (m²).

h: profundidad de la lámina de agua (m). En los Humedales de Flujo Superficial esta profundidad es del orden de 0,4 m, y en los Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal oscila entre 0,4 y 0,6 m.

ps: porosidad del sustrato filtrante (en tanto por 1). En el caso de los Humedales de Flujo Superficial la porosidad fluctúa entre 0,65-0,75, dependiendo del grado desarrollo de la vegetación implantada (Kadlec, R y col., 1996)

En el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial la porosidad varía en función del tamaño del sustrato filtrante como se puede ver en la siguiente tabla:

Tipo de medio	Tamaño efectivo d ₁₀ * (mm)	Porosidad (p _s)	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena media	1	0,30	492
Arena gruesa	2	0,32	984
Arena pedregosa	8	0,35	4920
Grava mediana	32	0,40	9840
Grava gruesa	128	0,45	98400

* d₁₀: diámetro para el que el 10% del sustrato es más fino.

Tabla III. 21: Características de los diferentes medios empleados como sustratos en los HAFSs (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



La dependencia de la constante de reacción K_T con la temperatura, viene dada por la expresión:

$$K_T = K_R * \theta_R^{(T_w - T_r)}$$

Siendo:

K_R : constante de reacción a la temperatura de referencia (d^{-1}).

T_w : temperatura del agua considerada en el diseño ($^{\circ}C$) Se suele emplear la temperatura media del mes más frío.

T_r : temperatura de referencia a la que se ha calculado el coeficiente θ_R , que suele ser $20^{\circ}C$, ($^{\circ}C$).

θ_R : coeficiente de temperatura (adimensional).

Los valores de K_R y θ_R , para cada tipo de contaminante en cuestión, se muestran en la siguiente tabla.

	DBO_5	NH_4^+ (nitrificación)	NO_3^- (desnitrificación)
<i>Humedales Artificiales de Flujo Superficial</i>			
K_R (d^{-1})	0,678	0,2187	1
θ_R	1,06	1,048	1,15
<i>Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial</i>			
K_R (d^{-1})	1,104	$0,01854 + 0,3922 (h_r)^{2,6077}$	1
θ_R	1,06	1,048	1,15

Tabla III. 22: Valores de K_r y θ_R , para cada tipo de contaminante (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

Siendo:

h_r : profundidad del lecho ocupado por la rizosfera (m).

Combinando las tres ecuaciones anteriores, se obtiene la superficie necesaria del Humedal Artificial a construir:

Siendo:

L : longitud del humedal (m).

A : anchura del humedal (m).



- Método de Kadlec y Knight

Este método que data del 1996, considera que en los Humedales Artificiales la proliferación de microorganismos da lugar a la producción de nueva materia orgánica, parte de la cual quedará retenida en el propio humedal, mientras que el resto saldrá del sistema. Existirán, por tanto, para cada parámetro, unas concentraciones umbral mínimas, por debajo de las cuales no es posible mejorar la calidad de las aguas depuradas. Estas concentraciones umbral se encuentran dentro de los intervalos recogidos en la siguiente tabla.

Parámetro	Concentraciones umbral (mg/l)
Sólidos en suspensión	1 - 6
DBO ₅	1 - 10
N amoniacal	< 0,5
N nítrico	< 0,1
P total	< 0,1

Tabla III. 23: Valores umbrales para los distintos contaminantes (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

El método emplea una serie de ecuaciones en las que se consideran las constantes de reacción por unidad de superficie, y no todas son dependientes de la temperatura (la temperatura sólo tiene importancia en la eliminación de sólidos en suspensión y de nitrógeno). Se trata, por tanto, de un método menos sensible a las condiciones climáticas que el método de Reed y col.

Según este modelo, la superficie necesaria de Humedales Artificiales viene dada por la expresión:

$$S = \frac{365 * Q}{K_T} * \ln\left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*}\right)$$

Siendo:

C*: concentración umbral (mg/l o UFC/100ml).

Los valores de los parámetros de esta ecuación se recogen en la siguiente tabla.



	S.S.	DBO ₅	Norg	N-NH ₄	N-NO ₃	Nt	Pt
<i>Humedales de Flujo Superficial</i>							
K _T (m/año)	1.000	34	17	18	35	22	12
Θ _R	1,065	-	1,05	1,04	1,09	1,05	-
C* (mg/l)	5,1 + 0,16 Ci	3,5 + 0,053 Ci	1,5	0	0	1,5	0,02
<i>Humedales de Flujo Subsuperficial</i>							
K _T (m/año)	1.000	180	35	34	50	27	12
Θ _R	1,065	-	1,05	1,04	1,09	1,05	-
C* (mg/l)	7,8 + 0,063 Ci	3,5 + 0,053 Ci	1,5	0	0	1,5	0,02

Tabla III. 24: Valores de los parámetros KT, ΘR y C*, para los distintos contaminantes (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

Para los sólidos en suspensión y para las diferentes formas en que puede presentarse el nitrógeno, los valores de la constante de reacción tienen que ser corregidos en función de la temperatura, empleando la ecuación anterior.

El empleo del método de Kadlec y Knight nos lleva a necesidades de superficie mayores para la implantación de los Humedales Artificiales, como consecuencia de la introducción de las concentraciones mínimas umbral y del hecho de que la temperatura no influye en la eliminación de la materia orgánica.

- **Combinación de HAFSs Verticales sin Tratamiento Primario.**

Normalmente, en este tipo de tratamiento, se precisa de dos etapas de HAFSs Verticales. Cada una de estas etapas está constituida, generalmente, por tres humedales, que trabajan de forma alternada, con lo que se aseguran periodos de reposo del orden de 2/3 del tiempo de operación total.

Para instalaciones que den servicio a aglomeraciones menores de 100 habitantes puede reducirse a dos el número de humedales por etapa, repartiéndose el tiempo entre operación y reposo. Para el diseño de estas instalaciones puede recurrirse al empleo de la ecuación siguiente:

$$F1 = 3,5 * P^{0,35} + 0,6 * P$$

Donde:

F1: superficie de la primera etapa (m²)

P: población servida (habitantes equivalentes)

La superficie de la segunda etapa debe ser del orden del 60% de la primera.



La primera etapa de humedales emplea como sustrato filtrante gravas finas (para minimizar el riesgo de colmataciones dado que recibe las aguas residuales sin tratamiento primario), mientras que en la segunda etapa se recurre al empleo de arena como elemento filtrante.

3.3.7 Construcción de los Humedales Artificiales

En este apartado hablaremos de los detalles constructivos en los Humedales Artificiales y en concreto en los requisitos que deben cumplir los sustratos filtrantes.

- **El confinamiento**

En general, se realiza la excavación de todo el terreno. En el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial el fondo suele presentar una pendiente del 1% en la dirección entrada-salida mientras que en los Humedales de Flujo Superficial es algo menor. En el caso de los taludes suele ser de unos 45º en el caso de los Humedales Subsuperficial y más suaves en los de Flujo Superficial.

En el Superficial se recomiendan relaciones Longitud/Anchura del orden de 5/1, mientras que en los de Flujo Subsuperficial es de 2-3/1

Un aspecto importante a tener en cuenta es conseguir un buen confinamiento de los humedales, para evitar que se infiltre el agua y contamine el subsuelo.

Si el suelo donde se va a ubicar el humedal presenta una baja permeabilidad bastará con proceder a su compactación, sino será necesaria una impermeabilización, recurriendo al empleo de arcillas o bentonitas (que se irán compactando por tongadas, en capas de unos 10 cm de espesor), o utilizando láminas plásticas. Uno de los plásticos que se recomienda sería el polietileno de alta densidad (PEAD), recomendándose espesores superiores al milímetro para evitar que la lámina pueda ser perforada por las raíces y rizomas de las plantas, o dañada por los propios áridos.

Para evitar punzonamientos se recomienda disponer por debajo y por encima de la lamina plástica una lamina de geotextil de 150-300 g/cm², o que se extienda una capa de arena por debajo de la lámina plástica.



En la impermeabilización mediante lámina plástica debe controlarse exhaustivamente las soldaduras entre las láminas (por aire caliente o por compuestos químicos) y el buen anclaje de la lámina al terreno. El método más habitual para anclar la lámina plástica al terreno en la coronación de los taludes es mediante la excavación de una zanja de aproximadamente 1 m de ancho, introducir la lámina impermeable y volver a llenar la zanja con tierra para que la lámina quede atrapada. También se podría hacer uso de las grapas metálicas.



Figura III. 51 Excavación del confinamiento de un Humedal artificial (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 52: Perfilado de los taludes del confinamiento de un humedal artificial (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 53: Colocación de una lámina de geotextil en un humedal artificial (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 54: Humedal impermeabilizado (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 55: Sujeción de la lámina plástica mediante grapa metálica (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **La evacuación de los efluentes depurados**

En Humedales de Grandes extensiones se recomienda que la evacuación se realice por varios puntos así se evita caminos preferenciales

Mediante el empleo de tuberías abatibles, extensibles o flexibles, se controla el nivel del agua, este suele ser de 0,2-0,4 m.

Para minimizar el escape de flotantes, y principalmente en humedales de pequeñas dimensiones, en las zonas de evacuación de efluentes suelen colocarse chapas deflectoras



Figura III. 56: Chapa deflectora en la salida de un humedal de flujo superficial (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



En los Humedales de Flujo Subsuperficial la evacuación de los efluentes es diferente según se trate de Humedales Horizontales o Verticales. En los HAFSs Horizontales la evacuación de las aguas se suele realizar a través de tuberías de drenaje embutidas en el fondo con gruesos (50-100 mm), dispuesta en la zona de salida del humedal. Estos drenes conectan con una tubería final flexible, ubicada en la arqueta de evacuación de efluentes. Esta tubería permite modificar el nivel de encharcamiento del sustrato, siendo lo habitual que el nivel de agua quede unos 5 cm por debajo de la superficie de los áridos.



Figura III. 57: Tuberías de drenaje para la evacuación de efluentes en HAFSs horizontales. Las tuberías quedan embutidas en una capa de bolos de 50-100 mm (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 58: Enlace de las tuberías de drenaje con la tubería de evacuación a través del fondo de la arqueta de salida (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 59: Recubrimiento de drenes con una capa de bolos de 50-100 mm (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 60: Tubería de evacuación de efluentes, conectada a las tuberías de drenaje (permite controlar el nivel del agua en el sustrato filtrante (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

En el caso de los HAFSs Verticales los efluentes, tras atravesar verticalmente el sustrato, son recogidos por un conjunto de tuberías de drenaje dispuestas en el fondo del humedal, que descargan en la arqueta de salida. Estas tuberías quedan embutidas en una capa de grava, de unos 25-40 mm de tamaño.



Figura III. 61: Conjunto de tuberías de drenaje para la evacuación de los efluentes depurados en un HAFSs vertical (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 62: Las tuberías de drenaje se van cubriendo con una capa de grava de 25-40 mm (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 63: Detalles de las tuberías de evacuación de efluentes en la arqueta de salida (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **La ventilación del sustrato filtrante**

En los HAFSs Verticales se suelen utilizar chimeneas verticales que conectan a tuberías de drenaje, para favorecer la oxigenación del sustrato. Estas sobresalen por encima del medio filtrante, y reaírean el sustrato continuamente.



Figura III. 64: Colocación de las chimeneas de ventilación en un HAFSs vertical (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 65: Detalle de las chimeneas de ventilación en un HAFSs vertical (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **Las capas de áridos**

En el caso de Humedales de Flujo Superficial, para el enraizamiento de la vegetación se puede recurrir al empleo tanto de tierra vegetal como de áridos (arena, gravilla). Dado que en este tipo de humedales las aguas circulara por los tallos de las plantas y en muy poca medida a través del sustrato, éste no juega un papel muy importante.



Por el contrario en el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial las capas de áridos que forman el sustrato filtrante constituyen la parte esencial del sistema. Para el buen funcionamiento del humedal se deberá realizar una selección y colocación adecuada del sustrato, ya que un posible problema es la colmatación del medio filtrante.

En el caso de los HAFSs Horizontales el tamaño de los áridos que se emplean va en función de la naturaleza de las aguas a tratar, siendo mayor el tamaño cuanto más cargadas se encuentren estas aguas. De este modo, los tamaños oscilan entre 3-6 mm, para aguas poco cargadas, y 6-12 mm para aguas de alta carga.

El espesor en el punto medio del humedal es de unos 60 cm, si bien, comienza a trabajarse con espesores en torno a 30-40 cm, buscando un mayor grado de oxigenación y ante la comprobación de que la mayor parte de las raíces y rizomas no penetran en el sustrato más allá de 40 cm (García y col., 2004).

En los HAFSs Verticales el sustrato filtrante, que como mínimo debe presentar 1 m de espesor, está constituido por arena con un d_{10} comprendido entre 0,25 y 1,2 mm, y con un d_{60} entre 1 y 4 mm. El Coeficiente de Uniformidad (d_{60}/d_{10}) debe ser inferior a 3,5 y los contenidos en arcilla y finos deben limitarse a menos del 0,5% (Brix, H., 2004).

A la hora de la selección del sustrato filtrante para los Humedales artificiales es imprescindible disponer de un material suficientemente homogéneo en forma y tamaño (bajos Coeficientes de Uniformidad), y limpio (sin presencia de finos, lo que puede hacer necesario el lavado el material procedente de la cantera). Un material con elevado contenido en finos se puede colmatar fácilmente, acortando la vida útil del sistema.

Para la colocación del sustrato en el interior de los humedales puede recurrirse a diversos métodos, tanto manuales como mecánicos, pero en todo caso se procurará no dañar la lámina impermeabilizante ni los sistemas de drenaje ni de ventilación.

- **El sistema de reparto de las aguas a tratar**

Para el buen funcionamiento hidráulico de los Humedales Artificiales, la alimentación se tiene que realizar lo más uniforme posible, para evitar caminos preferenciales y así todo el volumen permanezca activo.



En los Humedales de Flujo Superficial se utilizan vertederos o tuberías perforadas para distribuir el agua a tratar en la zona de entrada al humedal.

En el caso de los HAFSs Horizontales suele recurrirse al empleo de tuberías perforadas, que descargan sobre una zona de bolos gruesos (50-100 mm), dispuesta en cabecera del humedal y que permite la distribución uniforme de las aguas. El gran tamaño de estos áridos minimiza los problemas de obstrucción.

Últimamente, con el objeto de lograr un reparto más uniforme de las aguas, se ha utilizado vertederos Thompson longitudinales.

En lo que se refiere a los HAFSs Verticales se recurre al empleo de tuberías perforadas o canaletas, que descargan las aguas, de forma uniforme, por toda la superficie de los humedales. En este tipo de humedales la velocidad de alimentación debe ser superior a la velocidad de infiltración sobre el sustrato filtrante, al objeto de lograr el reparto del influente sobre la mayor parte de la superficie del humedal.

En este tipo de humedales la alimentación debe efectuarse de forma intermitente, intercalándose los periodos de alimentación al humedal con periodos de reposo. Una forma de lograr esta alternancia en la alimentación, sin tener que recurrir a bombeo, se basa en el empleo de sifones de descarga controlada, con lo que se puede regular el número de dosificaciones diarias de alimentación y el volumen de las mismas.

- La plantación

En el caso de los Humedales de Flujo Superficial se suele utilizar como especies vegetales más frecuentes: juncos, aneas, masiega, iris, juncia, etc., que se plantan mediante rizomas o semillas.



