

APOYO TÉCNICO A LOS PROYECTOS DE LA EMPRESA DESARROLLO DE  
TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN (DTD) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES EN SEVILLA, ESPAÑA

DIEGO ANDRÉS GIL SIERRA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016

APOYO TÉCNICO A LOS PROYECTOS DE LA EMPRESA DESARROLLO DE  
TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN (DTD) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES EN SEVILLA, ESPAÑA

DIEGO ANDRÉS GIL SIERRA

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PRÁCTICA EMPRESARIAL

ING. SANDRA ROCÍO VILLAMIZAR AMAYA  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Director de Práctica

---

Supervisor de Práctica

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga, 30 de Diciembre de 2016

Dedico este trabajo a todos los  
que estuvieron presentes durante  
mi formación.

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecerles a mis padres por siempre brindarme su total apoyo en cada momento, por darme la oportunidad de una gran educación, por los valores que me incentivaron, por la ayuda que me brindaron, por ser mis guías, por todas las oportunidades que me dieron y por todas sus enseñanzas que me ayudaron a ser mejor persona cada día.

A mis amigos por su apoyo, su motivación, por su ayuda, por compartir sus conocimientos y por todas las grandes experiencias que viví con ellos. También dar las gracias a todas las personas que he conocido de una u otra manera me han dejado alguna enseñanza.

A los docentes de la Universidad Pontificia Bolivariana por compartir sus conocimientos, por ayudar en mi formación como ingeniero civil, por darme sus enseñanzas, por sus correcciones, por la gran vocación que tienen por sus alumnos y con su guía ayudarme a mejorar cada día.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por permitirme ser parte de esta gran universidad, por compartir sus grandes valores y por permitirme realizar esta pasantía.

Quiero agradecerle mucho a mi supervisor el Ingeniero José Ignacio Martínez Rodríguez y a la empresa Desarrollo de Tecnologías de Depuración (DTD) por todas las enseñanzas que me dieron sobre la ingeniería civil, por permitirme ver cómo es el mundo de la ingeniería y la importancia del cuidado del medio ambiente, por la disposición de toda la empresa por enseñarme y guiarme y especialmente por darme la oportunidad de vivir una de las mejores experiencias de mi vida en España por la cual pude conocer muchas personas y muchos nuevos lugares a lo largo de estos 4 meses.

Finalmente, deseo agradecerle a mi tutora la Ing. Sandra Rocío Villamizar Amaya por sus enseñanzas y por su gran ayuda, la cual hizo posible la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	OBJETIVOS .....	2
2.1	Objetivo general .....	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
3	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	3
4	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	4
5	DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	6
5.1	Proyecto de autorización de vertido de las estaciones de servicio Cepsa .....	6
5.2	Otras actividades .....	8
5.2.1	Toma de muestras de aguas domésticas tratadas.....	8
5.2.2	Preparación de presupuesto para la licitación de proyectos.....	8
6	APORTE AL CONOCIMIENTO.....	10
6.1	Etapas para el tratamiento de agua residuales y reutilización del agua.....	10
6.2	Tratamiento de las aguas en estaciones de servicio.....	18
6.2.1	Cálculo de la capacidad del separador de hidrocarburos para el tratamiento de las aguas contaminadas en las estaciones de servicio .....	19
6.3	Descripción de una planta de tratamiento de agua residual (EDAR).....	25
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	27
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura organizacional de la empresa DTD.....	4
Figura 2. Toma muestras automático.....	9
<b>Figura 3.</b> Medidor multiparamétrico.....	9
<b>Figura 4.</b> Tamizado de gruesos (tratamiento preliminar).....	11
<b>Figura 5.</b> Tamiz rotatorio (tratamiento preliminar).....	11
<b>Figura 6.</b> Desarenado (tratamiento preliminar).....	11
<b>Figura 7.</b> Decantador primario.....	12
<b>Figura 8.</b> Lecho bacteriano (tratamiento secundario).....	13
<b>Figura 9.</b> Decantador secundario.....	13
<b>Figura 10.</b> Secado de fangos (tratamiento secundario).....	13
<b>Figura 11.</b> Tipos de calidad según los límites bacteriológicos del RD de reutilización.....	14
<b>Figura 12.</b> Requisitos de la calidad de agua para la reutilización en uso agrícola.....	15
<b>Figura 13.</b> Requisitos de la calidad de agua para la reutilización en uso de riego de arenas verdes en parques, campos deportivos y jardines no domiciliados.....	16
<b>Figura 14.</b> Requisitos de la calidad de agua para la reutilización en uso industrial.....	16
<b>Figura 15.</b> Tratamientos de regeneración propuestos sin desalación.....	18
<b>Figura 16.</b> Tratamientos de regeneración propuestos con desalación.....	18
<b>Figura 17.</b> Mapa de Máximas llluvias en la España Peninsular.....	21
<b>Figura 18.</b> Mapa parámetro I1/lld.....	24
<b>Figura 19.</b> Esquema del separador de hidrocarburos.....	25
<b>Figura 20.</b> Vista exterior de la planta de tratamiento de aguas residuales del hotel.....	26

## GLOSARIO

**Aguas domésticas:** Aguas provenientes de los desechos de los hogares.

**Aguas hidrocarbурadas:** Aguas contaminadas con hidrocarburos.

**Aguas pluviales:** Las aguas lluvias.

**Albarán:** Documento mercantil que acredita la entrega de un pedido.

**Arqueta:** Casilla o depósito que recibe el agua y la distribuye.

**Cepsa:** Compañía española de petróleos.

**CTA:** Control y gestión técnico-ambiental

**DBO:** Demanda biológica de oxígeno.

**Decantador:** Sistema de tratamiento para la sedimentación de sólidos en suspensión.

**Desarenador:** Estructura diseñada para la retención de la arena.

**DQO:** Demanda bioquímica de oxígeno.

**DTD:** empresa Desarrollo de tecnologías de depuración

**EDAR:** Estación depuradora de aguas residuales o planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

**Fangos:** Lodos en los que se concentran los sólidos sedimentados que pueden ser primarios o secundarios dependiendo de la fase del tratamiento del agua residual.

**Fosa séptica:** Es un sistema de tratamiento para aguas domésticas; en ella se hace la separación de la materia orgánica.

**Lecho bacteriano:** Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales que consiste en distribuir el agua homogéneamente a través de un material de relleno poroso en el cual se va filtrando hasta el inferior del lecho bacteriano.

**Presto:** Programa de presupuesto, planificación y ejecución de un proyecto

(<http://www.rib-software.es/presto.html>).

**Red municipal de saneamiento:** La red de alcantarillado del municipio donde se vierten las aguas residuales.

**Regeneración del agua:** Proceso realizado para devolver parcial o totalmente el nivel de calidad que tenía el agua antes de ser reutilizada.

**Separador de hidrocarburos:** Sistema de tratamiento de agua hidrocarburada, que se usa para separar las partículas de aceites e hidrocarburos por medio de filtros coalescentes.

**SS:** Suspensión de sólidos o sólidos suspendidos.

**Tamiz de gruesos:** Separación de grandes sólidos.

**Tamiz rotativo:** Máquina destinada a la filtración y tamizado de líquidos para realizar una separación entre sólidos y líquidos.

**Vertidos:** Toda emisión de aguas contaminadas que se realice directa o indirectamente a la red municipal o aguas continentales.

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	APOYO TÉCNICO A LOS PROYECTOS DE LA EMPRESA DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN (DTD) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SEVILLA, ESPAÑA
<b>AUTOR(ES):</b>	Diego Andres Gil Sierra
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería Civil
<b>DIRECTOR(A):</b>	Sandra Rocio Villamizar Amaya

### RESUMEN

En este trabajo se muestra el desarrollo de la práctica empresarial realizada en la empresa Desarrollo de Tecnologías de Depuración (DTD), una empresa ubicada en Sevilla, España, y especializada en el tratamiento de las aguas residuales. Durante el período de práctica desempeñé el cargo de pasante de ingeniería civil siendo mi principal función el apoyo técnico en el proyecto que adelanta la empresa para la obtención de las autorizaciones de vertido de las estaciones de servicio de Cepsa (Compañía Española de Petróleos) y a su vez el apoyo en la preparación de las ofertas para diferentes licitaciones relacionadas con la depuración del agua.

