

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMATIZADA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

GUSTAVO ADOLFO FUQUENE YATE

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA MECATRÓNICA
BOGOTÁ DC.
2.006**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA AUTOMATIZADA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA**

GUSTAVO ADOLFO FUQUENE YATE

**Proyecto de grado para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

Asesores:

**Hugo Macías
Ingeniero Mecatrónico**

**Diana Marcela Fuquene
Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA MECATRÓNICA
BOGOTÁ DC.**

2.006

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Junio 23 de 2.006

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	6
1.5.1 Alcances	6
1.5.2 Limitaciones	6
2. MARCO DE REFERENCIA	8
2.1 MARCO CONCEPTUAL	8
2.1.1 Características del agua	8

2.1.2	Naturaleza de las aguas efluentes	9
2.1.3	Industria farmacéutica	9
2.1.4	Identificación de los procesos	9
2.1.5	Composición del agua a tratar	20
2.1.6	Identificación de los sensores	22
2.1.7	Automatización del proceso de aguas residuales	30
2.1.8	Controladores	30
2.1.9	Elementos finales de control	32
2.2	MARCO LEGAL O NORMATIVO	40
2.3	MARCO TEÓRICO	41
2.3.1.	Ecuaciones de continuidad	41
2.3.2.	Ecuación de Bernoulli	42
2.3.3.	Parámetros de diseño de tanques reactores con agitación	43
3.	METODOLOGÍA	45
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.2	LINEA DE INVESTIGACIÓN DE USB	45
3.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	45
3.4	HIPÓTESIS	46
3.5	VARIABLES	46
3.5.1	Variables independientes	46
3.5.2	Variables dependientes	46

4. DESARROLLO INGENIERIL	47
4.1 UNIDADES QUE INTERVIENEN DURANTE EL PROCESO	47
4.1.1 Cámara de cribado	48
4.1.2 Tanque de homogeneización	50
4.1.3 Tanque de aireación	52
4.1.4 Reactor tanque agitado	58
4.1.5 Filtro de carbón activado	64
4.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS	66
4.2.1 Diseño de las tuberías	66
4.2.2 Potencia requerida por las bombas hidráulicas	71
4.2.3 Medidores de nivel	73
4.2.4 Dosificación de los productos químicos	73
4.2.5 Bombas hidráulicas	74
4.2.6 Compresor	76
4.2.7 Sistema de cableado estructurado	76
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
5.1 SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	84
5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO QUÍMICO	92
6. CONCLUSIONES	95
7. RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXOS	99

LISTA DE TABLAS

	pág.
1. Normas para el vertimiento del agua residual	41
2. Caudal promedio de FARMACOOOP	50
3. Presiones hidrostáticas en los difusores	57
4. Comparación tubería en PVC y en polietileno de alta densidad	67
5. Tiempo de llenado de los tanques	68
6. Pérdidas en las tuberías	69
7. Pérdidas secundarias en los accesorios	70
8. Potencia requerida por las bombas hidráulicas	72
9. Especificaciones de la cámara de cribado	101
10. Especificaciones del tanque de homogeneización	103
11. Especificaciones del tanque de aireación	105
12. Especificaciones del tanque de sedimentación con agitación	107
13. Características técnicas SUPERTUBO PEAD	110

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1. Separación de líneas de la industria urbana	10
2. Secuencia completa de tratamiento de aguas residuales industriales	11
3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales	12
4. Aireadores tipo escalera	16
5. Aireadote de cascada múltiple	16
6. Aireadores de bandejas	17
7. Aireadores por aspersion	18
8. Sensor de desplazamiento de regleta	23
9. Sensor de desplazamiento de boya	24
10. Sensor de desplazamiento de unión magnética	24
11. Sensor comercial de desplazamiento de unión magnética	25
12. Sensor de desplazamiento tipo flotador	25
13. sensor comercial de desplazamiento tipo flotador	26
14. Sensor de presión diferencial	27
15. Sensor de nivel por burbuja	27
16. Sensor medidor de nivel por radiación	28
17. Sensor de nivel capacitivo	29
18. Tipos de compresores	35
19. Válvulas de retención	36
20. Válvula de compuerta	37
21. Válvula de aguja	37

22. Válvula reguladora de presión	38
23. Válvula reguladora de caudal	38
24. Parámetros de diseño del tanque reactor agitado	44
25. Esquema general planta FARMACOOOP	48
26. Cámara de cribado	49
27. Diagrama de masa	51
28. Tanque de homogeneización	52
29. Tanque de aireación	54
30. Difusores tanque de aireación	56
31. Reactor tanque agitado	59
32. Bomba Dosificadora Ref. A-100NE	74
33. Motobomba centrifuga autocebante	75
34. Compresor	76
35. Flujograma del proceso de tratamiento de aguas	79
36. Esquema E/S controlador	83
37. Planta piloto tratamiento de aguas residuales	84
38. Válvula para la simulación de la bomba hidráulica	85
39. Compresor de 12Vdc	86
40. Embudo para simular dosificador	87
41. Agitador	87
42. Bomba Sumergible	88
43. Filtro de carbón activado	88
44. PIC 16F873	91
45. Circuito electrónico	92
46. Esquema general del tratamiento de aguas residuales	100

LISTA DE ANEXOS

	pág.
A. Esquema general del tratamiento de aguas residuales	100
B. Plano de la cámara de cribado	101
C. Plano del tanque de homogeneización	103
D. Plano del tanque de aireación	105
E. Plano del tanque de sedimentación con agitación	107
F. Datos generales para filtros de carbón activado	109
G. Características técnicas SUPERTUBO PEAD	110
H. Ficha técnica Hidroxicloruro de Aluminio	111
I. Ficha técnica Hidróxido de Sodio	113
J. Ficha técnica Cloruro de Hidrogeno	117
K. Datos técnicos controladores FEC	123
L. Análisis físico – químico FARMACOOOP	125

INTRODUCCIÓN

Todos los procesos industriales producen aguas residuales que retornan al medio ambiente, estas aguas pueden clasificarse como: urbanas, industriales y de refrigeración. En una planta industrial, las aguas residuales urbanas se derivan de la actividad de los trabajadores, del uso de duchas y cafeterías. Las aguas residuales de proceso son el resultado de derrames, fugas y del lavado de productos. Las aguas residuales de refrigeración son el resultado de varios procesos de refrigeración. Además las aguas residuales industriales presentan una alta heterogeneidad en cuanto a los contaminantes que las constituyen, además, la normatividad sobre vertido varía con el tipo de industria y con la clase de contaminante. Por tanto en este trabajo se presenta el diseño específico para la planta de tratamiento de aguas residuales para la industria farmacéutica “FARMACOOOP” en la cual su principal problema es de FENOLES. En la primera parte se muestra la descripción del problema, la justificación, los objetivos que se proponen, y por último los alcances y limitaciones que plantearon.

La segunda parte de este documento reúne un marco conceptual donde se identifican los diferentes procesos que intervienen en el tratamiento de aguas residuales, como son: remoción de sólidos o de cargas orgánicas, homogeneización, aireación, sedimentación, floculación, coagulación y filtración, se explican las características que tienen las aguas residuales industriales, y por último se identifican los equipos necesarios para la automatización del proceso. Después se especifica la normatividad que rige el vertimiento de aguas residuales en el alcantarillado, seguido de un marco teórico donde se exponen los criterios de diseño que se deben tener presentes. La tercera parte describe la metodología que se utilizó para la recolección de datos, el enfoque que se le proporcionó y la hipótesis que se planteó. Y por último en la cuarta y quinta parte se presenta el desarrollo ingenieril y los resultados obtenidos respectivamente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES

- En este momento FARMACOOOP, cuenta con una planta de tratamiento de agua inapropiada, utilizando en el proceso de tratamiento únicamente un tanque de homogeneización donde se combinan todas las aguas que salen de los tratamientos y de la producción que allí se realiza, y luego se ingresan los productos químicos y se deja un tiempo para que estos actúen.
- En la actualidad muchas empresas como “*Hidral Obras*” o “*Acuaplant*as”, entre otras se dedican al diseño de plantas para el tratamiento de aguas, realizando un estudio fisicoquímico del agua a tratar, y proporcionando una solución favorable, pero estas empresas se encargan únicamente de la parte de diseño de la planta, de que tanques se deben instalar y que procedimientos se deben realizar, y en la parte de automatización contratan empresas como “*Siemens*”, la cual les proporciona este servicio aunque a un costo demasiado elevado.

1.2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las industrias de tipo farmacéutico vierten a las redes de alcantarillado aguas procedentes de sus procesos de producción de medicamentos, éstas aguas tienen un pH bastante variable y según análisis fisicoquímicos (ver anexo L) la concentración de fenoles se sale del rango permitido para vertimientos por el DAMA (Departamento Administrativo de Medio Ambiente), a esta agua residual no se le puede hacer ningún cambio en el proceso de producción debido a que las formulaciones son muy específicas y no aceptan cambios en sus materias primas, por lo que se hace necesario la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

¿Cómo diseñar y simular una planta automatizada de tratamiento de aguas residuales para la industria farmacéutica FARMACOOOP?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las estadísticas que maneja el Ministerio de Desarrollo Económico indican que en Colombia la cobertura en tratamiento de aguas residuales industriales no supera el 15 %, estos estudios realizados por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) muestran que la baja cobertura en el sector agua potable y saneamiento es debida a limitaciones presupuestales, tecnológicas y de personal calificado. Es por esto que las entidades reguladoras del medio ambiente como el DAMA entre otras están encargadas de que las aguas que se vierten en el sistema de alcantarillado sean lo menos contaminantes posibles, para ello se aplican sanciones y multas que resultan bastantes costosas a las industrias que no cumplen con los requisitos exigidos; por esta razón industrias como la farmacéutica que tienen el agua con alto grado de contaminación se esmeran en realizar un correcto tratamiento a sus vertimientos. Además, posee ventajas empresariales del cuidado ambiental como:

- Reducción de costos.
- Adelantos tecnológicos.
- Disminución de la contaminación del efluente vertido.
- Mejoras de calidad de vida de operarios.
- Garantías de continuidad de la actividad industrial.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y simular una planta automatizada de tratamiento de aguas residuales para la industria farmacéutica.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los procesos que se realizan durante el tratamiento de aguas residuales en la industria farmacéutica.
- Clasificar las variables que intervienen durante el proceso de tratamiento de aguas residuales en la industria farmacéutica.
- Identificar la normatividad para la gestión de residuos.
- Identificar los sensores que se requieren para la automatización del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Especificar los equipos que intervienen durante el proceso de tratamiento de aguas residuales en la industria farmacéutica.
- Especificar sistema de control de la planta de tratamiento de aguas residuales en la industria farmacéutica.
- Construcción modelo de la planta automatizada de tratamiento de aguas residuales para simulación del proceso.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1. Alcances

Este diseño automatizado de una planta de tratamiento de aguas para la industria farmacéutica, no solo sirve para tratar aguas de esta industria sino que además este proceso se puede implementar en industrias en las cuales los contaminantes se asemejen a los que tiene la industria farmacéutica.

1.5.2. Limitaciones

- Los recursos económicos para realizar una simulación completa del proceso de tratamiento de agua.

- La cantidad de agua que se va a tratar no debe exceder 2.245 m^3 , por las dimensiones con las que cuenta FARMACOOOP.
- El número de tratamientos de agua que se realizara en un día no será mayor de cuatro, para que la sedimentación en el proceso sea adecuada.
- Los productos químicos con los que se tratara el agua, estarán definidos únicamente para el tipo de contaminantes que genera la industria farmacéutica.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Inicialmente se verán las características del agua ya que es el fluido al cual se le realiza el tratamiento para su vertimiento, luego se describe la naturaleza de las aguas efluentes, después se identifican los tratamientos que se le practican a las aguas residuales, y se muestran los diversos procedimientos y métodos que se realizan para cada proceso del tratamiento de aguas, posteriormente se presenta la composición del agua que se va a tratar para tenerla en cuenta al momento de seleccionar los sensores que van a controlar los elementos finales de control como son las bombas hidráulicas, el compresor y los dosificadores.

2.1.1. Características del agua : el agua cubre tres cuartas partes de la superficie de la Tierra (mares, ríos, lagos, etc.) y constituye del 50% al 90% por peso, de todas las plantas y animales; Su gravedad específica es: 1. Calor específico: 1. A presión atmosférica normal hierve a 100° C y se congela a 0° C; Alcanza su densidad máxima a los 4° C (un gramo por cm³), en las propiedades del agua se han basado múltiples medidas físicas, como la graduación del termómetro, el peso específico, el calor específico, etc. El agua es indispensable para la vida, por sus muchas reacciones químicas en las que entra, de las cuales la más importante es la hidrólisis de los hidratos de carbono, grasas y proteínas, paso esencial en la digestión y asimilación de alimentos. El agua no tratada se llama "agua natural" y el agua tratada se le llama "agua Depurada", También: "El agua potable no debe tener sabor ni olor extraños. Desde luego, conviene que el agua contenga cierta cantidad de sal, pues, en caso contrario, resulta insípida". Así, por ejemplo, en el agua que contenga hierro puede formarse ácido sulfhídrico. Debe ser inodora, tanto en frío como en caliente desprende leve alcalinización-, debe poseer un sabor agradable que le confieren las sales y gases disueltos en

ella. La temperatura óptima del agua es de 5°C a 15°C, el agua demasiado fría puede ser perjudicial a la salud y demasiado caliente no resulta refrescante. Los límites aceptables varían entre 5 y 15°C, pero la temperatura óptima debe considerarse la comprendida en el intervalo de 10 a 12°C.

2.1.2. Naturaleza de las aguas efluentes: el origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua efluente. La cantidad y naturaleza de las aguas efluentes industriales es muy variada, dependiendo del tipo de industria, de la gestión de su consumo de agua y del grado de tratamiento que los vertidos reciben antes de su descarga.

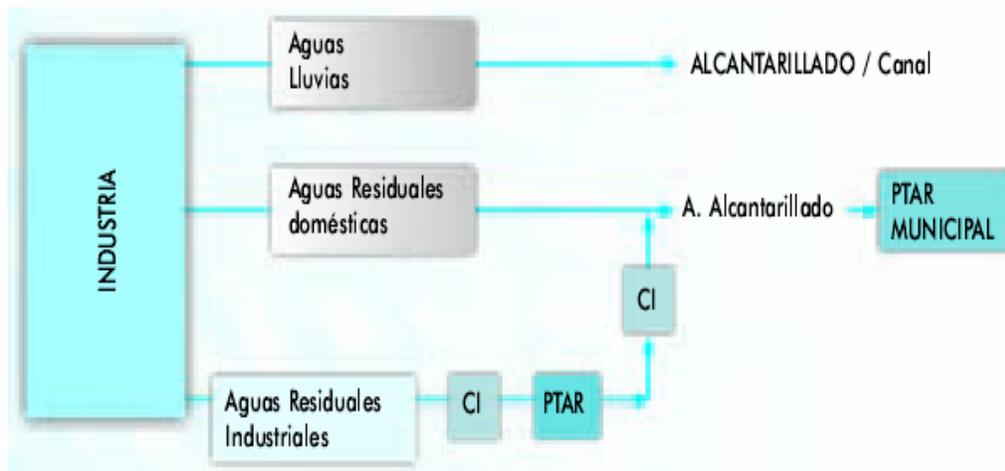
2.1.3. Industria farmacéutica: sector dedicado a la fabricación y preparación de productos químicos medicinales para la prevención o tratamiento de las enfermedades. Algunas empresas del sector fabrican productos químicos farmacéuticos a granel (producción primaria), y todas ellas los preparan para su uso médico mediante métodos conocidos colectivamente como producción secundaria. Entre los procesos de producción secundaria, altamente automatizados, se encuentran la fabricación de fármacos dosificados, como pastillas, cápsulas o sobres para administración oral, soluciones para inyección, óvulos y supositorios.

2.1.4. Identificación de los procesos: intervienen en el tratamiento de aguas residuales en la industria farmacéutica aguas industriales que no presentan un riesgo potencial de contaminación por microorganismos patógenos, pero sí los poseen en cuanto a los daños potenciales provocados al medio ambiente tanto de forma directa como indirecta por las reacciones químicas que ocasionan. Algunas aguas industriales son directamente biodegradables y generan una demanda inmediata de oxígeno. Otras aguas industriales son tóxicas y representan un riesgo potencial para el medio ambiente.

En algunos casos, también es necesario separar las aguas residuales domésticas de las aguas residuales industriales. Esto es importante cuando la industria se encuentra asentada en áreas urbanas en las cuales se tienen plantas de tratamiento a nivel municipal.

Las aguas residuales de origen doméstico provenientes de la industria no requieren ser tratadas antes de su descarga al alcantarillado. Su tratamiento resulta más eficiente y económico en la planta municipal tal como se muestra en la figura 1:

Figura 1. Separación de líneas de la industria urbana



Fuente. Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales

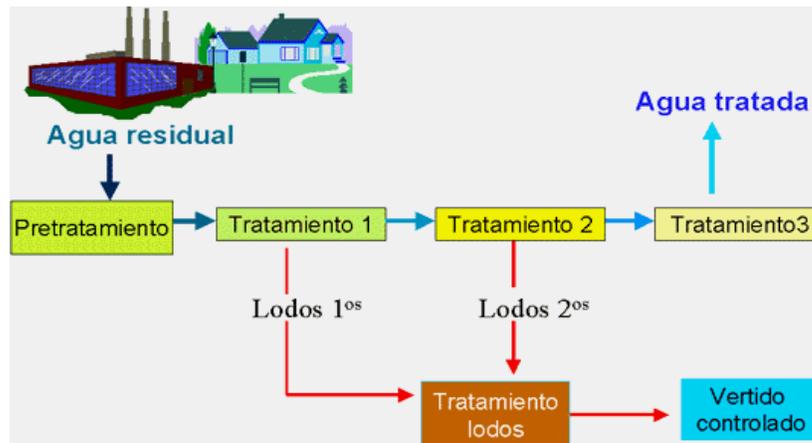
Donde,

CI (Caja de inspección)

PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales)

En la práctica, en el tratamiento de aguas residuales industriales se combinan varios procesos a fin conseguir el grado de depuración más alto y coste más bajo. Un resumen de la secuencia completa de tratamientos que pueden aplicarse a aguas residuales industriales, se representa en la figura 2:

Figura 2. Secuencia completa de tratamientos de aguas residuales industriales



Fuente. Microsoft Encarta 2.006

Donde el pretratamiento de un efluente se efectúa con el fin de cumplir con las condiciones mínimas exigidas para su descarga, o antes de un tratamiento secundario. En la mayoría de los casos, el pretratamiento se aplica para cumplir con normas en cuanto a pH, temperatura, contenido de sólidos en suspensión, de materia orgánica, de metales y de grasas y aceites. También es el tratamiento básico que se da a los vertimientos con el fin de remover sólidos gruesos y objetos que puedan impedir el funcionamiento de bombas y equipos o causar taponamiento en las redes de drenaje interna. El tratamiento primario es el conjunto de operaciones encaminadas hacia la remoción de sólidos sedimentables de material flotante, por medios gravitacionales o mecánicos. El tratamiento secundario se utiliza principalmente para la reducción de carga orgánica y/o de sólidos en suspensión del vertimiento, por métodos bioquímicos. El tratamiento terciario es aquel requerido por un vertimiento después del tratamiento secundario, cuando así lo exige la calidad de la corriente receptora del vertimiento.