Figura III. 66: Aspecto de un humedal de flujo superficial recién plantado y al año de su plantación (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

En el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial la especie vegetal que más se utiliza es el carrizo (*Phragmites australis*), por sus siguientes ventajas:

- Perfecta adaptación a las condiciones hídricas de explotación de los humedales.
- Buena transferencia de oxígeno desde las partes aéreas hasta los rizomas y raíces, lo que favorece el desarrollo de bacterias en su entorno.
- Buena resistencia a la alternancia de periodos de alimentación y de reposo.
- Infiltración favorecida por el desarrollo de tallos a través de los que percola el agua, lo que reduce los riesgos de colmatación.
- Fácil adaptación a la altitud (salvo alta montaña) ya climas diversos.
- Mayor duración del ciclo vegetativo, permaneciendo activo durante un período de tiempo superior al de otras plantas emergentes



Para el establecimiento de la vegetación para los HAFs se suelen utilizar plantas procedentes de viveros, o mediante multiplicación vegetativa a partir de los rizomas, que es el método más habitual (es el método más utilizado, se procede al troceado de los mismos en fragmentos de unos 5 cm de longitud, que se plantan en el sustrato con una densidad de unos 5 trozos/m²). Con esta densidad se consigue la cobertura total del humedal en aproximadamente un año.



Figura III. 67: Planta de Phragmites australis procedente de vivero (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 68: Distribución de las bandejas con plantas de vivero para lograr una plantación uniforme del humedal (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

También se utilizan trozos de tallos de carrizo, de unos 30 cm de longitud, que se clavan inclinados en el sustrato, de forma que su extremo inferior quede en contacto con el agua.



Figura III. 69: HAFs vertical al año de su plantación (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

3.3.8 Puesta en servicio

Antes de su puesta en servicio se tendrá que realizar una serie de comprobaciones:

- El correcto funcionamiento de los elementos integrantes del:
 - Pretratamiento: rejillas de desbaste.
 - Tratamiento primario: fosas sépticas, tanques imhoff.
 - Sistema de medida de caudal
 - Compuertas y válvulas que permiten el by-pass de las aguas y la puesta en marcha/paro de los diferentes humedales implantados.
- La estanqueidad de los recintos que contienen los sustratos filtrantes y las plantas.

La alimentación de los humedales se realizará una vez finalice la plantación, para favorecer su crecimiento.

Desde el primer momento de su puesta en operación los humedales comienzan su función depuradora, basada inicialmente en procesos de filtración a través del sustrato. Con el tiempo, sobre este soporte se irá desarrollando la biomasa bacteriana, comenzando a tener importancia los procesos biológicos de degradación de los contaminantes, a la vez que las plantas irán captando los nutrientes que precisan para su desarrollo.



En el caso de los Humedales de Flujo Subsuperficial, la etapa de arranque y estabilización del sistema, en la que se va desarrollando toda la zona radicular de las plantas y la biomasa bacteriana coloniza el sustrato y los rizomas y raíces, se extiende aproximadamente a lo largo de un ciclo vegetativo. En el caso de los Humedales de Flujo Superficial es necesario el transcurso de dos-tres ciclos vegetativos para alcanzar un régimen operativo estable (Kadlec y col., 1996).

Inicialmente, en los Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal el nivel de agua se mantendrá unos 5 cm por debajo de la superficie del sustrato filtrante, y se irá bajando paulatinamente para favorecer un mayor y más rápido desarrollo de la zona radicular de las plantas durante el primer ciclo de su crecimiento. Al final de este proceso, el nivel del agua en el sustrato recuperará su valor inicial.

Durante los periodos de puesta en operación de los humedales se procederá a la eliminación de toda la vegetación espontánea que pueda aparecer en los mismos, para evitar competencias con las especies implantadas.

3.3.9 Mantenimiento y explotación

A continuación se detallan las operaciones de explotación y mantenimiento que se realizan en los Humedales Artificiales.

- **Mantenimiento del Pretratamiento y Tratamiento Primario**

En el caso de los Humedales Artificiales y fundamentalmente en los de Flujo Subsuperficial, los tratamientos previos (Pretratamiento y Tratamiento Primario), son básicos e imprescindibles para prevenir colmataciones del sustrato filtrante y de los propios sistemas de reparto de las aguas a tratar.

- **Mantenimiento de los Humedales Artificiales**

- **Humedales de Flujo Superficial**

- Cada cierto tiempo, se procederá a la limpieza de los sistemas de distribución ubicados en cabecera de los humedales. La frecuencia de esta operación la marcará las condiciones operativas de cada situación concreta.



- Debe realizarse un control en la aparición de mosquitos, ya que éstos tienden a desarrollarse en aguas someras. Los lugares con mayores riesgos para el desarrollo de estos insectos es en los márgenes de los humedales, por lo que es aconsejable que estos márgenes no dispongan de vegetación o que se situé dispersa para la aparición de depredadores de estos. Otra medida sería la de disponer una mayor inclinación (3/1 o más), para reducir las zonas con mayor facilidad para el crecimiento de estos insectos.
- En aquellos en que el objetivo final sea la restauración de ecosistemas, el cosechado de la biomasa tan sólo es recomendable cuando esta biomasa presente un crecimiento excesivo, que pueda llegar a impedir el buen funcionamiento hidráulico del humedal.

En este tipo de humedales, las operaciones de siega y de retirada de la biomasa seca, provocan la resuspensión de parte de la materia depositada en su fondo.

○ **Humedales de Flujo Subsuperficial**

- Periódicamente, se procederá a la limpieza de los sistemas de distribución ubicados en cabecera de los de Flujo Horizontal, y sobre el sustrato en los de Flujo Vertical. En estos últimos la limpieza se facilita tras la siega de la vegetación.
- Se evitará la entrada de animales que puedan utilizar como alimento las especies vegetales implantadas.
- Se evitará pisar el sustrato filtrante para evitar su compactación, lo que disminuiría su conductividad hidráulica.
- Se realizara el corte de las plantas secas, de forma manual o mecánica, y su retirada, debe hacerse finalizado el periodo vegetativo, si no se quiere que las partes secas caigan sobre el sustrato y liberen los nutrientes retenidos.



En la zona mediterránea se aconseja proceder al cosechado de la biomasa una vez al año, para evitar la acumulación de materia muerta (necrosoma) en el humedal, siendo aconsejable realizar esta siega después de la época de heladas. Ésta cosecha permite la limpieza de lechos y la revisión de los sistemas de alimentación-distribución (principalmente en los HAFSs Verticales), de los taludes, etc.

- Se evitará la siega de la biomasa en los periodos de nidificación de las aves que habiten en el humedal.
- Especialmente en los primeros meses de operación de los HAFSs deben eliminarse las malas hierbas que hacen competencia al carrizo. Se debe de realizar esta extracción a mano, evitando en todo momento el uso de herbicidas.
- Periódicamente se controlará la aparición de enfermedades en las plantas, si esto ocurre se iniciarán los pertinentes tratamientos, de acuerdo con las indicaciones del personal especializado.



Figura III. 70: Siega manual de la plantación de carrizo una vez seca (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 71: Siega mecanizada de la plantación de carrizo una vez seca (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 72: Evacuación de la biomasa seca tras la siega de un humedal (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 73: Evolución de la vegetación de un HAFSs tras su siega (20 Febrero 2006); (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 74: Evolución de la vegetación de un HAFSs tras su siega (13 Marzo 2006); (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).



Figura III. 75: Evolución de la vegetación de un HAFSs al año de su siega (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

- **Seguimiento del proceso**

Para el correcto funcionamiento y prevenir posibles anomalías, es preciso el seguimiento y control periódico de una serie de parámetros en los Humedales Artificiales.

Se aconseja que las visitas sean diarias o semanales para detectar lo antes posible cualquier posible incidencia que pudiese repercutir negativamente en su funcionamiento. El operador para dejar constancia de sus operaciones, utilizará un cuadernillo donde anotará:

- La fecha y hora de la visita.
- Los caudales tratados.
- El número de identificación de los Humedales Artificiales puestos en operación.
- El aspecto de las plantas de los humedales y del efluente depurado.
- Las posibles anomalías en los viales y en la obra civil en general.
- Las fechas de realización de las diferentes tareas de mantenimiento: limpieza de rejillas, retirada de lodos en el tanque Imhoff (fosa séptica), siega y retirada de las plantas secas, etc.



- Si la estación de tratamiento está dotada de energía eléctrica para: el accionamiento de los elementos del Pretratamiento, bombeo entre humedales, riego con los efluentes depurados, iluminación, etc., se anotarán las lecturas de los contadores correspondientes.
- En el apartado de observaciones se registrarán cuantas incidencias se estimen oportunas sobre: las características visuales y olfativas de las aguas, el posible empleo de los efluentes depurados por los agricultores, la duración de los períodos de lluvia intensa, etc.
- En el caso de que los Humedales cuenten con equipos electromecánicos (rejas de desbaste de limpieza automática, caudalímetros, bombas, etc.), estos equipos dispondrán de fichas individualizadas donde se registrarán:
 - Sus características operativas.
 - Sus horas de funcionamiento.
 - El calendario de operaciones de mantenimiento.
 - Las averías sufridas.
 - Todas aquellas observaciones que sobre su funcionamiento se consideren pertinentes.

Una tarea importante que habrá de realizar el operador es la medición de los caudales tanto entrantes como salientes.

En aquellas estaciones que estén dotadas de medidores de caudal con registro tan solo será necesario anotar las lecturas, pero cuando se carece de estos elementos de medida será preciso recurrir a métodos: volumen-tiempo (determinando el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de capacidad conocida; en el caso de instalaciones con cámaras de bombeo, deteniendo el funcionamiento de las bombas, y determinando el incremento de altura que experimenta la lámina de agua en un tiempo determinado), o a métodos sección-velocidad (determinando el tiempo que una mancha, producida por la adición de un colorante, tarda en recorrer la distancia entre dos pozos de registro contiguos del colector de llegada a la estación depuradora).

Independientemente del seguimiento rutinario, será necesario realizar en laboratorio el control de una serie de parámetros que permitan conocer el nivel de depuración alcanzado, con objeto de poder determinar el grado de cumplimiento de la Directiva 91/271.



En el Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 30 de Mayo de 1991 se publicó la Directiva del Consejo 91/271, de 21 de Mayo de 1991, referente al tratamiento de las aguas residuales urbanas. La Directiva contiene estipulaciones relativas al transporte, tratamiento y descarga de las aguas residuales, siendo su objetivo la protección del medio ambiente de los efectos adversos de estos vertidos, estableciendo unos requisitos mínimos para la descarga de dichas aguas residuales.

Para aglomeraciones urbanas entre 2000 y 9999 habitantes-equivalentes, la Directiva establece que se efectúen a lo largo del primer año de seguimiento de la estación de tratamiento un mínimo de 12 muestreos. Las muestras se tomarán durante períodos de 24 horas, a intervalos regulares y proporcionales al caudal circulante. Del total de muestreos efectuados deberán cumplir los requisitos anteriores, en cuanto a concentración o porcentaje de reducción, un mínimo de 10. Si esto se cumple, en años próximos el número de muestras a tomar será 4. En la siguiente tabla podremos observar esto.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
DBO ₅ a 20°C sin nitrificación (2)	25 mg/l O ₂	70-90	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación de oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20°C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de nitrificación.
DQO	125 mg/l O ₂	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Digestión ácida con dicromato potásico.
Total de sólidos en suspensión (3)	35 mg/l (6) (más de 10000 h.e.) (4) 60 mg/l (de 2000 a 10000 h.e.) (4)	90 (más de 10000 h.e.) (4) 70 (de 2000 a 10000 h.e.) (4)	Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105°C y pesaje Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2800 a 3200 g), secado a 105°C y pesaje.
(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada			
(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO ₅ y el parámetro sustitutivo			
(3) Este requisito es optativo			
(4) De conformidad con el apartado 2 del artículo 4			

Tabla III. 25: Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

En el caso de que el vertido final de la estación de tratamiento se realice a una zona catalogada como “sensible”, será necesario proceder también a la determinación de los contenidos en Nitrógeno y Fósforo. En la siguiente tabla se puede observar:



Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
DBO ₅ a 20°C sin nitrificación (2)	2 mg/l (10000 - 100000 h.e.) 1 mg/l (más de 100000 h.e.)	80	Espectrofotometría de absorción molecular
Nitrógeno total (2)	15 mg/l (10000 - 100000 h.e.) (3) 10 mg/l (más de 100000 h.e.) (3)	70-80	Espectrofotometría de absorción molecular

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada

(2) Nitrógeno total equivale a la suma de nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito

(3) Estos valores de concentración constituyen medidas anuales. No obstante, los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medidas diarias cuando se demuestre que se obtiene el mismo nivel de protección. En ese caso, la medida diaria no debe superar los 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12°C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales

Tabla III. 26: Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles propensas a eutrofización. Según la situación local, se podrán aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales).

El correcto mantenimiento de la estación depuradora y de su entorno contribuye de forma notable a minimizar el impacto que produce este tipo de instalaciones. Se refiere con esto a la conservación de la obra civil y de las conducciones, el control del buen estado del cerramiento, el cuidado de la ornamentación vegetal implantada, el control de roedores, etc.

Como norma de obligado cumplimiento, cuando un operario entre en contacto con las aguas mediante guantes desechables deberá lavarse las manos y las herramientas utilizadas, con cuidado.

- **Anomalías más frecuentes y su solución**

El principal y más severo problema que puede tener un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial radica en la colmatación del sustrato, lo que tendrá su reflejo en la aparición de charcos en la superficie del humedal y en la instauración de condiciones de operación anaerobias, con la consiguiente disminución en los rendimientos de depuración y el empeoramiento del aspecto de los efluentes depurados.

Si la selección del sustrato es la adecuada, la principal causa de esta colmatación habrá que buscarla en un mal funcionamiento de los tratamientos previos (Pretratamiento y Tratamientos Primarios).