En los primeros capítulos presento una descripción de la empresa incluyendo algunas de sus obras realizadas, estructura organizacional actual, y el proyecto Cepsa al cual dediqué la mayoría del tiempo de la práctica. En los capítulos posteriores presento el trabajo realizado durante los cuatro meses de práctica y finalmente, cierro con la sección de aporte al conocimiento en la que hablo sobre el tratamiento de aguas residuales y hago un enfoque especial en las aguas contaminadas con hidrocarburos

### PALABRAS CLAVES:

Tratamiento de aguas residuales, hidrocarburos, España

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** TECHNICAL SUPPORT FOR THE PROJECTS DEVELOPED BY “DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN - DTD” (DEVELOPMENT OF PURIFICATION TECHNOLOGIES) FOR WASTEWATER TREATMENT IN SEVILLA, SPAIN

**AUTHOR(S):** Diego Andres Gil Sierra

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Sandra Rocio Villamizar Amaya

### ABSTRACT

This work shows the development of the internship developed at “Desarrollo de Tecnologías de Depuración, DTD” (Development of purification technologies), a company located in Sevilla, Spain which specializes in treatment of wastewater. During the internship period I was a civil engineer intern and my main work was the technical support to obtain discharge of wastewater authorizations for service stations belonging to the Spanish Petroleum Company (Cepsa, in Spanish). Furthermore, I helped on the preparation of biddings for different calls related to wastewater treatment in Spain.

In the first chapters of this document I present a description of DTD including some of its previous work, its current organizational structure, and the Cepsa project to which I dedicated most of the internship time. In the following chapters I present the work I developed at DTD and, finally, I close with the section of knowledge building that talks about wastewater treatment making a special emphasis on water contaminated with hydrocarbons.

### KEYWORDS:

Wastewater treatment, hydrocarbons, Spain

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1 INTRODUCCIÓN

Este informe presenta el trabajo que realicé como practicante en la empresa Desarrollo de Tecnologías de Depuración (DTD), ubicada en Sevilla, España. DTD es una empresa que se especializa en los temas de depuración de las aguas residuales desde 1998, tiempo en el cual ha diseñado y construido alrededor de 20 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) a nivel nacional e internacional, pero en su mayoría en la zona de Andalucía, España.

El tratamiento de aguas residuales se constituye en una acción vital para garantizar el cuidado del medio ambiente, en particular, del recurso hídrico. Tanto en Colombia como en España, existe normatividad que obliga a la depuración de las aguas residuales, es decir, el proceso de tratamiento para eliminación de los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua residual para que pueda ser regresada a su ciclo hidrológico con la mínima contaminación e impacto posible. En España, lugar donde desarrollé la práctica, la norma relacionada con el tratamiento de aguas residuales es el Real Decreto 509/1996 (Mapama, Real Decreto 509, 1996). A su vez, España posee una normativa para la regeneración y reutilización del agua, es decir, el poder darle otros usos al agua residual depurada aparte de devolverla a su ciclo hidrológico. Esta norma es el Real Decreto 1620/2007 (Mapama, Real Decreto 1620, 2007). En Colombia, la Resolución 0631 de 2015 es la norma relacionada con el vertimiento de las aguas residuales y la reutilización de las aguas tratadas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) y el título E del Ras-2000 habla sobre el tratamiento de las aguas residuales (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

La temática de este informe se enfatizará principalmente sobre el tratamiento de las aguas residuales en estaciones de servicio dada la naturaleza del objeto del proyecto para el cual estoy trabajando. También se hablará sobre el tratamiento de las aguas residuales en general; cuáles son las partes de una EDAR, cómo funcionan, cuáles son los posibles usos que se le puede dar a las aguas depuradas según la normativa española, qué calidad debe tener el agua para sus diferentes usos, qué posibles tratamientos se pueden recomendar para llevar el agua a la calidad deseada según el uso que se le planea dar, y una comparativa de la norma española y colombiana sobre el tratamiento y reutilización de las aguas residuales como contribución a la sección de aporte al conocimiento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

- Apoyo técnico a la empresa DTD en la elaboración de planos, diseños, presupuesto e informes para la obtención de autorizaciones de vertido de las estaciones de servicio de la empresa Cepsa, y apoyo técnico con la elaboración de presupuesto y mediciones para las licitaciones de depuradoras de aguas residuales.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Apoyo técnico en los diseños para la adecuación de las instalaciones para las estaciones de servicio que lo necesiten con el fin de que cumplan los requerimientos que pide el organismo encargado de la zona para la obtención de la autorización de vertido.
- Revisión y corrección de los presupuestos de cada una de las estaciones del proyecto Cepsa para verificar las actividades realizadas y pendientes por estación.
- Apoyo técnico mediante la elaboración de presupuestos, planos y mediciones en campo, para la preparación de las ofertas en las licitaciones que DTD vaya a concursar.

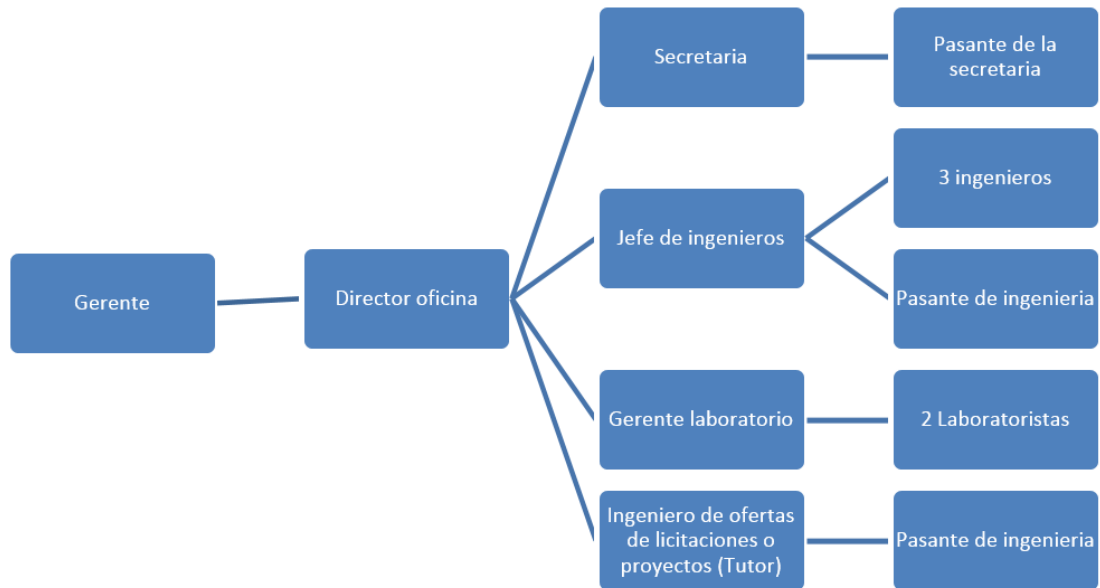
### 3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Desarrollo de Tecnologías de Depuración (DTD), es una empresa de ingenieros creada en 1.998. Su actividad está centrada en la construcción y explotación de infraestructuras relacionadas con el ciclo integral del agua especialmente, en la depuración de aguas residuales. A lo largo de sus 18 años de existencia, se ha consolidado dentro de su sector en la Comunidad Autónoma de Andalucía y tiene proyección de crecimiento a nivel nacional (Desarrollo de Tecnologías de Depuración, n.d.). Dentro de sus proyectos más importantes están:

- EDAR para vinazas de levadura  
Año de construcción: 2015  
Proceso: Digestión anaerobia de contacto  
Cliente: Empresa Municipal de Aguas de Córdoba
  
- EDAR Sair  
Año de construcción: 2014  
Proceso: Fangos activos  
Cliente: AECID- ARIJ
  
- EDAR Colmenar  
Año de construcción: 2014  
Proceso: Contactores biológicos rotativos  
Cliente: Junta de Andalucía
  
- EDAR Cuevas de Becerro  
Año de construcción: 2014  
Proceso: Contactores biológicos rotativos  
Cliente: Junta de Andalucía

La página web de DTD ([www.dtdep.es](http://www.dtdep.es)) presenta el rango de servicios ofrecidos por la empresa, así como también el listado detallado de los proyectos finalizados en los últimos años.

La estructura organizacional de la empresa cuenta con un gerente y un director de oficina que son apoyados por la secretaria, un jefe de ingenieros, un gerente de laboratorio, y un ingeniero de ofertas de licitaciones o proyectos (ver Figura 1). Cada uno de estos cargos cuenta con el apoyo de pasantes, laboratoristas, e ingenieros, de acuerdo a las especificaciones de cada cargo. En mi caso particular, fui pasante de ingeniería al servicio del ingeniero de ofertas de licitaciones o proyectos y del jefe de ingenieros.



