

# METODOLOGÍA GRÁFICA PARA EL DISEÑO EN INGENIERÍA QUÍMICA

Irene Sentana Gadea (1), Roberto Tomás Jover (1), M<sup>a</sup>Carmen Díaz Ivorra (1), Eloy Sentana Cremades (1), Ignacio Ferreiro Prieto(1)

<sup>(1)</sup>Universidad de Alicante, España  
Escuela Politécnica Superior, Departamento de Expresión Gráfica y Cartografía  
Correo electrónico: irene.sentana@ua.es

## RESUMEN

En el presente trabajo se plantea una metodología para el diseño de plantas o elementos químicos teniendo en cuenta el carácter multidisciplinar de esta ingeniería, donde el cálculo de los elementos genera unas definiciones geométricas que hay que encajar el conjunto de la planta.

Por otro lado los condicionantes de los reglamentos tanto de seguridad como de la propia normativa en función del tipo de instalación, hacen que forzosamente el documento gráfico sea imprescindible para una correcta y eficaz definición de la instalación.

Se pretende crear un estilo de diseño gráfico en Ingeniería Química, tomando como ejemplo una aplicación de un caso concreto en esta disciplina, destacando los puntos centrales, que pueden servir para desarrollar cualquier otro tipo de proyecto relacionado con la ingeniería química.

**Palabras clave:** Diseño gráfico, Ingeniería Química, Proyectos.

## ABSTRACT

The main objective of this work is to show a methodology in design of chemical plants considering that is a multidisciplinary engineering, where the calculation of elements generated geometric definitions that we have to organize in the overview of the plant.

In this paper we show a graphic style to resolve graphic design in chemical engineering, taking for example an application of a specific case in this discipline, emphasized the most important aspects that we can use to development other kind of projects relate with chemical engineering.

**Key words:** Graphic design, chemical engineering, projects.

## 1 Introducción

Hasta el momento el diseño de Ingeniería Química se ha fundamentado en un estilo convencional de resolución de los problemas, basándose principalmente en el cálculo. Con la incorporación de la titulación de Ingeniero Químico, se incorporan como elemento innovador la herramienta gráfica, y todo el componente que conlleva la ingeniería visual aplicada al diseño de ingenios químicos.

En esta ponencia se pretende exponer un estilo de diseño basado en la ingeniería concurrente y que tiene como eje central el apoyo de sistemas CAD.

Por medio de un ejemplo práctico, en este caso el diseño de una estación depuradora de aguas residuales sencilla (EDAR), ha servido de eje conductor para describir los pasos sucesivos en los que se combina el diseño gráfico con el requerimiento de cálculo.

Inicialmente se ha seguido en el planteamiento un proceso lineal, propio de la ingeniería que involucra procesos creativos y analíticos utilizados para resolver un problema.

## 2 Proceso general de diseño

Para elaborar el proyecto se han seguido 6 fases (figura 1):

**1ª Etapa.** Identificación y definición del problema a resolver. En el presente trabajo se concreta en el diseño de una EDAR para recoger las aguas de una población de 9000 habitantes equivalentes.

**2ª Etapa.** Elaboración de diagramas de flujo. Se recogen en croquis, cómo se podría realizar dicho proceso de depuración, teniendo en cuenta las ideas y experiencia de casos similares. Se acompañan diagrama de flujo (fig. 2).

**3ª Etapa.** Realización de un diseño básico inicial. Se elige una solución de las posibles, a partir de un CROQUIS o diagrama básico CAD en 2 o 3 dimensiones, que perfeccione el croquis inicial mediante modelado geométrico (crear planos y dibujos que permiten visualizar y/o analizar para diseñar ideas, productos o procesos complejos). Dicho dibujo será el documento base de trabajo, para ser susceptible del análisis posterior.

**4/5ª Etapas.** Basándonos en el dibujo inicial, se analizan los factores mecánicos, geométricos y de viabilidad técnica. Estos pasos son interactivos y pueden repetirse tantas veces como sea necesario hasta llegar al punto que se entiende es posible la instalación

**6ª Etapa.** Documentación final. Se realiza la documentación con los planos y dibujos de manera que pueda: ofertarse por terceros y/o fabricarse.