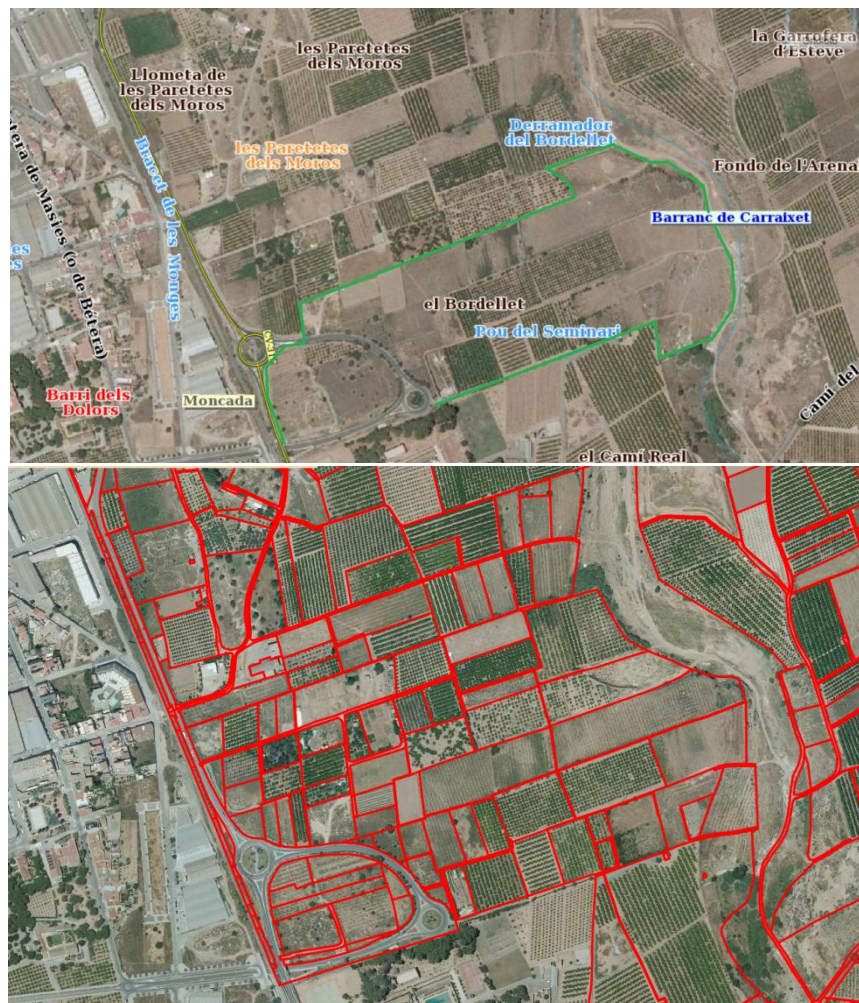
Ante un problema de estas características, y si los tratamientos previos operan correctamente, se aconseja detener la alimentación a los humedales durante unas dos semanas, para volver a reiniciarla una vez transcurrido este periodo. Este periodo de descanso permitirá la mineralización de los restos orgánicos retenidos en el sustrato filtrante, con lo que se podrá incrementar su capacidad de filtración.

En invierno es normal que mueran las hojas y los tallos de las plantas, si esto ocurriese en otros momentos del año, y no se debiese a falta de agua, la causa podría radicar en la presencia de sustancias tóxicas en las aguas a depurar, en la aparición de algún tipo de enfermedad en las plantas, o en el ataque de plagas. Estas últimas se solucionarían mediante la aplicación de los adecuados tratamientos fitosanitarios.

En los HAFSs Verticales el correcto nivelado de la superficie del sustrato filtrante evitará la aparición de flujos preferenciales, zonas inundadas y de zonas sin riego.



4. Descripción de la zona de estudio



Parcelación donde ubicaremos nuestros sistemas no convencionales y parcelación real según el mapa sigpac de parcelas (Imagen Terrasit y Sigpac).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



En lo que se refiere a la zona de estudio donde ubicaremos nuestros sistemas de balsas de sedimentación-laminación junto a los humedales, podemos decir que ocuparan los terrenos que se encuentra al este de la vía del tren cogiendo toda la rotonda y parte o toda de los terrenos que se encuentran sin campos de riego, para evitar expropiaciones y aprovechar estos terrenos sin utilizar.

En las siguientes imágenes podemos ver tanto toda el área de influencia como los terrenos para cultivos.



Figura IV. 1: Parcelación donde se dispondrán nuestras alternativas del estudio

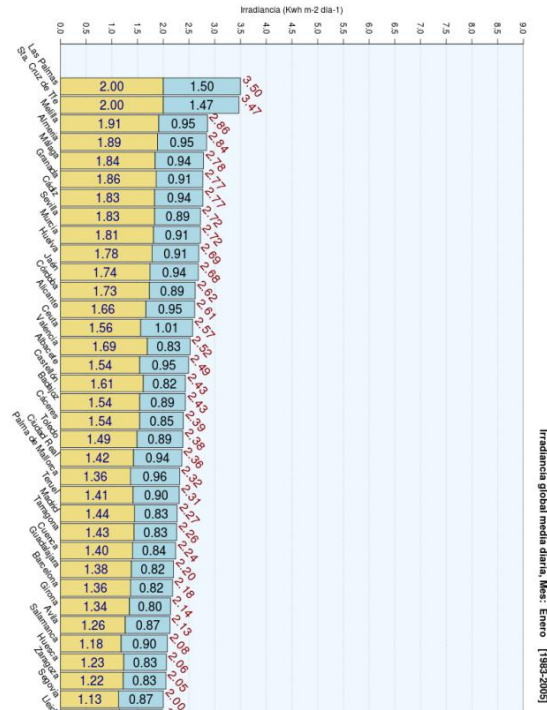


Figura IV. 2: En rojo terrenos de cultivo que se intentara no ocupar (Imagen Google).

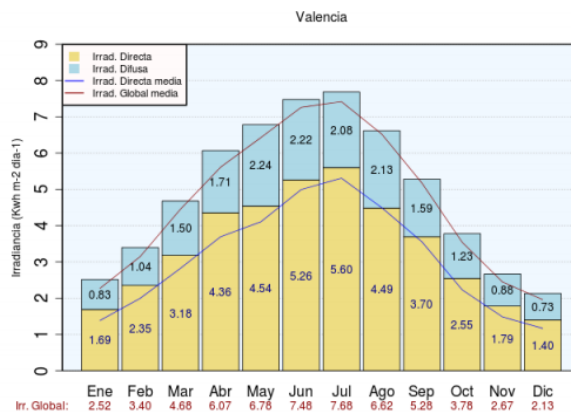


En cuanto a la climatología del lugar, hemos hecho un estudio de las precipitaciones ahora comentaremos la temperatura, radiación solar...etc.

En las siguientes gráficas se muestran la irradiancia global media diaria en orden decreciente para las diferentes capitales de provincia, indicándose de la misma manera que en las gráficas anteriores la contribución de la irradiancia global (1983-2005).



Naranja irradiancia directa, azul irradiancia difusa

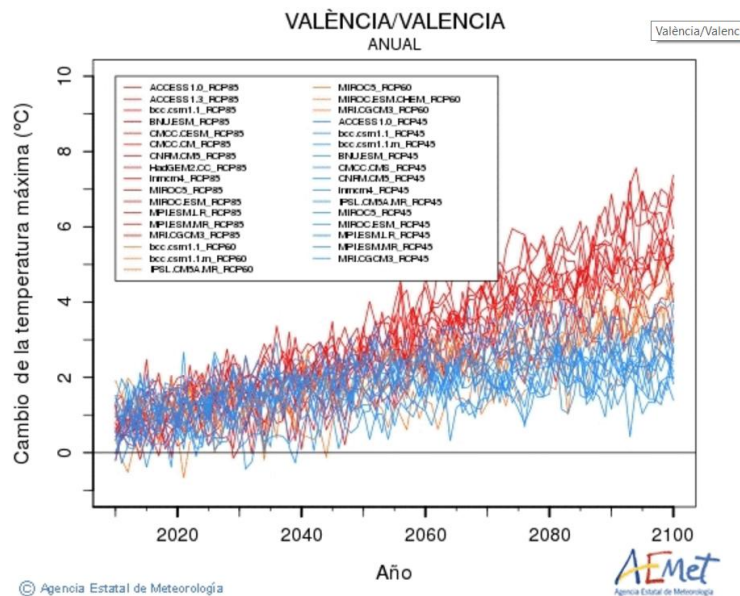


Grafica IV. 1: Irradiación global media diaria en el mes de enero para diferentes ciudades. Irradiancia directa e indirecta, global y media diaria para Valencia (AEMET)

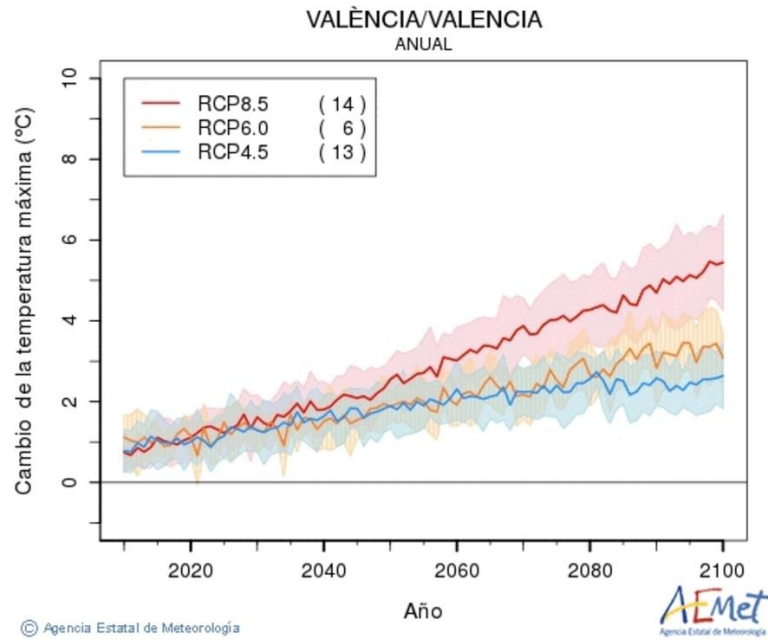
$kWh \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	GLOB.	DIR.	GLOB.	DIR.	GLOB.	DIR.	GLOB.	DIR.	GLOB.	DIR.	GLOB.	DIR.
Logroño	7.05	5.04	6.13	4.09	4.76	3.16	3.07	1.83	1.97	1.06	1.54	0.80
Lugo	6.33	4.01	5.71	3.64	4.35	2.71	2.71	1.43	1.79	0.84	1.40	0.66
Madrid	8.04	6.25	7.00	5.13	5.47	3.97	3.56	2.28	2.43	1.51	1.87	1.10
Málaga	7.97	5.89	7.05	4.97	5.76	4.20	4.07	2.77	2.92	1.93	2.36	1.50
Medilla	7.35	4.98	6.66	4.42	5.55	3.85	4.13	2.74	3.04	2.03	2.57	1.72
Murcia	7.89	5.67	6.87	4.67	5.51	3.83	3.99	2.65	2.88	1.91	2.35	1.54
Ourense	6.96	4.90	6.18	4.26	4.66	3.10	2.87	1.61	1.84	0.89	1.44	0.68
Oviedo	5.29	2.90	4.80	2.64	4.10	2.44	2.74	1.49	1.87	0.97	1.49	0.79
Palencia	7.72	5.77	6.74	4.87	5.19	3.64	3.29	2.01	2.14	1.17	1.61	0.84
P. de Mallorca	7.58	5.39	6.63	4.45	4.98	3.16	3.60	2.16	2.50	1.48	2.05	1.23
Pamplona	6.86	4.66	5.95	3.80	4.60	2.97	2.96	1.70	1.87	0.98	1.47	0.75
Pontevedra	6.76	4.67	6.05	4.11	4.64	3.05	2.90	1.67	1.88	0.98	1.44	0.74
Salamanca	7.82	5.96	6.84	5.05	5.27	3.71	3.43	2.14	2.28	1.28	1.78	0.96
San Sebastián	5.59	3.34	4.93	2.77	4.11	2.52	2.50	1.38	1.66	0.81	1.33	0.67
S. C de Tenerife	7.60	5.12	7.02	4.66	5.90	3.93	4.79	3.13	3.70	2.32	3.17	1.90
Santander	5.71	3.38	5.04	2.87	4.18	2.55	2.69	1.45	1.69	0.82	1.36	0.67
Segovia	7.70	5.74	6.67	4.73	5.15	3.59	3.29	2.01	2.16	1.22	1.72	0.96
Sevilla	8.10	6.24	7.20	5.33	5.78	4.28	4.02	2.71	2.92	1.94	2.33	1.48
Soria	7.48	5.43	6.43	4.34	4.98	3.36	3.23	1.94	2.16	1.23	1.72	0.97
Tarragona	7.44	5.36	6.14	3.88	4.87	3.18	3.42	2.12	2.41	1.51	1.98	1.27
Teruel	7.59	5.53	6.54	4.43	5.22	3.59	3.57	2.26	2.44	1.48	1.93	1.13
Toledo	8.09	6.29	7.08	5.24	5.57	4.08	3.72	2.43	2.55	1.59	1.95	1.12
Valencia	7.68	5.60	6.62	4.49	5.28	3.70	3.78	2.55	2.67	1.79	2.13	1.40
Valladolid	7.75	5.81	6.79	4.92	5.26	3.69	3.36	2.09	2.18	1.21	1.64	0.85
Vitoria	6.28	4.07	5.49	3.36	4.37	2.72	2.83	1.60	1.79	0.90	1.38	0.68
Zamora	7.80	5.91	6.85	5.05	5.24	3.68	3.39	2.11	2.21	1.22	1.67	0.86
Zaragoza	7.76	5.90	6.64	4.66	5.25	3.74	3.52	2.30	2.35	1.47	1.79	1.06

Tabla IV. 1: Irradiancia de julio a diciembre en diferentes ciudades (AEMET).

Se tendrá también en cuenta una serie de proyecciones (teniendo en cuenta el cambio climático), tanto de la temperatura como de las precipitaciones. Esto nos permitirá observar como las temperaturas aumentan con el tiempo y las precipitaciones cada vez son más escasas y cuando se dan son más acusadas.

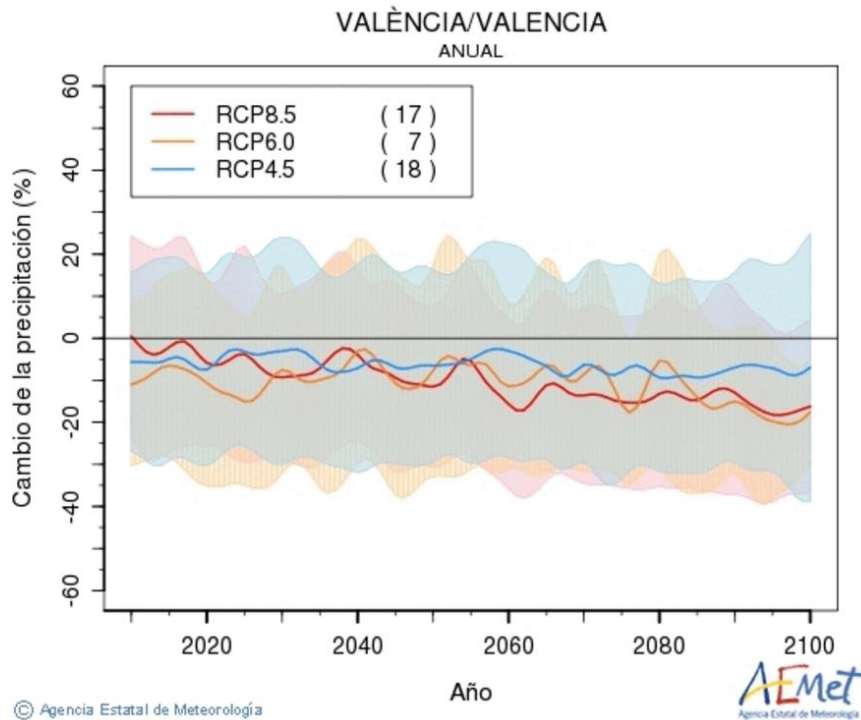


Grafica IV. 2: Proyección de las temperaturas máximas hasta 2100 en Valencia (AEMET).