**Figura 1.** Estructura organizacional de la empresa DTD.  
Fuente: (Elaboración propia)

#### 4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El “proyecto Cepsa” es un contrato que hizo la petrolera Cepsa con diferentes empresas para la obtención de la autorización de vertidos de sus estaciones de servicio que están localizadas por toda España. Dada la extensión geográfica del área de impacto del proyecto, las estaciones fueron repartidas a diferentes empresas en correspondencia con la zona en la que estuviesen establecidas. DTD es una de las empresas contratadas para trabajar en las estaciones localizadas en la zona de Andalucía y algunas estaciones de la zona de Extremadura. El número de estaciones en las que se ha trabajado ha variado desde el 2014, año en que inició el proyecto, a la actualidad por diversos motivos como el cierre de algunas estaciones y la cesión de estaciones a otras empresas. Actualmente se está trabajando con cerca de 180 estaciones de servicio de las cuales 49 de ellas ya tienen la autorización de vertido.

El objetivo del proyecto Cepsa es obtener la autorización de vertidos de todas sus estaciones de servicio para cumplir con las normas medioambientales del país. Se debe trabajar con dos tipos de estaciones de servicio: las que se pueden conectar a la red de alcantarillado para realizar sus vertidos y las que tiene que verter el agua directamente a una fuente hídrica debido a que están lejos de alguna red de alcantarillado. Mientras que para las estaciones del primer tipo solo se deben tratar

las aguas contaminadas con hidrocarburos (el alcantarillado se encarga de tratar las aguas domésticas y pluviales), las estaciones de segundo tipo tienen un sistema de tratamiento más complejo ya que vierten el agua directamente a fuentes hídricas por lo que deben encargarse del tratamiento de todas sus aguas.

Para cada estación, el trabajo a realizar se resume en las siguientes cinco actividades:

- **Visita y diagnóstico:** Esta etapa consiste en realizar una visita a la estación de servicio para recolectar la información existente y levantar la faltante. La información que se requiere en esta fase es:
  - La autorización de vertido (si cuenta con ella)
  - Localización de todas las zonas de la estación
  - Localización de la red de aguas doméstica
  - Localización de la red de aguas de lavado de vehículos
  - Localización de la red de aguas pluviales
  - Las aguas con posible contaminación de hidrocarburos
  - Lugar de vertimiento de cada tipo de agua
  - Si cuenta con algún tipo de depuración de aguas
  - La cantidad de caudal que lleva la estación
  - Los niveles de contaminación del agua que es vertida
  - Toma de muestras del agua antes de su vertimiento para su análisis posterior
  - El estado general de la estación

Después de la visita se hacen los ensayos de laboratorio con las muestras tomadas para ver su estado y luego se procede a realizar el informe diagnóstico de la estación.

- **Mantenimiento y propuesta de adecuación:** Después de realizar el diagnóstico de la estación se hace su estudio para determinar si la estación cumple con los parámetros dados por el organismo encargado de la zona para la obtención de la autorización. En caso de que la estación no cumpla los parámetros, se procede a realizar una propuesta de adecuación para cumplir con los requisitos para la obtención de la autorización. Este documento se somete a evaluación por parte de Cepsa, quien finalmente toma la decisión de aprobar o rechazar la propuesta y en caso de aprobación, de decidir cuándo se procede a implementar la adecuación.

También se realizan otras actividades que se necesiten dependiendo del estado de las redes de la estación y sus sistemas de tratamiento. Por ejemplo, limpieza

de las arquetas, rejillas, imbornales, decantadores o separador de hidrocarburos por medio de un gestor de residuos peligrosos el cual se encarga de la limpieza y gestionar esos residuos.

- **Ejecución de proyectos de adecuación:** Para los proyectos propuestos en la fase anterior que Cepsa decida realizar, DTD procede a realizar los trámites correspondientes para la obtención de los permisos y realización del proyecto.
- **Autorización de vertido:** Una vez que la estación de servicio cumpla con los requisitos dados por el organismo correspondiente para la obtención de la autorización de vertido, se procede a realizar la solicitud de la autorización. Tiempo después el organismo encargado de la zona de dar la autorización de vertido da respuesta a la solicitud; si todo está completo, el Estado comisiona un funcionario para realizar una revisión de la estación de servicio para verificar el cumplimiento de los requisitos. Dependiendo de esta evaluación, el organismo encargado otorgará o negará la autorización de vertidos. En caso de negación de la solicitud, el organismo informará las falencias encontradas y con base en ellas se procede a realizar las correspondientes correcciones.
- **Control y gestión técnico ambiental (CTA):** Esta es la parte final del proyecto. Consiste en el monitoreo de la operación de la estación para verificar que la estación de servicio continúe con su cumplimiento. Esta etapa consiste en visitas, revisión de las instalaciones, toma de muestras, análisis, asesoramiento técnico y el envío de los informes para dar cumplimiento a las exigencias establecidas en la autorización de vertidos.

## 5 DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

### 5.1 Proyecto de autorización de vertido de las estaciones de servicio Cepsa

Desde el inicio del proyecto Cepsa en 2014, DTD ha logrado obtener autorización de vertido para 49 estaciones de servicio y actualmente está esperando respuesta de autorización para 51 estaciones más. Sin embargo, por diferentes razones, el proyecto está bastante atrasado (pendiente por gestionar autorización de vertido a 80 estaciones). Mi trabajo durante este período de práctica comenzó con la actualización de un presupuesto del proyecto usando el programa *presto*. Fue

necesario revisar, para cada estación, las actividades ejecutadas, pendientes, pagadas y por pagar desde el inicio del proyecto. De esta manera, pude generar un reporte final de actividades pendientes y presupuesto asociado para todas las estaciones del proyecto.

Mi trabajo básicamente se dividió en tres etapas, cada una con duración aproximada de mes y diez días. En la primera etapa realicé el listado de las actividades faltantes para las 180 estaciones de servicio al año 2014 dado que fue durante este año cuando se hizo la mayor cantidad de requerimientos como visitas e informes diagnósticos, autorizaciones de vertido, topografía, y análisis de laboratorio. Entre las actividades faltantes estaban la toma de muestras de aguas residuales de las estaciones de servicio, análisis de laboratorio, informes diagnósticos, planos de las redes, autorizaciones de vertido, proyectos de adecuación y CTA. Después de consolidar la lista, mi trabajo consistió en comenzar a realizar todas las actividades faltantes que se pudieran hacer. Esta primera etapa culminó con la creación de la lista y la realización de 36 de 50 informes diagnósticos que faltaban.

Durante la segunda etapa avancé mucho más rápido dado que tuve mejor entendimiento del proyecto y también mayor dominio en el manejo y búsqueda de información en el servidor de la empresa. En esta etapa terminé los informes diagnósticos que faltaban y culminé todas las actividades que faltaban por realizar del año 2014 (mencionadas en el párrafo anterior), excepto por la toma de muestras, los análisis del laboratorio y las autorizaciones de vertido ya que la toma de muestras y sus análisis son función del laboratorio. Para el caso de las autorizaciones de vertido, este requerimiento se cumple solo hasta que las estaciones cumplan con los requerimientos que en muchos casos implican la construcción de algunas obras de adecuación. También obtuve el listado de las actividades faltantes del año 2015 y 2016, que consisten en CTA, informes de gestión de residuos, informes de incidencia, proyectos de adecuación, toma de muestras y análisis de laboratorio, las cuales se encontraban en desarrollo en esa etapa. También tuve la responsabilidad de manejar dos plataformas informáticas que creó Cepsa para el proyecto. La primera plataforma se creó para el ingreso de los albaranes de gestión de residuos peligrosos de las estaciones de servicio y la segunda plataforma se creó para el ingreso de documentación como solicitudes de la autorización de vertido, licencias de obra, planos de las redes de agua, presupuestos y autorizaciones de vertido.