El proceso usual del tratamiento de aguas residuales industriales puede dividirse en varias etapas como se observa en la figura 3 un esquema general del tratamiento que se va a diseñar para la industria farmacéutica se observa en el anexo A.

Figura 3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales



Fuente. Guía ambiental para la formulación de planes de pretratamiento de efluentes industriales

A continuación se describen los procesos de tratamiento y se establecen pautas generales para su selección, de acuerdo con las condiciones específicas del vertimiento de la industria farmacéutica:

- **Homogeneización:** El objetivo de la homogeneización es amortiguar los picos tanto de carga como de caudal que pueden presentarse a través del día en los efluentes, con el fin de producir un vertimiento de características más uniformes. La homogeneización es el proceso por medio del cual se eliminan variaciones muy grandes en la cantidad o la calidad de un efluente industrial. Cuando no existen estos cambios se puede reducir el tamaño, y por tanto el costo de los sistemas puesto que disminuyen los factores de incertidumbre. La homogeneización sirve también para diluir descargas puntuales de sustancias tóxicas que de otra manera afectarían la eficiencia de los tratamientos biológicos.

La homogeneización y el balanceo de caudales es una etapa que considera la instalación de uno o más tanques, antes de enviar el agua a tratamiento, para almacenarla y mezclarla, de modo tal que la calidad y la cantidad del efluente no varíen sustancialmente.

Para el diseño de los tanques de homogeneización, se utilizan las ecuaciones de balance de masa suponiendo que el tanque funciona con un régimen de mezcla completa y que en el tanque no ocurren procesos de separación. Con estas premisas, que son cercanas a la realidad si existe un sistema de mezcla adecuado, se puede calcular el volumen requerido para la reducción de cambios bruscos en la calidad de las aguas residuales o en su caudal.

- **Remoción de sólidos / carga orgánica:** La selección del método de separación adecuado depende de la concentración y el tamaño de los sólidos presentes en el vertimiento, de su grado de aglomeración y de las características deseadas para el efluente. Los métodos más utilizados son los siguientes: tamizado por rejillas y/o rejillas, separación por gravedad, sedimentación simple y sedimentación con ayudas.

Tamizado: Consiste en la remoción de sólidos gruesos mediante el uso de rejillas gruesas, con separación entre barras de 0.5 Cm o más, o del uso de rejillas finas con separación de hasta 0.1 Cm para la remoción de los sólidos relativamente grandes presentes en el efluente.

Separación por gravedad: Los sólidos suspendidos y la materia orgánica asociada pueden ser removidos por gravedad, si la densidad de la sustancia o sólidos a separar es mayor que la del agua residual esta tenderá a sedimentar mientras que si es menor flotará hacia la superficie.

Sedimentación simple: Es un proceso en la cual se brinda al efluente un tiempo casi siempre entre una y dos horas, con lo cual se permite la sedimentación de partículas de menor tamaño. Este proceso ocurre en un tanque o sedimentador, el cual es diseñado de forma tal que no existen variaciones bruscas en la velocidad del flujo del agua residual, procurando un flujo laminar que no arrastre las partículas.

Los parámetros de diseño incluyen área superficial del tanque de sedimentación, profundidad del mismo, tiempo de retención, carga hidráulica superficial y velocidad del flujo de salida. En caso de industrias pequeñas en donde no se justifique la remoción automática de lodos, se recomienda también que la profundidad del tanque no supere 1,20m para facilitar la remoción de los sólidos separados. En las industrias de tamaño relativamente grande, los tanques de sedimentación se calculan con base en la carga hidráulica superficial del sedimentador. Un rango típico de valores para este parámetro es de 24 a 33m³/d, aunque puede salir de este rango dependiendo de la naturaleza del sólido a separar, en especial de su densidad. La profundidad del tanque puede variar entre 1 y 3m, y debe considerar un espacio exclusivo para el almacenamiento de los lodos.

Sedimentación con ayudas: La adición de productos químicos puede mejorar la separación por gravedad de sólidos y de grasas, puesto que mejora las características de la aglomeración de las partículas sólidas o de sustancias emulsificadas. Los productos más utilizados son sulfato de aluminio o alumbre, el cloruro férrico, el sulfato ferroso, la cal y el aluminato de sodio y polielectrolitos sintéticos. Se debe tener en cuenta que muchos de ellos cambian el pH del agua, por lo cual debe ser neutralizada a un rango entre 6.5 y 8.5 unidades, que es el rango en el cual la aglomeración es más eficiente.

- **Aireación:** la aireación se ha empleado desde comienzos del siglo XX, para tratamiento de aguas residuales, introduciendo el aire a través de tuberías perforadas localizadas en el fondo del tanque de aireación. Desde 1916 se usan difusores de placas porosas en el proceso de lodos activados y sistemas de orificios fijos y burbuja grande. La clasificación de los diferentes equipos de aire es muy arbitraria, puede hacerse, con base en sus principales características físicas, en difusores porosos, difusores no porosos y otros equipos de aire difuso como los aireadores de chorro, bombas de impulsor aspirante y aireación de tubos en forma de U.

En el tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. En general las funciones más importantes de la aireación son: disminuir la concentración de CO₂, remover gases como metano, cloro y amoníaco, oxidar hierro y manganeso y remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

En tratamiento de aguas residuales la función más común del sistema de aireación es la de transferir oxígeno al líquido, a las tasas requeridas para que el oxígeno no limite la utilización de la materia orgánica y las funciones metabólicas de los microorganismos. En la práctica, se encuentra una gran variedad de unidades de aireación, las más comunes son las siguientes: aireadores de tipo escalera, aireadores de cascadas múltiples, aireadores de bandejas, aireadores de aire comprimido y aireadores por aspersion.

Aireadores de tipo escalera: Se utilizan para caudales pequeños o medianos. Comprenden una serie de escalones y asemejan a una escalera por donde baja el agua. Figura 4.

Figura 4. Aireadores tipo escalera



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Aireadores de cascadas múltiples: Se utilizan para pequeños caudales, comprenden de tres a cuatro plataformas superpuestas, separadas entre sí por una distancia que oscila entre 0.25 y 0.5 metros. En la Figura 5 se puede observar un aireador de esta forma:

Figura 5. Aireadores de cascada múltiple



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Aireadores de bandejas: Constan de una serie de bandejas perforadas, donde el agua cae de una bandeja a otra a través de los espacios vacíos o de las mallas. Según la calidad del agua, en el lecho de las bandejas se coloca carbón, piedras comunes, minerales, etcétera, con una granulometría que varía de 5 a 15 centímetros. Figura 6.

Figura 6. Aireadores de bandejas

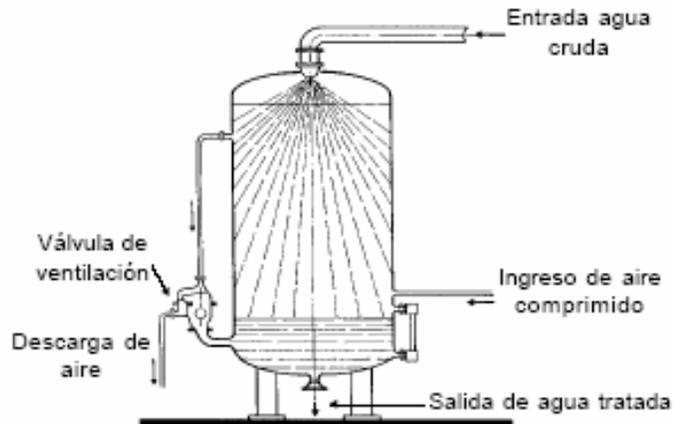


Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Aireadores de aire comprimido: El aire aplicado proviene de un compresor, con una presión en el fondo del tanque de aireación que depende de la profundidad del agua en el mismo, de las pérdidas en la tubería de distribución y de la tasa de aplicación. Para presiones bajas se usan sopladores directos o de presión positiva que generalmente rotan a velocidad alta. Para presiones altas es preferible utilizar compresores turbo.

Aireadores por aspersión: Están formados por boquillas que rocían el agua a presión. Estas boquillas van colocadas en un tubo de distribución por donde se expulsa el agua. Figura 7.

Figura 7. Aireadores por aspersion



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

- **Sedimentación:** Una vez eliminada la fracción mineral sólida y de tener una sola composición, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO (demanda biológica de oxígeno) y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión.

La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados *coagulación* y *floculación* químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el $Al_2(SO_4)_3$ (el más usado), $FeCl_3$ (caro pero el mejor) o polielectrolitos a las aguas efluentes, antes de agregar estos coagulantes, se debe ajustar el pH ($6,0 < pH < 7,0$) ; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión.

En general, hay varios tipos de sustancias coagulantes, tanto inorgánicas como orgánicas, las orgánicas actúan por lo general como agentes que ayudan la

floculación y son polímeros polielectrolíticos con cadenas moleculares muy largas, por lo cual pueden atrapar varias partículas coloidales, esto aumenta la velocidad de asentamiento mediante la formación de flóculos compuestos. Los sistemas de floculación requieren las siguientes etapas: adición del coagulante, mezcla del coagulante con el agua a tratarse, sedimentación de los flóculos y extracción de los flóculos sedimentados.

A continuación se describe dos tipos de sistemas de floculación:

Convencional: consiste en un tanque dividido en tres secciones, en la primera entra el agua a tratarse, se le inyecta la sustancia química y mediante un sistema mecánico se mezclan; de allí, el producto así obtenido pasa a la segunda sección por encima de un vertedero sumergido, donde tiene lugar el proceso de floculación, el cual es ayudado por una agitación lenta (por medios mecánicos), con objeto de ayudar la colisión. Luego la corriente pasa a través de un tabique perforado a la última sección, que es la de mayor volumen. En este ocurre el asentamiento de los flóculos formados, la extracción de estos puede efectuarse mediante raspadores o por limpieza periódica, poniendo previamente fuera de servicio el sistema.

Tanque de flujo rápido: La característica principal de estos sistemas, es que el agua bajo tratamiento se mueve en flujo vertical ascendente, a través de una capa flotante de flóculos, formados con anterioridad, con lo cual se acelera el proceso.

- **Filtro de carbón activado:** Este proceso consiste en hacer pasar el agua a través de un tanque o filtro con carbón activado, ya sea en bloque o granular. Este medio es sumamente eficiente para remover el cloro, mal olor y sabor del agua, así como sólidos pesados (plomo, mercurio) en el agua. Generalmente es el segundo proceso para el purificado del agua, pero este es el único proceso que es

necesario, ningún proceso de purificado puede prescindir de él. Es el único que remueve los contaminantes orgánicos del agua (restos de insecticidas, pesticidas, herbicidas y bencenos, así como derivados del petróleo). Al terminar este proceso el agua debe tener un sabor y olor excelente. Existen varios tipos de carbón activado, ya sea por su micraje, bloque, de palma de coco, granular, etc. El filtro de carbón funciona por el mismo principio que el filtro de arena, la diferencia radica en los elementos filtrantes y su finalidad. El carbón activado es un material natural que con millones de agujeros microscópicos que atrae, captura y rompe moléculas de contaminantes presentes.

2.1.5. Composición del agua a tratar: la composición de las aguas efluentes se analiza con diversas mediciones físicas, químicas y biológicas. Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los FENOLES y el pH.

- **Contenido de sólidos:** Los residuos sólidos comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua efluente en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral. La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO y DQO.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** El DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar (poder reductor) la materia orgánica por medio de Cr_2O_7 en una solución ácida y convertirla en CO_2 y agua. La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas efluentes que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. El valor de la DQO

es siempre superior al de la DBO porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** La DBO es la cantidad de oxígeno disuelto empleado por los microorganismos para descomponer la materia orgánica de las aguas efluentes a una temperatura de 20 °C. La DBO suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas efluentes municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas.

El contenido típico en materia orgánica de estas aguas es un 50% de carbohidratos, un 40% de proteínas y un 10% de grasas;

- **Fenoles:** Son todas aquellas sustancias derivadas del fenol (hidroxibenceno o bencenol). Existe una amplia variedad de compuestos. Los derivados fenólicos más importantes desde el punto de vista del control analítico de las aguas son:

- Fenol
- 2-Monoclorofenol
- 4-Monoclorofenol
- 2,4,6-Triclorofenol
- Tretraclorofenoles
- Pentaclorofenoles

Puesto que existe una gran variedad de compuestos fenólicos, sus efectos en organismos vivos varían según la especie. De forma genérica, los fenoles son sustancias muy tóxicas (HR=3) en estado puro. (HR= Hazard Rating. Fuente: SAX/LEWIS. Dangerous properties of industrial materials. Seventh edition. Van Nostrand Reinhold, 1989). Por lo general, el fenol se utiliza como producto

intermedio en diversos procesos de producción, siendo producido y consumido por la propia industria.

- **Potencial de hidrógeno (pH):** El término (del francés pouvoir hydrogène, 'potencial del hidrógeno') se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrógeno, H⁺, cambiado de signo:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Donde [H⁺] es la concentración de iones hidrógeno en moles por litro. Debido a que los iones H⁺ se asocian con las moléculas de agua para formar iones hidronio, H₃O⁺. En agua pura a 25 °C de temperatura, existen cantidades iguales de iones H₃O⁺ y de iones hidróxido (OH⁻); la concentración de cada uno es 10⁻⁷ moles/litro. Por lo tanto, el pH del agua pura es -log (10⁻⁷), que equivale a 7. el pH expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución, entre 0 y 7 es ácida, y de 7 a 14, básica. Para la industria farmacéutica el pH puede variar entre 4 y 11.

2.1.6. Identificación de los sensores: la siempre creciente automatización de los complejos sistemas de producción necesita la utilización de componentes que sean capaces de adquirir y transmitir información relacionada con el proceso de producción. Los sensores cumplen con estos requerimientos, y por ello se han convertido en los últimos años en componentes cada vez más importantes en la tecnología de medición y en la de control en bucle cerrado y abierto. Los sensores proporcionan la información al control en forma de variables individuales del proceso. Las variables de estado del proceso son variables físicas como temperatura, presión, pH, fuerza, longitud, nivel, caudal, etc. Para la automatización del sistema de tratamiento de aguas residuales son necesarios los medidores de nivel para controlar el correcto funcionamiento de los distintos

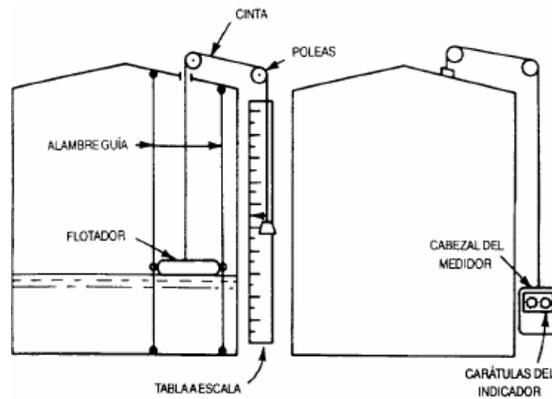
equipos y actuadores que intervienen durante el proceso, también es necesario un medidor de pH para el tanque de floculación.

- **Medidores de Nivel:** Existen distintos tipos de sensores de nivel clasificándolos por el principio de funcionamiento, entonces tenemos: sensor de desplazamiento, sensor de presión diferencial, sensor de burbujeo, sensor de radioactivo y sensor capacitivo, entre los más importantes.

Sensor de desplazamiento: Es el sensor de uso más común y posiblemente el más antiguo, existen distintos modelos de este tipo de sensor: de regleta, de boya, de unión magnética, tipo flotador, entre otros, a continuación se describen algunos de estos sensores:

De regleta: el contrapeso se mueve en sentido contrario al flotador por una regleta calibrada, figura 8.

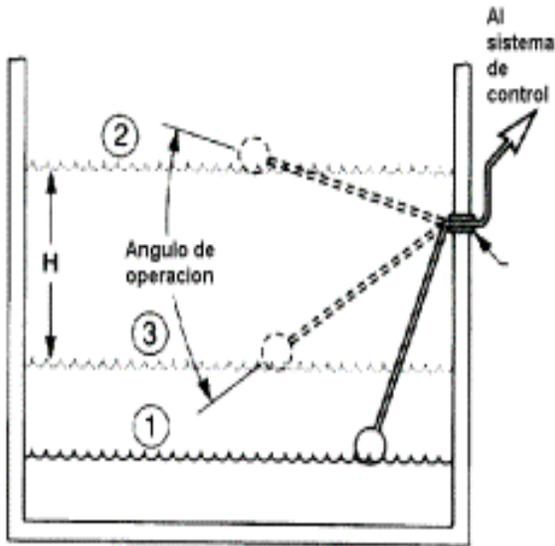
Figura 8. Sensor de desplazamiento de regleta



Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

De boya: Un tipo de sensor muy utilizado durante años, consiste en accionar un contacto eléctrico, figura 9.