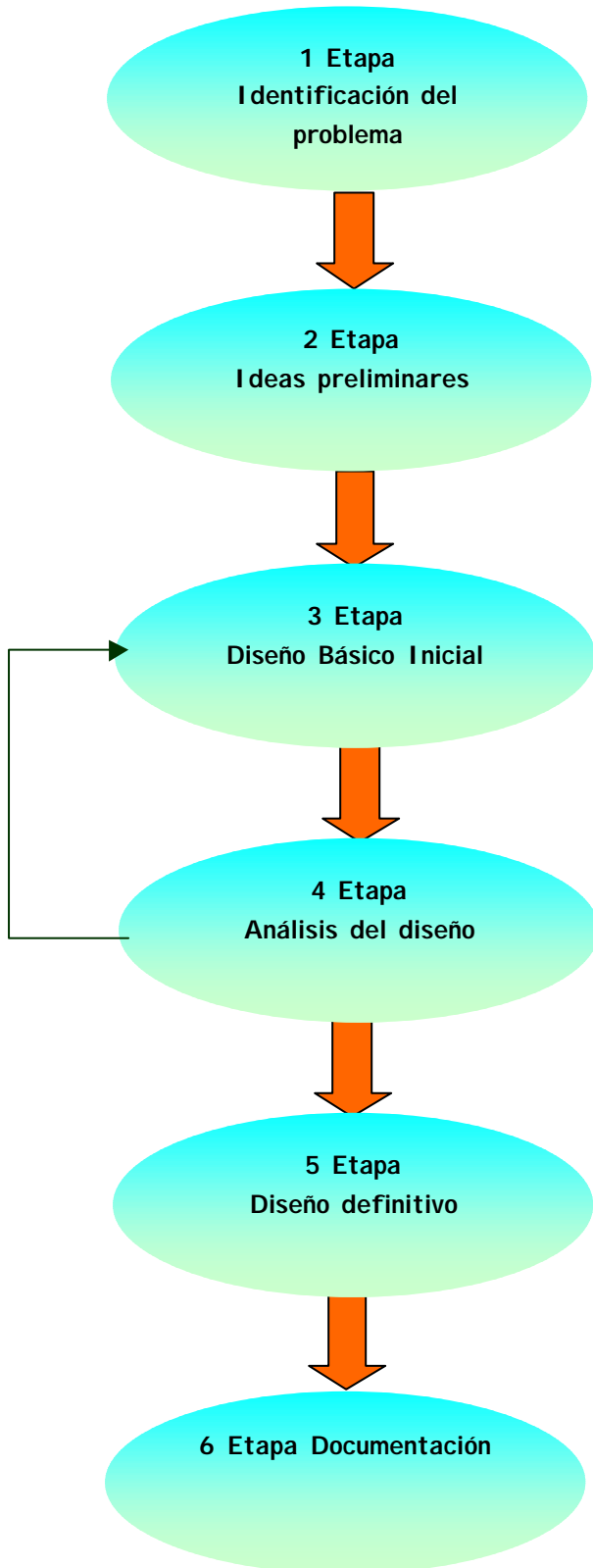
### 3 Desarrollo del trabajo. Aplicación al diseño de una estación depuradora.

Este planteamiento a nivel de ingeniería se ha aplicado al diseño de una estación depuradora de aguas residuales urbanas.

#### 3.1 Etapa 1. Identificación del problema.

En primer lugar se procede a recopilar todos los datos necesarios sobre el proyecto a realizar, en el caso concreto de la EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) los parámetros que debemos conocer hacen referencia a los caudales medios y máximos que llegan a la depuradora, y la calidad de las aguas.

Figura 1: Etapas de diseño.



A continuación, se muestran los datos característicos de las aguas a tratar:

Población..... 9.000 habitantes equivalentes.  
 Caudal medio diario..... 55 m<sup>3</sup>/h  
 Caudal máximo..... 32 m<sup>3</sup>/h  
 Caudal máximo pluvial..... 230m<sup>3</sup>/h

En la tabla n° 1 se pueden ver los condicionantes impuestos por la Entidad de saneamiento para una correcta depuración, que serán imprescindibles para realizar el diseño de la planta, ya que nos delimita el problema.

Tabla 1: Características del influente y efluente.

CARGAS CONTAMINANTES	Agua de entrada (mg/L)	Porcentaje mínimo de eliminación según Directiva (91/271/CEE) (%)
DBO <sub>5</sub>	400	70-90
S.S.	348	90
NTK	60	70-80

### 3.2 Etapa 2. Esquema básico de resolución.

Una vez analizadas las características que definen nuestro proyecto y en base a experiencias similares se establece el tratamiento genérico a aplicar, en nuestro caso, se realiza un tratamiento de depuración mediante fangos activos, en este tratamiento, se siguen una serie de etapas principales que definen el proceso global de depuración y que se muestran en la figura 3.

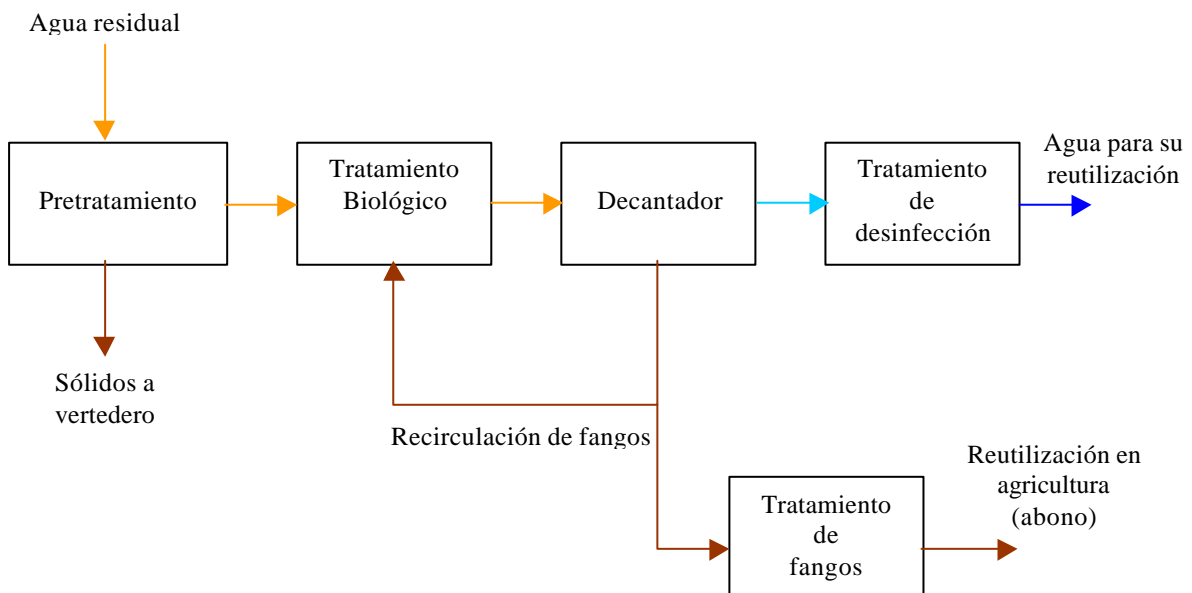


Figura 2: Diagrama de flujo del esquema de depuración propuesto. Núcleos principales.