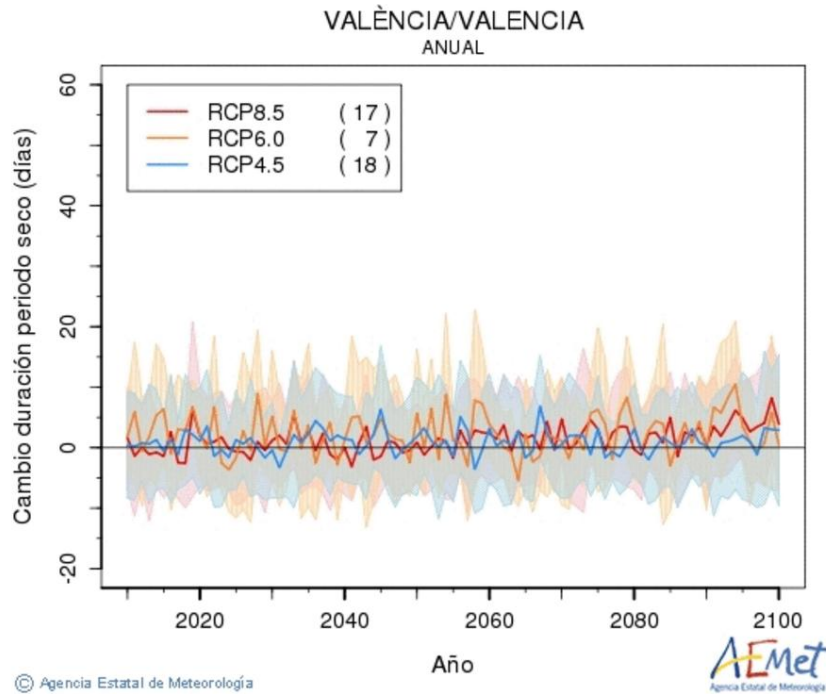


Grafica IV. 3: Proyección de las temperaturas máximas hasta 2100 en Valencia con diferentes métodos (AEMET).

Cambios en la precipitación y periodos secos. Proyecciones.



Grafica IV. 4: Proyección de la precipitación y periodos secos (AEMET).



Grafica IV. 5: Proyecciones de periodos secos (AEMET).

Horas de calor contadas en datos horarios en cada uno de los observatorios:

Valencia. Tiene en promedio algo más de 100 horas de calor (umbral 30º C) al año, oscilando entre las 53 horas de 2011 y las 497 de 2003.

Las horas de calor se reparten entre los meses de mayo a septiembre, aunque mayo y septiembre tienen muy pocas horas. Tampoco abril y octubre tienen apenas horas de calor. Junio no llega en promedio a las 30 horas, julio las sobrepasa ligeramente mientras que agosto sobrepasa las 60.

La variabilidad interanual, así como la que se da entre los mismos meses de los distintos años, es muy marcada.



	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
2002	0	0	0	0	0	19	29	25	10	0	0	0	83
2003	0	0	0	0	0	109	149	235	4	0	0	0	497
2004	0	0	0	0	0	29	36	138	9	6	0	0	218
2005	0	0	0										
2006	0	0	0	0	0	4	32	14	4	8	0	0	62
2007	0	0	0	0	14	18	14	27	0	0	0	0	73
2008	0	0	0	0	0	5	3	22	28	0	0	0	58
2009	0	0	0	0	0	3	29	48	6	3	0	0	89
2010	0	0	0	0	9	1	10	51	16	0	0	0	87
2011	0	0	0	1	2	0	10	35	4	1	0	0	53
Prom.	0	0	0	0	3	21	35	66	9	2	0	0	136

Tabla IV. 2: Horas de calor Valencia, Manises (AEMET).

Valencia Manises: Tiene en promedio 250 horas de calor (umbral 30º C) al año, oscilando entre las 89 horas de 2002 y las 490 de 2003.

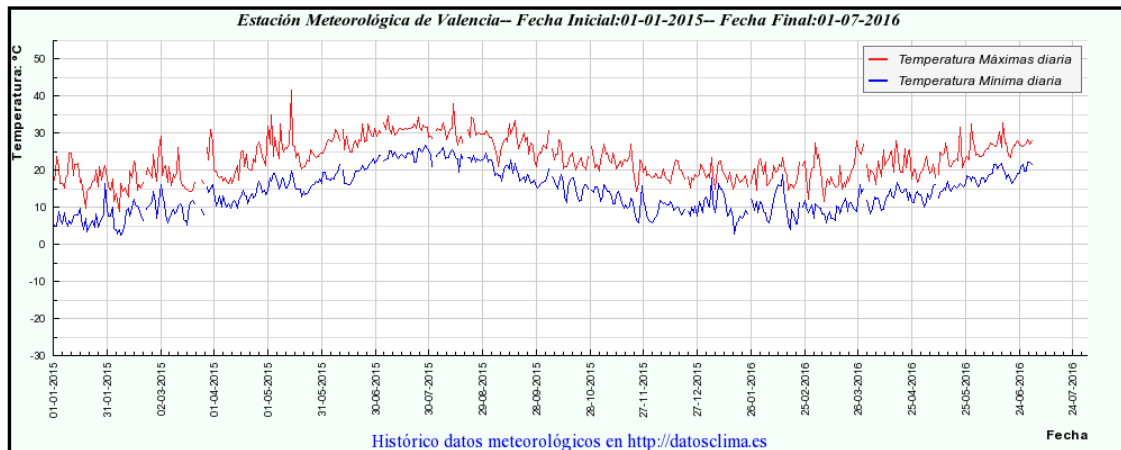
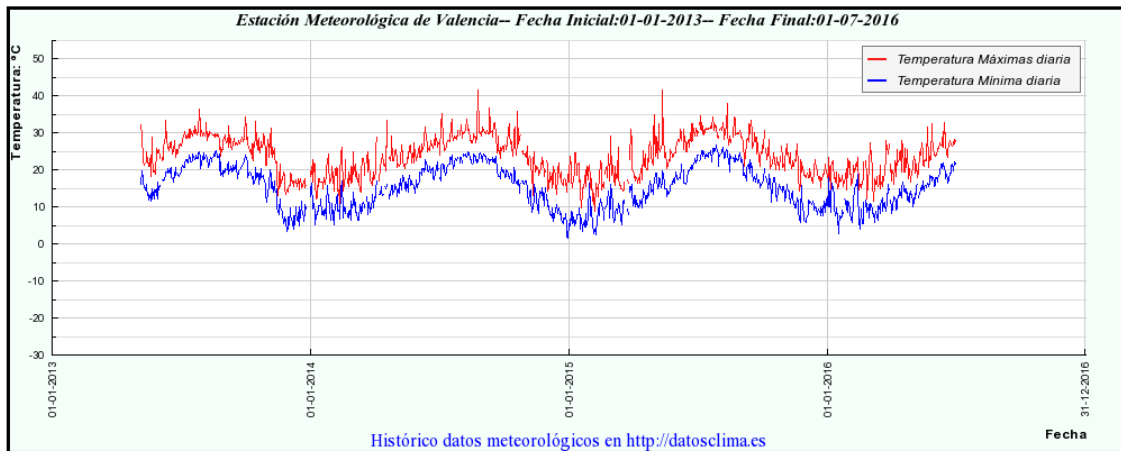
Las horas de calor se reparten entre los meses de abril a octubre; si bien, abril y octubre tienen muy pocas y pocos años; mayo y septiembre tienen también pocas y no todos los años; junio en promedio pasa de 30 horas de calor; julio y agosto se acercan a 100.

La variabilidad interanual, así como la que se da entre los mismos meses de los distintos años, es muy marcada.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
2002	0	0	0	0	0	22	37	24	6	0	0	0	89
2003	0	0	0	0	5	99	154	222	10	0	0	0	490
2004	0	0	0	0	0	43	40	146	10	4	0	0	243
2005	0	0	0	0	3	69	123	57	37	0	0	0	289
2006	0	0	0	0	4	25	235	126	15	11	0	0	416
2007	0	0	0	0	18	34	47	60	0	0	0	0	159
2008	0	0	0	0	0	44	94	113	37	0	0	0	288
2009	0	0	0	0	0	24	60	148	13	0	0	0	245
2010	0	0	0	0	9	10	89	78	27	0	0	0	213
2011	0	0	0	2	8	0	21	79	23	2	0	0	135
Prom.	0	0	0	0	5	37	90	105	18	2	0	0	257

Tabla IV. 3: Horas de calor Valencia (AEMET)

Las temperaturas normalmente están por encima de los 10ºC, solo en determinados momentos se registran valores inferiores a 10ºC.



Grafica IV. 6: Temperaturas máximas y mínimas para 2013-2016 y 2015-2016 (Datosclima).

En la siguiente tabla observamos los valores mínimos y máximos de temperatura para 2015-2016.

Resumen de Valores de Temperatura máxima y mínima a lo largo del Periodo seleccionado:

CARACTERISTICA / VALOR	(Temperatura °C)	FECHA
Temperatura Máxima más alta Registrada:	41.7	14-05-2015
Temperatura Máxima más baja Registrada:	9.0	07-02-2015
Temperatura Mínima más alta Registrada:	26.7	28-07-2015
Temperatura Mínima más baja Registrada:	2.6	08-02-2015
Mayor diferencia de temperaturas en un mismo día (Tmax-Tmin):	21.9	14-05-2015
Mayor ascenso de temperaturas Máximas en 24 h:	14.4	entre 13-05-2015 y 14-05-2015
Mayor ascenso de temperaturas Mínimas en 24 h:	8.3	entre 29-01-2015 y 30-01-2015
Mayor descenso de Temperaturas máximas en 24h:	15	entre 14-05-2015 y 15-05-2015
Mayor descenso de Temperaturas mínimas en 24 h:	7.1	entre 04-01-2016 y 05-01-2016

Tabla IV. 4: Valores máximos y mínimos de temperatura (Datosclima).



En lo que se refiere al viento, que también es importante para nuestros sistemas no convencionales, podemos decir:

CLIMATOLOGÍA

Valores mensuales. Viento

2015	Alicante	Alicante Aeropuerto	Castellón de la Plana	Valencia	Valencia Aeropuerto
Velocidad media del viento (km/h)					
Enero	7	12	8	5	12
Febrero	10	21	10	8	17
Marzo	8	13	9	7	14
Abril	10	17	8	6	13
Mayo	8	13	8	7	13
Junio	9	14	9	6	12
Julio	9	13	9	6	13
Agosto	9	14	9	6	14
Septiembre	8	12	9	6	12
Octubre	7	11	7	5	10
Noviembre	7	10	7	4	9
Diciembre	5	8	6	2	5
Racha máxima de viento (km/h)					
Enero	71	87	66	78	93
Febrero	60	98	66	67	78
Marzo	53	72	55	65	72
Abril	50	72	53	62	85
Mayo	40	61	62	53	71
Junio	40	65	53	46	65
Julio	51	52	79	58	84
Agosto	45	55	44	49	59
Septiembre	63	63	56	53	68
Octubre	41	59	50	58	72
Noviembre	57	72	78	67	87
Diciembre	37	61	25	34	42

Tabla IV. 5: Velocidades del viento (AEMET).



Número de días de racha máxima igual o superior a 55 km/h					
Enero	1	5	2	3	7
Febrero	6	14	5	3	11
Marzo	0	4	1	2	4
Abril	0	7	0	1	3
Mayo	0	1	1	0	3
Junio	0	1	0	0	1
Julio	0	0	1	1	2
Agosto	0	1	0	0	3
Septiembre	1	2	1	0	2
Octubre	0	3	0	1	3
Noviembre	2	5	2	3	3
Diciembre	0	1	0	0	0

Número de días de racha máxima igual o superior a 91 km/h					
Enero	0	0	0	0	1
Febrero	0	1	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0
Octubre	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). <<http://www.aemet.es>>

Tabla IV. 6: Número de días con rachas de viento igual o superior a 55 km/h y 91 km/h (AEMET).

La población total del territorio de Moncada la veremos en la siguiente imagen, de la cual, un porcentaje de esta población es la que producirá las aguas residuales de nuestros colectores (decidiremos el volumen de estas aguas residuales para nuestros sistemas no convencionales).

Padrón Municipal de Habitantes. Explotación extensa. Año 2015	
Población según sexo y edad	
Unidades: Personas	
Variables de columna: Sexo, Edad	
Variable de fila: Territorio	
	Ambos sexos
	Total
46171 - Moncada	21.842

Fuente: Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo

Tabla IV. 7: Padrón municipal de habitantes (AEMET).



Estimaciones de población de la Comunitat Valenciana
Estimaciones intercensales

Población según el sexo y la edad por grandes grupos

Unidades: Personas

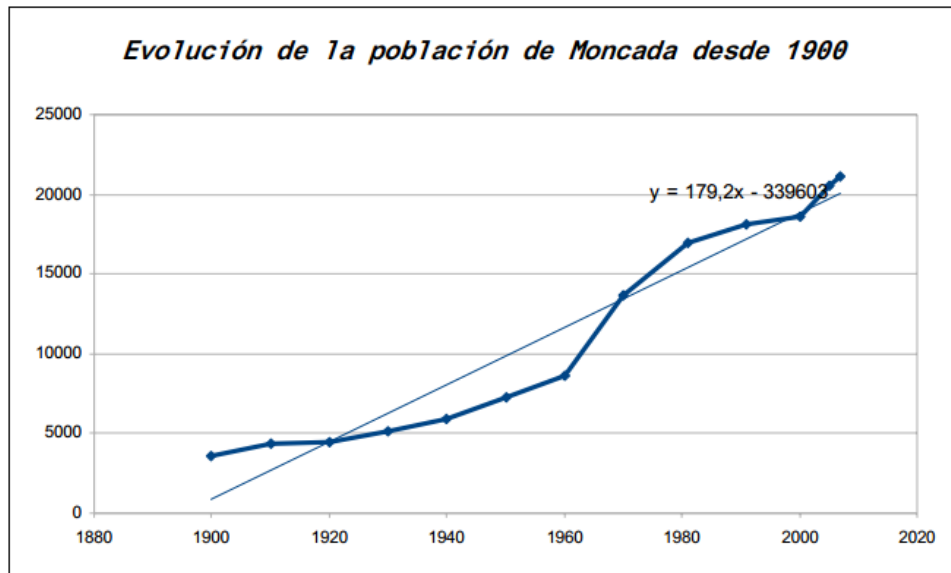
Variables de columna: Período, Sexo

Variables de fila: Territorio, Edad (Grandes grupos)

	1 de enero de 2002	1 de enero de 2003	1 de enero de 2004	1 de enero de 2005	1 de enero de 2006	1 de enero de 2007	1 de enero de 2008	1 de enero de 2009	1 de enero de 2010	1 de enero de 2011	1 de enero de 2012
	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
46171 - Moncada Total	18.714	19.248	19.882	20.302	20.763	21.140	21.584	21.825	21.813	21.902	21.990

Fuente: Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo

Tabla IV. 8: Población de Moncada según el año (AEMET).



Gráfica IV. 7: Evolución de la población de Moncada desde 1900 (Plan Director de Saneamiento de Moncada).

A partir del 2016 se realizan proyecciones que nos indican como la población va disminuyen muy ligeramente hasta el 2019.

PROYECCIONES DE POBLACIÓN A CORTO PLAZO, 2014-2019

POBLACIÓN SEGÚN EDAD Y SEXO
46171 Moncada

2016	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
Total	21.672	10.685	10.987
2017	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
Total	21.613	10.637	10.976
2018	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
Total	21.553	10.589	10.964
2019	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
Total	21.490	10.541	10.949

Tabla IV. 9: Proyección de población en Moncada según edad y sexo hasta 2019 (AEMET).