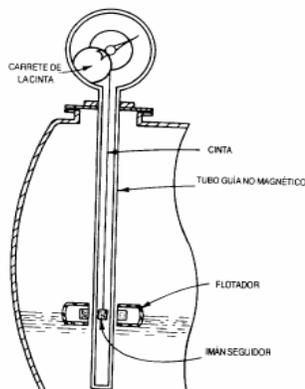
Figura 9. Sensor de desplazamiento de boya



Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

De unión magnética: el flotador hueco, que lleva en su interior un imán, se desplaza a lo largo de un tubo guía vertical no magnético. El imán seguidor suspendido de una cinta mueve una aguja indicadora. Los sensores basados en materiales magnéticos tiene como principio de funcionamiento su permeabilidad magnética, estos a su vez pueden ser divididos en materiales ferromagnéticos (hierro, cobalto y níquel) y ferrimagnéticos (ferritas). Figura 10.

Figura 10. Sensor de desplazamiento de unión magnética



Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Un ejemplo de sensor comercial con este principio de funcionamiento, y sus características se puede observar en la figura 11.

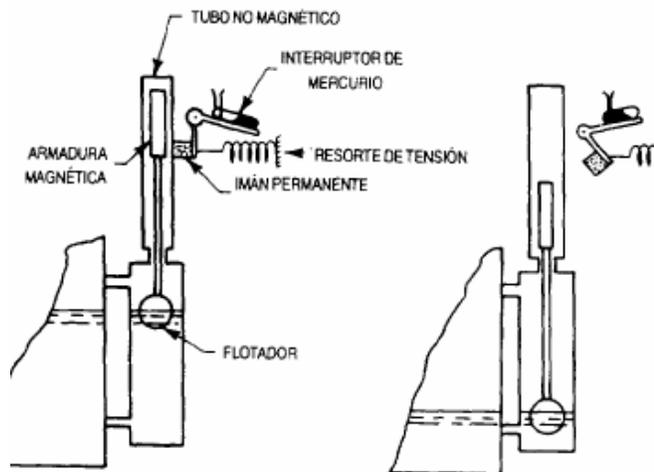
Figura 11. Sensor comercial de desplazamiento de unión magnética



Fuente: <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Tipo flotador: Si el nivel alcanza al flotador lo empuja en sentido ascendente, ascendiendo si la fuerza supera al peso del flotador. Este movimiento es trasmitido por la barra y el interruptor cambia de posición. Figura 12.

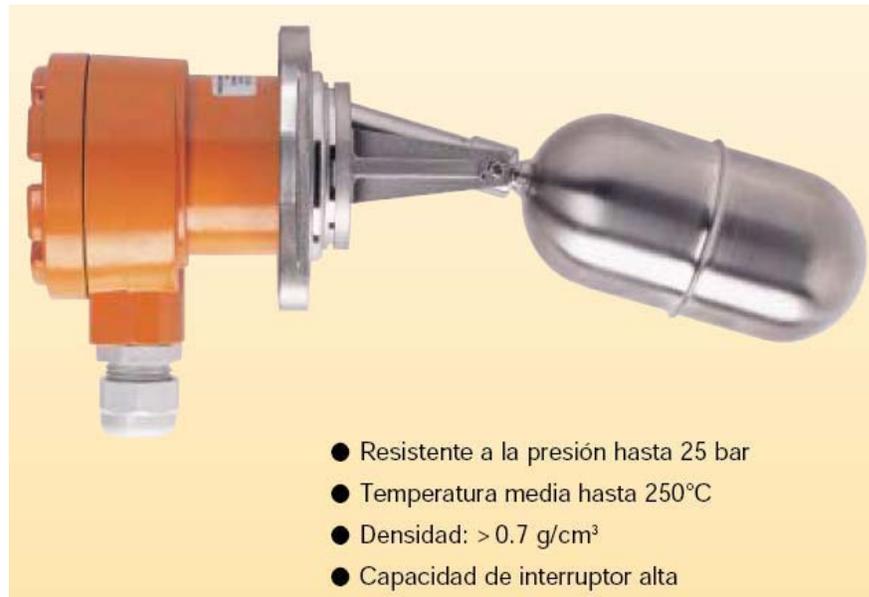
Figura 12. Sensor de desplazamiento tipo flotador



Fuente: <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Existen múltiples modelos comerciales, fabricándose además sensores que llevan incorporada la función de interruptor, figura 13.

Figura 13. Sensor comercial de desplazamiento tipo flotador



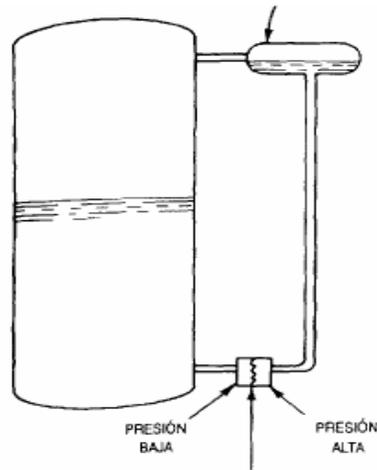
Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Sensor de presión diferencial: También llamado Bypass, a la hora de abordar estos sensores se debe tener en cuenta un detalle, si el tanque es cerrado o abierto. En el caso que el tanque sea abierto, el nivel del líquido es proporcional a la presión en el fondo. Se coloca un medidor de presión en el fondo, lo que nos da la altura del líquido en base a la fórmula de la presión hidrostática:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde ρ es la densidad, g es la gravedad y h es la altura del nivel del líquido, si nos encontramos con un tanque cerrado, la diferencia de presión ejercida por el líquido en el fondo y la presión que tiene el depósito en la zona gaseosa, es decir en su parte superior, nos daría la altura del líquido existente. Figura 14.

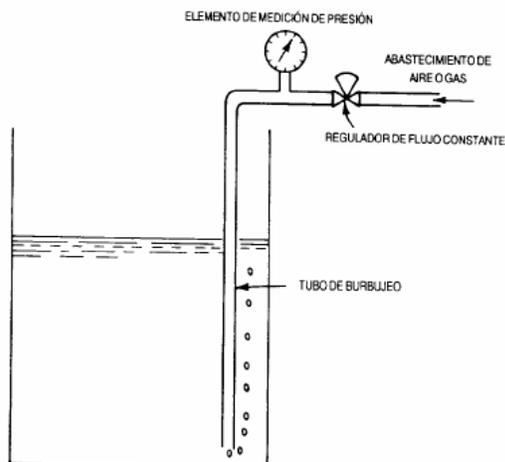
Figura 14. Sensor de presión diferencial



Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Sensor de burbujeo: El principio de funcionamiento de este método consiste en introducir un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas, mediante un tubo sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo. Esto se consigue mediante un regulador de caudal, que además permite la medición de este, y de la presión necesaria. Este sistema es muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos o con materiales en suspensión. Figura 15.

Figura 15. Sensor de nivel por burbujeo

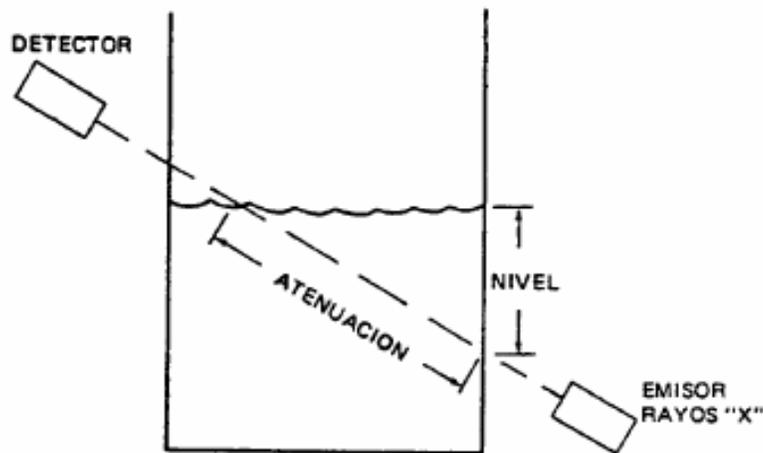


Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Sensor de radioactivo: Este se basa en la medición, a un costado, de un receptor de radiación puntual para medidas todo o nada, o lineal para medidas continuas de radiación emitida por una fuente radioactiva que se instala en un costado del depósito, figura 16, la potencia emisora de la fuente decrece con el tiempo, por lo que hay que recalibrar estos instrumentos, lo que conlleva un costo periódico de mantenimiento.

Su aplicación se ve limitada por las dificultades técnicas y administrativas que conlleva el manejo de fuentes radioactivas. Este tipo de sensor es óptimo para medir fluidos con alta temperatura, líquidos muy corrosivos, reactores de polímeros, ..., por que no existe contacto.

Figura 16. Sensor medidor de nivel por radiación

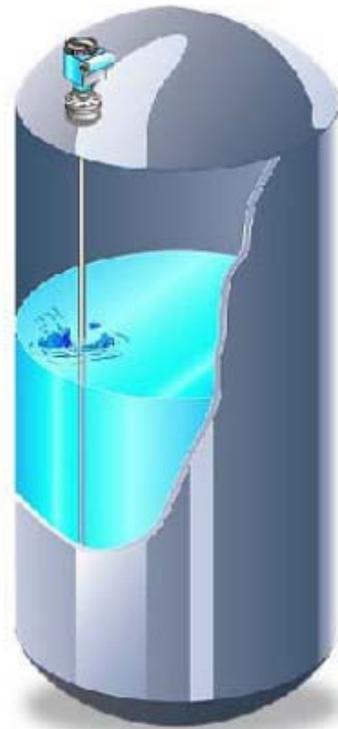


Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

Sensor de capacitivo: Este sensor se basa en medir la variación de capacitancia de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas. Con el depósito metálico e introduciendo una sonda metálica sin contacto entre ambos,

se forma un condensador, al variar el nivel del líquido varía proporcionalmente la capacidad. Si el depósito no es metálico se introducen dos sondas, su respuesta depende de las características del líquido. Este cambio de capacitancia se detecta electrónicamente y se convierte en una señal de conmutación cuando la capacitancia se pasa o se cae del límite. Figura 17.

Figura 17. Sensor de nivel capacitivo



Fuente. <http://www2.ate.uniovi.es/5809/Trabajos/Sensores%20de%20nivel.pdf>

- **Medidores de pH:** Para la medición del pH se utiliza una sonda de pH estándar, a continuación describiremos su funcionamiento a nivel eléctrico. En teoría, una sonda de pH proporciona a su salida una tensión inversamente proporcional al pH del líquido, teniendo como cero el pH neutro. Es decir, para pH 7, la tensión de salida es 0V; cuando el pH es mayor que 7, la tensión de salida es

negativa y cuando el pH es menor que 7 positiva, siendo los cambios de, aproximadamente, 60mV por grado de pH. Por ejemplo, para pH 5, la tensión de salida sería de unos 120mV y para pH 8.5 sería de aproximadamente -90mV. Se ha dicho que esto es la teoría, porque la realidad es que, dependiendo de varios factores (calidad y envejecimiento de la sonda, temperatura, etc.), puede que no dé exactamente 0V para pH 7 ó que los incrementos de tensión no sean de 60mV por grado de pH. Por todo ello, el circuito tendrá que ser calibrado periódicamente para que su medida sea fiable.

2.1.7. Automatización del proceso de aguas residuales: la automatización del proceso se alcanza gracias a dispositivos que se diseñan, seleccionan y configuran especialmente para la aplicación de control de procesos deseada. El controlador de procesos es el maestro del sistema de control de procesos, acepta un punto de consigna y otras entradas y genera una salida o salidas calculadas a partir de una regla o conjunto de reglas que son parte de su configuración interna.

La salida del controlador sirve como entrada de un elemento final de control. El elemento final de control es el dispositivo que modifica el caudal en el sistema de tuberías del proceso, sirve como interfase entre el controlador del proceso y el proceso.

2.1.8. Controladores: casi todos los controladores de procesos que se utilizan hoy en día son dispositivos basados en microprocesadores. Estos controladores basados en procesadores contienen, o tienen acceso a, interfases electrónicas de entrada/salida (E/S) que permiten entrar y salir del procesador del controlador a distintos tipos de señales. El controlador, dependiendo de su tipo, utiliza memoria de solo lectura (ROM) y memoria de acceso a lectura y escritura (RAM) para realizar la función del controlador.

- *Sistemas de control distribuido:* Un SCD es un sistema de control de procesos con capacidad suficiente para albergar aplicaciones de proceso a gran escala en tiempo real. El SCD tiene (1) una estación de trabajo de operación con un tubo de rayos catódicos (CRT) para gráficos; (2) un subsistema de controladores que contiene varios tipos de controladores y funciones de control; (3) un subsistema de E/S para tratamiento de señales de datos; (4) una plataforma de cálculo de alto nivel para realizar supervisión de procesos, procesamiento y análisis de la información; (5) redes de comunicación para enlazar los subsistemas del SCD, las áreas y otros sistemas de planta.
- *Controladores multilazo:* El controlador multilazo es un dispositivo de red del SCD que utiliza un único microprocesador de 32 bits para proporcionar funciones de control a varios lazos de proceso. El controlador opera independientemente de otros dispositivos de la red del SCD y puede albergar entre 20 y 500 lazos. También puede proporcionar este controlador capacidades de adquisición de datos de hasta 1.000 canales de E/S analógicos y digitales.
- *Controladores de lógica programable:* el controlador de lógica programable fue desarrollado originariamente como un sustituto de estado sólido para los paneles de control de relés y utilizado en la industria de automoción para control de fabricación discreta. Hoy, los PLC se utilizan para realizar funciones de lógica booleana, temporizadores, contadores y algunas funciones matemáticas y control PID. Los PLC se utilizan generalmente con válvulas de control de procesos on/off. Los PLC se clasifican por el número de funciones de E/S que realizan. Existen varios tamaños, desde el PLC más pequeño, que representa menos de 128 canales de E/S, hasta el mayor, que contiene más de 1.023 canales de E/S. existen módulos de E/S que soportan cargas de motor de alta intensidad, cargas de corriente y voltaje de propósito general, entradas digitales, E/S analógicas, E/S especiales para servomotores, motores discontinuos, contadores de pulsos de alta

velocidad, pantallas multiplexadas y teclados. Cuando se utilizan como alternativa al SCD, los PLC se programan con un cargador portátil o basado en ordenador. Los PLC se programan habitualmente con lógica de escalera básica o un lenguaje de ordenador de alto nivel como BASIC, FORTRAN o c. Los controladores de lógica programable utilizan procesadores de 16 o 32 bits y ofrecen algún tipo de comunicación punto a punto como la RS-232, RS-422 o RS-485.

- *Controlador basado en ordenador personal:* A causa de su alto rendimiento y bajo coste y su gran facilidad de uso, está creciendo la utilización del ordenador personal con plataforma para controladores de proceso. Cuando se configura para realizar funciones de barrido, control, alarmas y adquisición de datos (SCADA) y combinado con aplicaciones de gestión de base de datos u hojas de cálculo, el controlador de PC puede ser una alternativa básica de bajo coste para el SCD o el PLC.

Para utilizar un PC para control se necesita instalar una tarjeta dentro de una ranura de expansión en el ordenador, o se debe conectar el PC a un módulo externo de E/S que utilice un puerto de comunicación estándar del PC (RS-232, RS-422,...). El módulo/tarjeta del controlador admite microprocesadores de 16 o 32 bits. El alto volumen del mercado de PC y su estandarización ha producido una gran selección de herramientas físicas y lógicas para controladores basados en PC.

2.1.9. Elementos finales de control: para la automatización del proceso de tratamiento de aguas residuales industriales, son necesarios los siguientes dispositivos y/o equipos como elementos finales del control del proceso.

- **Bombas hidráulicas:** Una bomba es un dispositivo empleado para elevar, transferir o comprimir líquidos y gases, en definitiva son máquinas que realizan un

trabajo para mantener un líquido en movimiento. Consiguiendo así aumentar la presión o energía cinética del fluido. Existen infinidad de formas de clasificación de bombas pero fundamentalmente se pueden dividir en dos grandes grupos: bombas volumétricas o de desplazamiento positivo, entre las que se encuentran por ejemplo las alternativas, rotativas y las neumáticas, pudiendo decir que son bombas de pistón, cuyo funcionamiento básico consiste en recorrer un cilindro con un vástago y las bombas dinámicas o de energía cinética que fundamentalmente consisten en un rodete que gira acoplado a un motor. Entre ellas se sitúan las regenerativas, las especiales, las periféricas o de turbinas y una de las más importantes, las centrífugas.

En todos los tipos de bombas para líquidos deben emplearse medidas para evitar el fenómeno de la cavitación, que es la formación de un vacío que reduce el flujo y daña la estructura de la bomba.

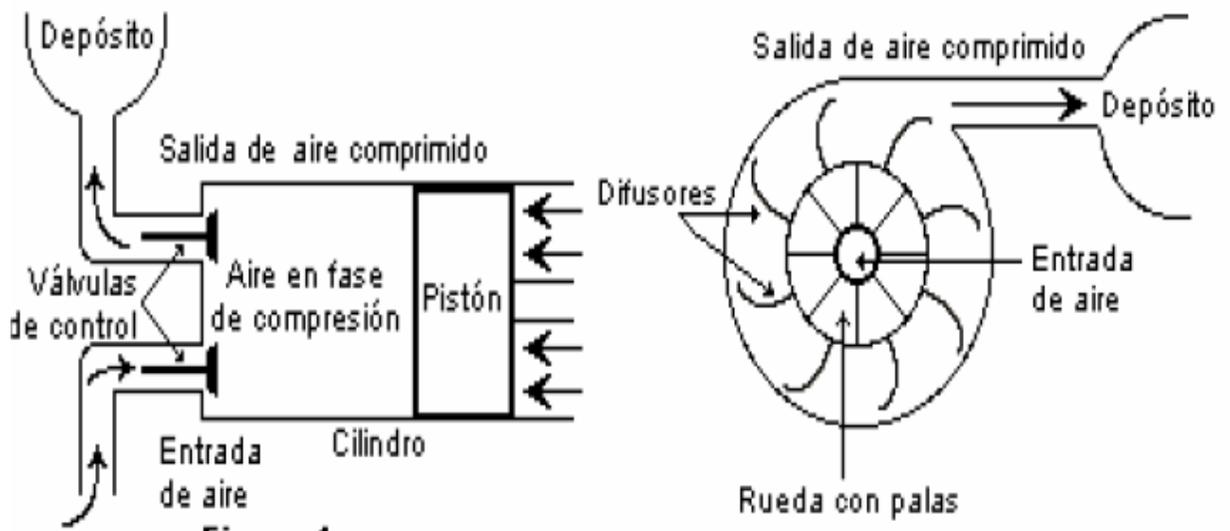
Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo: En este tipo de bombas existe una relación directa entre el movimiento de los elementos de bombeo y la cantidad de líquido movido. Existen diversos tipos de bombas de desplazamiento positivo, pero todas suelen constar de una pieza giratoria con una serie de aletas que se mueven en una carcasa muy ajustada. El líquido queda atrapado en los espacios entre las aletas y pasa a una zona de mayor presión. Un dispositivo corriente de este tipo es la bomba de engranajes, formada por dos ruedas dentadas engranadas entre sí. En este caso, las aletas son los dientes de los engranajes. En todas estas bombas, el líquido se descarga en una serie de pulsos, y no de forma continua, por lo que hay que tener cuidado para que no aparezcan condiciones de resonancia en los conductos de salida que podrían dañar o destruir la instalación. En las bombas alternativas se colocan con frecuencia cámaras de aire en el conducto de salida para reducir la magnitud de estas pulsaciones y hacer que el flujo sea más uniforme.