En la tercera y última etapa de mi pasantía terminé todas las actividades que faltaban por realizar del proyecto Cepsa exceptuando, como se explicó en el párrafo

anterior, los análisis de laboratorio y las autorizaciones de vertido. Las actividades terminadas incluyeron alrededor de 30 informes de limpiezas de residuos, 50 informes diagnósticos, y 45 CTAs. Adicionalmente, dejé actualizado el presupuesto del proyecto de Cepsa, ingresé toda la documentación a las plataformas informáticas mencionadas en el párrafo anterior, y organicé la información del proyecto en el servidor de la empresa creando carpetas por cada actividad (autorizaciones de vertido, CTA, pruebas de laboratorio, proyectos de adecuación, informes diagnósticos, informes de gestión de residuos, y topografía). En cada carpeta se almacenó separadamente la información correspondiente a cada una de las estaciones. Finalmente, entregué un informe final de mi trabajo a DTD.

## **5.2 Otras actividades**

### **5.2.1 Toma de muestras de aguas domésticas tratadas.**

Como parte de un proyecto contratado entre DTD y una fábrica de mármol en Gilena (Piedras y Mármoles San Isidro) tuve que trabajar con un laboratorista para tomar muestras de agua doméstica después de ser tratada por un sistema compuesto por un decantador seguido de un lecho bacteriano. El objetivo de esta tarea fue verificar si el agua tratada cumplía con la normativa (Mapama, Real Decreto 509, 1996). El procedimiento consistió en colocar un toma muestras automático en la arqueta donde se encontraba el agua depurada (ver Figura 2) para tomar muestras cada hora por un período de 24 horas. Finalizado el período regresamos a recoger las muestras tomadas y procedimos a combinar esas 24 muestras en una sola, después realizamos la analítica del agua que consistía en analizar el pH, conductividad, DBO, DQO y SS. El pH y la conductividad se realizaron *in situ* con un medidor multiparámetro (ver Figura 3). La DBO, DQO y SS fueron realizadas en el laboratorio.

### **5.2.2 Preparación de presupuesto para la licitación de proyectos.**

Durante el período de práctica tuve la oportunidad de apoyar al ingeniero de preparación de ofertas de licitaciones y proyectos con la elaboración de tres ofertas. La primera fue preparada para la comunidad autónoma de Asturias que emitió una licitación para la construcción de una E.D.A.R temporal en Bimenes. Mi asignación de trabajo para esta preparación de oferta fue realizar el cronograma de la obra en el software *Microsoft Project* y crear un plan de gestión de residuos para la realización de la obra.



**Figura 2.** Toma muestras automático.



**Figura 3.** Medidor multiparamétrico.

La segunda licitación en la que participé fue sacada a concurso por la diputación de Sevilla para El Madroño. El objeto de la licitación fue la mejora de una potabilizadora ya que en cierta época del año la planta de tratamiento a intervenir recibe caudales que exceden su capacidad máxima por lo que se requirió la construcción de otro decantador lamelar similar al que ya existe. Mi trabajo en la preparación de esta oferta consistió en hacer el plano del decantador lamelar en 2 y 3 dimensiones, sacar las cantidades de acero de los perfiles y láminas de acero del decantador, y montar el presupuesto de obra en el software *presto*.

Finalmente, la última licitación fue emitida por el municipio de Valladolid para la construcción de tres plantas de tratamiento de agua residual para los pueblos de Esguevillas de Esgueva, Valoría la Buena y Quintanilla de Onésimo. Cada planta requería un tratamiento distinto. La primera tendría un sistema de tratamiento con humedales el cual es un tratamiento ecológico con muy poco consumo energético; la segunda planta tendría un sistema de tratamiento con lecho bacteriano, y la última planta tendría un sistema de tratamiento con biodiscos. Mi trabajo en esta preparación de oferta consistió en realizar el presupuesto en el software *presto* y en solicitar cotizaciones de materiales a diferentes fabricantes para poder dar una buena oferta económica.

## 6 APOORTE AL CONOCIMIENTO

Esta sección de aporte al conocimiento se divide en tres partes que están directamente relacionadas con lo aprendido por las actividades realizadas durante mi período de práctica empresarial. La primera habla del tratamiento de aguas residuales en general; los componentes de una EDAR, cual es la función de cada componente, las posibles reutilizaciones del agua tanto de la norma española como de la colombiana haciendo una pequeña comparación entre ellas, e introducir una guía de aplicación que tiene la norma española. La segunda parte habla del tratamiento de aguas residuales en una estación de servicio, enfatizado en el tratamiento de las aguas contaminadas con hidrocarburos y, finalmente, la tercera parte con ánimo de proveer herramientas para los lectores de este documento, presento un ejemplo de una EDAR construida recientemente por DTD.

### 6.1 Etapas para el tratamiento de agua residuales y reutilización del agua

El tratamiento de aguas residuales consta de cuatro etapas (Von Sperling, 2007) que se describen a continuación con el apoyo de fotografías pertenecientes a DTD de una planta de tratamiento en el pueblo de Guadalcanal, Sevilla, España.

**Tratamiento Preliminar:** Ocurre a través de una secuencia de unidades de tratamiento encargadas de modificar la distribución del tamaño de las partículas presentes en el agua residual. Los procesos usados son de tamizado, remoción de partículas, filtración, homogeneización de caudal, y tanque séptico. Todos estos buscan generar una mayor efectividad en los tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

La EDAR de Guadalcanal posee un tratamiento preliminar por donde empieza el recorrido del agua residual pasando primero por un tamizado de gruesos (ver Figura 4), luego por un tamiz rotativo (ver Figura 5) y finalmente, un desarenador (ver Figura 6) para posteriormente pasar al tratamiento primario.



**Figura 4.** Tamizado de gruesos (tratamiento preliminar).

Fuente: DTD



**Figura 5.** Tamiz rotatorio (tratamiento preliminar).

Fuente: DTD



**Figura 6.** Desarenado (tratamiento preliminar).

Fuente: DTD

**Tratamiento Primario:** Consiste en la reducción de aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Para ello se usan diferentes procesos como: la remoción de sólidos, remoción de arenas, sedimentación, filtros de disco rotatorio, tanque séptico, etc.

La fase de tratamiento primario de la EDAR de Guadalcanal consiste de un decantador primario que es como una especie de tanque séptico (ver Figura 7) encargado de la remoción de sólidos para posteriormente pasar a la fase del tratamiento secundario.



**Figura 7.** Decantador primario.

Fuente: DTD

**Tratamiento Secundario y Terciario:** Consisten en la degradación sustancial del contenido biológico del agua residual, que se deriva de los desechos orgánicos para mejorar la calidad del efluente. Los diferentes procesos usados para este fin son: lagunas, humedales artificiales, filtros, unidades de tratamiento biológico aerobio y anaerobio, tratamiento acuático, aireación y la desinfección con cloro o radiación UV.

La fase de tratamiento secundario de la EDAR de Guadalcanal está compuesta por un lecho bacteriano (ver Figura 8) que consiste básicamente en dejar caer el agua residual en forma de lluvia en un relleno de cierto material donde el agua va descendiendo y siendo depurada por microorganismos depuradores. En esta EDAR el agua baja y sube del lecho varias veces antes de ser llevada al decantador secundario (ver Figura 9) que consiste en la decantación de los fangos ya que el tratamiento de las aguas residuales genera gran cantidad de ellos y la cantidad varía de un tipo de tratamiento a otro. Estos fangos generados tienen que ser tratados o secados adecuadamente para ser posteriormente retirados por un gestor de residuos peligrosos o si cumple con las condiciones, ser usado como abono para la agricultura. Esta EDAR posee un sistema de secado de fangos (ver Figura 10).



**Figura 8.** Lecho bacteriano (tratamiento secundario).  
Fuente: DTD



**Figura 9.** Decantador secundario.  
Fuente: DTD



**Figura 10.** Secado de fangos (tratamiento secundario).  
Fuente: DTD

La EDAR de Guadalcanal no posee tratamiento terciario ya que este tratamiento se ejecuta principalmente para propósitos de reutilización del agua. Generalmente, si el agua va a ser retornada a una fuente hídrica, el tratamiento secundario puede ser suficiente. Es importante resaltar que el diseño de la planta de tratamiento debe tener en cuenta la calidad del agua a tratar y el uso final del agua. Esto determina la rigurosidad en la implementación de las etapas de tratamiento y los tipos de tratamiento a implementar.