Se analizaron diferentes propuestas iniciales y finalmente se sopesó llevar a cabo este esquema básico de depuración, ya que para la población a tratar, permitía un equilibrio entre factores económicos y de calidad de depuración.

### 3.3 Etapas 3 y 4. Diseño y análisis de resultados.

Debido a la amplitud del problema, e identificados los puntos claves de nuestro proyecto se procede a la resolución individual de cada núcleo, siguiendo un orden lógico de tratamiento, ya que cada etapa depende de la anterior. Una vez determinadas las características básicas que cada núcleo debe cumplir (pretratamiento, tratamiento biológico, decantación, desinfección y tratamiento de fangos) se procede a ensamblar e interrelacionar los núcleos, ajustando los parámetros de interconexión, e intentando optimizar el proceso, tanto desde le punto de vista de calidad de las aguas resultates como optimización de espacios o costes económicos de explotación. A continuación se muestra el diseño de cada una de las fases básicas de estudio.

### 3.3.1 Pretratamiento.

1) Desbaste de gruesos: Conocido el caudal de entrada máximo, estimando una luz entre barrotes de 30mm y un coeficiente de colmatación de 0.7(30% de paso), se estima la superficie mínima que debe poseer la reja es  $S = 0.17 \text{ m}^2$ . Con esta área hay que dimensionar la reja.

Teniendo en cuenta otros factores como que el mínimo el ancho del canal debe ser de 0.4m ya que el colector de llegada tiene este diámetro, se realiza un primer boceto (fig3).

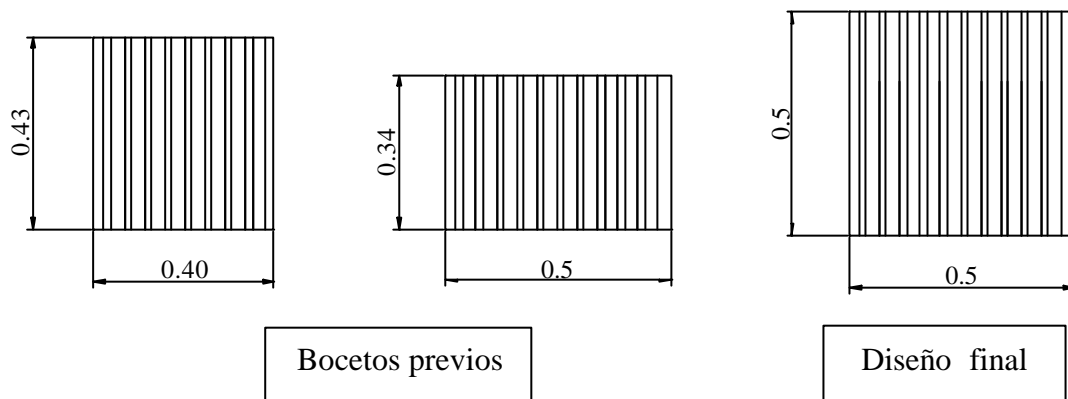


Figura 3: Boceto inicial de la reja de gruesos.

Para disminuir la velocidad del agua de llegada conviene ensanchar el canal de entrada donde estará situada la reja aumentando las dimensiones a 0.5m, de esta manera se consigue que haya una rotura de carga. Consultados los catálogos de este tipo de sistemas las rejas estándares que más se aproximan a nuestro diseño tienen unas dimensiones de 0.5x0.5m por lo que se adopta este diseño final.

Para mejorar la limpieza de esta reja y disminuir el coste final de personal, se instalará una sistema de eliminación automática de gruesos, evitando de esta manera la obstrucción de las bombas del pozo de bombeo posterior. La reja será programada de manera, que cada tiempo, previamente determinado por experimentación en la propia planta, se active el sistema de rasquetas. Además dispondrá de un sistema de detección de máximo nivel, lo que hará activar también la reja. Para el diseño final se tendrá en cuenta la colocación de la reja teniendo en cuenta la línea piezométrica, por lo que su diseño definitivo, deberá esperar a concluir la globalidad de los cálculos realizados en el resto de unidades.

2) Desarenador- Desengrasador: Para la estimación de la presente unidad se han adoptado los parámetros del CEDEX (carga máxima a  $Q_{\max} < 35 \text{ m}^3/\text{s}$ , y un tiempo de retención a  $Q_{\max} > 10 \text{ min}$ .), se calcula la superficie y el volumen mínimo que debe tener el desarenador – desengrasador si se construye de forma conjunta, siendo  $S_{\min} = 3.77 \text{ m}^2$ ,  $V_{\min} = 22 \text{ m}^3$  (Fig. 4).

El aire requerido es de  $91 \text{ m}^3/\text{h}$ . Se instalará una soplante de  $1.8 \text{ kW}$  de potencia, capaz de suministrar un caudal de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$  (más una unidad de reserva) que repartirá el caudal de aire mediante 6 difusores de burbuja gruesa.

Por condiciones de mayor rendimiento del aire inyectado se busca un dimensionamiento entre el ancho, largo y no excediendo la altura máxima de  $3.5\text{m}$ .