Bombas de energía cinética: En este tipo de bombas la energía es comunicada al fluido por un elemento rotativo que imprime al líquido el mismo movimiento de rotación, transformándose luego, parte en energía y parte en presión. El caudal a una determinada velocidad de rotación depende de la resistencia al movimiento en la línea de descarga. Las bombas centrífugas tienen un rotor de paletas giratorio sumergido en el líquido. El líquido entra en la bomba cerca del eje del rotor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El rotor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor. En bombas de alta presión pueden emplearse varios rotores en serie, y los difusores posteriores a cada rotor pueden contener aletas de guía para reducir poco a poco la velocidad del líquido. En las bombas de baja presión, el difusor suele ser un canal en espiral cuya superficie transversal aumenta de forma gradual para reducir la velocidad. El rotor debe ser cebado antes de empezar a funcionar, es decir, debe estar rodeado de líquido cuando se arranca la bomba. Esto puede lograrse colocando una válvula de retención en el conducto de succión, que mantiene el líquido en la bomba cuando el rotor no gira. Si esta válvula pierde, puede ser necesario cebar la bomba introduciendo líquido desde una fuente externa, como el depósito de salida. Por lo general, las bombas centrífugas tienen una válvula en el conducto de salida para controlar el flujo y la presión.

- **Compresor:** El compresor de aire, también llamado bomba de aire, es una máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire y aumenta su presión por procedimientos mecánicos. El aire comprimido posee una gran energía potencial, ya que si eliminamos la presión exterior, se expandiría rápidamente. El control de esta fuerza expansiva proporciona la fuerza motriz de muchas máquinas y herramientas.

En general hay dos tipos de compresores: alternativos y rotatorios (figura 18). Los compresores alternativos o de desplazamiento, se utilizan para generar presiones altas mediante un cilindro y un pistón. El principio de desplazamiento se funda en la reducción del volumen del aire, esta reducción provoca un aumento de presión que es proporcional a la disminución de dicho volumen. Los compresores rotativos, producen presiones medias y bajas. Están compuestos por una rueda con palas que gira en el interior de un recinto circular cerrado. El aire se introduce por el centro de la rueda y es acelerado por la fuerza centrífuga que produce el giro de las palas. La energía del aire en movimiento se transforma en aumento de presión en el difusor y el aire comprimido pasa al depósito por un conducto fino. El aire al comprimirlo, también se calienta. Las moléculas de aires chocan con más frecuencia unas con otras si están más apretadas, y la energía producida por estas colisiones se manifiesta en forma de calor. Para evitar este calentamiento hay que enfriar el aire con agua o aire frío antes de llevarlo al depósito. La producción de aire comprimido a alta presión sigue varias etapas de compresión, en cada cilindro se va comprimiendo más el aire y se enfría entre etapa y etapa.

Figura 18. Tipos de compresores

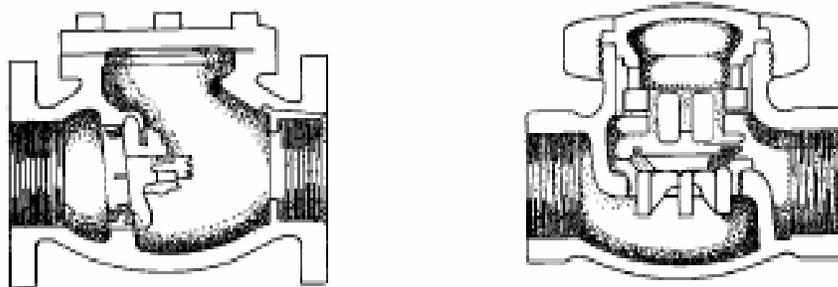


Fuente: <http://tar5.eup.us.es/master/formacion/documentacion/cursodebombas.pdf>

- **Válvulas:** Todo fluido al ser transportado por medio de tuberías, requiere un control de flujo, un método que impida su retorno y que libere el exceso de presión cuando esta sobrepase ciertos límites de seguridad. Para cumplir estas funciones se utilizan las válvulas, la elección de estas es simple. Se debe tener en cuenta su capacidad, la clase de fluido, la clase y el tipo de tubería en el cual se debe instalar, la forma de realizar las conexiones, la manera como se va a operar y las facilidades para su buen manejo. Entre las distintas variedades de válvulas están las siguientes:

Válvulas de retención o válvulas “check”: La función principal de esta válvula es evitar el cambio de dirección del fluido que conduce a través de la tubería. Hay dos tipos distintos, conocidos como válvulas de retención a bisagra y de retención horizontal. Figura 19.

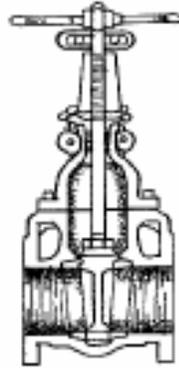
Figura 19. Válvulas de retención



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Válvula de compuerta: permite el paso del flujo en posición completamente abierta y lo restringe en la posición completamente cerrada, con la mínima pérdida de carga posible. Cuando la válvula está en posición abierta, no solo facilita el paso del fluido en línea recta sino que, además, la sección mantiene la misma área de la tubería a la cual esta unida. Figura 20.

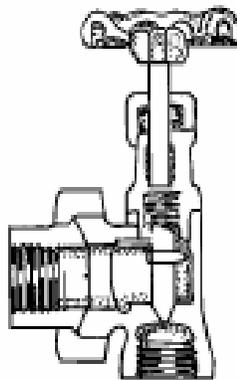
Figura 20. Válvula de compuerta



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Válvula de globo: sirven para regular o limitar el paso de un fluido. Están construidas de tal modo que cuando el fluido pasa, producen un cambio en la dirección e incrementan su resistencia al paso en forma gradual, según la posición de cierre. Para diámetros mayores de 12 pulgadas, estas válvulas son poco usadas, debido al gran esfuerzo que requieren para ser operadas bajo alta presión. En diámetros menores a una pulgada, para regular el flujo con mayor precisión, se usa otra versión de válvula de globo, que tiene un vástago de forma cónica. Este es muy alargado y se conoce con el nombre de válvula de aguja. Figura 21.

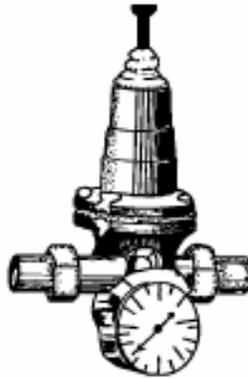
Figura 21. Válvula de aguja



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Válvula reguladora de presión: Se utilizan cuando es necesario reducir la presión, manteniéndola en valores prefijados, al margen de la cantidad de fluido que pasa a través de ellas. Figura 22.

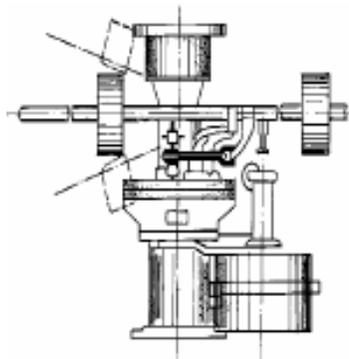
Figura 22. Válvula reguladora de presión



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

Válvula reguladora de caudal: funcionan de manera similar a las reguladoras de presión, reduciendo y manteniendo el caudal de salida. En las plantas de tratamiento, estas válvulas son muy utilizadas en diámetros mayores de seis pulgadas para mantener constante el caudal de operación de los filtros rápidos de este tipo. Figura 23.

Figura 23. Válvula reguladora de caudal



Fuente. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap9.pdf>

- **Dosificadores:** Los dosificadores son dispositivos capaces de descargar cantidades prefijadas de sustancias químicas en una determinada unidad de tiempo. De acuerdo con la forma en que se aplica el coagulante, los dosificadores se clasifican en dosificadores en solución, dosificadores en seco y dosificadores de gas (cloradotes).

Dosificadores en solución: Se utilizan para dosificar el coagulante en forma líquida. Los más conocidos son los de orificio de carga constante y las bombas dosificadoras.

- Dosificadores en solución de tipo orificio con carga constante: Están compuestos básicamente de un orificio sumergido en el agua, que se mantiene a una altura constante, mediante un flotador colocado en el extremo del tubo o en la manguera que tiene el orificio.
- Bombas dosificadoras: Son del tipo aspirantes impelentes de diafragma o de pistón. Son accionadas por un conjunto motor reductor, donde el desplazamiento del diafragma o pistón puede ser regulado con una frecuencia de movimientos alternados de los desplazamientos, lo que permite ajustar el volumen y, en consecuencia, la dosificación.

Dosificadores en seco: Usados para la dosificación de productos químicos en seco como sulfato de aluminio granular, cal, sales de flúor, etcétera. Se clasifican según la forma en que miden las cantidades de productos químicos: gravimétricos y volumétricos. En los dosificadores gravimétricos la medida de la cantidad de producto químico dosificado se determina pesando el material o sobre la base de una pérdida de peso constante del material depositado en la tolva.

Dosificadores de gas: La dosificación de gas se efectúa mediante el uso de aparatos que se regulan independientemente de las condiciones variables, la presión del gas que se va a usar o la presión necesaria para introducir el gas en el agua. Se clasifican en dos tipos: directos y de solución al vacío. Los dosificadores de gas de tipo directo generalmente, son dosificadores compactos en los cuales la presión del cloro proveniente del cilindro se reduce en el aparato, que regula la cantidad por dosificar mediante un rotámetro. Luego el cloro se envía al punto de aplicación por presión. La aplicación se efectúa por medio de un difusor colocado dentro de la masa líquida que va a ser desinfectada. Los dosificadores de gas cloro de tipo solución al vacío están provistos de dispositivos que controlan e indican la dosificación de un flujo de cloro. Poseen un método simple para ajustar la dosificación en cualquier valor incluido dentro del rango del equipo.

2.2. MARCO LEGAL O NORMATIVO

- Artículo 80 de la constitución Nacional de Colombia de 1.991.

El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

- Decreto 1594 de 1.984 de las normas de vertimiento Colombia.

La EMAR (entidad encargada del manejo y administración del recurso) indica que todo vertimiento de agua debe cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Tabla 1. Normas para el vertimiento del agua residual

Referencia	Usuario Existente	Usuario Nuevo
pH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40°C	< 40°C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos, domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno:		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Fuente. EMAR (entidad encargada del manejo y administración del recurso)

2.3. MARCO TEÓRICO

Para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se tienen en cuenta las leyes básicas del flujo de fluidos, tales como las ecuaciones de continuidad y la ecuación de Bernoulli. Además para el diseño de los tanques se tienen estipulados unos parámetros, con los cuales se pueden dimensionar y seleccionar.

2.3.1. Ecuaciones de continuidad: Las ecuaciones de continuidad se obtienen aplicando el principio de conservación de la masa del flujo. Este principio establece que la masa dentro de un sistema permanece constante con el tiempo. Las ecuaciones de continuidad para un volumen de control establecen que la razón de incremento con respecto al tiempo de la masa dentro de un volumen de control es igual a la razón de cambio neto de masa que fluye hacia el volumen de control. Considérese un flujo estable a través del tubo de corriente, donde el

volumen de control constituye las paredes del tubo de corriente y las secciones transversales dA_1 y dA_2 que son normales al tubo de corriente. Si definimos que es un flujo estable e incompresible, tenemos que las densidades en ambas secciones transversales es la misma por lo que tenemos que la razón de cambio del flujo de un líquido en un tubo es constante en cualquier sección transversal. O bien:

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Donde,

Q = flujo de un fluido, [m³ /s]

A = área transversal [m²]

v = velocidad promedio [m/s]

2.3.2. Ecuación de Bernoulli: La dinámica de los líquidos, está regida por el mismo principio de la conservación de la energía, el cual fue aplicado a ellos por el físico suizo Daniel Bernoulli (1700-1782), obteniendo como resultado una ecuación muy útil en este estudio, que se conoce con su nombre.

Para ello se puede considerar los puntos 1 y 2, de un fluido en movimiento, determinando la energía mecánica de una porción de éste, a lo largo del filete de fluido en movimiento que los une. Y luego dividiendo entre la masa considerada y la gravedad se obtendrá la ecuación de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\delta} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\delta} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2$$

Donde,

$\frac{P}{\delta}$ = altura de presión [m]

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \text{altura de velocidad [m]}$$

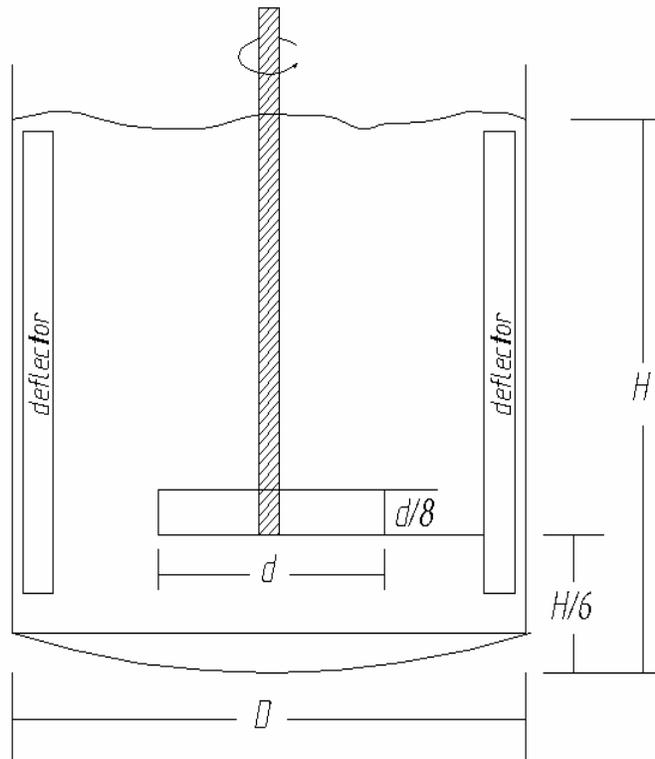
Z_1 = altura geodesica tomada desde un punto de referencia [m]

2.3.3. Parámetros de diseño de tanques reactores con agitación: Ofrecen la posibilidad de dispersar gases o productos químicos en líquidos a través de distribuidores o boquillas. Los niveles de dispersión más intensivos se obtienen empleando agitación mecánica. Simultáneamente, la agitación mejora la transmisión de calor y ayuda a mantener las partículas de catalizador en suspensión si es necesario.

Uno de los diseños básicos para un tanque agitado puede observarse en la figura 24, donde la relación altura a diámetro es menor o igual a 1 ($H/D < 1$), Los tabiques deflectores se utilizan para impedir que el movimiento del agua a tratarse tenga lugar como si se tratase de un solo volumen conjunto, el volumen que ocupa la fase de agua dentro del reactor debe ser de un 80 % del volumen total del tanque. Para favorecer la dispersión de los químicos es preferible emplear agitadores de turbina de seis palas, teniendo en cuenta que cuando la relación altura del líquido a diámetro es $H/D < 1$, basta con un agitador, mientras que cuando la relación de altura del líquido a diámetro es mayor de 1 ($H/D > 1$), deben utilizarse más de un agitador para la correcta dispersión de los químicos.

También es aconsejable el empleo de un motor de agitación de dos velocidades a fin de prevenir cargas excesivas, o para trabajar con una velocidad de agitación más baja cuando sea necesario disminuir. Cuando se emplean tanques de entre 5,7 y 18,9m³ las velocidades de agitación deben ser del orden de 50 a 200 rpm, para tanques de entre 2 y 5m³ las velocidades de agitación deben ser del orden de 200 rpm a 500 rpm.

Figura 24. Parámetros de diseño del reactor tanque agitado



Fuente. El autor

3. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Empírico – Analítica, ya que la información de algunos de los procesos ha sido tomada de experiencias que se han practicado en el tratamiento de aguas residuales, como lo es el tiempo de aireación, y la cual después es procesada y tabulada para su respectivo análisis. Además deben ser analizados todos los procesos que intervienen durante el proceso para así evitar reboses del agua a tratarse.

3.2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB

Pertenece a tecnologías actuales y sociedad la cual a su vez hace parte de la sub-línea de facultad de instrumentación y control para la verificación de procesos y esta a su vez hace referencia al campo temático del programa como diseño, instrumentación y control de procesos de manufactura.

3.3. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las técnicas de recolección de información van a ser de fuentes primarias y fuentes secundarias:

- Primarias: Información oral que se ha recopilado de visitas a la industria farmacéutica FARMACOOOP, y a empresas que se encargan del diseño de plantas de tratamiento de aguas como HIDRAL – OBRAS.
- Secundarias: Información escrita en documentos, textos o revistas.

3.4. HIPÓTESIS

Con el desarrollo de una planta automatizada para el tratamiento de las aguas residuales en la industria farmacéutica, que básicamente conste de los procesos de homogeneización, oxidación, sedimentación y por último un filtro de carbón activado para remover malos olores y sabores, se podrá vertir las aguas sin ningún riesgo de contaminación al medio ambiente.