### Reutilización del agua depurada

La normatividad española para la reutilización de aguas depuradas es R.D 1620/2007. De acuerdo a esta normatividad, el Ministerio del medio ambiente y medio rural y marino (antes denominado Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente - mapama), ofrece una guía para la aplicación de la normativa (Mapama, Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007, 2007). La Tabla 6 de esta guía (ver Figura 11) presenta los diferentes usos que se pueden dar a las aguas depuradas de acuerdo a los niveles de calidad. Cabe aclarar que estas normativas de reutilización son una mejora de los estándares de calidad del agua depurada ya establecidos por la normativa principal para el tratamiento de aguas residuales de cada país; en otras palabras, el agua depurada también debe cumplir la normativa (Mapama, Real Decreto 509, 1996) para España y la normativa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015) para el caso de Colombia.

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

**Figura 11.** Tipos de calidad según los límites bacteriológicos del RD de reutilización.

Fuente: Tomado directamente de la Tabla 6 de (Mapama, Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007, 2007).

Las siguientes tablas (ver Figuras 12, 13 y 14) son tomadas de la normativa colombiana para la reutilización de las aguas depuradas (Resolución 1207 de 2014, artículo 7) y presentan los criterios de calidad de agua residual tratada para sus diferentes usos.

### Uso agrícola (ver Figura 12):

- Cultivo de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.

Variable	Unidad de Medida	Valor Límite Máximo Permisible
<b>FÍSICOS</b>		
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0
Conductividad	µS/cm	1.500,0
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,0*E(+5)
Enterococos Fecales	NMP/100 mL	1,0*E(2)
Helmintos Parásitos Humanos	Huevos y Larvas/L	1,0
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	1,0
<i>Salmonella sp</i>	NMP/100 mL	1,0
<b>QUÍMICOS</b>		
Fenoles Totales	mg/L	1,5
Hidrocarburos Totales	mg/L	1,0
<b>Iones</b>		
Cianuro Libre	mg CN/L	0,2
Cloruros	mg Cl/L	300,0
Fluoruros	mg F/L	1,0
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	500,0
<b>Metales</b>		
Aluminio	mg Al/L	5,0
Berilio	mg Be/L	0,1
Cadmio	mg Cd/L	0,01
Cinc	mg Zn/L	3,0
Cobalto	mg Co/L	0,05
Cobre	mg Cu/L	1,0
Cromo	mg Cr/L	0,1
Hierro	mg Fe/L	5,0
Mercurio	mg Hg/L	0,002
Litio	mg Li/L	2,5
Manganeso	mg Mn/L	0,2
Molibdeno	mg Mo/L	0,07
Niquel	mg Ni/L	0,2
Plomo	mg Pb/L	5,0
Sodio	mg Na/L	200,0
Vanadio	mg V/L	0,1
<b>Metaloides</b>		
Arsénico	mg As/L	0,1
Boro	mg B/L	0,4
<b>No metales</b>		
Selenio	mg Se/L	0,02
<b>Otros parámetros</b>		
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl <sub>2</sub> /L	Menor a 1,0
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	5,0

**Figura 12.** Requisitos de la calidad de agua para la reutilización en uso agrícola.

Fuente: Tomado directamente de la Tabla 1 de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

### Riego de áreas verdes (ver Figura 13):

- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento y jardines en áreas no domiciliarias

Variable	Unidad de Medida	Valor Limite Máximo Permisible
<b>FISICOS</b>		
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0
Conductividad	µS/cm	1.500,0
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,0*E(+4)
Enterococos Fecales	NMP/100 mL	1,0
Helminthos Parásitos Humanos	Huevos y Larvas/L	5,0
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	1,0
Salmonella sp	NMP/100 mL	1,0
<b>QUÍMICOS</b>		
Fenoles Totales	mg/L	0,002
Hidrocarburos Totales	mg/L	1,0
<b>Biocidas</b>		
2,4 D ácido	mg/L	0,0001
Diurón	mg/L	0,0001
Glifosato	mg/L	0,0001
Mancozeb	mg/L	0,0001
Propineb	mg/L	0,0001
<b>Iones</b>		
Cianuro Libre	mg CN/L	0,2
Fluoruros	mg F/L	1,0
<b>Metales</b>		
Aluminio	mg Al/L	5,0
Berilio	mg Be/L	0,1
Cadmio	mg Cd/L	0,01
Cinc	mg Zn/L	3,0
Cobalto	mg Co/L	0,05
Cobre	mg Cu/L	1,0
Cromo	mg Cr/L	0,1
Hierro	mg Fe/L	5,0
Litio	mg Li/L	2,5
Manganeso	mg Mn/L	0,2
Mercurio	mg Hg/L	0,002
Molibdeno	mg Mo/L	0,07
Niquel	mg Ni/L	0,2
Vanadio	mg V/L	0,1
<b>Metaloides</b>		
Antimonio	mg Sb/L	0,05
Arsénico	mg As/L	0,1
<b>No Metales</b>		
Selenio	mg Se/L	0,02
<b>Otros</b>		
Cloro Total Residual (con mínimo 30 minutos de contacto)	mg Cl <sub>2</sub> /L	Menor a 1,0
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L	5,0

**Figura 13.** Requisitos de la calidad de agua para la reutilización en uso de riego de arenas verdes en parques, campos deportivos y jardines no domiciliados.

Fuente: Tomado directamente de la Tabla 2 de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

### Uso industrial (ver Figura 14):

Variable	Unidad de Medida	Valor Limite Máximo Permisible			
		Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas	Descarga de Aparatos Sanitarios	Limpieza de mecánica de vías y Riego de vías para el control de material particulado.	Sistemas de redes contraincendio
<b>FISICOQUÍMICOS</b>					
pH	Unidades de pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+3)	1,0*E(+4)	1,0*E(+3)	1,0*E(+1)
Helminthos Parásitos Humanos	Huevos y Larvas/L	0,1	1,0	1,0	0,1
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	0,0	1,0	1,0	1,0
Salmonella sp.	NMP/100 ml	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>QUÍMICOS</b>					
Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX)	mg/L	0,001		0,001	
Esteres Ftalatos	mg/L	0,005		0,005	
Fenoles	mg/L	0,002		0,002	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	0,01		0,01	
<b>Biocidas</b>					
2,4 D ácido	mg/L	0,0001		0,0001	
Diurón	mg/L	0,0001		0,0001	
Glifosato	mg/L	0,0001		0,0001	
Mancozeb	mg/L	0,0001		0,0001	
Propineb	mg/L	0,0001		0,0001	
<b>Iones</b>					
Cianuro Libre	mg CN/L	0,05			
Cloruros	mg Cl/L	300,0		300,0	300,0
Fluoruros	mg F/L	1,0			
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L	500,0		500,0	500,0
<b>Metales</b>					
Aluminio	mg Al/L	5,0		5,0	
Berilio	mg Be/L	0,1		0,1	
Cadmio	mg Cd/L	0,01		0,01	
Cinc	mg Zn/L	3,0		3,0	
Cobalto	mg Co/L	0,05		0,05	
Cobre	mg Cu/L	1,0		1,0	
Cromo	mg Cr/L	0,1		0,1	
Piomo	mg Pb/L	5,0		5,0	

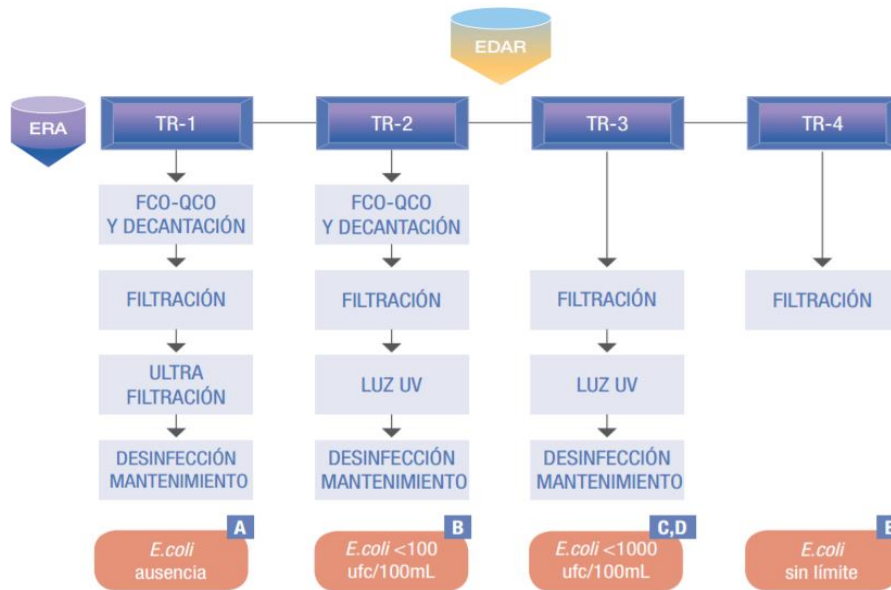
**Figura 14.** Requisitos de la calidad de agua para la reutilización en uso industrial.