### DESARENADOR - DESENGRASADOR

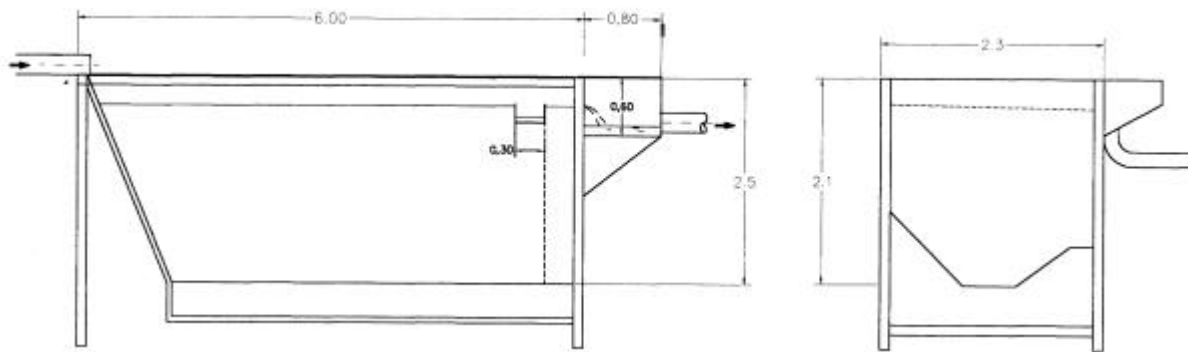
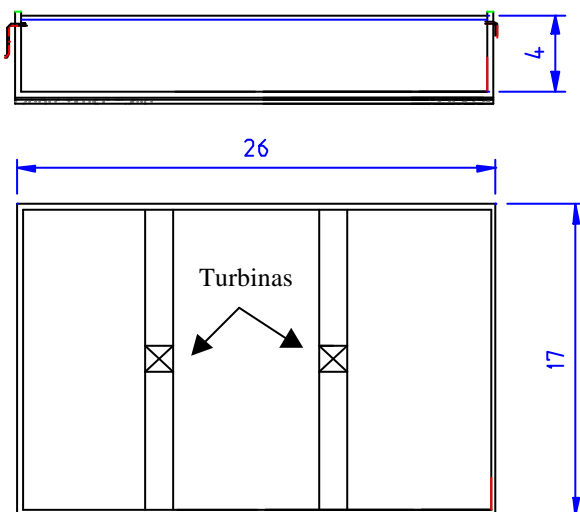


Figura 4: Boceto desarenador- desengrasador

Para la eliminación de las arenas se diseña un sistema con una bomba móvil que recorre todo el fondo del canal aspirando las arenas. Para la extracción de grasas se construirá un pozo paralelo donde se acumularán estas hasta que un camión autorizado las lleve a vertederos de residuos tóxicos y peligrosos. Como en el caso de la reja, habrá que esperar a tener la globalidad del diseño, para situar este elemento en planta e instalar en él todas las medidas de Seguridad e Higiene necesarias en función de su ubicación.

#### 3.3.2 Reactor biológico y decantador.



1) Biológico: La determinación de las dimensiones básicas del reactor biológico se ha realizado en función de las concentraciones finales a alcanzar, de la DBO y de los sólidos en suspensión a eliminar, se ha fijado la carga másica  $<0.1$  (según CEDEX), se llega a un dimensionamiento mínimo del tanque de  $V = 1683 \text{ m}^3$ ,  $S = 417 \text{ m}^2$  y un tiempo de retención de  $30.6\text{h}$ .

Para introducir el oxígeno se diseñan dos turbinas situadas en dos pasarelas, del tal forma que permiten oxigenar el agua con un caudal de  $2214.4 \text{ m}^3 \text{ aire/h}$ . Lo que da lugar al dibujo de la figura 5.

Figura 5: Boceto inicial del reactor biológico.

2) Decantador: La estimación de las dimensiones del decantador se hacen tomando como base de partida una carga de sólidos  $<3.2 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ . y una carga hidráulica  $<0.9 \text{ m/h}$ .

En consecuencia se diseña un decantador circular con un diámetro de  $15\text{m}$  y una altura de  $3.2\text{m}$ . EL boceto de esta unidad se observa en la figura 6.

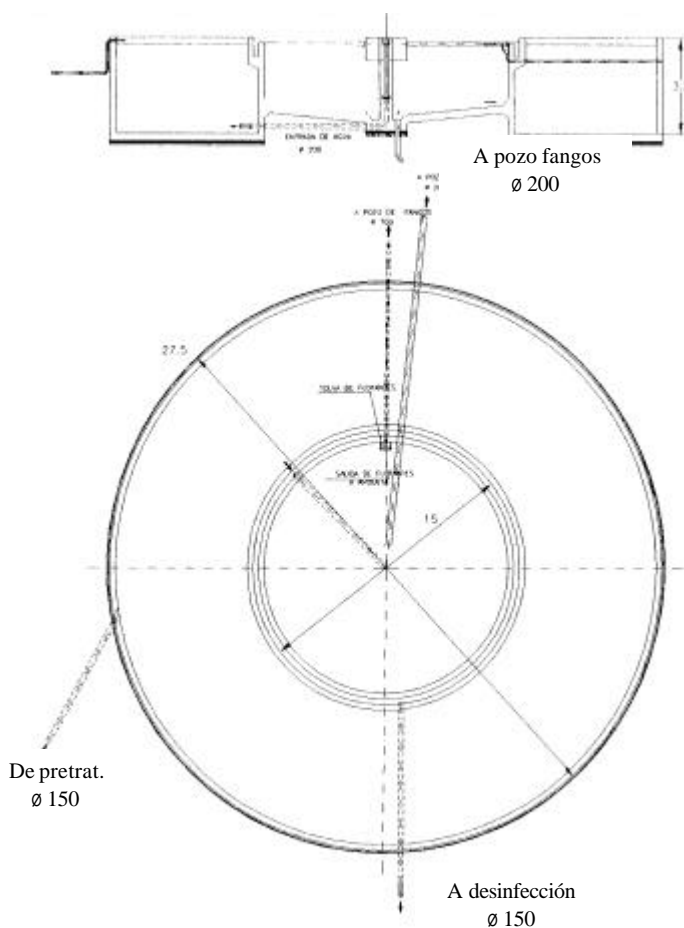


Figura 6: Diseño Biológico y decantador integrados

5) Eliminación de sólidos: Los problemas de eliminación de sustancias en la superficie del decantador y facilidad de extracción de fango en la parte de decantación se han solucionado diseñando una rasqueta móvil doble, y un pozo lateral de recogida de fangos.