3.5. VARIABLES

3.6.1 Variables independientes: Las variables que son independientes en el proceso de tratamiento de aguas residuales para la industria farmacéutica son: el caudal de entrada al proceso y el tiempo de funcionamiento de la industria.

3.6.2 Variables dependientes: Las variables que son dependientes durante el proceso de tratamiento de aguas residuales son: las presiones de funcionamiento de los equipos, el dimensionamiento de los equipos, los costos, los productos químicos y los dispositivos de control (sensores, PLC, arrancadores).

4. DESARROLLO INGENIERIL

Para la automatización de la planta de tratamiento de aguas residuales en la industria farmacéutica, se tomo como base la que posee FARMACOOOP, la cual en estos momentos consta de un tanque que realiza el proceso de homogeneización y de sedimentación, y sin ningún sistema de control. El agua a tratarse proviene de la planta de producción ($1,66\text{m}^3$ al día), del proceso de antibióticos ($1,44\text{m}^3$ al día) y del proceso de inyectables ($5,88\text{m}^3$ al día). Con esto se tiene que al día deben tratarse $8,98\text{m}^3$; por las instalaciones con las que se cuenta se recomienda realizar cuatro tratamientos por día, ya que se trabajará por proceso un volumen de $2,24\text{m}^3$, lo que hará más eficiente el tratamiento de aguas tanto en tiempo como en limpieza del fluido. A continuación se describen todas las unidades de proceso para el tratamiento del agua residual, luego se mostrara un análisis del sistema, viendo los equipos que se requieren y por último se presenta un sistema de comunicación.

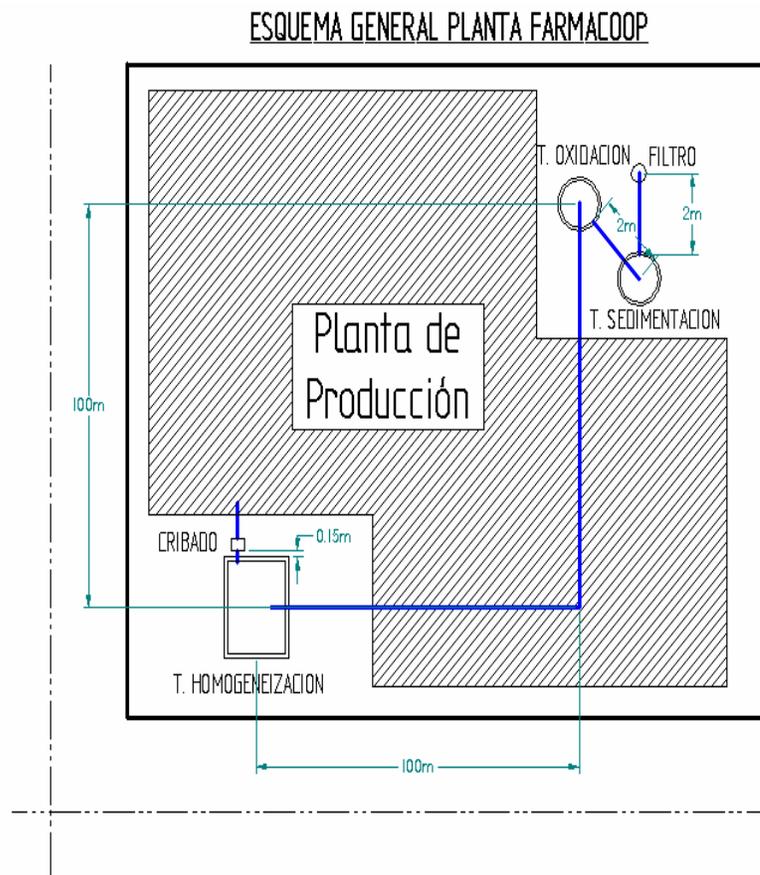
4.1. UNIDADES QUE INTERVIENEN DURANTE EL PROCESO

Según análisis fisicoquímico (Anexo L) realizado en las aguas efluentes de FARMACOOOP, las variables que se tienen que corregir son la cantidad de fenoles y el nivel del pH, por esto se encuentra que los equipos necesarios para realizar el tratamiento de aguas son los siguientes:

- Cámara de cribado o rejillas.
- Tanque de homogeneización.
- Tanque de oxidación o aireación.
- Tanque de sedimentación con agitación.
- Filtro de carbón activado.

Se tienen los siguientes datos de FARMACOOOP para la cual se realizará la automatización: caudal de entrada promedio al sistema de tratamiento de agua residual igual a $0,104 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (6,24L por minuto, ver tabla 2, sección 4.1.2 de este documento), Fenoles mayores a 2 partes por millón, Ph variable entre 3 y 13 y no presentan problemas de DBO ni de DQO, además se tiene un espacio de trabajo ya determinado que es el de la figura 25:

Figura 25. Esquema general planta de producción de FARMACOOOP



Fuente. El autor

4.1.1. Cámara de cribado: El cribado es la operación utilizada para separar material grueso del agua a tratar, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. En el tratamiento de aguas residuales se usan rejillas gruesas, principalmente de

barras o varillas de acero, para proteger bombas, válvulas, tuberías y equipos, entre otros. En la industria farmacéutica se utiliza el cribado para proteger los equipos de los residuos como guantes desechables, tarros plásticos, jeringas, entre otras. La pérdida de energía a través de la rejilla es función de la forma de las barras y de la altura o energía de velocidad del flujo entre las barras. Para las rejillas de limpieza manual la pérdida de energía permisible es de 0,15m, para calcular esta pérdida utilizamos la ecuación de Kirschmer:

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} h_v \sin \theta$$

Donde:

H = pérdida de energía, [m]

β = factor de forma de las barras = 1,79 para barras circulares.

w = ancho máximo de la sección transversal de las barras, [m] = 0,01m

b = separación mínima entre las barras, [m] = 0,01m

h_v = altura, [m] = 0,07m

θ = ángulo de la rejilla con la horizontal. = 60°

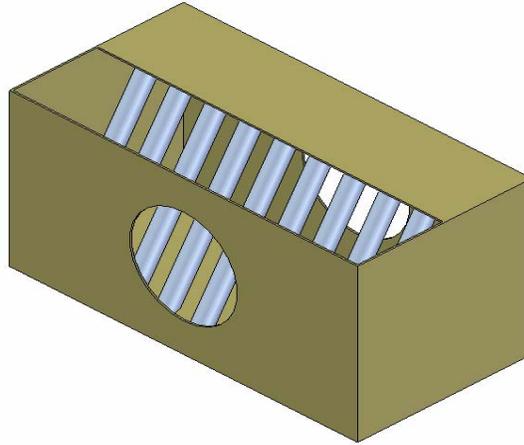
$$H = 1,79 \cdot \left(\frac{0,01m}{0,01m} \right)^{4/3} \cdot (0,07m) \cdot \sin(60^\circ)$$

$$H = 0,108m$$

Datos extraídos de la tabla 12.1 “*Características de rejillas de barras*”. Del libro tratamiento de aguas residuales¹. Con estos datos tenemos que la pérdida de energía es de 0,108m, con lo que se tiene un diseño aceptable, como se puede observar en la figura 26, para ver mayores especificaciones ver anexo B.

¹ Tratamiento de aguas residuales, Jairo Alberto Rojas

Figura 26. Cámara de cribado.



Fuente. El autor

4.1.2 Tanque de homogeneización: El volumen del tanque de homogeneización o igualamiento se calcula mediante un diagrama de masas (figura 27), en el cual el caudal afluente acumulado se gráfica contra la hora de día. El caudal promedio diario, en dicho diagrama, se representa por la recta que une el origen con el punto final de la curva de caudal acumulado. El volumen requerido del tanque de homogeneización se obtiene trazando una recta paralela a la recta representativa del caudal promedio diario, por el punto de tangencia más extremo, superior e inferior, de la curva de caudales acumulados. El volumen necesario es igual a la distancia vertical entre las dos tangentes. En la tabla 2 se observa el caudal cada dos horas de la industria farmacéutica a trabajar.

Tabla 2. Caudal promedio de FARMACOOOP

PERIODO	CAUDAL $\times 10^{-3}$ [m³/s]	FLUJO ACUMULADO m³
0	-	-
0-2	0,082	0,590
2-4	0,094	1,267

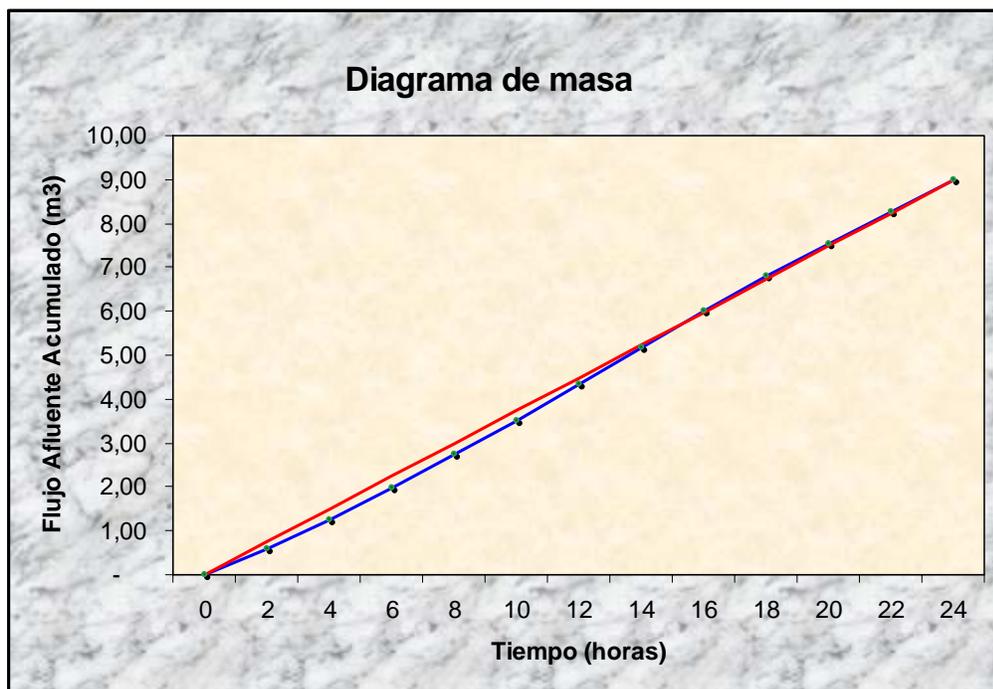
4-6	0,099	1,980
6-8	0,104	2,729
8-10	0,110	3,521
10-12	0,112	4,327
12-14	0,118	5,177
14-16	0,115	6,005
16-18	0,109	6,790
18-20	0,105	7,546
20-22	0,101	8,273
22-24	0,098	8,980

Promedio $0,104 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Fuente. El autor

Con estos datos se realiza el diagrama de masa para la determinación del volumen de igualamiento figura 27.

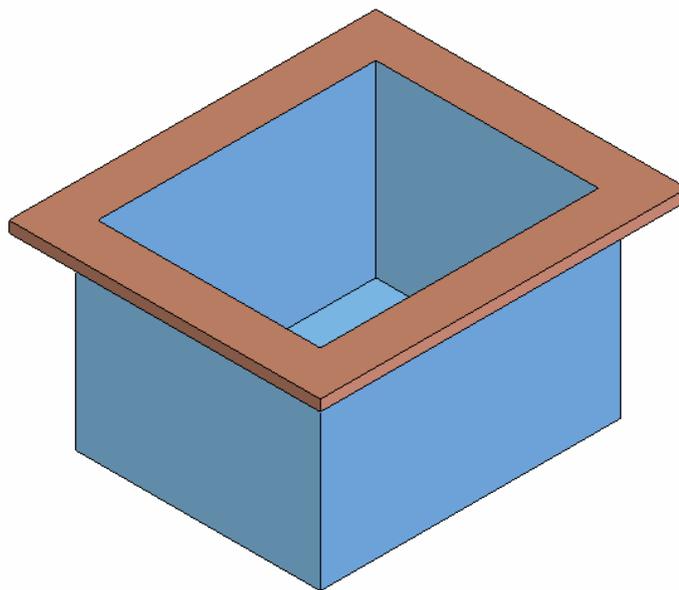
Figura 27. Diagrama de masa



Fuente. El autor

Como se puede observar en la figura 27, entre las horas 6 y 8 es donde se tiene el punto de tangencia más extremo con la recta representativa de caudal promedio, se calcula este valor y se tiene que el volumen del tanque de homogeneización debe ser de $0,327\text{m}^3$ (327L) mínimos para que haya una correcta homogeneización del fluido. En FARMACOOOP se cuenta con un tanque subterráneo rectangular cuyas medidas son de $2\text{m} \times 2,50\text{m} \times 1,70\text{m}$ (Volumen de $8,50\text{m}^3$) tal como se muestra en la figura 28, (ver mayores especificaciones en el anexo C). Al cual le llegan todas las aguas afluentes y que se aprovecha para realizar la homogeneización del proceso.

Figura 28. Tanque de homogeneización.



Fuente. El autor

4.1.3. Tanque de aireación: Por costos se aconseja utilizar un equipo de aireación difusa o de aire comprimido, el cual consiste en la inyección de gas, aire

u oxígeno a presión, por la parte inferior de la superficie libre del fluido. Ya que los otros equipos de aireación necesitan una mayor área de instalación y se utilizan para tratar mayores cantidades de agua. El aire aplicado proviene de un compresor, con una presión en el fondo del tanque que depende de la profundidad del agua en el mismo, de las pérdidas en las tuberías de distribución y de la tasa de aplicación.

El volumen mínimo del tanque de aireación debe ser $2,24m^3$, ya que es la cantidad de agua que se va a tratar, para evitar que se rebose el líquido se diseña el tanque para que el líquido ocupe el 80% del volumen total del tanque con esto se tiene que:

$$V_{Liq} = 0,8 \cdot V_T = 2,24m^3$$
$$V_T = 2,80m^3$$

Con el valor de este volumen se dimensiona el tanque de aireación, asumiendo una altura de 1,65m y un diámetro de 1,50m, y la terminación de la base es en forma cónica para evitar estancamientos del agua al momento de realizar el proceso tal como se muestra en el anexo D. Con estas dimensiones se calcula el volumen del tanque (1,48m de área constante y 0.10m de forma cónica):

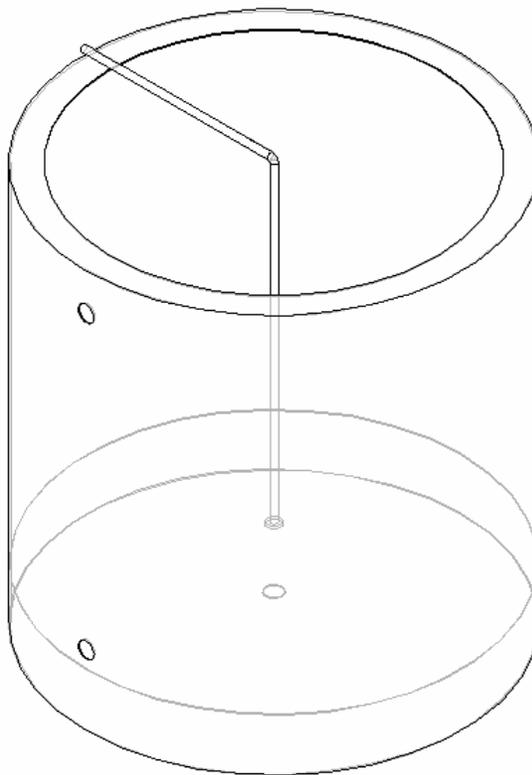
$$V_T = A \cdot h = A \cdot \left(1,48m + \frac{0,10m}{2} \right)$$

$$V_T = \frac{\pi \cdot (1,50m)^2}{4} (1,53m)$$

$$V_T = 2,70m^3$$

Este valor equivale al 83%, el cual es aceptable para el tanque de aireación. Estos tanques se construyen en materiales como PVC, polietileno, polipropileno, fibra de vidrio, entre otros, para evitar la corrosión del material y aprovechar su resistencia a los productos químicos. Figura 29. Para mayores especificaciones ver anexo D.