Fuente: Tomado directamente de la Tabla 3 de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Las Figuras 11-14 presentan los criterios establecidos por las normativas española y colombiana para la reutilización de las aguas residuales tratadas y los requisitos de calidad del agua que exige cada una de las normas dependiendo del uso. Vemos que ambas normas tienen cierta similitud con los posibles usos que se le puede dar al agua residual tratada que son el agrícola, el riego y el industrial. Vale la pena anotar que el reúso del agua para usos urbanos está establecido solo para la norma española. Otro punto por destacar es que la normativa española (ver Figura 11) muestra solo los requisitos de calidad bacteriológica del agua debido a que el condicionante esencial en los tratamientos de regeneración es el nivel de desinfección y por eso la normativa agrupa los usos según la calidad bacteriológica que se requiere a comparación de la normativa Colombia que en sus tablas muestra todos los otros estándares de calidad aparte de los bacteriólogos (físico-químicos, químicos, biocidas, iones y metales) Esto no quiere decir que la norma española no considere estos estándares sino que estos requerimientos son considerados en la normativa principal (Mapama, Real Decreto 509, 1996). Es por esto que la Figura 11 se centra en los criterios bacteriológicos y de turbidez del agua para la reutilización.

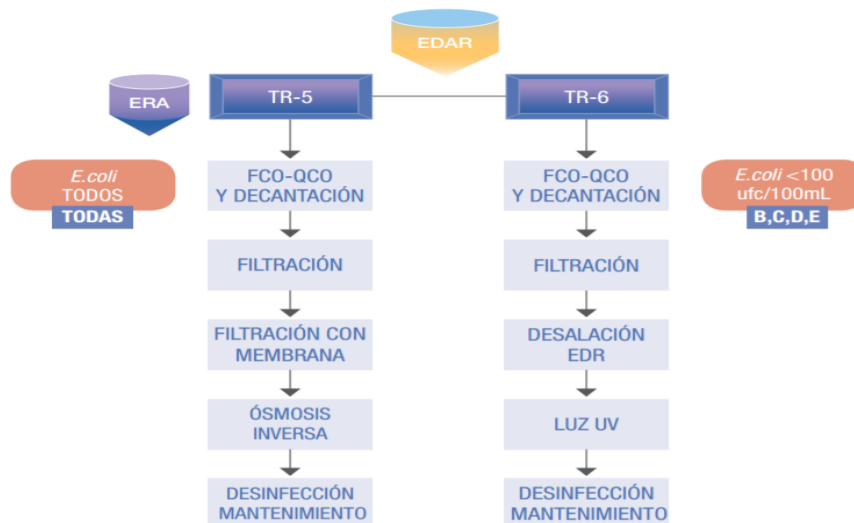
### **Tratamientos propuestos por la normativa española**

La guía de aplicación R.D. 1620/2007 propone de forma general una serie de tratamientos para la regeneración que se pueden aplicar de acuerdo al uso que se quiera dar al agua depurada (ver Figuras 15 y 16). En cada una de las series (TR-X) que propone la guía se muestran los tipos de tratamientos que podrían funcionar para llegar al nivel de calidad especificada al final de la serie, es decir, que según los tratamientos aplicados en cada serie el agua depurada tendrá el tipo de calidad A, B, C, D o E (ver Figura 11). Las primeras cuatro series de tratamientos que plantea la guía son para la regeneración de aguas sin contenidos de sal (ver Figura 15) y las dos siguientes series son para la regeneración de aguas con contenidos de sal (ver Figura 16). Es importante aclarar que la guía recomienda que cada caso sea estudiado individualmente para asegurar la selección adecuada del método.



**Figura 15.** Tratamientos de regeneración propuestos sin desalación.

Fuente: Tomado directamente de la Figura 13 de (Mapama, Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007, 2007).



**Figura 16.** Tratamientos de regeneración propuestos con desalación.

Fuente: Tomado directamente de la Figura 14 de (Mapama, Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007, 2007).

## 6.2 Tratamiento de las aguas en estaciones de servicio

El tratamiento de las aguas para las estaciones de servicio del proyecto Cepsa, depende de la existencia o no de una conexión al sistema de alcantarillado. Se presenta a continuación el proceso para cada caso.

### **Estación con conexión a la red de alcantarillado:**

Para este tipo de estaciones el tratamiento de sus aguas es muy sencillo puesto que solo se deben tratar las aguas que estén propensas a contaminarse con hidrocarburos. Esto ocurre en la zona de repostaje, descarga de combustible y las zonas de lavado de vehículos. Antes de tratar el agua contaminada con hidrocarburos se debe tener un buen sistema de recogida de las aguas y a su vez se aconseja tener una red separada para las aguas contaminadas con hidrocarburos, especialmente separar la red de las aguas domésticas de la red de aguas contaminadas para evitar posibles atascos en el sistema de tratamiento. Después se procede al tratamiento que consiste en el diseño de un decantador de lodos y arenas y un separador de hidrocarburos (más adelante se presenta el diseño del separador). Con esos dos sistemas se depura el agua contaminada con hidrocarburos para posteriormente ser vertida a la red de alcantarillado.

Para el caso de las aguas domésticas y pluviales, estas pueden ser vertidas directamente a la red de alcantarillado que es la que se encarga posteriormente de tratar esas aguas.

### **Estación sin conexión a la red de alcantarillado:**

Para este tipo de estación las aguas tienen que ser vertidas directamente al terreno o a una fuente hídrica. Para las aguas contaminadas con hidrocarburos, el sistema de tratamiento no cambia porque con ese tratamiento se remueve gran parte de los mismos. La diferencia es que en vez de verter el agua tratada a la red de alcantarillado se puede verter al terreno por medio de un pozo filtrante o posiblemente directamente a una fuente hídrica.

Para el caso de las aguas domésticas, estas no se pueden verter directamente a la fuente hídrica o al terreno sin ningún tratamiento por lo que tienen que ser tratadas por la estación. El tratamiento consiste en la construcción de una EDAR consistente en muchos casos de un decantador y un lecho bacteriano pero vale la pena resaltar nuevamente que el diseño depende mucho de la calidad del agua.

#### **6.2.1 Cálculo de la capacidad del separador de hidrocarburos para el tratamiento de las aguas contaminadas en las estaciones de servicio**

El separador de hidrocarburos se vende según su capacidad por ejemplo 3 l/s, 6 l/s, etc. Básicamente el diseño del separador consiste en calcular el caudal instantáneo que se va a tratar para así poder escoger la unidad apropiada de acuerdo a la capacidad requerida. Se requieren tres pasos para el cálculo:

- 1) Identificación de la superficie de los focos potenciales de contaminación.
- 2) Cálculo de precipitaciones máximas e intensidad de lluvia.
- 3) Transformación de precipitación en escorrentía superficial.

El siguiente ejemplo presenta el procedimiento para el cálculo del caudal requerido para definir la capacidad del separador de hidrocarburos. Este ejemplo fue tomado de una parte de un proyecto de adecuación para una estación de servicio Cepsa.

### Definición del caudal de aguas de origen pluvial

Este caudal se obtiene a partir de la determinación de la superficie correspondiente a las zonas potenciales de contaminación: zona de repostaje de los diferentes combustibles y zona de descarga, desde los camiones-cisterna a los tanques de almacenamiento de combustible; y mediante la aplicación de los valores de intensidad de lluvia, así como de determinados coeficientes correctores.

#### 1) Superficie de los focos potenciales de contaminación

El área potencial de recogida de aguas con posibles restos de hidrocarburos y aceites es:

290 m<sup>2</sup> en zonas cubiertas  
12 m<sup>2</sup> en zonas no cubiertas

#### 2) Cálculo de precipitaciones máximas e intensidad de lluvia

Para la determinación de la intensidad de lluvia, se ha utilizado la publicación “Mapa de Máximas Lluvias en la España Peninsular”, editada por el Ministerio de Fomento. En la Figura 17 se representa el mapa de isoyetas y coeficiente de variación de la zona donde se ubica la estación (indicada por el óvalo rojo).

Puede observarse que la estación de servicio se encuentra en la isoyeta 54, por lo que la curva de coeficiente de variación será  $CV = 0,36$ .