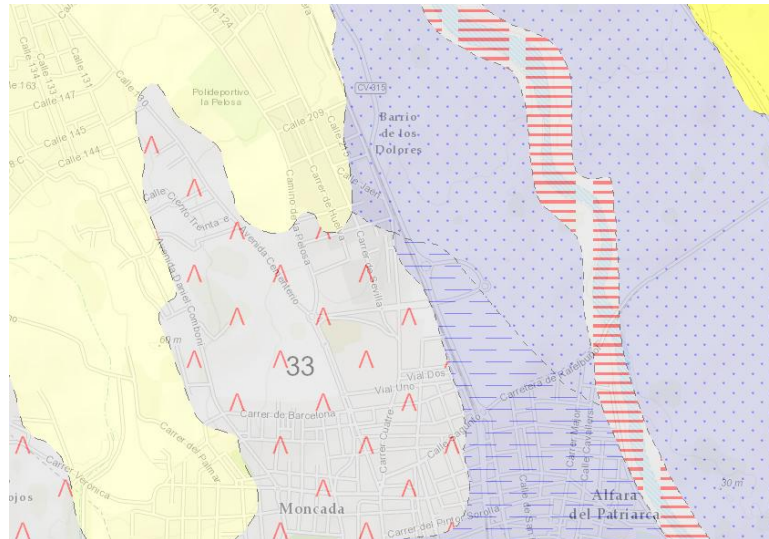


Precios medios anuales de las tierras de uso agrario hay que tenerlos en cuenta si tuviésemos que realizar alguna expropiación.

Precios medios de la tierra	
	€/ha
Año	C. Valenciana
2009	25.861
2010	25.467
2011	22.974
2012	22.825
2013	22.825
Tierras de labor	
Secano	4.700
Regadío	40.770
Hortalizas aire libre	
Regadío ²	30.678
Cultivos protegidos	
Regadío	254.160
Arroz	
Regadío	24.702
Frutales de hueso	
Secano	12.663
Regadío	21.681
Frutales de pepita	
Regadío	16.458
Frutos carnosos	
Regadío	51.037
Frutales fruto seco	
Secano	8.495
Regadío	37.480
Viñedo de mesa	
Secano	12.760
Regadío	41.167
Viñedo de transformación	
Secano	8.151
Regadío	23.100
Olivar de transformación	
Secano	10.509
Regadío	19.512
Naranja	
Regadío	43.296
Mandarino	
Regadío	41.909
Limonero	
Regadío	49.500

Tabla IV. 10: Precios medios de la tierra (AEMET).

En cuanto a la geología, podemos observar en el siguiente mapa geológico de España escala 1/50.000 (hoja 696), que dispondremos en nuestro cuadrante, de arcillas y limos primordialmente.



Gráfica IV. 8: Visión cercana de nuestra zona en el mapa geológico de España (Instituto Geológico de España).

En cuanto a la permeabilidad del terreno podemos observar que se trata de una zona con muy baja permeabilidad y con litología detrítica del Cuaternario.

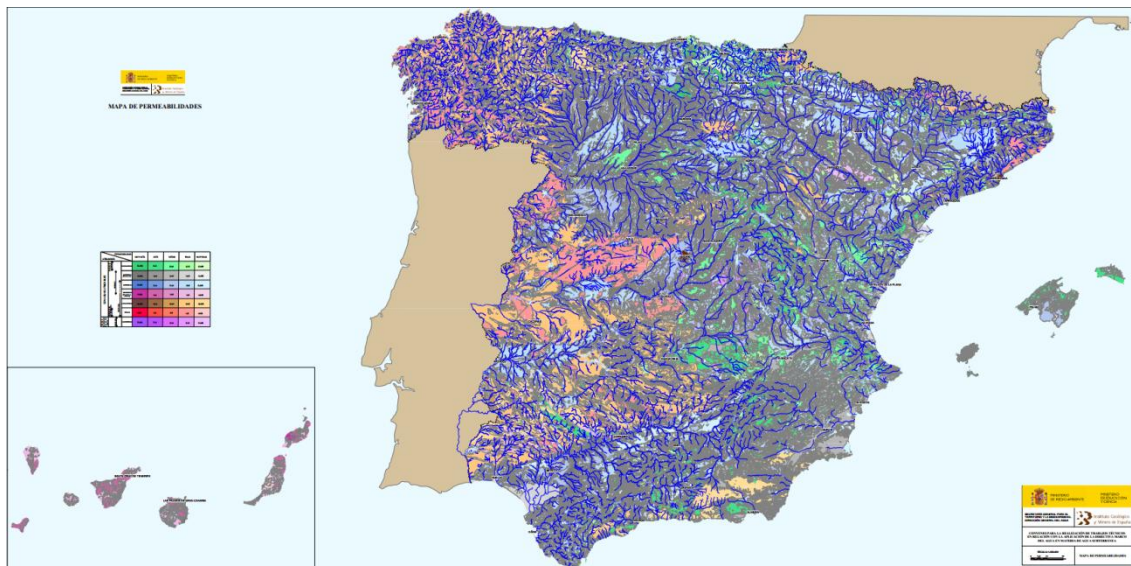


Figura IV. 4: Mapa de Permeabilidad del terreno en España (Instituto Geológico de España).

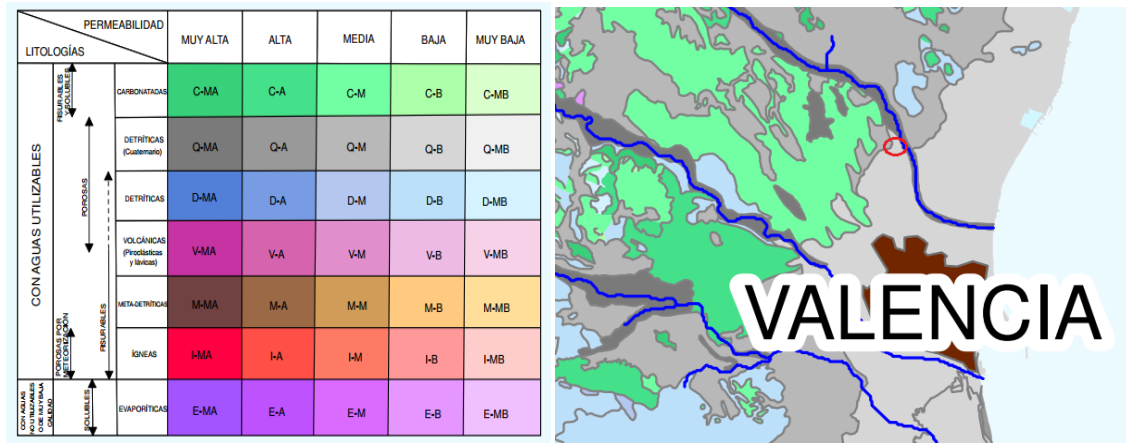


Figura IV. 5: Visión cercana de la permeabilidad de nuestra zona de estudio y su respectiva leyenda ampliada (Instituto Geológico de España).

Con toda esta información podemos decir que nos encontramos en una zona justo al margen izquierdo del barranco del Carraixet donde disponemos de arcillas y limos con un porcentaje en superficie de arenas que serán de ayuda para la posterior construcción de nuestro sistema.

Las pendientes de las parcelas, antes mencionadas, son muy ligeras, y teniendo en cuenta que realizaremos el movimiento de tierras necesario, con las pendientes que designemos para este, entonces las pendientes del terreno no son muy importantes.

La permeabilidad del terreno es baja y al disponer de arcillas y limos puede que no tengamos que impermeabilizar en determinadas zonas cuando dispongamos nuestros sistemas.

En lo que se refiere a las precipitaciones estas serán más escasas y pronunciadas en los meses más lluviosos, esto también va acompañado de un aumento de las temperaturas. Las proyecciones en cuanto a precipitaciones y temperatura nos ayudaran a diseñar nuestros sistemas teniendo en cuenta el cambio climático.

Las velocidades de viento son moderadas así que tendremos velocidades adecuadas para la oxigenación de las aguas y no muy altas para producir daños en la vegetación y recirculación de contaminantes.

Las proyecciones de población hay que tenerlas en cuenta por si hay más o menos volumen de agua que llega a nuestros sistemas, pero como hemos podido observar la población disminuye poco de una manera poco significativa, así que no nos afectara en nuestros cálculos.

Por último, hay que decir, que si hay que realizar alguna expropiación tenemos valores medios en €/Ha para nuestros cálculos económicos.



5. Propuesta y dimensionamiento para la selección de la alternativa utilizada.



Imágenes de un sistema de lagunaje y de humedales artificiales (Imágenes Google).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



5.1 Primera aproximación para las Alternativas

Con el análisis de las precipitaciones podemos sacar nuestro primer volumen del ecotanque para el trimestre más lluvioso, para el mes más lluvioso y para el valor medio de precipitación.

En la siguiente tabla podremos ver los resultandos y hacernos una idea.

Juntando Sept.-Oct.-Nov.						
Año 2000						
PMAX TOTAL	784,4	mm/(l/m ²)	0,7844	m	volumen ecot	125000 m ³
Área	17,7	Ha	0,177	km ²	Área ecotanq	25000 m ²
Vol. ecot.	0,1388388	Hm ³	138838,8	m ³	Altura ecotan	5 m
Oct.						
Año 2000						
1ªPMAX TOTAL	263	mm/(l/m ²)	0,263	m	volumen ecot	51000 m ³
Área	17,7	Ha	0,177	km ²	Área ecotanq	17000 m ²
Vol. ecot.	0,046551	Hm ³	46551	m ³	Altura ecotan	3 m
Oct.						
Año 2000						
Medio 3ªPMAX TOT	34,65943663	mm/(l/m ²)	0,03465944	m	volumen ecot	6900 m ³
Área	17,7	Ha	0,177	km ²	Área ecotanq	2300 m ²
Vol. ecot.	0,00613472	Hm ³	6134,72028	m ³	Altura ecotan	3 m

Tabla V. 1: Volúmenes de los ecotanques según el periodo de tiempo estimado y para una profundidad dada.

Para captar una lluvia máxima para los meses Sept.-Oct.-Nov. Necesitaríamos un volumen de 125000 m³ para una profundidad de 5m. En el caso que dimensionemos para el mes más lluvioso entonces el volumen sería 51000 m³, para una profundidad de 3m. Por último para una precipitación media necesitaríamos un volumen de 6900 m³, utilizando una profundidad de 3 m. Todos se han estudiado para el mes más lluvioso que es Oct. Y para el año más lluvioso que es el 2000.

Los valores obtenidos son aproximados e intentaremos hacerlos más ajustados en nuestras alternativas con el uso de los caudales en nuestro colector de la defensa (D2000 mm).

Para poder almacenar el máximo volumen de agua en los ecotanques e ir laminándola al barranco del Carraixet utilizaremos una primera balsa para los primeros tres días más lluviosos en Oct., así, vaciarla a los tres días a las siguientes balsas (con una sedimentación de dos días cada balsa y una laminación al mismo tiempo). Esta última balsa podrá abastecer con un caudal a los humedales y el caudal restante irá al barranco directamente. Mediante operaciones de mantenimiento podremos retirar los fangos depositados (M.P y S.S mayoritariamente) y llevarlos a tratamiento especializado según sus características.



T15	23532,15	m ³		
Volumen ecot.	24000	m ³		
Área ecot.	8000	m ²		
Altura ecot.	3	m	Tres días cons	44267,7 m ³
T2	11721,825	m ³	Suma T15+T2	46975,8 m ³
Volumen ecot.	12000	m ³	Volumen ecot	45000 m ³
Área ecot.	8000	m ²	Área ecot.	9000 m ²
Altura ecot.	1,5	m	Altura ecot.	5 m

Tabla V. 2: Volumen del ecotanque para los tres días más lluviosos según el periodo de retorno (T15+2*T2); (cálculos en Excel).

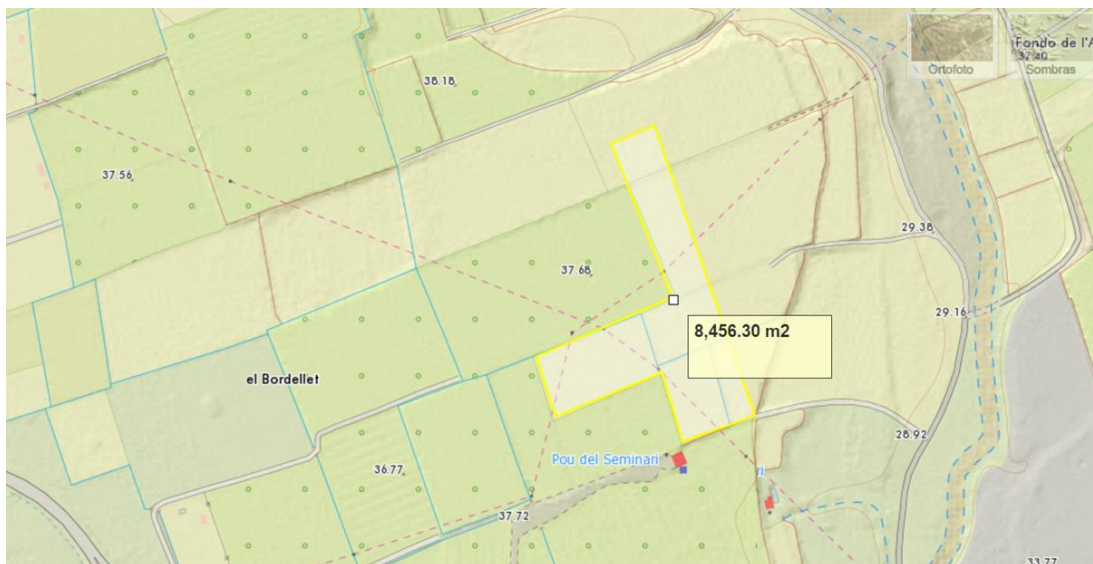


Figura V. 1: Superficie en m² del ecotanque (Imagen Terrasit)

Como los tres días consecutivos del mes más lluvioso Oct. suman un volumen de 44267,7 que equivalen casi a lo que sería una lluvia de T15 + 2*T2 años. De aquí, se puede sacar en una primera aproximación, el volumen de nuestra primera balsa, que rondaría estos 46975,8 m³ que para una profundidad de 5 m nos saldría un Área para el reposo de las primeras lluvias, de 9000 m² para tres días.

Observando nuestras cotas y el terreno disponible para poder realizar estos sistemas podemos sacar un área de 35000 m² que utilizaremos para nuestra segunda balsa y para el humedal y así crear una buena transición a nuestro barranco del Carraixet.

A continuación hemos sacado para una demanda de humedal de unos 50 l/m²*día, el Volumen mes y año. En nuestra zona determinamos volúmenes según el área disponible.



	Demanda de agua			Oct.		volumen humedal		
Humedales	50	l/m ² *día	0,05	m ³ /m ² *día	1,55	m ³ /m ²	26350	m ³ mes
Total	35000	m ²				1ª + 2ª balsa+ H.	H. 3 meses	79050
2ª balsa	18000	m ²	humedal	17000	m ²	44000	H. año	316200
Vb	90000	m ³	Vh	25500	m ³	160500		

Tabla V. 3: Volumen del humedal según mes, 3 meses o el año (cálculos en Excel).



Figura V. 2: Imagen de la superficie para la 2ª balsa y los Humedales artificiales (Imagen Terrasit).