Tras finalizar el diseño global de la planta, estas dos unidades, obliga el diseño a situarlas parcialmente enterradas, requiriéndose unas escaleras de acceso y un sistema de seguridad para evitar caídas en el interior de estas fosas. (ver figura 13).

### 3.3.3 Tratamiento de desinfección

Después de realizar un estudio sobre los sistemas de desinfección más utilizados como son la cloración, el ultravioleta y la ozonización se escogió el sistema ultravioleta por ser el de más fácil aplicación y el que menos controversias sanitarias tiene hasta el momento, a sabiendas que el más utilizado es el sistema de cloración y que una mala calidad de las aguas del efluente disminuye la eficacia de los tratamientos con ultravioleta.

3) Diseño global biológico-decantador: Para el diseño final de estas dos unidades se analizan dos posibilidades:

a) hacer un diseño independiente con lo que se consigue una mayor facilidad de construcción y una mejor facilidad de operación en planta, pero cuyas dimensiones totales de superficie, son demasiado grandes para un terreno cuya superficie se tiene delimitada.

b) Una segunda opción consiste en un diseño conjunto, con lo que se ahorra superficie y además se consigue disminuir las pérdidas de carga al disminuir la longitud de las tuberías de transporte de fluidos.

Este segundo diseño obliga a cambiar la geometría inicial diseñada para el reactor biológico.

4) Aireación: Al diseño básico se ha añadido un nuevo sistema de aireación mediante soplantes y 316 difusores distribuidos en 8 parrillas, ya que con esta disposición se mejora la aireación del tanque.

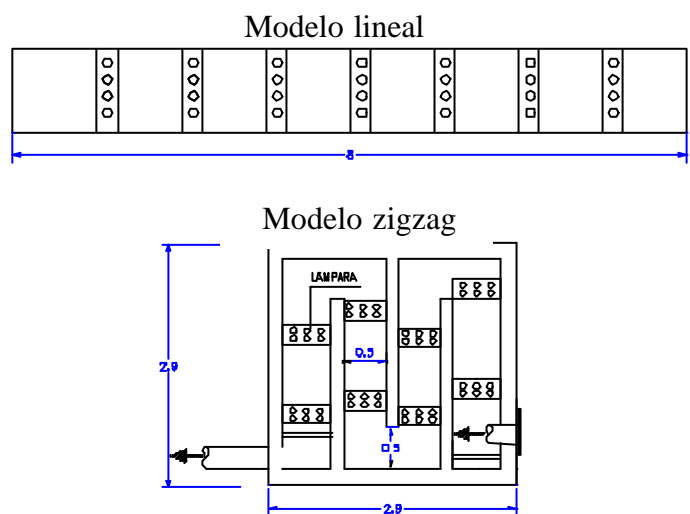


Figura 7: Dos bocetos de canal desinfectante.

1) Dimensionamiento del canal de ultravioleta: Se diseña en función del tiempo de residencia, obteniéndose los siguientes resultados:

Longitud: 8 m ; Ancho: 50 cm

Fondo mínimo: 1.1 m; Nivel medio en el fondo: 0.6 m

Número de lámparas: 48 , la distribución final dependerá del diseño del canal.

Inicialmente diseña un modelo lineal, de 8 metros, pero esta longitud es excesiva, por lo que se adopta un diseño en zigzag que permite un ahorro de espacio, y un flujo turbulento, con lo que se favorece el proceso. (Fig. 7).

### 3.3.4 Tratamiento de fangos: Espesado y deshidratación

Los fangos que proceden del decantador parte de ellos son reutilizados introduciéndolos otra vez en el tratamiento biológico y el resto son tratados para poder ser utilizados como abonos en agricultura. En función de los fangos producidos, de su concentración, de las horas de trabajo de la centrifuga y de la carga hidráulica  $<1.2\text{m/h}$ , se determina una superficie de  $18\text{m}^2$  y un volumen de  $64.9\text{m}^3$ .

Los fangos serán bombeados a una unidad centrífuga.

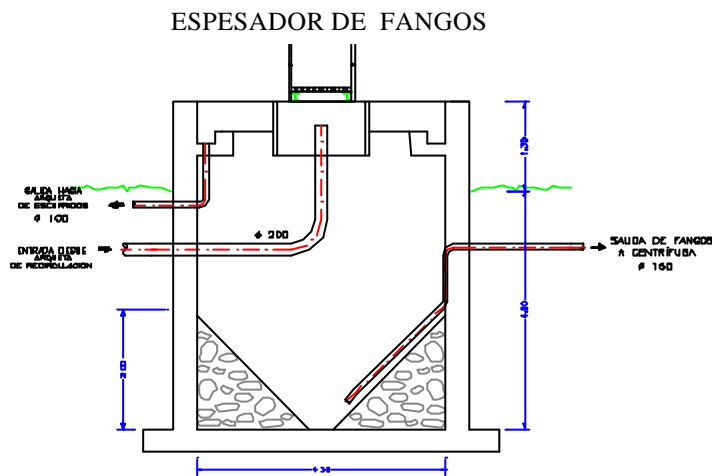


Figura 8: Boceto alzado espesador de fangos.