Con la ayuda de la siguiente tabla, pueden obtenerse los valores del “factor de amplificación ( $K_t$ )”, para diferentes períodos de retorno.

	Período de retorno en años (T)							
CV	2	5	10	25	50	100	200	500
0,36	0,919	1,225	1,446	1,747	1,991	2,251	2,525	2,892

Fuente: DTD



### 3) Transformación de precipitación en escorrentía superficial

Existen diversos métodos para la estimación de caudales asociados a datos de precipitación. Podemos destacar, entre otros, el “Método Racional de Témez”, el “Método Racional modificado de Témez” o el método SCS. El método de estimación de los caudales asociados a distintos períodos de retorno depende del tamaño y naturaleza de la cuenca cedente. Para cuencas pequeñas son apropiados los métodos hidrometeorológicos basados en la aplicación de una intensidad media de precipitación a la superficie de la cuenca, a través de una estimación de su escorrentía. Ello equivale a admitir que la única componente de esa precipitación que interviene en la generación de caudales máximos es la que escurre superficialmente. En las cuencas grandes estos métodos pierden precisión y, por tanto, la estimación de los caudales es menos correcta; por otra parte, en estas cuencas suele disponerse de información directa sobre niveles o caudales de avenidas.

El caudal de referencia  $Q$  en el punto de desagüe una cuenca o superficie se obtendrá mediante la fórmula del método racional modificado de Témez (Temez).

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} * K$$

donde:

$Q$  = caudal pico en  $m^3/s$

$C$  = coeficiente de escorrentía

$I$  = intensidad de la tormenta de diseño en  $mm/h$

$A$  = superficie de la cuenca en  $km^2$

$K$  = coeficiente de uniformidad

En este caso, el parámetro a calcular es  $Q$ . Para ello se tendrá que definir previamente los valores de:

$C$ : Al tratarse de una superficie pavimentada, su valor ascenderá a 0,9

$A$ : Se distinguen dos superficies: la protegida con la marquesina y la no protegida.

Superficie de influencia bajo marquesina =  $290 m^2$ .

Superficie de influencia sin protección de marquesina =  $12 m^2$

$K$ : Para la determinación de este valor, se utilizará la siguiente expresión:

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

donde:

$T_c$  = tiempo de concentración en horas

La expresión para el cálculo del parámetro Tiempo de Concentración  $T_c$ , responde a:

$$T_c = 0.3 * \frac{L^{0.76}}{J^{1/4}}$$

donde:

$T_c$  = tiempo de concentración en horas

$L$  = longitud de cauce principal en km

$J$  = pendiente del cauce principal

Sin embargo, debido a que el parámetro  $L$  presenta valores muy pequeños (en algunos casos inferiores a 10 m), unido a que el parámetro  $J$  no es uniforme en todo su recorrido, no resulta de aplicación la expresión anterior. En este sentido, la Instrucción 5.2 IC de drenaje (Ministerio de fomento, 5.2-IC Drenaje Superficial, de la Instrucción de Carreteras, 1990), establece que "...si el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno fuera relativamente apreciable, como es el caso de la plataforma de la carretera y de los márgenes que a ella vierten, la fórmula anterior no resulta aplicable. Si el recorrido del agua sobre la superficie fuera menor de treinta metros, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de cinco minutos."

Por tanto, se adoptará el parámetro  $T_c = 0,0833$  h (5 min)

En cuanto a  $I$  (intensidad de lluvia) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{It}{Id} * \frac{I1}{Id} \frac{28^{0.1} * t^{0.1}}{28^{0.1} * 1}$$

donde:

$It$  = intensidad media de la tormenta de diseño en mm/h

$Id$  = intensidad media diaria en mm/h

$I1$  = intensidad media de la tormenta de 1 hora de duración

$t$  = duración de la tormenta de diseño e igual al tiempo de concentración

El parámetro  $I1/Id$  es variable según la localización geográfica de estudio, atendiendo al siguiente mapa (Figura 18):

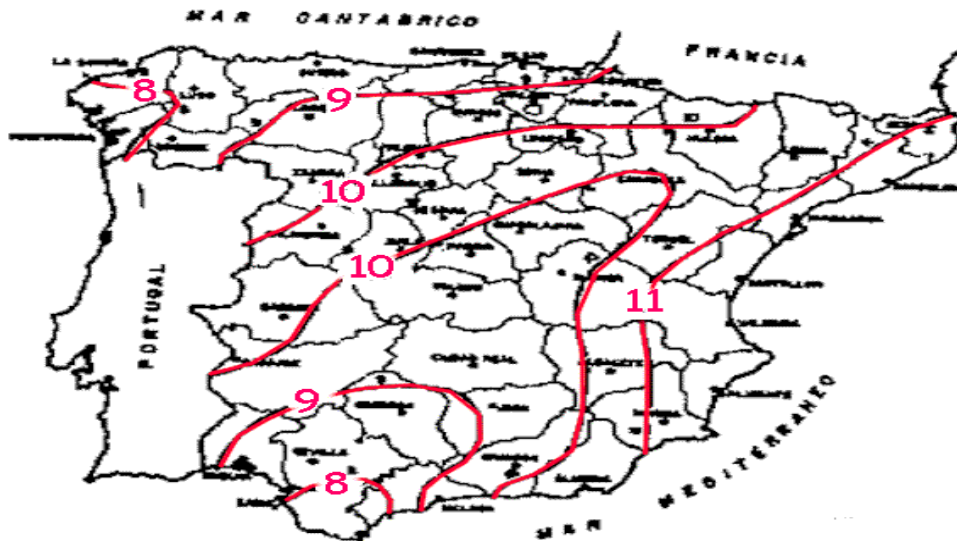


Figura 18. Mapa parámetro I1/Id

Fuente: (Ministerio de fomento, Centro de estudios hidrograficos, & CEDEX, Máximas lluvias diarias en la españa peninsular, 1999)

Según esto, corresponderá:  $I1/Id = 8,5$

Partiendo los datos anteriores se obtiene:

Datos de partida Periodo de retorno de 10 años					
Pd (zona no cubierta)	mm/día	78.08	Pd (zona cubierta)	mm/día	7.81
Id (zona no cubierta)	mm/h	3.25	Id (zona cubierta)	mm/h	0.33
Superficie (zona no cubierta)	m2	12.00	Superficie (zona cubierta)	m2	290
Coef. Escorrentía	Asfalto	0.9	Coef. Escorrentía	Asfalto	0.9

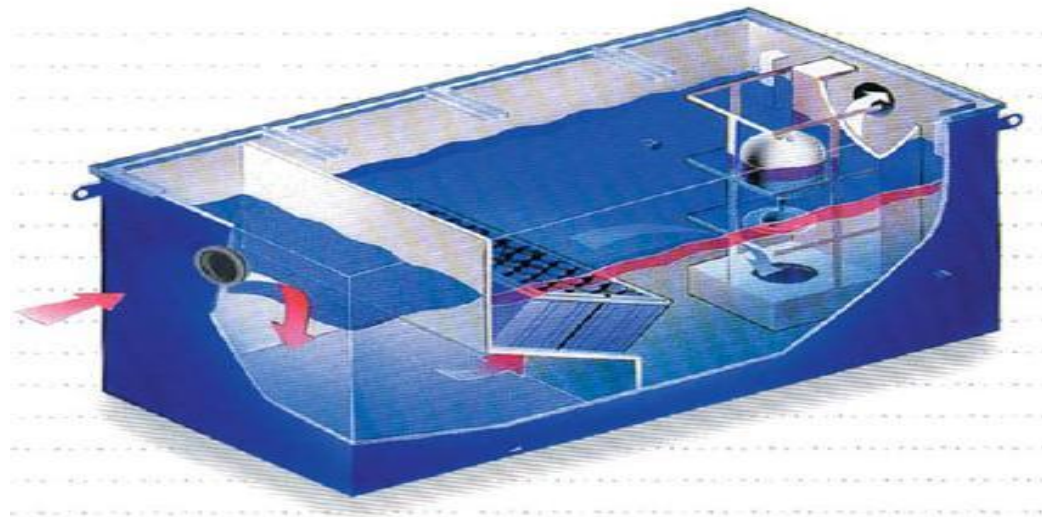
Zona no cubierta			Zona cubierta		
Parámetro	Unidades	Valor	Parámetro	Unidades	Valor
Q	m3/s	0.00027	Q	m3/s	0.00066
C		0.9	C		0.9
I	mm/h	90.8820	I	mm/h	9.0999
A	Km2	0.000012	A	Km2	0.00029
K		1.0032	K		1.0032
Tc	h	0.0833	Tc	h	0.0833
It		90.8820	It		9.0999
Id		3.2500	Id		0.3254
I1/Id		8.5	I1/Id		8.5
Exp		1.5565	Exp		1.5565

Q Total	
0.00094	m3/s
0.94	l/s

Fuente: DTD

De esta forma queda justificada la validez del separador de hidrocarburos seleccionado, diseñado para tratar un caudal instantáneo de 3 l/s. La Figura 19 presenta un esquema de un separador de hidrocarburos.