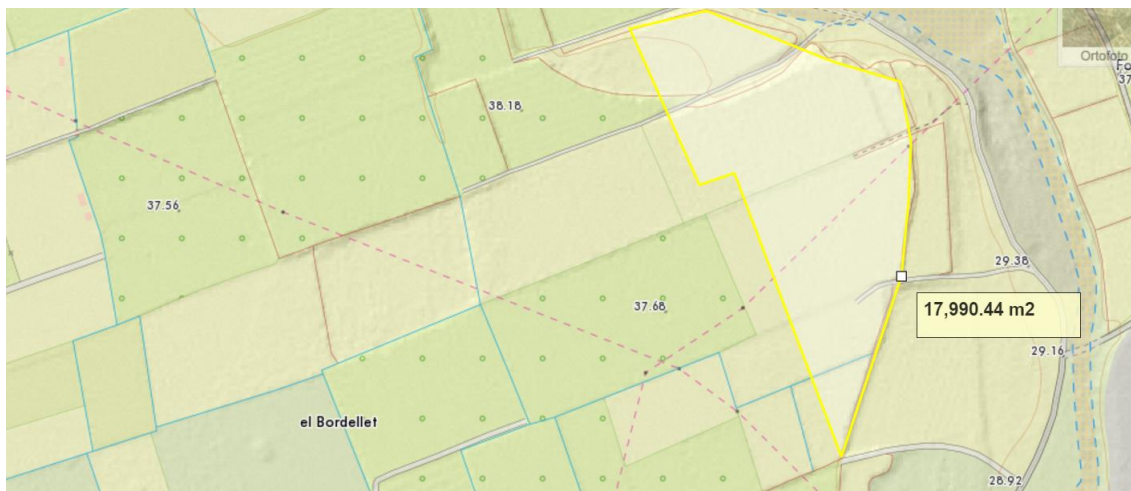


Figura V. 3: Imagen de la superficie para la segunda balsa (Imagen Terrasit).

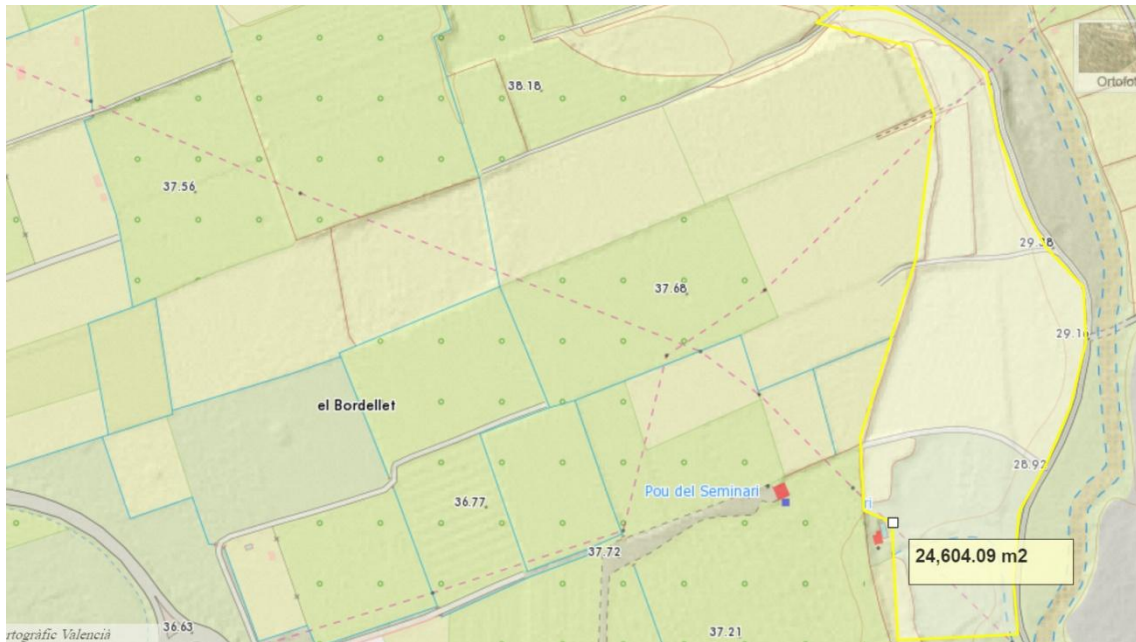


Figura V. 4: Imagen de la superficie de los Humedales artificiales (Imagen Terrasit).

A partir de nuestros datos pluviométricos obtenemos un volumen que se tiene que acercar al volumen necesario para nuestro humedal. Al ser una Demanda elevada la de nuestros humedales lo mejor sería disminuir nuestra área de humedales o una alternativa sería suministrar un caudal mayor con mayor carga residual y pluvial para los periodos de lluvia disminuyendo la arqueta de los aliviaderos de las intersecciones de los colectores con el colector de la defensa.

Media P.anual	388,4890909	mm/m ²	0,38848909	m ³ /m ²
		Vaño	68762,5691	m ³
		Vmes	5730,21409	m ³
Media P.anual sin los picos	332,4606061	mm/m ²	0,33246061	m ³ /m ²
		Vaño	58845,5273	m ³
		Vmes	4903,79394	m ³

Tabla V. 4: Volumen de los humedales artificiales con valores medios de precipitación con y sin picos (cálculos en Excel).

5.2 Primera Alternativa

En la zona de estudio donde vamos a situar nuestros sistemas de sedimentación-laminación junto a humedales artificiales, parte de una primera alternativa, que reside en la realización de un tanque de tormenta naturalizado para la zona de la rotonda. En esta primera balsa (o ecotanque) sedimentará la Materia orgánica, Sólidos Suspendidos y Metales pesados primordialmente, se producirá la decantación de las aguas de lluvia con capacidad suficiente para albergarlas.



Como se puede observar en la imagen el colector D2000 mm que aparece en azul marino se le realiza una conexión que aparece en azul clarito donde se recoge toda el agua necesaria para nuestra balsa de sedimentación. Se dispondrá justo después de esta conexión (en el colector D2000 mm) una válvula de compuerta para hacer fluir el agua hacia la balsa. Aparecerán dos conexiones más, que se situaran en el fondo de la balsa, haciendo pasar un cierto caudal a la zona norte de las siguientes balsas pertenecientes al sistema que pretendemos instaurar y haciendo pasar el otro caudal al colector D2000 mm el cual dirigirá el agua a una última conexión que aportara el caudal pertinente a la zona sur de nuestros sistemas.

Si se dispone de unas precipitaciones muy abundantes que provocan un caudal superior a los 30.000 m³, por periodo de retorno o por causas del cambio climático no admisible para una sola balsa de sedimentación (ecotanque), entonces decidiremos ubicar una segunda balsa de sedimentación (ecotanque). Para cualquier imprevisto las válvulas de compuerta se abrirán y se hará uso del colector D2000 mm para verter al cauce o por el contrario se abrirán mediante apertura de tuberías en la zona del lecho de las balsas pasando de la primera a la ultima por gravedad hasta los humedales artificiales que se vierten a su vez al barranco del Carraixet.

En el caso que hubiese problemas en la balsa de sedimentación o cualquier mantenimiento que necesite del vaciado de la balsa esta hará fluir sus aguas al colector D2000 mm que verterá a cauce.

Los Humedales Artificiales estarán conectados a esta última balsa realizando una transición naturalizada al cauce.



Figura V. 5: Alternativa N^o1 de actuación (Imagen Google Maps).



Figura V. 6: Laguna anaerobia en la primera actuación (Imagen Google Maps).

En cuanto a esta primera alternativa, no sabemos si sería posible, ya que el colector D 2000 mm de la defensa tiene que pasar por debajo de las tuberías y en ese lugar se ubica un túnel, por tanto carecemos de información de la profundidad del colector a partir de ese punto.

En el caso de que la tubería fuese 3,4 o 5 metros por debajo del terreno esto nos supondría un problema considerable ya que el agua no pasaría a la balsa por gravedad y necesitaríamos de un grupo de bombeo. Los grupos de bombeo suelen ser bastante caros y esto incrementara los costes haciendo inviable la realización de esta alternativa.

5.3 Segunda Alternativa

En el caso de la segunda alternativa sería la construcción de un par de balsa de sedimentación o ecotanques que conectan con otras dos balsas de sedimentación-laminación, terminando con un sistema de humedales artificiales que hacen de transición al barranco.

La cota del río se encuentra sobre los 29 m (Figura V.1; Zona Este 29,16 de cota y bajando), mientras que el tramo de vertido del colector D 2000 mm de la defensa, se encuentra a la cota 34 m (Figura V.1; zona Suroeste donde empieza la línea discontinua; hemos supuesto este valor partiendo de nuestra visita a campo). Observando esta última cota de 34 m podemos deducir que el colector que viene del túnel ira por gravedad hasta este punto de vertido disminuyendo su cota, por tanto hemos tomado una cota de 35,25 m para nuestra conexión (en un punto aguas arriba de nuestro colector de diámetro 2000 mm de la defensa).

Para tener suficiente disposición de terreno y que el agua pueda fluir por gravedad en las balsas dispondremos esta conexión con su posterior válvula de cierre a la cota de nuestro sistema.



Antes de conectar el colector D 2000 mm de la defensa con todo el sistema de balsas de sedimentación-laminación y humedales artificiales se recurrirá a la disposición de un pretratamiento adecuado para evitar problemas en las instalaciones.

Otras instalaciones sería las tuberías de DN1000 mm de hormigón armado dispuestas; teniendo dos a la entrada del pretratamiento y otras dos a la salida; cada una dirigiéndose a un ecotanque distinto. Estas dos tuberías de salida dispondrán cada una de una válvula de compuerta para su regulación y mantenimiento. También dispondremos una válvula de compuerta en el colector de diámetro 2000 mm de la defensa para trasegar toda el agua hacia el pretratamiento y así al sistema en general. Otra válvula y la última será la de salida del ecotanque dos para vertido directo a cauce.

Las arquetas disponibles tendrán un número de 8; uno por cada balsa y humedal artificial, menos la ultima balsa que tiene dos arquetas por su superficie.

Se dispondrá también de las pendientes necesarias en la excavación para que el agua tienda a salir por las arquetas evitando zonas muertas.

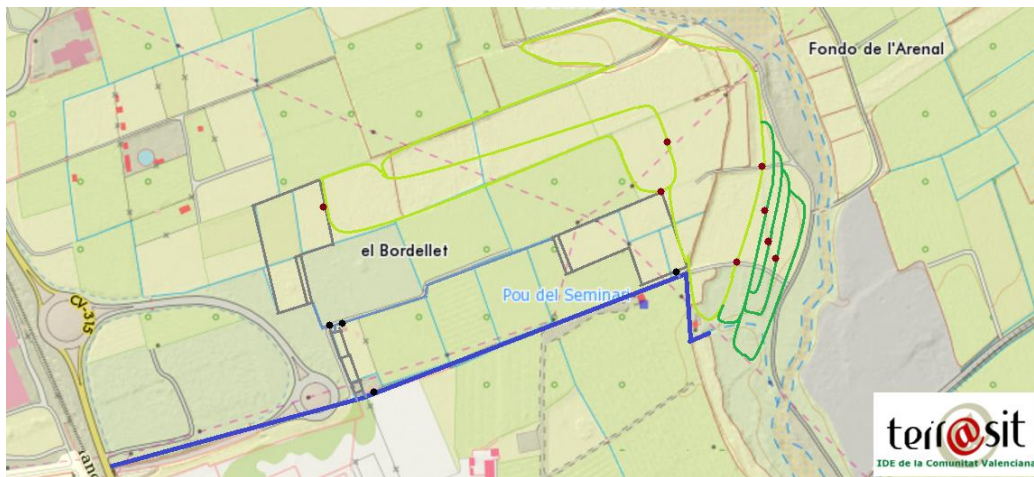


Figura V. 7: Alternativa N°2 con sus respectivos estructuras y elementos (En gris: pretratamiento y ecotanques; en verde claro: balsa de sedimentación-laminación 2 y 3, en color verde oscuro: humedales artificiales, en azul marino: colector D2000 de la defensa, en azul más claro: las tuberías, en negro: las válvulas y en marrón las arquetas de salida); (Terrasit).

Se realizaran a continuación una serie de cálculos que nos proporcionaran el diseño de todo el sistema naturalizado.



Para los caudales que nos proporciona nuestro sistema de colectores para precipitaciones para un periodo de retorno de T15 años (según el Plan Director de Saneamiento de Moncada) obtendremos finalmente un caudal de 6,06 m³/s (Tabla III.8; para precipitaciones máximas). El caudal máximo que puede llegar a trasegar nuestro colector de 2000 mm de la defensa es de 6,37 m³/s para precipitaciones máximas para un periodo de retorno de T15 años; para este caudal lo que realizaremos será rebajar el aliviadero para poder trasegar todas las aguas posibles.

Si el caudal para el cual diseñamos es de 6,37 m³/s procedente de una lluvia de duración dos horas entonces el Volumen de cada una de las balsas de nuestro sistema será de 45864 m³/d.

En la siguiente tabla (Tabla V.10) podemos ver el volumen para la precipitación con periodo de retorno de T15 y de T2 años:

Qagua T15	6,37	m ³ /s	45864	m ³ /d
QaguaT2	2,77	m ³ /s	19944	m ³ /d

Tabla V. 5: Caudal máximo para T15 (caudal real 6,034 m³/s) y caudal para T2 (cálculos con Excel).

Por tanto realizaremos dos balsas de sedimentación o ecotanques de un volumen de 30.000 m³ cada uno, para poder recoger todas las aguas pertenecientes a un periodo de retorno de T15 años y las que puedan producirse por efectos del cambio climático. Estas balsas poseerán de unas arquetas como aliviadero pasando el agua a cada una de las siguientes balsas (También poseen arquetas de aliviadero estas balsas). Para el vaciado dispondremos en la zona del fondo de una tubería con válvula para el vaciado de todo su volumen

Los tiempos para la sedimentación serán de dos días cada una para evitar malos olores (6 días en total) siempre estando depositada en nuestro sistema un tiempo menor a una semana.

En los ecotanques las profundidades serán de 5m obteniéndose superficies de 6000 m² para poder tener un volumen de 30000 m³ como hemos comentado anteriormente.

En la siguiente tabla (Tabla V.16) se puede observar estos valores:

Ecotanque 1	6000	m ²
	30000	m ³
Ecotanque 2	6000	m ²
	30000	m ³
Total	12000	m ²
	60000	m ³

Tabla V. 6: Volúmenes de acumulación de los ecotanques o balsas de sedimentación (cálculos con Excel).



Las balsas de sedimentación-laminación que utilizaremos tendrán 30000 m³ de volumen cada una. Para la balsa 1 tendremos una superficie de 15000 m² y 2 m de profundidad y para la balsa 2 tendremos una superficie de 30000 m² para 1 m de profundidad. El periodo de retención será dos días en cada una de las lagunas.

Balsa 2	15000	m ²
	30000	m ³
Balsa 3	30000	m ²
	30000	m ³

Tabla V. 7: Volumen de acumulación para la balsa 2 y la 3 (cálculos con Excel).

El caudal que le llegara a los humedales artificiales será de 50 l/m²*día y teniendo una superficie de 10000 m² el volumen que le llegara al humedal será de 500 m³/día.