## 3.4 Etapas 4, 5. Factores mecánicos, geométricos y de viabilidad técnica.

### 2.4.1 Línea Piezométrica

Conocidas las dimensiones básicas de los núcleos del proceso, hay que ubicar los elementos de la planta en el terreno (dato que debe conocerse).

Los parámetros de los que depende el sistema en planta son:

- Superficie y topografía de la parcela.
- Organización de la planta y de las tuberías para hacer mínimas las pérdidas de carga.
- Medidas mínimas de seguridad y de trabajo.

1) Proceso: Una vez distribuidos los elementos en la planta (fig. 9), se evalúan las pérdidas de carga determinando la línea piezométrica, obteniéndose que desde la reja de finos hasta la salida del tratamiento ultravioleta hay una pérdida de carga de 6.68m.

2) Diseño de bombeo: Se decide poner un sistema de bombeo inicial entre la reja de desbaste de gruesos y la reja de finos (tamiz rotativo), que eleva el agua hasta una altura tal que por el resto de la instalación el agua fluya por gravedad.

En el dibujo de la línea piezométrica se puede ver el nivel del suelo respecto a cada elemento y la diferencia de cota entre ellos (fig. 10).

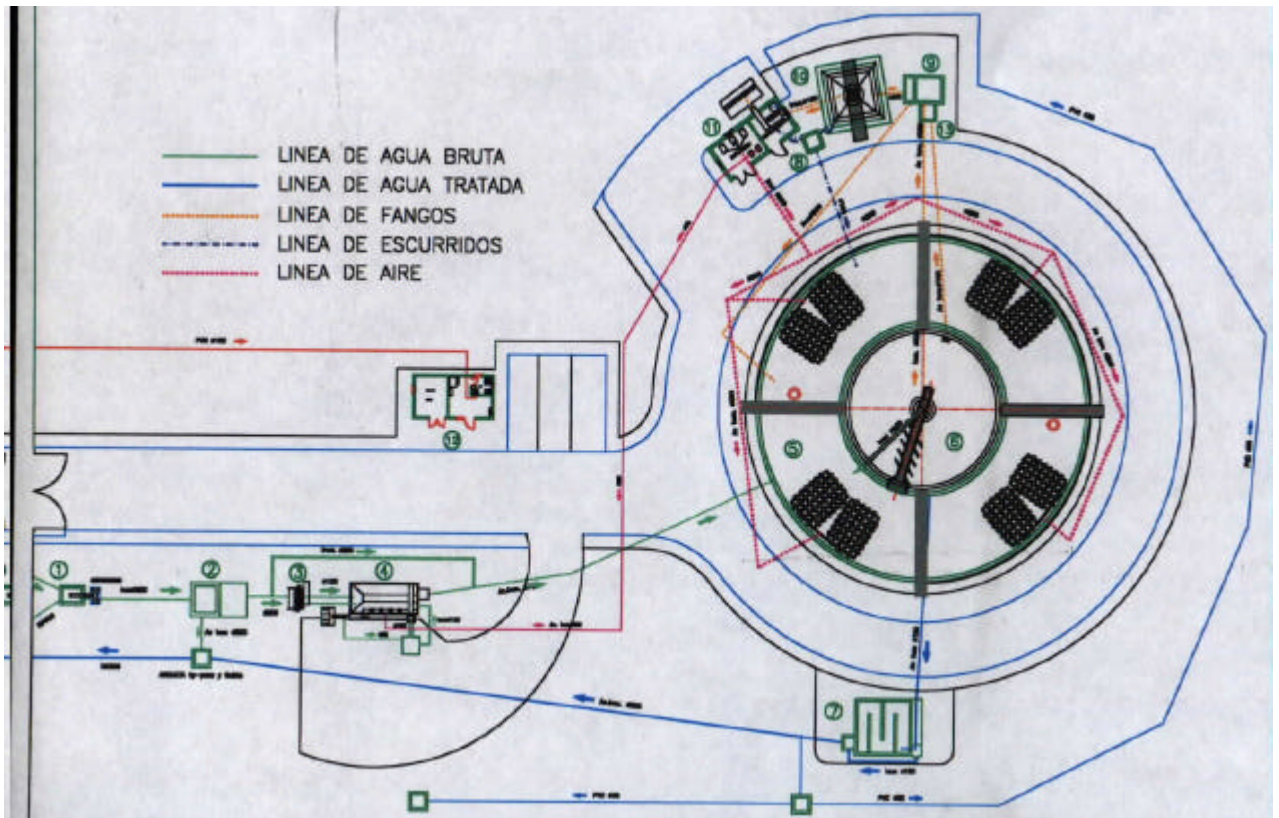


Figura 9: Distribución de los elementos de planta en el terreno.

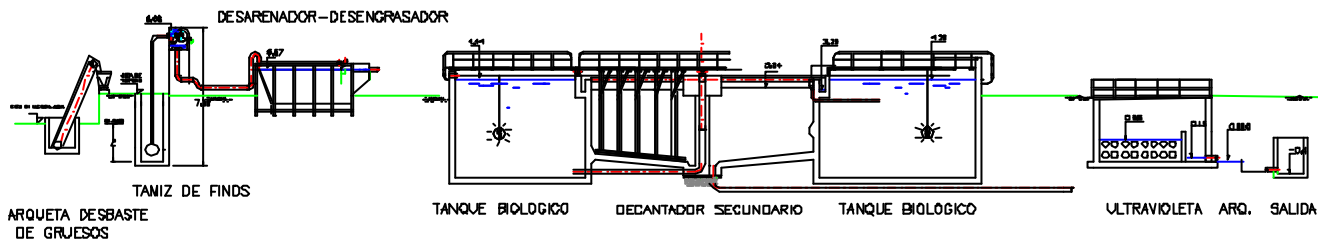


Figura 10: Línea piezométrica.