**Figura 19.** Esquema del separador de hidrocarburos.  
Fuente: DTD

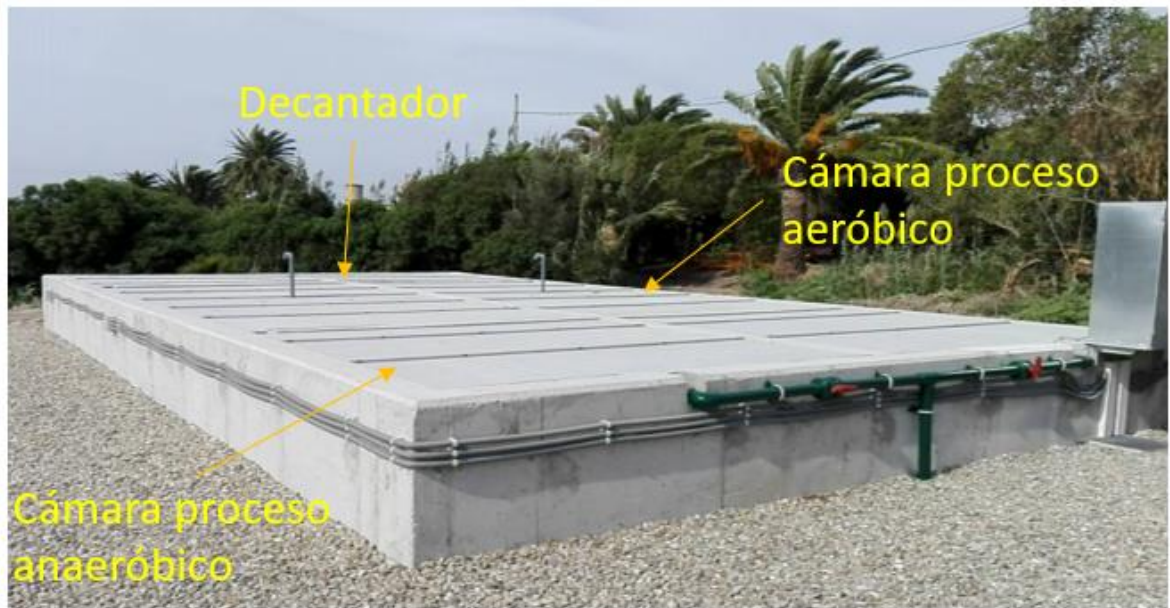
### 6.3 Descripción de una planta de tratamiento de agua residual (EDAR)

Esta sección presenta la descripción de una planta de tratamiento construida en el municipio de Tarifa (ver Figura 20). La descripción y fotografía se presentan como resultado de una visita de campo realizada a la planta que estaba recién terminada. La planta sirve para tratar las aguas domésticas de un hotel que cuenta con 50 habitaciones y el sistema de tratamiento está compuesto de 5 partes así:

- 1. Pozo de bombeo:** En el pozo de bombeo se reciben todas las aguas residuales del hotel que son bombeadas desde allí a través de todo el sistema.
- 2. Cámara de proceso anaeróbico:** En esta parte del sistema se reciben las aguas del pozo de bombeo y en ella se descompone la materia biodegradable por medio de microorganismos en ausencia de oxígeno. Este proceso produce biogás que puede ser usado como fuente energética.
- 3. Cámara de proceso aeróbico:** El proceso aeróbico es similar al anterior con la diferencia de que no hay ausencia de oxígeno. En esta unidad se usan bombas para mantener la aireación de la cámara. En este proceso los microorganismos actúan sobre la materia orgánica disuelta.

**4. Cámara de decantación:** En este proceso final se busca eliminar las partículas por sedimentación.

**5. Pozo filtrante:** Esta parte del sistema consiste en una excavación rellena de gravas y arenas gruesas donde se vierte el agua tratada con el fin de filtrarla en el terreno para su disposición final. Existe una arqueta toma muestras a la entrada del pozo filtrante para verificar que se cumplan los requerimientos de calidad de agua que se va a infiltrar en el terreno.



**Figura 20.** Vista exterior de la planta de tratamiento de aguas residuales del hotel.  
Fuente: DTD

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante estos cuatro meses de mi práctica en ingeniería civil en la empresa DTD en Sevilla, España, logré cumplir todos los objetivos propuestos al principio de la práctica tanto en el proyecto de Cepsa que era mi trabajo principal, como en las otras actividades que realicé paralelamente. Para el caso del proyecto Cepsa logré entregar el presupuesto actualizado, terminar en su totalidad las actividades faltantes exceptuando los laboratorios y autorizaciones de vertido que no dependían de mí para ser realizadas y finalmente, logré el objetivo del apoyo en la preparación de tres ofertas para licitaciones de la cual una fue adjudicada a la empresa.

Esta práctica fue muy gratificante para mí ya que por el trabajo realizado logré fortalecer mi conocimiento sobre los tratamientos de las aguas residuales, sus normativas y específicamente, el tratamiento de las aguas contaminadas con hidrocarburos, tal y como lo presento en la sección de aporte al conocimiento. Un análisis comparativo de las normativas españolas y colombianas en estos temas, sugiere elementos similares aunque cada una toma en cuenta ciertos aspectos más que otros por lo que son adaptadas a las condiciones que presenta cada país. Un aspecto que sería muy interesante que Colombia incorporara es la creación de una guía de aplicación de la normativa de la reutilización del agua depurada, en la que se recomendaran posibles tratamientos (como lo hace la normativa española) pero que sean adaptados a la situación Colombiana. De esta manera, se incentivaría la reutilización del agua depurada para diferentes usos y así se podría contribuir significativamente a la conservación del medio ambiente.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Small and decentralized Wasterwater Management Systems*. McGraw-Hill.
- Desarrollo de Tecnologías de Depuración. (s.f.). Obtenido de dtd:  
<http://www.dtdep.es/esp/index.html>
- Mapama. (29 de Marzo de 1996). Real Decreto 509. *Codigo de Aguas Normativa Estatal*. España. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/1996/03/29/pdfs/A12038-12041.pdf>
- Mapama. (2007). Guia para la Aplicacion del R.D. 1620/2007. *Regimen Juridico de la Reutilizacion de las Aguas Depuradas*. España. Obtenido de Gobierno de España:  
[http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA\\_RD\\_1620\\_2007\\_\\_tcm7-178027.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA_RD_1620_2007__tcm7-178027.pdf)
- Mapama. (8 de Diciembre de 2007). Real Decreto 1620. *Codigo Aguas Normativa Estatal*. España. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2007/12/08/pdfs/A50639-50661.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (07 de Marzo de 2015). Resolucion 0631. Bogota, Cundinamarca, Colombia. Obtenido de  
[http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Economico. (Noviembre de 2000). Titulo E Tratamiento de Aguas Residuales. *Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico Ras-2000*. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Ministerio de fomento. (14 de Mayo de 1990). 5.2-IC Drenaje Superficial, de la Instrucción de Carreteras. *5.2-IC Drenaje Superficial*. Obtenido de  
[https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2482CE5B-4577-4E8D-81CF-C5E18DA53679/136083/ORDENFOM\\_298\\_2016.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2482CE5B-4577-4E8D-81CF-C5E18DA53679/136083/ORDENFOM_298_2016.pdf)
- Ministerio de fomento, Centro de estudios hidrograficos, & CEDEX. (1999). Máximas lluvias diarias en la españa peninsular. Espana.
- Temez, J. (s.f.). Metodo racional modificado de Temez. Obtenido de [http://lab-hidrologia.uca.es/metodo\\_temez\\_modificado/](http://lab-hidrologia.uca.es/metodo_temez_modificado/)
- Von Sperling, M. (2007). *Waster Characteristics, Treatment and Disposal*. London: IWA.