Al pasar la semana después de las lluvias desde la primera balsa abriremos las válvulas de las tuberías de fondo y vaciaremos todo nuestro sistema.

La calidad del agua de los efluentes no podremos saberla ya que se requeriría de un estudio más detallado del nivel de contaminantes (muestras en diferentes días cada 10 minutos) que se producen para los intervalos de lluvia producidos y sacar así los contaminantes a tratar.

Lo que sí podemos decir es que el agua saldrá al barranco con una carga contaminante bastante menor que la de entrada, posibilitando la mejora del barranco.

En cuanto al diseño de nuestro humedal constara de dos Humedales Artificiales Subsuperficiales Horizontales (HAFSs de 5000 m²) y dos Humedales Artificiales Superficiales (HAFS de 5000 m²).

Una forma de diseñarlos podría ser la que sale en la siguiente tabla o se podría establecer otras disposiciones más sugerentes:

	S (m ²)	L (m)	A (m)
HAFSs H.1	3000	240	12,5
HAFSs H.2	2000	160	12,5
HAFS 1	2000	160	12,5
HAFS 2	3000	240	12,5

Tabla V. 8: Longitud y anchura de nuestros humedales artificiales (cálculos con Excel).



6. Valoración económica y ambiental



Imagen de la entrada de agua en un humedal (Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas)



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



Para realizar una valoración aproximada del coste de toda nuestra instalación con la alternativa 2, organizaremos los costes de la siguiente manera:

- Movimiento de tierras de toda la instalación.
- Pretratamiento y Tratamiento primario (Lagunajes anaerobios).
- Tratamiento secundario (lagunaje facultativo).
- Tratamiento terciario (lagunaje de maduración)
- Humedales Artificiales
- Conducciones, Válvulas y arquetas.

6.1 Movimiento de tierras

La unidad de obra que se tomara como referencia será:

UO1 m³

Excavación a cielo abierto, en terreno granular con arcillas, con su respectiva compactación, incluso taludes, con medios mecánicos, para ejecución de un deposito, incluso carga sobre camión, transporte a acopio en obra para posterior utilización y descarga.

Son DOS EUROS CON TREINTA Y CUATRO CÉNTIMOS.....2,34€

UO2 m³

Relleno con material procedente de la excavación, en trasdós derecho de cajero hasta la cota del terreno con arcillas, incluso carga de acopio, transporte interior de obra, vertido, extensión, riego y compactación al 97% P.N.

Son CUATRO EUROS CON VEINTE CÉNTIMOS.....4,20€

Para el sistema de pretratamiento, teniendo en cuenta, que se encuentra en una zona de cota media de 36 m y que el colector D2000 mm de la defensa en el punto de conexión al pretratamiento se encuentra a 35,25 m, se realizara una excavación de 595 m³ con un coste de 1392,3 € :

M.T Pretratamiento				
	Desbaste	Desarenador	Desengrasado	TOTAL
V (m ³)	137	229	229	595
Coste (€)	320,58	535,86	535,86	1392,3

Tabla VI. 1: Volumen y Coste del movimiento de tierras del pretratamiento (cálculos con Excel).



Si nos fijamos ahora, en el lagunaje Norte 1, con taludes 2:1 (horizontal-vertical) con anchura de coronación 4 m compactados, observaremos que se encuentra el terreno a 37 m de cota media y que su volumen de excavación junto a la estructura de remanso será de 31602 m³ con un coste de 73949€, también para el Lagunaje Sur 1 que esta a cota media 37 tendrá un volumen de excavación de 30772 m³ con un coste de 72007€.

	M.T ecotanque 1	M.T ecotanque 2
V (m ³)	31602	30772
Coste (€)	73948,68	72006,48

Tabla VI. 2: Volumen y Coste del movimiento de tierras de las lagunas anaerobias (cálculos con Excel).

A partir de aquí los costes de excavación vendrán con la compactación de los taludes 3:1 con anchura 4 m de la laguna facultativa y de maduración.

En el lagunaje facultativo la cota media del terreno es de 37 m pero en el de maduración es de 36 m y los valores de excavación con su coste correspondiente son:

	Balsa 2	Balsa 3
V (m ³)	116383	113762
Coste (€)	272336,22	266203,08

Tabla VI. 3: Volumen y Coste del movimiento de tierras de la laguna facultativa y de maduración (cálculos con Excel).

El relleno utilizado para parte de la Laguna de Maduración y los humedales artificiales será:

	Balsa 3	Humedales Artificiales
V (m ³)	12482	28350
Coste (€)	52424,4	119070

Tabla VI. 4: Volumen y Coste del relleno de la laguna de maduración y los Humedales artificiales (cálculos con Excel).

El coste total por tanto del Movimiento de tierras será de 857.381,16€:

	M.T Pretratamiento	M.T ecotanque 1	M.T Lagunaje ecotanque 2	Balsa 2	Balsa 3	Balsa 3 R.	Humedales Artificiales R.	TOTAL
V (m ³)	595	31602	30772	116383	113762	12482	28350	333946
Coste (€)	1392,3	73948,68	72006,48	272336,22	266203,08	52424,4	119070	857381,16

Tabla VI. 5: Volúmenes y Costes de todo el sistema de tratamiento (cálculos con Excel).



6.2 Pretratamiento y Tratamiento primario (Lagunajes anaerobios).

En el pretratamiento después de realizar la excavación dispondremos el hormigón de limpieza en el fondo de la excavación, dispondremos el ferrallado, encofrado y hormigonaremos.

UO3 m³

Hormigón en masa, tipo HM-20/P/20/I (de resistencia característica 20 N/mm²) de consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm, para ambiente de exposición no agresiva, en capa de regulación de la estructura, incluso fabricación, transporte y vertido.

Son CUARENTA Y SIETE EUROS CON OCHENTA Y SIETE

CÉNTIMOS.....47,87€

UO4 kg

Acero corrugado en redondos, tipo B-500-S (de límite elástico 500 N/mm²) en solera y cajeros de la estructura, incluso suministro, ferrallado, colocación, y parte proporcional de separadores, despuntes y solapes.

Son OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS DE EURO.....0,86€

UO5 m²

Superficie de encofrado, con placas metálicas en parámetros verticales planos, en solera y cajeros de la estructura, incluso suministro de las placas, colocación, desencofrado y parte proporcional de apeos, apuntalamientos y desencofrante.

Son DIEZ EUROS CON VEINTIVUATRO CÉNTIMOS.....10,24€

UO6 m³

Hormigón para armar, tipo HA-25/P/20/IIa (de resistencia característica 25 N/mm²) de consistencia plástica, tamaño máximo del árido 20 mm, para ambiente de exposición normal, humedad alta, en solera y cajeros de la estructura, incluso fabricación, transporte, vertido, vibrado y curado.

Son SESENTA Y CUATRO EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS.....64,39€

PRETRATAMIENTO				
	Desbaste	Desarenador	Desengrasador	TOTAL
V(m ³)	33,34	534,74	534,74	1102,82
Ferrallado (kg)	34464,44	34464,44	34464,44	103393,32
Encofrado (m ²)	1360	1360	1360	4080
Coste (€)	50588,516	77804,077	77804,077	206196,67

Tabla VI. 6: Volúmenes, ferrallado, encofrado y costes en el Pretratamiento (cálculos con Excel).

La reja para el desbaste también la dispondremos y tendrá un costo rondando los 5000 euros.



En lo que se refiere a las lagunas anaerobias de tratamiento primario obtendremos los siguientes costes:

Tratamiento primario			
	Balsa ecotanque 1	Balsa ecotanque 2	TOTAL
V(m ³)	3669,8	3669,8	7339,6
Ferrallado (kg)	809914,34	809914,34	1619828,68
Encofrado (m ²)	31960	31960	63920
Coste (€)	1199570,658	1199570,658	2399141,316

Tabla VI. 7: Volúmenes, ferrallado, encofrado y costes en los lagunajes anaerobios (cálculos con Excel).

En el coste se incluye el coste de impermeabilización del ecotanque, relleno y compactación del terreno circundante y el vertedero de salida.

6.3 Tratamiento secundario (lagunaje facultativo).

Después de la excavación realizada, se realizara la compactación de la coronación de la laguna, la arqueta de salida, colocación de la lámina de geotextil, colocación de la lamina plástica (Termosoldada), encachado de los taludes.

En el caso de las lagunas anaerobias los taludes son de 2:1 (horizontal-vertical) pero en las lagunas facultativas como las de maduración son de 3:1. Este coste lo incluimos en el movimiento de tierras y ahora nos centraremos en el coste del geotextil, lámina plástica y encachado.

UO7 m²

Suministro, extensión y colocación de la lamina impermeabilizante de bentonita sódica (BENTOFIX B4000) de 7mm., envuelta en geotextiles, permeabilidad garantizada $k < 10^{-11}$ m/s, incluso P.P de mano de obra, pérdidas por solapes y anclajes, medios mecánicos y material auxiliar necesario

Son CINCO CON VEINTE CÉNTIMOS DE EURO.....5,20€

UO8 m²

Suministro, extensión y colocación de la lamina lisa de PEAD (Carbofol 406) de 2 mm de espesor, incluido P.P de mano de obra, pérdidas por solapes y anclajes, medios mecánicos y material auxiliar necesario.

Son TRES CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS DE EURO.....3,79€



U09 m²

Relleno de taludes adecuados con encachado de diámetro máximo 20-40 mm, limpio, extendido en tongadas de 0,30 m de espesor, compactado con pistón mecánico ligero, medida la superficie de proyecto por la profundidad real.

Son DIEZ EUROS.....10,00€

Tratamiento secundario	
Balsa 2	
S.lecho (m ²)	7389,325
S.talud (m ²)	7610,675
S.encachado (m ²)	3237
Coste (€)	100789,968
Coste.Sin imper. (€)	32370

Tabla VI. 8: Superficies de impermeabilización y costes en la laguna facultativa (cálculos con Excel).

6.4 Tratamiento terciario (lagunaje de maduración)

El procedimiento es el mismo y las unidades de obra son las mismas. La laguna facultativa tenía repartida el volumen de 30000 m³ en 15000 m² en cambio esta laguna de maduración al tener una profundidad de 1 m y tener que dar cabida a los 30000 m³ entonces poseerá una superficie de 30000 m², cuyo coste será:

Tratamiento terciario	
Balsa 3	
S.lecho (m ²)	20199,15
S.talud (m ²)	9800,85
S.encachado (m ²)	4014
Coste (€)	309836,88
Coste.Sin imper. (€)	40140

Tabla VI. 9: Superficies de impermeabilización y costes en la laguna de maduración (cálculos con Excel).

6.5 Humedales Artificiales

En los humedales artificiales no se ha tenido que realizar ninguna excavación debido a la profundidad del barranco en este lugar, en cambio el perfilado de los taludes sí que se ha realizado pero en el momento del relleno.



Posteriormente se ha pasado a colocar la lámina de geotextil, la lámina plástica con sujeción de grapa metálica y chapa deflectora tanto para los HAFSs horizontales como los HAFS.

Después de esto se dispondrá para los HAFSs horizontales tuberías de drenaje para la evacuación de efluentes (embutidas en una capa de bolos de 50-100mm para que el agua fluya a 5cm por debajo de la superficie), el resto de drenes embutidos también con una capa de bolos de 50-100mm, tubería de evacuación de efluentes conectada a las tuberías de drenaje, relleno total con bolos en el talud de entrada para ubicar tuberías perforadas de reparto y la plantación de carrizo.

En el caso de los HAFS es muy parecido pero el agua no se controla a los 5 cm por debajo de la superficie sino que se deja fluir por la superficie hasta una cierta altura, se dispone también de un deflector de flotantes antes de la salida.

Las unidades de obra serán por tanto:

En cuanto a lamina de geotextil y plástica ya las hemos mencionado antes y son las mismas.

Todo esto lo valoraremos económicamente en la siguiente tabla:

UO10 m³

Bolos de granulometría 50, lavados a pie de obra, considerando transporte con camión de 25 T, a una distancia media de 20 km.

Son CINCO CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS DE EURO.....5,98€

UO11 m

Suministro y colocación de tubería de drenaje ranurada de PVC, diámetro 125, incluso conexiones entre tubos, recibidos en arquetas, P.P de mano de obra y material auxiliar, realizado según NTE, medido entre ejes de arquetas.

Son DIECISEIS EUROS.....16€

UO12 m³

Suministro, extendido y compactado de tierra vegetal de primera calidad con medios mecánicos, en capa de 0,20 m de espesor, nivelado y totalmente terminado con además semillas de aneas.

Son VEINTICINCO EUROS.....25€

UO13 m³

Suministro, extendido y compactado de tierra vegetal de primera calidad con medios mecánicos, en capa de 0,20 m de espesor, nivelado y totalmente terminado con además semillas de carrizo.

Son VEINTE EUROS.....20€



Humedales			
	HAFSs horizontal	HAFS	TOTAL
S.lecho (m ²)	3971,71	4207,74	8179,45
S.talud (m ²)	1166,025	915,13	2081,155
Bolos (m ³)	1402,235	781,734	2183,969
Tuberías (m)	1594,24	1592,4	3186,64
Capa Vegetal (m ³)	1449,096	1750,643	3199,739
Coste (€)	109063,362	99958,685	209022,047

Tabla VI. 10: Superficies de impermeabilización, bolos, tuberías, capa vegetal y costes en los humedales artificiales (cálculos con Excel).

6.6 Conducciones y arquetas

Las conducciones que realizaremos serán la que conecta nuestro colector de la defensa al pretratamiento, el bypass que conecta el colector de la defensa con la tubería de salida del pretratamiento, las dos tuberías de salida del pretratamiento (una va al lagunaje norte 1 y la otra al lagunaje sur 1) y por último la del lagunaje sur 1 a la defensa.

Las válvulas dispondremos 6, una en la entrada del bypass otras dos en las entradas de las tuberías que van a los lagunajes, otra en la entrada a pretratamiento y una última en la salida del lagunaje sur 1.

En lo que se refiere a las arquetas dispondremos también seis, una a la salida del lagunaje facultativo, dos a la salida del lagunaje de maduración, una en cada bancada del humedal (en la salida)

UO14 m

Metro lineal de suministro y colocación de tubería de hormigón armado, con empleo de cemento SR y junta deslizante de DN 1000 UNE 127010 Enchufe y campana, totalmente instalada, probada.

Son SETENTA Y SEIS CON VEINTICINCO CÉNTIMOS DE EURO.....76,25€

UO15 U

Unidad de válvula de compuerta de cierre elástico.

Son CINCUENTA Y SEIS MIL CIENTO TRES CON VEINTISIETE EUROS.....56103,27€



UO16 U

Ladrillo cerámico hueco triple, de 24*11,5*11 cm.

Son CERO CON 20 CENTIMOS.....0,20€

TUBERIAS									
	Conexión Defensa-Pretratamiento	Conexión pretratamiento-eotanque 1	Conexión Pretratamiento-eotanque 2	Conexión ecotanque 2-Defensa	By-pass Defensa-T.postpretratamiento	Conexión balsa 3-Barranco	Valvulas de compuerta	Arquetas	TOTAL
Dn 1000 (m)	1	35	240	1	74	1	4 unidades	6 unidades	
Coste (€)	76,25	2668,75	18300	76,25	5642,5	76,25	224413,08	1217,664	252470,744

Tabla VI. 11: Número y Costes de las tuberías, válvulas y arquetas (cálculos con Excel).