Figura 29. Tanque de aireación



Fuente. El autor

El agua a tratarse ingresa por el orificio de la parte superior y sale por el orificio de la parte inferior, también se tiene un orificio en la base del tanque para cuando se le realice el mantenimiento del tanque poder evacuar todo el líquido y lodos que hayan internamente. El aire se proporciona por unos difusores para los cuales se recomienda una distancia entre ellos de 0,25m a 0,60m (datos extraídos del

manual de ingeniería química²). Cada uno proporciona un caudal entre $1,90 \times 10^{-3}$ y $7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (1,90 y 7 L/s respectivamente), y se suministra en cantidades de 0,50 a $1,20 \text{ m}^3$ de aire por m^3 de agua tratada o más, cuando se tratan de aguas residuales fuertes. Ya que el agua residual a tratarse no necesita un caudal mayor de aire, se provee con el valor promedio que es de $0,85 \text{ m}^3$ de aire por m^3 de agua, con esto se tiene que la cantidad de aire que se necesita para el proceso de aireación es de:

$$V_{\text{aire}} = (0,85) \cdot V_{\text{agua}}$$

$$V_{\text{aire}} = (0,85) \cdot 2,24 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{aire}} = 1,90 \text{ m}^3$$

También se sabe que para airear volúmenes entre 2 y $2,50 \text{ m}^3$ se recomienda airear durante un periodo de aproximadamente 10 minutos (*datos experimentales suministrados por Zunami Ltda. Empresa encargada a tratamiento de aguas*), para que su contenido se mantenga en suspensión y no se produzcan sedimentaciones, con estos datos se puede calcular el flujo de aire que se requiere:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{1,90 \text{ m}^3}{10 \text{ min}} = 0,19 \text{ m}^3/\text{min} = 3,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Como el aire ingresa desde la parte inferior del tanque, debe vencer la suma de las presiones hidrostáticas³ generadas por el fluido en cada difusor más la presión atmosférica (101.325Pa):

$$P_{h(\text{agua})} = \rho \cdot g \cdot h$$

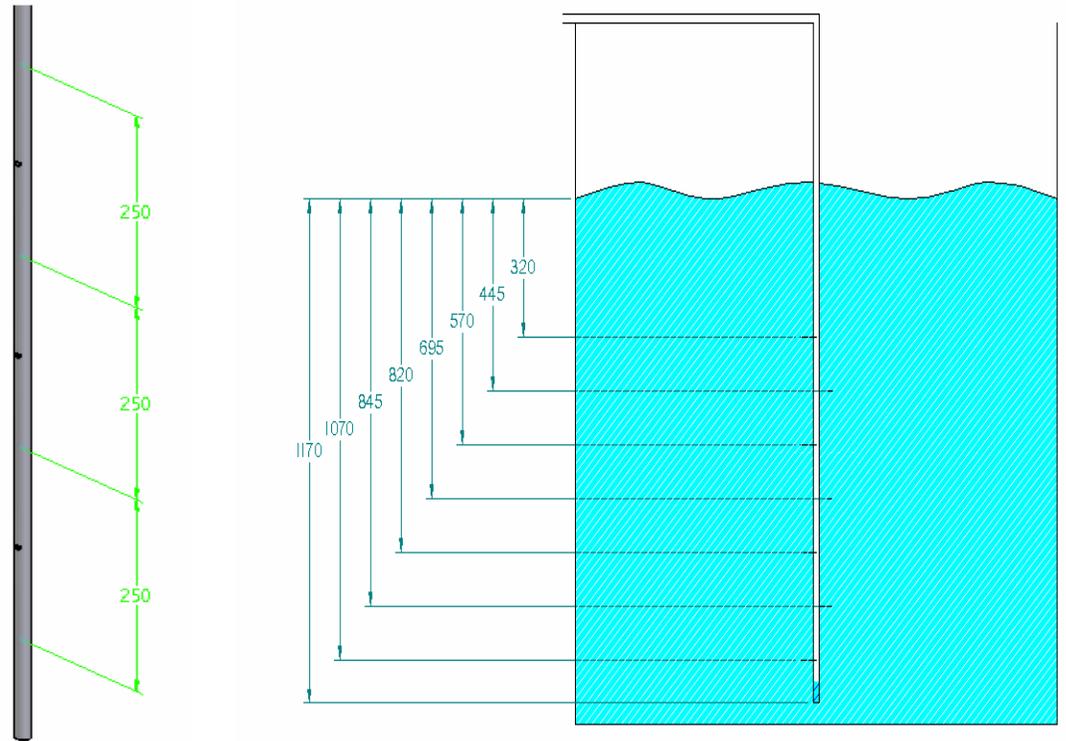
² Manual de Ingeniería Química, Perry Robert H.

³ Introducción a la mecánica de fluidos, Fox Donald

Donde, ρ es la densidad del agua a 20 °C, g es la gravedad, y h es la altura del líquido dentro del tanque. Del texto del grupo AGBAR⁴ los difusores en función del diámetro de las burbujas generadas, pueden ser: difusores de burbuja fina (diámetro inferior a 0,003m), difusores de burbuja media (diámetro entre 0,004-0,006m) y difusores de burbuja gruesa (diámetro mayor a 0,006m). Para el proceso de aireación se utilizan difusores de burbuja media por su eficacia en la oxigenación, para que exista una aireación uniforme en todo el fluido a tratarse se utilizan 7 difusores de 0,006m y se organizan para que queden 3 en una parte y 4 en la parte posterior de está tal como lo muestra la figura 30.

Figura 30. Difusores tanque de aireación

⁴ Equipamiento y Mantenimiento de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.



Fuente. El autor

En la figura 30 se dan las dimensiones en milímetros, utilizando una densidad de $998,2\text{Kg/m}^3$ y con los datos de alturas de los difusores con respecto a la superficie de la figura 30 se calcula la presión hidrostática (tabla 3) en cada difusor y se suman para tener la presión necesaria del compresor.

Tabla 3. Presiones hidrostáticas en los difusores

Altura [m]	P_h [Pa]
0,32	3.133,55
0,45	4.406,55
0,57	5.581,63
0,70	6.854,64

0,82	8.029,72
0,95	9.302,72
1,07	10.477,81
1,17	11.457,04
TOTAL	59.243,66

Fuente. El autor

Sumando la presión hidrostática total y la presión atmosférica se tiene que el compresor debe tener una presión mínima de trabajo de 160.568,66Pa (23,29psi), para el calculo del diámetro del tubo principal se utiliza la ecuación de bernoulli entre el punto superior y el punto inferior (o sea, entre las alturas de 0,32m y 1,17m), tomando como referencia el punto superior ($Z_{sup} = 0$); y discriminando las pérdidas en la tubería se encuentra la velocidad del fluido en el punto superior:

$$\frac{P_{sup}}{\delta} + \frac{v_{sup}^2}{2g} + Z_{sup} - H = \frac{P_{inf}}{\delta} + \frac{v_{inf}^2}{2g} + Z_{inf}$$

$$v_{sup}^2 = \frac{2g \cdot \Delta P}{\rho \cdot g} + Z_{inf} \cdot 2g$$

$$v_{sup} = \sqrt{\frac{2(59.243,66Pa - 11.457,04Pa)}{998,2 \frac{Kg}{m^3}} + (1,17m) \cdot 2 \cdot (9,81 \frac{m}{s^2})}$$

$$v_{sup} = 10,89 \frac{m}{s}$$

Conocidos ya el flujo de aire que se requiere ingresar y la velocidad del fluido se encuentra el área transversal y con esto se halla el diámetro del tubo principal:

$$Q = A \cdot v$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{3,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}}{10,89 \text{ m} / \text{s}}$$

$$A = 0,29 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

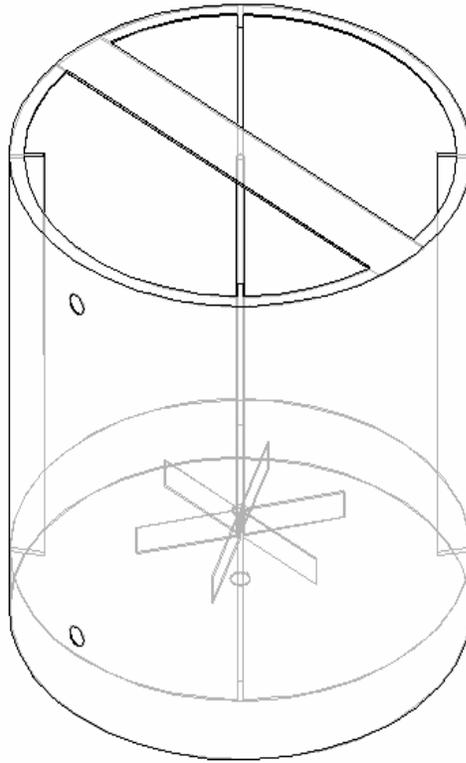
$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$d = 0,019 \text{ m}$$

4.1.4 Reactor tanque agitado: Igual que el tanque de aireación, esté también se construye en los mismos materiales y también maneja un volumen de 2,24m³ mínimos, por esto se asumieron los mismos valores de altura y de diámetro del tanque de aireación para evitar reboses del agua y tener un sistema más generalizado, según los parámetros de diseño de tanques reactores con agitación vistos en la sección 2.3.3 de este documento y tomados de la PERRY⁵, la altura a la que deben estar las aspas del agitador es de 0,28m, con una longitud cada una de 0,35m, un ancho de 0,09m, un espesor de 0,005m como se puede observar en la figura 31. Para mayores especificaciones ver anexo E.

Figura 31. Reactor tanque agitado

⁵Manual de Ingeniería Química, Perry Robert H.



Fuente. El autor

Para la obtención de uniformidad en el fluido, se debe establecer una velocidad de 350 a 420 rpm en las aspas del agitador datos tomados del manual de ingeniería química, durante un periodo de 3 a 5 minutos, para establecer el motor que se necesita, primero se halla la potencia requerida con la siguiente formula⁶:

$$P = \frac{T_{\max} \cdot n}{63025} [Hp]$$

Donde,

T_{\max} = Torque máximo [N m]

⁶ Diseño en ingeniería mecánica, Joseph Shigley

n = 400 rpm. Velocidad del agitador

Para encontrar el torque máximo se utiliza la formula de fuerza por distancia, sabiendo que la fuerza es igual a:

$$F = P_h \cdot A$$

Donde la presión hidrostática es de 11.946,66 Pa, el área transversal de cada aspa es de 0.03m² (0,35m x 0.09m); con estos datos se encuentra la fuerza necesaria para mover las aspás, y se reemplazan los valores en la formula de torque con lo que se calcula el torque máximo:

$$F = (11.946,66Pa)(0,03m) = 376,32N$$

$$T_{\max} = F \cdot d$$

$$T_{\max} = (376,32N) \cdot (0,35m) = 131,71[N \cdot m]$$

Con este valor se tiene que la potencia mínima del motor debe ser de:

$$P = \frac{(131,71N \cdot m) \cdot (400rpm)}{63025}$$

$$P = 0,836Hp$$

$$P = 627,04Watt$$

Se tiene que el eje del agitador es en acero inoxidable AISI – SAE 304, utilizando la tabla 1-1 del libro de Shigley⁷ se selecciona un factor de seguridad de 2, con esto se encuentra el diámetro del eje, con la fórmula de esfuerzo a torsión:

$$\sigma_{Tor} = \frac{16 \cdot T_{max} \cdot N}{\pi \cdot d^3}$$

Donde,

$$\sigma_{Tor} = \text{esfuerzo a torsión} = 661,8 \text{ MPa}$$

N = factor de seguridad

d = diámetro del eje

T_{max} = Torque máximo

Despejando d y reemplazando los valores en la ecuación se tiene que el diámetro es de:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{max} \cdot N}{\pi \cdot \sigma_{Tor}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot (131,71N \cdot m) \cdot 2}{\pi \cdot (661,8Mpa)}}$$

$$d = 0,013m$$

El eje es en acero inoxidable (laminado en frío) cuyas propiedades mecánicas son: $S_y = 1103\text{MPa}$, $S_{ut} = 1276\text{MPa}$.⁸ Así que el diseño del eje por fatiga se desarrolla según SHIGLEY de la siguiente manera:

⁷ Diseño en Ingeniería mecánica, Joseph Shigley

⁸ NORTON Robert, Diseño de máquinas

El límite de la resistencia a la fatiga S_e , esta determinado por:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e S'_e$$

Donde,

K_a = factor de modificación de la condición superficial

K_b = factor de modificación del tamaño

K_c = factor de modificación de la carga

K_d = factor de modificación de la temperatura

K_e = factor de modificación de efectos varios

S'_e = límite de resistencia a la fatiga en vida rotatoria

S_e = límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica

- Factor de superficie: En la tabla 7-5 de SHIGLEY se encuentran los parámetros en el factor de la condición superficial (a,b)

$$K_a = a \cdot S_{ur}^{-b}$$

$$K_a = 4,45(1.276)^{-0,265} = 0,67$$

- Factor de tamaño: Se calculo con el diámetro evaluado por torsión, ya que la formula aplica para intervalo de diámetros entre 2,79mm hasta 51mm:

$$K_b = 1,24 \cdot d^{-0,107}$$

$$K_b = 1,24 \cdot (13)^{-0,107} = 0,94$$

- Factor de carga: Se toma el factor de carga promedio de Marin para carga de torsión: 0,59.

- Factor de temperatura: para la temperatura ambiente se toma un factor de 1, de la tabla 7-11 de Shigley.
- Factor de efectos diversos: para el diseño del eje se toma un factor $K_e = 1$.
- Límite de resistencia a la fatiga: para $S_{ut} < 1460\text{MPa}$ se utiliza la siguiente ecuación:

$$S'_e = 0,506 \cdot S_{ut} = 645,66\text{MPa}$$

Reemplazando los valores tomados se tiene un límite de la resistencia a la fatiga:

$$S_e = (0,67)(0,94)(0,59)(1)(1)(645,66\text{MPa})$$

$$S_e = 239,92\text{MPa}$$

El diámetro del eje se calcula con la siguiente ecuación:

$$d^3 = \frac{32N_f}{\pi} \sqrt{\left(K_f \frac{M_c}{S_e}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} \frac{M_t}{S_y}\right)^2}$$

Donde,

d = diámetro del eje

N_f = factor de seguridad mínimo, del texto de NORTON $N_f = 2,5$

M_c = El momento flexionante máximo es de cero.

M_t = El momento torsor máximo es de 131,71Nm

Factor de esfuerzos a la fatiga $K_f = K_{fs} = 1$ debido a que no hay cambio en la geometría del eje

Reemplazando estos datos en la ecuación se tiene un eje de:

$$d^3 = \frac{32(2,5)}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{131,71Nm}{1.103MPa} \right)^2}$$

$$d = 0,014m$$

4.1.5 Filtro de carbón activado: Para la selección del filtro primero se encuentran las dimensiones del tanque, se sabe que el flujo de entrada o caudal es de $0,003m^3/s$ ($0,18m^3/min.$, ver capítulo 4.2.1 de este documento diseño de tuberías), con este valor se halla el diámetro del lecho filtrante utilizando la siguiente fórmula (tomada del manual de ingeniería del grupo Novem el cual trabaja las formulas en sistema inglés):

$$A = \frac{Q}{Q_{serv.}}$$

Donde,

A = área transversal [pie^2]

Q = flujo del sistema [gpm] = $0,18 m^3/min. \times 264 = 47,52$ gpm.

Q_{serv} = flujo de servicio [gpm/ pie^2]

Según el manual de ingeniería⁹ del “grupo Novem” los flujos de servicio están basados de la siguiente forma: el “osmosis inversa” a $5gpm/pie^2$, el “olores y sabores” a $6gpm/pie^2$ y el “decolorinar” a $10gpm/pie^2$. Para el diseño que se ha manejado, en esta fase sólo se requiere remover los olores y sabores del agua,

⁹ Manual de Ingeniería del grupo novem, empresa encargada al tratamiento de aguas, piscinas y bombeo

por lo que se tendría un área de lecho filtrante de $7,92\text{pie}^2$, con lo que se tiene un área de:

$$A = \frac{47,52\text{gpm}}{6\text{gpm}/\text{pie}^2} = 7,92\text{pie}^2$$

Sabiendo el área del lecho filtrante y que la forma es cilíndrica se encuentra el diámetro:

$$d_{Lf} = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(7,92\text{pie}^2)}{\pi}}$$

$$d_{Lf} = 3,18\text{pie} = 0,97\text{m}$$

Además con estos datos se encuentra el retrolavado necesario, según el manual de ingeniería del grupo Novel se recomienda un flujo de retrolavado de $10\text{gpm}/\text{pie}^2$ y multiplicándolo por el área calculada, se tiene que el flujo de retrolavado es:

$$Q_R = \left(10\frac{\text{gpm}}{\text{pie}^2}\right)(7,92\text{pie}^2)$$

$$Q_R = 79,2\text{gpm} = 0,005\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Mirando en las tablas del grupo novel (Anexo F) también se puede hallar el tanque que se necesita para un flujo determinado. Según el anexo F el tanque que se precisa es el de $42'' \times 72''$, con un área de $9,62\text{pie}^2$ ($0,894\text{m}^2$) un volumen del material filtrante (carbón activado) de 30pies^3 ($0,849\text{m}^3$), y un volumen del tanque de $46,10\text{pie}^3$ ($1,305\text{m}^3$).

4.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Como se explico al comenzar el capitulo, se van a realizar cuatro tratamientos por día eso quiere decir que se va a manejar un volumen de $2,24\text{m}^3$ por tratamiento, primero pasando por una cámara de cribado donde se filtran los sólidos de gran tamaño, yendo al tanque de homogeneización para obtener una mezcla igual durante el proceso, después pasando por una bomba hidráulica la cual la hace llegar al tanque de aireación por medio de una tubería, donde se le ingresa un flujo de aire por medio de un compresor durante diez minutos, luego del proceso de aireación se hace pasar al tanque reactor por medio de otra bomba hidráulica, en este tanque primero se mide el nivel del pH y después se le agregan los químicos indicados tanto para regular el nivel del potencial de Hidrogeno como para reducir los sólidos en suspensión que existen en la mezcla, luego se realiza un proceso de agitación para que los químicos se mezclen con el agua a tratarse y se deja sedimentar durante un tiempo t, este tiempo depende de los floculantes que se le ingresen al tanque y de la cantidad de contaminantes que existan en el agua a tratarse. Por último se pasa por un filtro de carbón activado para remover el cloro, mal olor y sabor del agua, así como sólidos pesados (plomo, mercurio) en el agua.

4.2.1. Diseño de las tuberías: Para el transporte de aguas, se recomienda utilizar tuberías de polietileno de alta densidad por sus propiedades físicas:

- Flexibilidad: Se acomoda al terreno desigual y se ahorra en curvas y codos.
- Vida útil: más de 50 años.
- Es 100% atóxico: No contiene sales de metales pesados a diferencia de otros plásticos.
- Gran resistencia al impacto: Resistente a golpes y terreno pedregoso.
- Instalación rápida: Viene en rollos de 50m y 100m, por lo requiere menos uniones.

- Facilidad de transporte: pesa la octava parte del tubo de cemento y menos de la mitad del tubo de hierro galvanizado.
- No pierde sus propiedades físicas a bajas temperaturas.
- Gran resistencia a productos químicos y a suelos agresivos.

A continuación se muestra una tabla comparativa entre PVC y tubería de polietileno:

Tabla 4. Comparación tubería en PVC y en polietileno de alta densidad

Característica	PVC	Polietileno de Alta Densidad (PEAD)
Vida útil	20 años	50 años
Certificado para estar en contacto con alimentos (100% atóxico)	No	Si
Tiempo de instalación (D=63mm , dos operarios)	375 metros/día	1500 metros/día
Número de uniones	1 unión cada 6 metros	1 unión cada 100 metros
Flexibilidad	Rígido	Flexible
Resistencia a la abrasión	Moderada	Alta
Resistencia al impacto	Sensible sobretodo a bajas temperaturas	Gran resistencia al impacto inclusive a bajas temperaturas

Fuente. Manual técnico de SUPERTUBO PEAD y SUPERJUNTA, PLASTIFORTE SRL 2004

Por estas características se selecciono el SUPERTUBO PEAD. Para el diseño del sistema de tratamientos de aguas. Para mayores especificaciones ver anexo G.