### 3.5 Etapa 6. Documento final.

Una vez definido el dimensionado del sistema, realizado el modelado geométrico, y situado en planta, (tanto su distribución en la parcela, como el cálculo de alturas o profundidades a aplicar para cada elemento), se ejecutan los planos finales que serán los que permitirán la construcción de la EDAR. Además estos planos servirán para el conocimiento y mejor manejo de la instalación, actuando como de manual básico para los operadores de planta. A continuación se muestran parte de los planos definitivos para este diseño, dada la reducción de espacio que se dispone para presentar esta ponencia, se muestran algunos de los planos definitivos como resumen del proceso de diseño.



## RESULTADO DEL DISEÑO DEL PRETRATAMIENTO

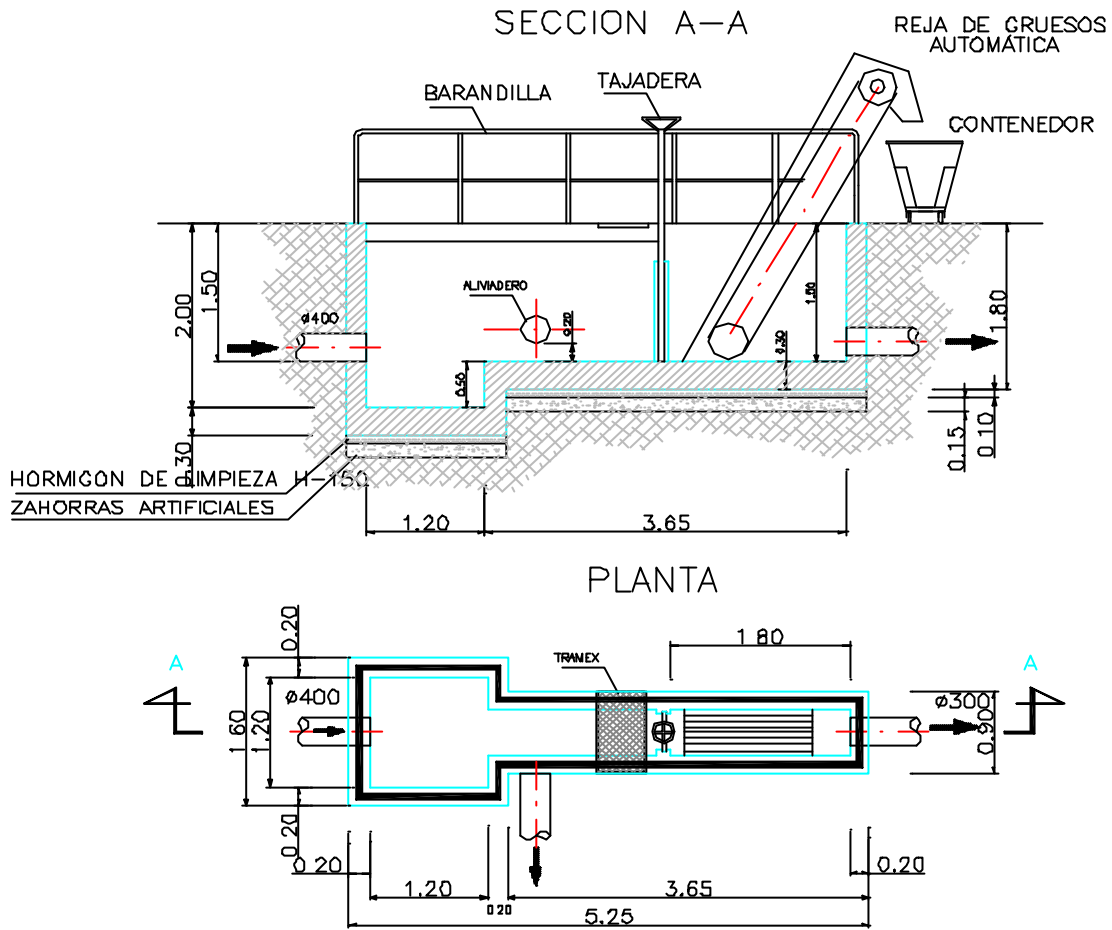


Figura 11: Reja automática de gruesos

## RESULTADO DEL DISEÑO DESARENADOR-DESENGRASADOR

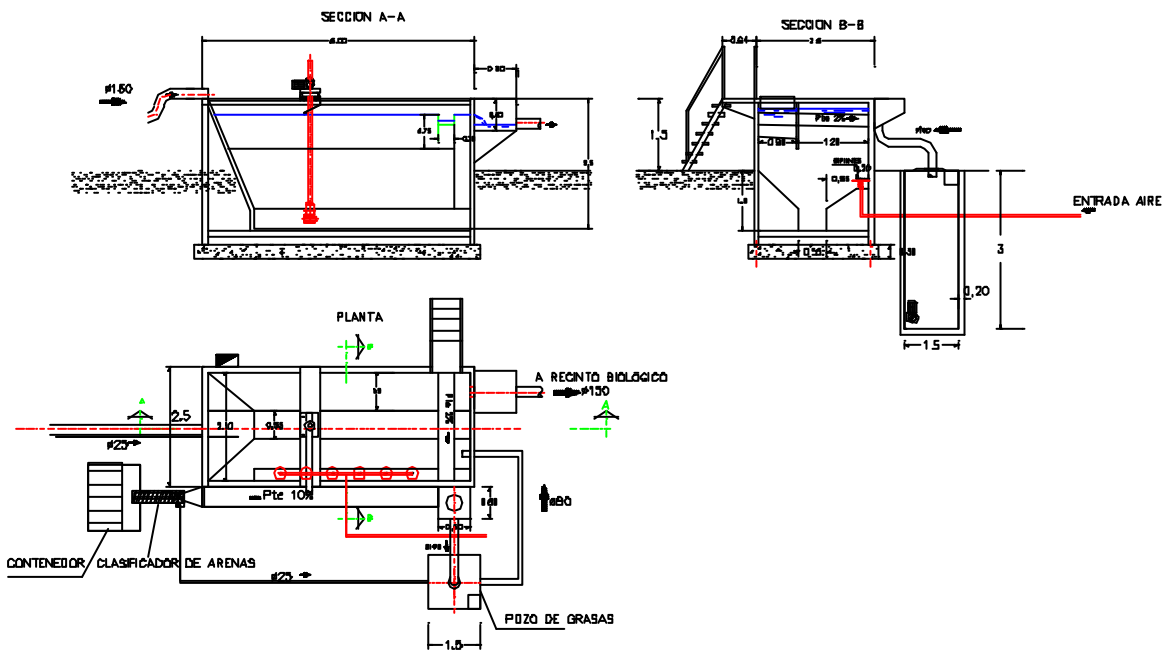


Figura 12: Desarenador- desengrasador

## RESULTADO DEL DISEÑO BIOLÓGICO- DECANTADOR

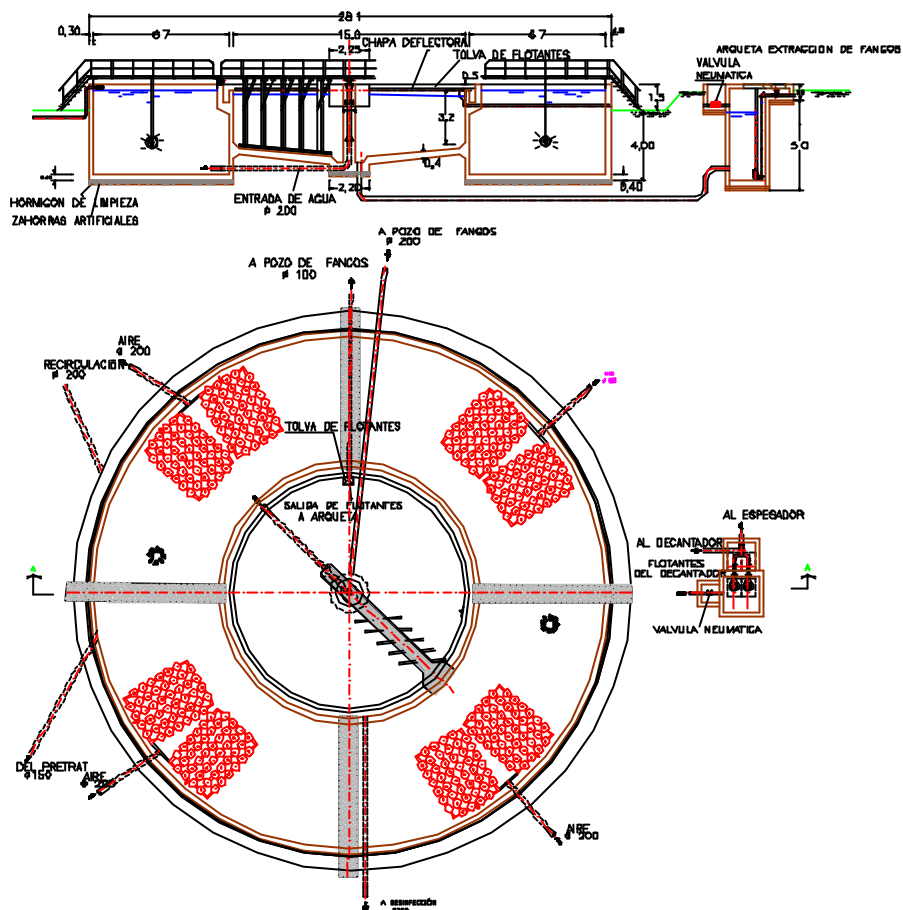


Figura 13: Biológico decantador

### 4 Conclusiones o Consideraciones Finales

En la presente ponencia se ha pretendido aplicar una forma de diseño gráfico en paralelo con los cálculos necesarios que todo proyecto de diseño de Ingeniería Química debe tener, haciendo especial hincapié en que el modelado geométrico no está supeditado al cálculo, sino que puede y debe realizarse en paralelo con el mismo.

### Referencias

- 1) HERNÁNDEZ, Aurelio, GALAN, Pedro. *Manual de depuración Uralita. Sistemas de depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes*. Ed. Paraninfo, 1995.
- 2) HERNÁNDEZ, Aurelio. *Manual de diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales*. Ed Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos, servicios de publicaciones- colección Escuelas., 1997..
- 3) HERNÁNDEZ, Aurelio. *Depuración de aguas residuales*. Ed Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos, colección Senior., 1994.
- 4) CEDEX Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, *Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras*. Tomo I, III,V. Madrid 1999.
- 5) CROS, Jordi. *AutoCad 2000*. Infor Books Ediciones, 2000