Coste total de la obra y desglose en dos fases:

	COSTE TOTAL OBRA (€)
Con imp.	4378610,917
Sin imp.	4049056,334
En dos fases con imp.	2189305,458
En dos fases sin imp.	2024528,167

Tabla VI. 12: Coste total de la obra con o sin impermeabilización para una o dos fases (cálculos con Excel).

Hay ciertos costes elevados que vienen de un sobredimensionado como es el uso del hormigón, ferrallado, que nos han aportado al final un valor demasiado alto para el coste de estas instalaciones pero con una segunda aproximación hemos podido cuadrar el precio saliendo valores más cercanos a la normalidad en este tipo de sistemas para que salga rentable. Estos valores serían para la totalidad de la instalación.

Sistema	Coste	Coste Mantenimiento	TOTAL
Movimiento de tierras	857381,16	0	857381,16
Humedales	116794,344	20000	136794,344
Lagunajes	175855,34	34000	209855,336
Tuberías, válvulas, arquetas	241185,744	30000	271185,744
TOTAL	1391216,588	84000	1475216,58

Tabla VI. 13: Coste total final de la obra (cálculos con Excel).

Tabla VI. 14: Coste total final de la obra (cálculos con Excel).



6.7 Valoración ambiental

Uno de los problemas a los que se enfrenta el medio natural en nuestro ámbito territorial es el de la escasez de agua. Además de los factores climáticos, en ello influyen los usos del territorio, que determinan las necesidades de agua de la población humana. Así pues son necesarias iniciativas como la que planteamos en este proyecto, que contribuyan a aportar agua a los cauces naturales. Los efectos de dichos aportes ya los podemos ilustrar con un ejemplo que se está produciendo en el mismo barranco del Carraixet en una zona que se encuentra a unos centenares de metros aguas arriba de la zona de nuestra actuación.

El barranco o rambla del Carraixet, representa un ejemplo típico de cauce temporal de los que abundan en la zona mediterránea ibérica. Estas ramblas llevan agua de forma intermitente a lo largo del año, dependiendo de los eventos lluviosos. Con las lluvias puede llegar a circular un caudal constante de agua, pero lo hace de forma efímera durante quizás algunos días para después quedar embalsamientos o charcos en zonas deprimidas, hasta que a los días o semanas desaparece totalmente el agua superficial. La flora y la fauna presentes en estos cauces dependen de la frecuencia de los aportes de agua.

En general el barranco del Carraixet es un cauce totalmente seco la mayor parte del año, lo que hace que tenga una apariencia árida ya que en la mayor parte de su recorrido es escasa la vegetación y también por lo tanto la fauna. No obstante las adaptaciones de la biota propia de estos ambientes hacen que cuando se producen lluvias, se produzca una recolonización durante el tiempo en el que de nuevo hay condiciones favorables. En las últimas décadas se ha ido acentuando el carácter árido de este barranco en particular y de este tipo de estos cursos en general ya que cada vez es mayor la escasez de agua por diversas causas, tal como comentábamos al inicio del apartado.



Volviendo al ejemplo que deseábamos comentar, unos centenares de metros aguas arriba de donde se ubicaría la actuación que proponemos, existe un vertido de agua al barranco, procedente de los excedentes de riego de un sector de huertos de naranjo, que están irrigados por agua de una balsa artificial. Normalmente siempre hay un flujo de agua, que aunque es variable en volumen, es constante. Así como se puede apreciar en la figura VI.3 se aprecia perfectamente la localización del aporte en el barranco, y como a partir de este se desarrolla una zona profusamente vegetada con carrizo (*Phragmites sp.*) y enea (*Typha sp.*). Esta zona debido a su estructura presenta depresiones que se han producido porque hay afloramientos rocosos que se han erosionado formando cubetas, las cuales presentan agua de forma permanente. Asimismo el flujo constante empapa el suelo de toda la zona y contribuye a que se cree una amplia área de frondosa vegetación.

Se puede observar en las figuras VI.1 y VI.2 el contraste entre el barranco antes del vertido y a partir de donde este se localiza.



Figura VI. 1: Imagen del ecosistema formando aguas arriba de nuestra zona de estudio en el barranco del Carraixet (visita a campo).



Figura VI. 2: Imagen del ecosistema formando aguas arriba de nuestra zona de estudio en el barranco del Carraixet (visita a campo).

Esta exigua alimentación de agua de este tramo de barranco produce un incremento de biodiversidad espectacular, que se ilustra con la presencia de animales de todos los grupos de vertebrados, ya que incluso se encuentran peces. Existen anfibios y reptiles, y es un núcleo de cría y alimentación de numerosas especies de aves. El paraje también resulta atractivo para mamíferos presentes en la zona como zorros, erizos y otros roedores, así como vivérridos y mustélidos. Toda la fauna presente se fundamenta en la presencia de una abundante comunidad de invertebrados.

Aunque con nuestro proyecto no se aseguraría la presencia de un flujo continuo de agua en el barranco, sí que representaría una actuación que contribuiría a mantener un mayor nivel de humedad durante más tiempo, mitigando la aridez del barranco y fomentando el mantenimiento constante de vegetación, que ahora es ausente en la mayor parte de este curso natural. Esto fomentaría el desarrollo de las comunidades de invertebrados y a partir de estos, de otro tipo de fauna.

Es pues que la actuación que proponemos representa una mejora en las condiciones ecológicas del barranco del Carraixet, y claramente contribuiría al aumento de la biodiversidad en esta parte de su curso.



Figura VI. 3: Ecosistema natural que se forma aguas arriba de nuestra zona de estudio en el barranco del Carraixet. En rojo: acequia por donde vierte al barranco. En verde: el ecosistema natural formado (Imagen Google)



7. Propuesta de solución



Imágenes de los tres tipos de lagunaje y humedales artificiales (Imágenes de Google).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



En lo que se refiere a la alternativa numero 1 son varios los inconvenientes que nos hacen prescindir de ella.

En primer lugar el tanque naturalizado o ecotanque se encontrara a mayor distancia del resto de la instalación y por tanto requerirá un mayor coste en conducciones y válvulas.

Otro problema sería la ubicación del pretratamiento que tendríamos que disponerlo al otro lado de las vías del ferrocarril por falta de terreno, incrementando coste con tuberías y válvulas para el paso de dichas vías.

Por último al ir enterrado el colector de la defensa a una profundidad que desconocemos pero que presuponemos que no es pequeña, requeriría por tanto de un grupo de bombeo que incrementaría los costes significativamente.

Por tanto nuestra alternativa 2 es más conservativa. Los costes son más asimilables y los objetivos perseguidos se consiguen perfectamente.

En la siguiente imagen podemos ver la disposición de los elementos.

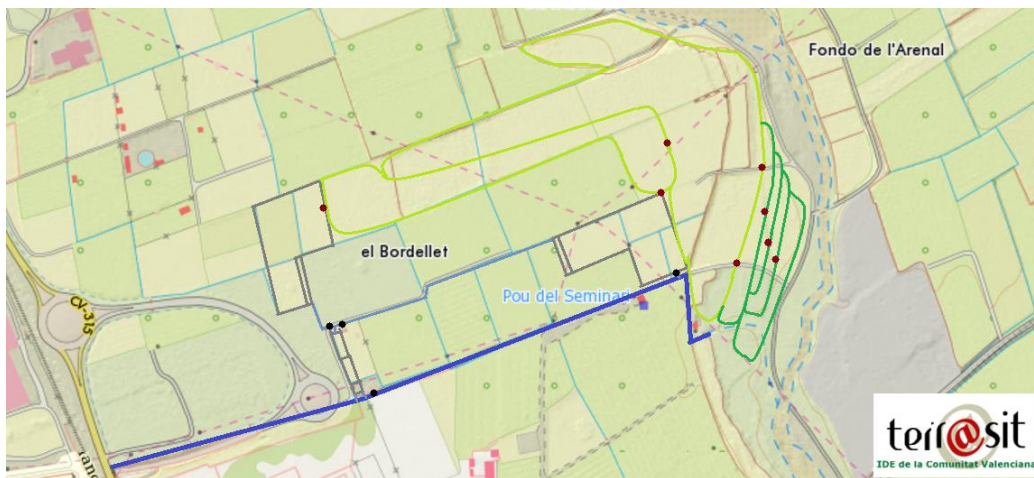


Figura VII. 1: Alternativa N°2 con sus respectivos estructuras y elementos (En gris: pretratamiento y ecotanques; en verde claro: balsa 2 y 3, en color verde oscuro: humedales artificiales, en azul marino: colector D2000 mm de la defensa, en azul más claro: las tuberías, en negro: las válvulas y en marrón las arquetas de salida); (Terrasit).

Esta segunda alternativa, según los estudios realizados de los sistemas utilizados, se podrá comentar que la carga contaminante a verter al río se reducirá ostensiblemente pero no sabemos en qué medida ya que habría que hacer un estudio de los contaminantes arrastrados por escorrentía entre periodos de lluvia.



8. Resumen y Conclusiones



Humedales con su fauna y flora (Imágenes de Google).



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

*E*studio para la mejora de la red de aguas pluviales del municipio de
Moncada (Valencia) y su afección al barranco del Carraixet, mediante el empleo de humedales
artificiales como tanques de tormenta.



En resumen podríamos decir que el objetivo principal de no contaminar las aguas del cauce proveniente de las aguas pluviales se consigue gracias a los sistemas que hemos comentado (balsas de sedimentación-laminación y humedales artificiales) junto con el de reducir el caudal aguas abajo para evitar inundaciones, también hemos conseguido alcanzar los demás propósitos, los costes más reducidos de construcción y mantenimiento, reducimos el caudal que va a depuradora y mejoraremos el barranco del Carraixet con un futuro turístico o recreativo posible.

En la realización de este estudio, al final, se ha optado por la alternativa dos que nos aporta un volumen de almacenamiento de 30.000 m³/día, este volumen irá disminuyendo (en la balsa 3) con los aportes directos, a realizar a los humedales artificiales, que verterán al barranco del Carraixet. En el caso de que se recogiese otro volumen de 30.000 m³ (debido a elevadas precipitaciones) que llegase a la altura de la arqueta del aliviadero entonces el agua ira pasando de balsa en balsa, de arqueta en arqueta hasta verter al barranco.

Por tanto tendremos un aporte de agua al barranco del Carraixet en cantidad durante las épocas de lluvia. Esto posibilitara la aparición de una zona naturalizada con especies naturales de fauna y flora, con posible zona turística o de recreo.

El coste saldrá sobre el millón cuatrocientos setenta mil euros para toda la instalación y conseguiremos tanto descontaminar las aguas de precipitación que recojamos como reducir los problemas de inundación.

Además con estas mejoras se abre una tendencia de futuro a naturalizar las poblaciones pequeñas así su crecimiento ira encaminado paralelamente al crecimiento de la naturaleza. Por tanto si dispusiésemos en los terrenos colindantes a Moncada de este tipo de sistemas iríamos disminuyendo los problemas de la carga contaminante de lluvia incrementando la aparición de ecosistemas o sistemas naturales que mejoraran la vida natural.



9. Referencias

- ❖ Ayuntamiento de Valencia. Normativa para obras de saneamiento de la ciudad de Valencia (2004). Servicio del Ciclo Integral del Agua.
- ❖ Aguas de Valencia S.A.(Octubre de 2013), “Plan Director de Saneamiento de Moncada”
- ❖ Mónica de la Oliva e Irene Malonda (Octubre de 2012), “Manual de buenas prácticas en la gestión de residuos”; Comunicación y Diseño.
- ❖ Javier Ruza Rodríguez, Miguel Anguel Bordas Martínez (2006) “Manual para la gestión de vertidos: Autorización de vertido”
- ❖ Alejandra Puig Infante, Javier Ruza Rodríguez, “Manual para la identificación de las presiones y análisis del impacto en aguas superficiales”, Dirección general del agua.
- ❖ CEDEX (2007) “Guía técnica sobre redes de saneamiento y drenaje urbano” Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos. ISBN 978-84-7790-438-0.
- ❖ CEDEX (2008) “Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano” Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento. CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos. ISBN 978-84-7790-475-5.
- ❖ Directiva 76/160/CEE del Consejo, de 8 de diciembre de 1975, relativa a la calidad de las aguas de baño.
- ❖ Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- ❖ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas DO L 327 de 22.12.2000, p. 1/73.
- ❖ Directiva 2006/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de febrero de 2006, relativa a la gestión de la calidad de las aguas de baño y por la que se deroga la Directiva 76/160/CEE.
- ❖ Directiva 2006/44/CE del Consejo de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.
- ❖ Martínez Marín, E. (2005) “Hidrología práctica”. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Servicio de Publicaciones. Colección Escuelas. Segunda edición.
- ❖ Norma UNE-EN 752 – 4:1997. Sistemas de desagües y de alcantarillado exteriores a edificios. Parte 4: Cálculo hidráulico y consideraciones medioambientales (1997).
- ❖ NRSCYII (2006) “Normas para redes de saneamiento del Canal de Isabel II. Versión 2006”. Canal de Isabel II. Madrid.
- ❖ IWA (2000) “Constructed wetlands for pollution control; processes, performance, design and operation”, specialist group on use of macrophytes in wáter pollution control.



- ❖ Orden MAM/1873/2004 de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Ministerio de Medio Ambiente, BOE núm. 147, 22333-22384.
- ❖ Real Decreto Ley 11/1995 de 28 de diciembre por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Jefatura del Estado. BOE núm. 312, 37517-37519.
- ❖ Real Decreto 509/1996 de 15 de marzo de desarrollo del Real Decreto Ley 11/1995 por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Ministerio de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. BOE núm. 77, 12038-12041.
- ❖ Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de julio por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. Ministerio de Medio Ambiente. BOE núm. 176, 26791-26817.
- ❖ Serrano A. (2007) "Plan Nacional de Calidad de las Aguas 2007-2015" Ambienta, ISSN 1577-9491, (69). 6-15.
- ❖ Suárez López J. y Cagiao Villar J. (2005) "Vertidos de sistemas de saneamiento unitario en tiempo de lluvia: control de impactos en ríos" Ingeniería y Territorio, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, (71), 44-55.
- ❖ IVIA(V101_Moncada IVIA_06_05_1990_2013), "Datos Meteorológicos"
- ❖ AEMET. Gobierno de España. "Datos pluviométricos, Temperatura, viento, etc."
- ❖ CEAM. "Datos de temperatura, radiación ultravioleta"
- ❖ Ordenanzas municipales de saneamiento.
- ❖ **NORMATIVA PARA OBRAS DE SANEAMIENTO Y DRENAJE URBANO DE LA CIUDAD DE VALENCIA. AÑO 2015.**
- ❖ Página web "crana.org", Normativa europea sobre agua.
- ❖ Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas
- ❖ CENTA, "Manual de depuración de aguas residuales urbanas", Centroamérica.
- ❖ CENTA, "Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales (Capítulos I, II, III, IV, V)".
- ❖ Mariano Seoáñez Calvo, (Año 1999), "AGUAS RESIDUALES: TRATAMIENTO POR HUMEDALES ARTIFICIALES", Fundamentos científicos, Tecnologías, Diseño.
- ❖ Página web "Datos clima" (Mayo 2016)
- ❖ Pagina web "infoigme" (Mayo 2016)
- ❖ Plan Director de Saneamiento de Moncada (Octubre de 2013)