Con el fin de obtener un diseño óptimo en el sistema de tratamiento de aguas se tienen unos parámetros:

- *La velocidad:* Se recomienda que la velocidad máxima del agua sea menor de 2,5m/s. y por ningún motivo debe ser mayor de 5m/s. datos del fabricante. Por esta razón se trabaja con una velocidad de 1,5m/s.

- *El tiempo de llenado de los tanques:* en el tratamiento de aguas residuales se debe minimizar los tiempos de transporte del fluido en las tuberías, así que realizando el análisis con distintos diámetros internos de tuberías de SUPERTUBOPEAD se tiene (el diámetro interno es igual al diámetro externo menos el espesor de pared de la tubería que es de 0.006m):

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{V}{v \cdot A} = \frac{V}{v \cdot \left(\frac{\pi}{4} d^2\right)}$$

Donde,

t = Tiempo de llenado [s]

V = Volumen del líquido [m³] = 2,24m³

v = Velocidad del fluido [m/s] = 1,5m/s

d = diámetro interno de la tubería [m]

Tabla 5. Tiempo de llenado de los tanques.

Diámetro ext. Tubería (mm)	Tiempo de llenado Seg.	Tiempo de llenado Min.
50	1.316,74	21,94
63	731,01	12,18
75	479,05	7,98

Fuente. El autor

Analizando estos tiempos y previendo para que la bomba hidráulica sea de baja potencia se selecciona el SUPERPEAD de 63mm el cual nos ofrece un caudal de:

$$Q = A_t \cdot v$$

$$Q = \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) \cdot v = 0.003 \frac{m^3}{s}$$

- *La pérdida en las tuberías:* para encontrar las pérdidas en las tuberías de súper tubo pead se utiliza la formula de Hazen Williams¹⁰:

$$H_t = 1.131 \times 10^9 \cdot L \cdot \left(\frac{Q}{c} \right)^{1.852} \cdot D^{-4.871}$$

Donde,

H_t = pérdida de carga [m]

L = longitud de la tubería [m]

Q = caudal del fluido [m^3/h] = 10,8 m^3/h

c = coeficiente de Hazen Williams (adimensional)

c = 140 para SUPERTUBO PEAD

D = diámetro interno de la tubería [mm] = 51

Reemplazando los datos en la formula de Hazen Williams se tienen las pérdidas en las tuberías principales tabla 6:

Tabla 6. Pérdidas en las tuberías

Tramo de la tubería	Longitud [m]	Pérdidas en la tubería [m]
Del tanque de homogeneización al tanque de aireación.	203	9,61

¹⁰ Manual técnico de SUPERTUBO PEAD y SUPERJUNTA, PLASTIFORTE SRL 2004

Del tanque de aireación al tanque de sedimentación.	3,7	0,18
Del tanque de sedimentación al filtro de carbón activado.	3,7	0,18

Fuente. El autor

Para encontrar las pérdidas secundarias en los accesorios de las tuberías se utiliza la fórmula¹¹ de Darcy Weisbach:

$$H_s = \lambda \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde,

H_s = pérdida en los accesorios o secundarias [m]

λ = Coeficientes de pérdidas secundarias en accesorios

λ = 1,00 para codos estándar

λ = 0,20 para válvula de compuerta totalmente abierta

v = 1,5m/s. Velocidad del fluido

g = gravedad

Tabla 7. Pérdidas secundarias en accesorios

Tramo de la tubería	Cant. codos	Cant. Válvulas	Pérdidas secundarias [m]
Del tanque de homogeneización al tanque de aireación.	4	2	0,505

¹¹ Introducción a la mecánica de fluidos, Fox Donald

Del tanque de aireación al tanque de sedimentación.	2	1	0,252
Del tanque de sedimentación al filtro de carbón activado.	2	1	0,252

Fuente. El autor

4.2.2 Potencia requerida por las bombas hidráulicas: Para hallar la potencia que requieren las bombas hidráulicas se utiliza la ecuación de rendimiento del grupo motor-bomba datos tomados del manual de bombas¹²:

$$\eta = \frac{Q \cdot H_m \cdot \rho \cdot g}{W}$$

$$W = \frac{Q \cdot H_m \cdot \rho \cdot g}{\eta}$$

Donde,

η = eficiencia del motor = 75 %

Q = caudal [m³/s] = 0,003m³/s.

H_m = energía suministrada al fluido [m]

ρ = densidad del fluido [kg/m³] = 998,2kg/m³

g = gravedad = 9,81m/s²

W = potencia [Watt]

Para encontrar la energía suministrada se utiliza la ecuación de Bernoulli y las pérdidas que ya se encontraron de los tramos de tubería de cada sección del proceso:

¹² Manual de bombas del master en ingeniería del agua

$$\frac{P_1}{\delta} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 + H_m - {}_A H_B^T = \frac{P_2}{\delta} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2$$

Donde,

$$\frac{P_1}{\delta} = \text{altura de presión [m]} = 0$$

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \text{altura de velocidad [m]} = 0$$

$$Z_1 = \text{altura geodesica [m]}$$

$${}_A H_B^T = \text{pérdida de altura total del tramo A al B, [m]},$$

Las pérdidas de altura total son las pérdidas en los tramos rectos de las tuberías más las pérdidas secundarias en los accesorios. Despejando H_m (energía suministrada) nos queda:

$$H_m = Z_2 - Z_1 + {}_A H_B^T$$

Tabla 8. Potencia requerida por las bombas hidráulicas

Tramo de la tubería	${}_A H_B^T$ [m]	Z [m]	H_m [m]	Potencia [Watt]
Del tanque de homogeneización al tanque de aireación.	10,54	3,35	13,89	544,06
Del tanque de aireación al tanque de sedimentación.	0,43	1,65	2,08	81,47
Del tanque de sedimentación al filtro de carbón activado.	0,43	1,82	2,25	88,13

Fuente. El autor

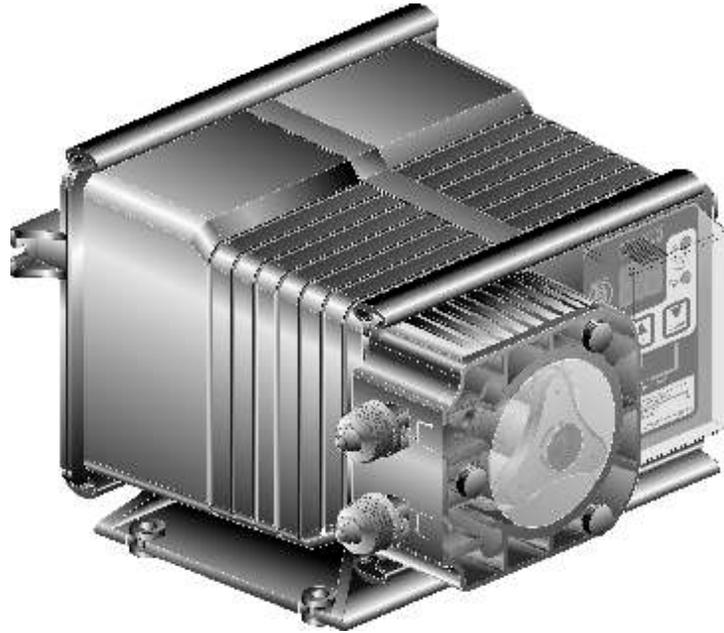
4.2.3. Medidores de nivel: En la sección donde se expusieron los medidores de nivel, se presentaron las formas de funcionamiento, con estos parámetros se tiene que el que mas se ajusta para el control de nivel en el tanque e homogeneización es el sensor de desplazamiento tipo flotador como el de la figura 13, ya que cuando el nivel del agua llegue al valor programado va a accionar un contactor, el cual va a cerrar un circuito que maneja un nivel de voltaje y cuando esto ocurra se enviara una señal al controlador que indique que el nivel del agua esta en su punto de activación. Para los tanques de aireación y de sedimentación se puede utilizar un control de nivel de líquidos por electrosonda o capacitivo como el de la figura 17, ya que se requiere de un valor exacto al momento de que se llene el tanque y al momento en que esté este vacío, este tipo de sensor de nivel proporciona una señal análoga la cual es procesada por el controlador para enviar una acción de control a los elementos finales de control.

4.2.4. Dosificación de los productos químicos: Según prueba de jarras realizada por “ZUNAMI LTDA” (empresa dedicada al tratamiento de aguas y venta de productos químicos), para la mezcla que sale de la industria farmacéutica “FARMACOOOP” hay que tratarla primero con hidroxocloruro de aluminio (ver ficha técnica anexo H), con una dosis de 160 mililitros por cada m^3 , para el proceso vamos a tener una dosificación de 359,2 ml, esto reduce los sólidos en suspensión que todavía existan en la mezcla.

Para controlar el pH se utilizan soda cáustica y ácido clorhídrico dependiendo de cómo este la mezcla, si esta por debajo del intervalo válido de pH (entre 6 – 8) se le agrega hidróxido de sodio (la misma soda cáustica, ver ficha técnica anexo I), y si esta por encima de este intervalo se le agrega cloruro de hidrogeno (el mismo ácido clorhídrico, ver ficha técnica anexo J). Estos productos químicos se ingresan al tanque por medio de bombas dosificadoras, comercialmente se consiguen bombas que son utilizadas por señales de control externas de 4 – 20mA o por una

entrada de un pulso. Una de ellas es el modelo A-100NE marca BLUE-WHITE figura 32:

Figura 32. Bomba dosificadora Ref. A-100NE



Fuente. http://www.blue-white.com/Products/Peristaltic/A-100N/358_A100NE_4-20MA.pdf

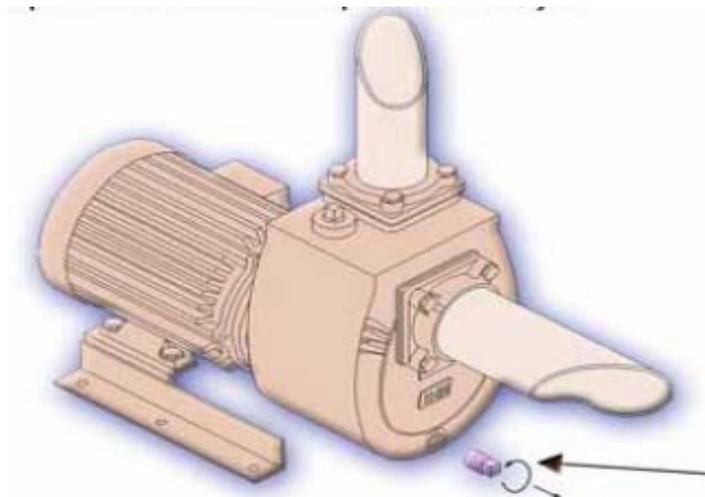
Este dosificador tiene las siguientes especificaciones: presión máxima de trabajo de 100 psi (689.475,73Pa), temperatura máxima del fluido de 54 °C, potencia requerida 115Vac, 60 Hz 80 Watts.

4.2.5 Bombas hidráulicas: Comercialmente se encuentran muchos proveedores de bombas hidráulicas como Barnes de Colombia, IHM Ignacio Gómez y CIA entre los más importantes. Teniendo en cuenta que la aplicación para la que se requieren estas bombas en el proceso de tratamiento de aguas residuales es para transportar agua que prácticamente esta al mismo nivel y la cual no contiene mayores contaminantes, no se necesitan bombas de mayor potencia, y se pueden utilizar bombas autocebantes, de 1HP de potencia nominal para el tramo de transporte del tanque de homogeneización al tanque de aireación, y de 3/4HP de

potencia nominal para los tramos de los tanques de aireación al tanque de sedimentación, y del tanque de sedimentación al filtro de carbón activado.

En la figura 33 se observa una bomba de la línea GS motobombas centrifugas autocebantes de la empresa IHM Ignacio Gómez y CIA. Esta motobomba la caracteriza que bombea altos caudales a bajas presiones, para cuando el agua posee sólidos en suspensión que puedan atascar otros tipos de rotores que son muy cerrados o cuando los niveles de líquido a bombear se bajan sustancialmente por periodos. Otras características son: que los rotores del tipo semiabierto permiten su limpieza rápida y simple, la voluta intercambiable asegura un servicio ágil cuando el líquido bombeado la ha desgastado haciendo perder la eficiencia de trabajo de la bomba, que el sello mecánico autolubricado impide el goteo e inundación de los motores y es de fácil reposición. Se recomienda en el momento de instalarse la bomba que la ubicación sea en espacios amplios que faciliten el servicio y refrigeración del motor, también que se realice sobre una superficie firme, y que se utilicen arrancadores térmicos para protección del equipo, para éstas bombas se pueden utilizar arrancadores de 6 Amperios.

Figura 33. Motobomba centrifuga autocebante



Fuente. Manual del usuario motobombas autocebantes GS. www.igihm.com

4.2.6 Compresor: Para el proceso de aireación, es necesario un compresor que nos brinde la presión y el flujo de aire suficiente para la correcta aireación del líquido a tratarse, como se puede ver en la sección 4.1.3 de este documento, el flujo de aire que se requiere es de $3,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (190,20L/min.), y la presión mínima de trabajo debe ser de 113.271,66Pa (16,42psi). Con estas especificaciones se puede encontrar un compresor como el de la figura 34, el cual nos ofrece presiones hasta de 861.844,66Pa (125 PSI), trabaja a 110 V 60Hz, 1HP de potencia, y ofrece un caudal de $4,17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ (250L/min.).

Figura 34. Compresor



Fuente. <http://www.equipos.hn/proddetail.php?prod=schulz100>

4.2.7 Sistema de cableado estructurado: Un sistema de cableado bien diseñado debe tener estas dos cualidades: seguridad y flexibilidad. A estos parámetros se le pueden añadir otros, menos exigentes desde el punto de vista del diseño de la red, como son el coste económico, la facilidad de instalación, etc. Es por esto que la decisión del tipo de cable a utilizar es tan importante. Para la comunicación entre los dispositivos de una planta de tratamiento de aguas se puede utilizar un cable de par trenzado blindado (FTP) de calidad 5, ya que ofrece un alto nivel de protección. A la hora de establecer la ruta del cableado es primordial evitar el paso del cable por los siguientes dispositivos:

- Motores eléctricos grandes o transformadores (mínimo 1,2m)
- Cables de corriente alterna
- Mínimo 13Cm, para cables con 2KVA o menos
- Mínimo 30Cm, para cables de 2KVA a 5KVA
- Mínimo 91Cm, para cables con mas de 5KVA
- Intercomunicadores (mínimo 12Cm)
- Equipo de soldadura
- Aires acondicionados, ventiladores, calentadores (mínimo 1.2m)
- Otras fuentes de interferencia electromagnética y radio frecuencia

5. PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

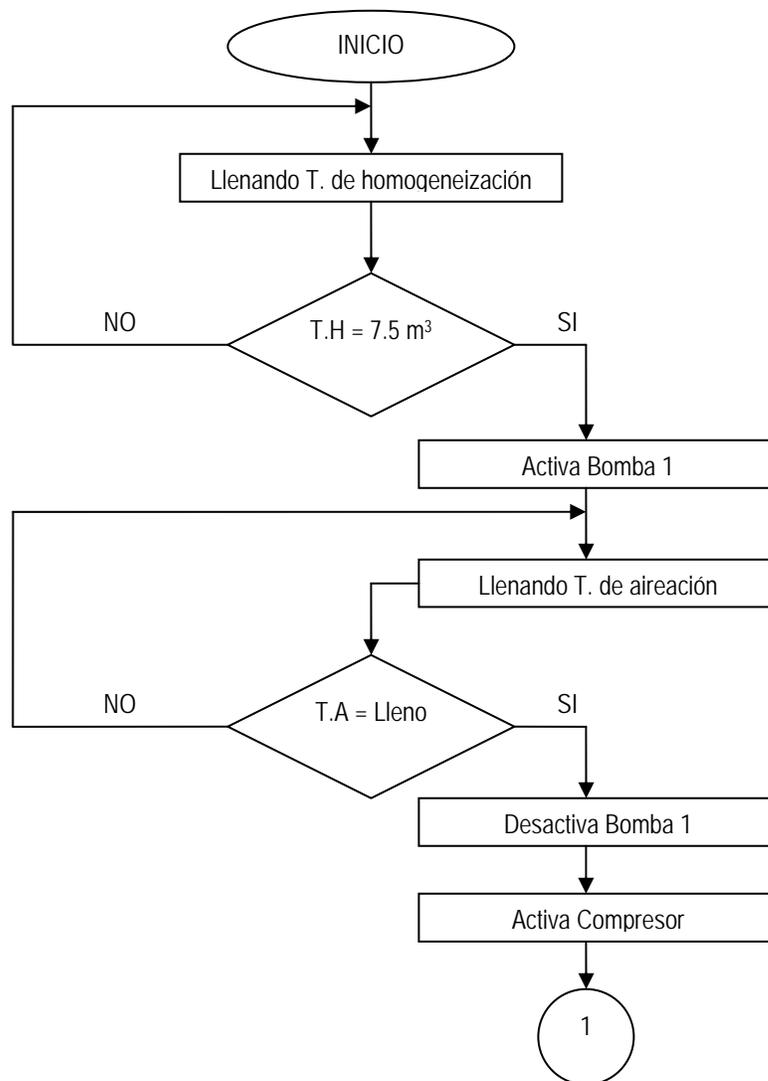
La industria farmacéutica “FARMACOOOP” presenta problemas de fenoles principalmente, además el pH no siempre es constante, es por esto que los equipos que se describieron en el capítulo 4 como solución de este problema son los más viables, por costos y por infraestructura de la misma industria, pero no es la única solución que puede satisfacer el problema.

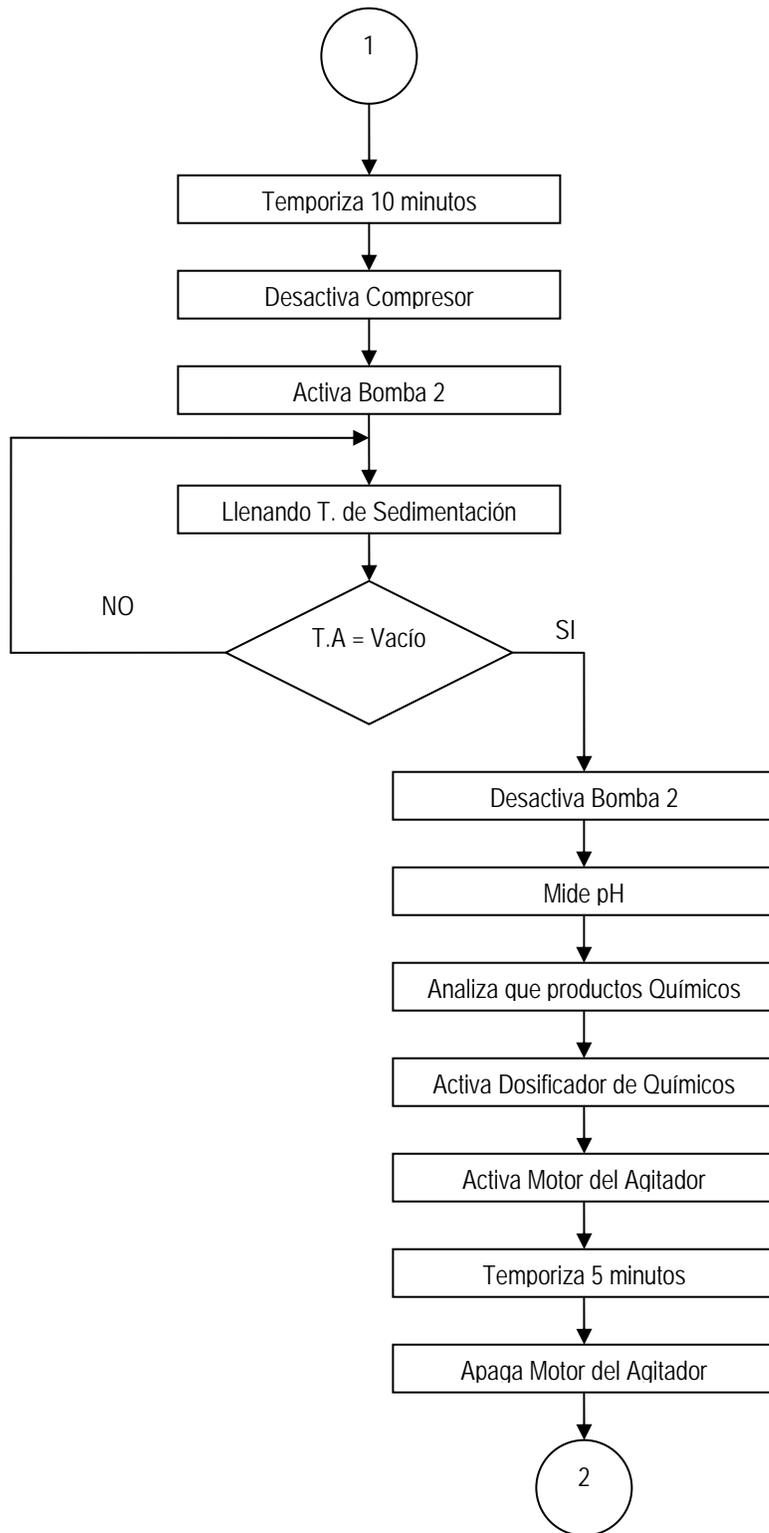
La automatización de la planta de tratamientos de aguas residuales es sencilla, no obstante se deben tener precauciones y prever situaciones que en un futuro puedan afectar los dispositivos o el correcto funcionamiento de la misma, como pueden ser la acumulación de los lodos en los tanques, o que el carbón activado no este realizando una absorción correcta, debido a su desgaste o mal mantenimiento entre otras.

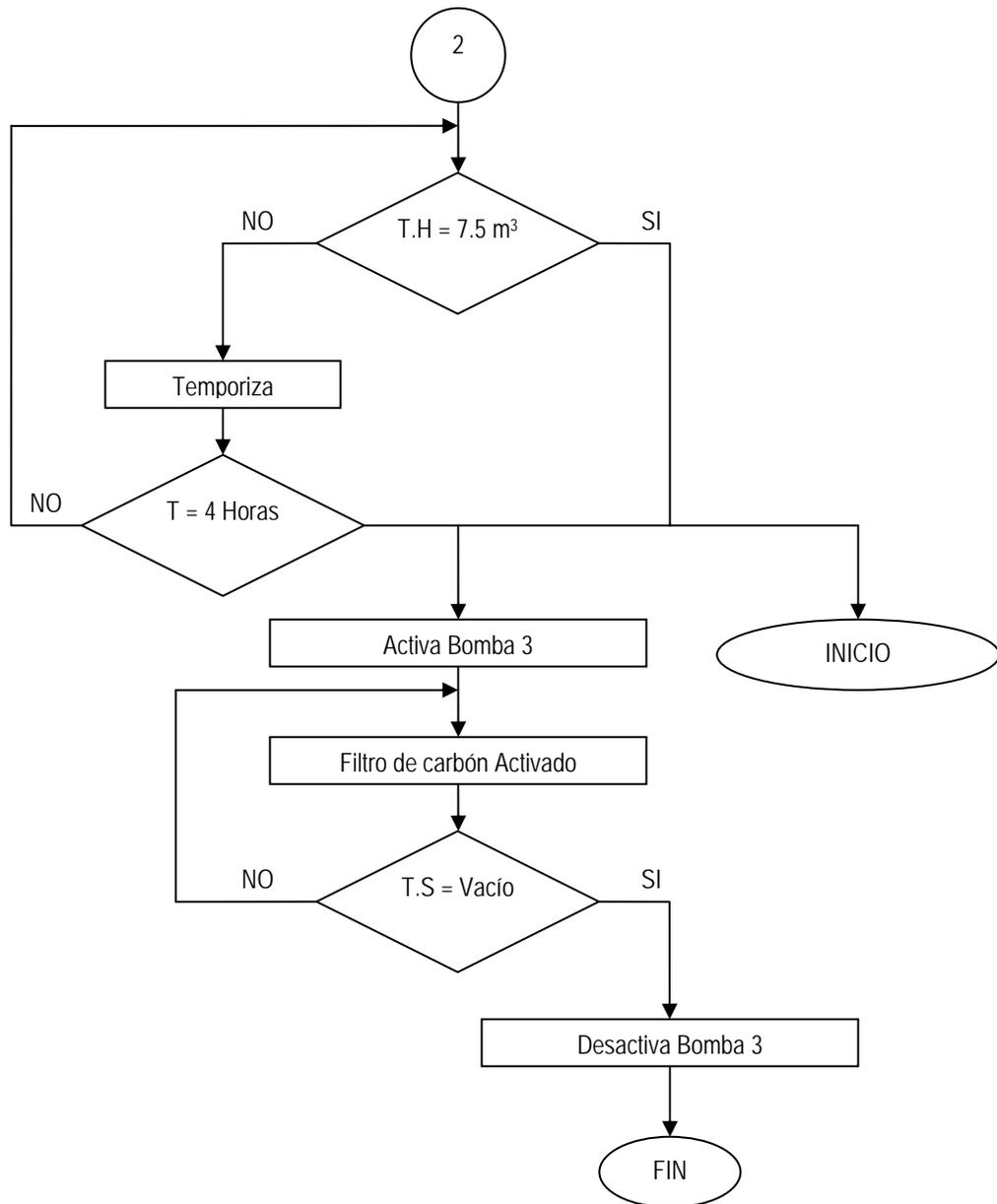
El diseño de la planta de tratamiento de aguas para “FARMACOOOP” consta de los siguientes equipos: cámara de cribado, tanque de homogeneización, tanque de aireación, equipo de aireación (compresor), tanque de sedimentación o reactor con agitación, motor del agitador, filtro de carbón activado, bombas hidráulicas, dosificadores, básicamente, donde los elementos que van a controlar el funcionamiento del sistema son: Las bombas hidráulicas, el compresor y las bombas dosificadoras, recibiendo las señales de mando de un controlador al cual le ingresan las señales de los medidores de nivel que indican el estado del líquido en los tanques de homogeneización y de aireación, y el medidor de pH que indican el valor de potencial de Hidrogeno (figura 36). Además se debe tener en cuenta el diseño de las tuberías para evitar mayores pérdidas de las necesarias, la selección del cable que se va a utilizar para la conexión de los dispositivos es muy importante para no tener problemas de comunicación, es por esto que el cable de

par trenzado blindado (FTP) de calidad 5 ofrece la seguridad necesaria. Realizando un análisis del procedimiento con los tiempos de llenado y vaciado de los tanques, el tiempo de aireación (10 minutos), el tiempo de agitación (5 minutos), y los tiempos de transporte del agua. Se tiene un ciclo para el sistema el cual se observa en la figura 35, y se puede implementar en un controlador lógico programable o en un microcontrolador.

Figura 35. Flujoograma del proceso de tratamiento de aguas







Fuente. El autor

Donde, T.H. hace referencia al tanque de homogeneización, T.A. hace referencia al tanque de aireación, T.S hace referencia al tanque de sedimentación, la bomba 1 esta ubicada entre el tanque de homogeneización y tanque de aireación, la bomba 2 esta ubicada entre el tanque de aireación y el tanque de sedimentación,

la bomba 3 esta ubicada entre el tanque de sedimentación y el filtro de carbón activado.

A continuación se describe el flujograma de la figura 35:

- Comienza el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas, los tanques están en un nivel de 0, por lo tanto los medidores no están activos, ni ningún elemento de control.
- Apenas el tanque de homogeneización llega a un nivel de $7,5\text{m}^3$, activa la motobomba 1 y comienza a transportar el agua hasta el tanque de aireación.
- Cuando el tanque de aireación llega a su nivel de $2,245\text{m}^3$, desactiva la motobomba 1 y envía una señal para que se accione el compresor.
- El compresor dura activo durante 10 minutos, luego se activa la motobomba 2 y comienza a transportarse el agua al tanque de sedimentación.
- Cuando el medidor de nivel del tanque de aireación indique que ya no hay agua en este tanque, activa el medidor del nivel del pH, luego se activan las bombas dosificadoras para ingresar los productos químicos y se activa el motor del agitador durante 5 minutos.
- Apenas se apague el motor, se deja sedimentar el agua durante en periodo de casi 4 horas, pero si en algún instante de este periodo el medidor de nivel del tanque de homogeneización se llegase a activar envía una señal de alerta y si no se corrige al cabo de 3 minutos envía una señal a la motobomba 3 para evacuar esta agua y hacerla pasar por el filtro, para evitar reboses de agua durante el tratamiento, este proceso de seguridad que se realiza afecta al carbón activado en el filtro, ya que el agua llegaría con más impurezas de las esperadas.
- Si el proceso sigue normalmente, al transcurrir las cuatro horas se envía una señal a la motobomba 3 para que transporte el agua a través del filtro de carbón activado. Este filtro necesita un retrolavado cada vez que el caudal de salida se

disminuya en aproximadamente una tercera parte al caudal de entrada. El retrolavado se puede realizar con agua de la llave o con agua ya tratada.

- Ya realizado este proceso se puede verter el agua al alcantarillado, y de nuevo comienza el ciclo desde el tanque de homogeneización, evaluando el estado de los medidores de nivel en los tanques.

Figura 36. Esquema E/S controlador

Terminal de Entrada		Terminal de Salida	
Encendido	X0	Y0	Bomba 1
Medidor de Nivel t.Homogeneización	X1	Y1	Bomba 2
Medidor de Nivel t.Aireación	X2	Y2	Bomba 3
Medidor Nivel t.Sedimentación	X3	Y3	Compresor
Medidor de pH	X4	Y4	Dosificador
	X5	Y5	Motor Agitador
	COM	Y6	Alarma falla del sistema

Fuente. El autor

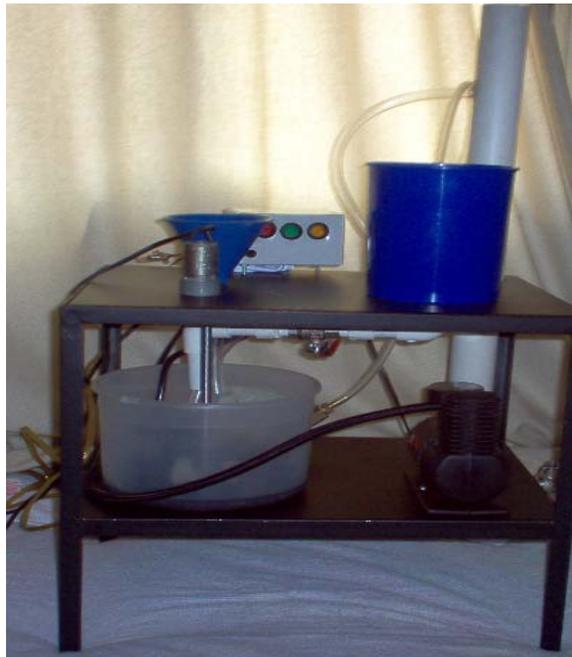
Para los valores medidos y señales de control se recomienda que sean manipulados desde un controlador lógico programable (PLC), que contenga como mínimo 5 entradas y 10 salidas (en el anexo K se puede ver las características de algunos PLC de “*festo*”) ya que estos dispositivos contienen internamente circuitos de protección contra ruidos y son más confiables que otros dispositivos como los microcontroladores, con estos datos se optaría por PLC referencia FEC – FC600.

Los lenguajes de programación que existen en el mercado son muy diversos, y entre ellos el lenguaje de escalera se ha convertido en el lenguaje universal de programación de los PLC, aunque pueden existir de este lenguaje algunas variantes mínimas según la marca que se trate. La estructura general del lenguaje de escalera para la programación del PLC emula la estructura de un diagrama eléctrico de escalera, con esto se pretende una fácil interpretación por los técnicos de mantenimiento ya que ellos están bastante familiarizados con este tipo de diagramas.

5.1 SIMULACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para realizar la simulación se construyó una planta piloto la cual consta de los siguientes procesos: tanque de aireación, tanque de sedimentación con agitación y filtro de carbón activado. Tal como se muestra en la figura 37:

Figura 37. Planta piloto tratamiento de aguas residuales



Fuente. El autor

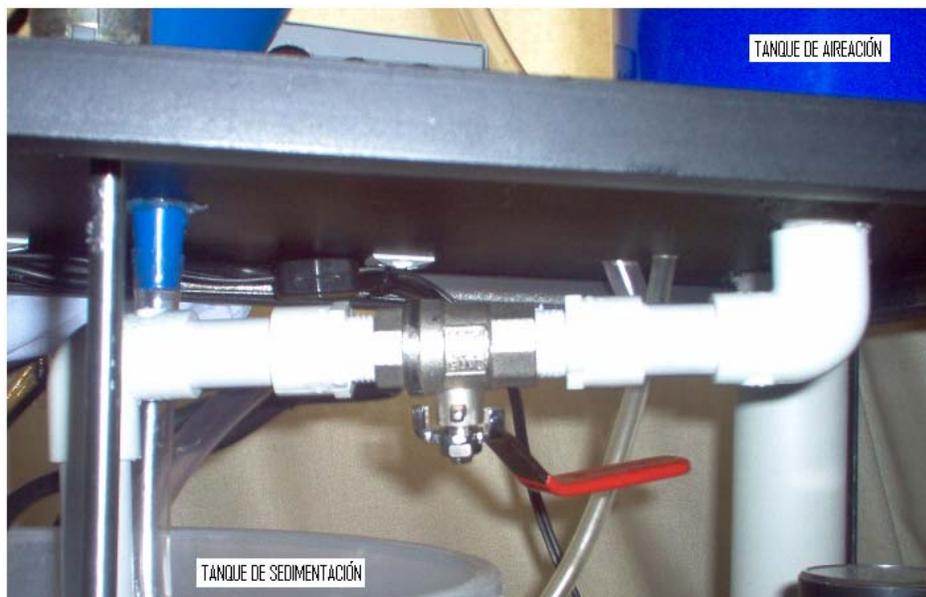
- *Tanque de Aireación*: tiene una altura de 0,16m y un diámetro de 0,13m, con lo que hallamos el volumen total del tanque:

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot h$$

$$V = \frac{\pi}{4} (0,13)^2 \cdot (0,16) = 2,12 \times 10^{-3} m^3$$

Con este volumen se puede calcular la cantidad de líquido a tratar que sea del 83% del volumen total ($1,73 \times 10^{-3} m^3$). Para simular la bomba que esta entre el tanque de aireación y el tanque de sedimentación, se utiliza una válvula que cuando se abre significa que la bomba esta en funcionamiento gracias a la aceleración gravitacional ya que se coloco el tanque de sedimentación por debajo tal como se muestra en la figura 38, y cuando se cierra significa que la válvula esta cerrada.

Figura 38. Válvula para la simulación de la bomba hidráulica



Fuente. El autor

Para el proceso de aireación se utiliza un compresor de 12Vdc, figura 39, al cual se le conecta un tubo flexible para transportar el aire al tanque de aireación.

Figura 39. Compresor de 12Vdc



Fuente. El autor

- *Tanque de Sedimentación*: tiene una altura de 0,13m y un diámetro de 0,20m, con lo que se calcula el volumen de tanque:

$$V = \frac{\pi}{4}(0,20)^2 \cdot (0,13) = 4,08 \times 10^{-3} m^3$$

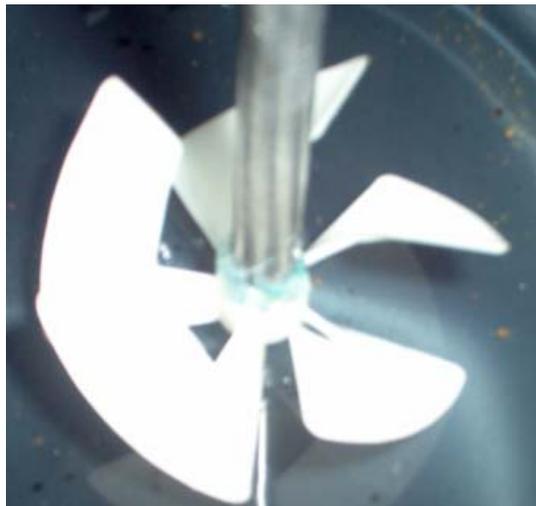
Con este volumen se garantiza que no hayan reboses en el proceso. Para simular el dosificador de químicos se instaló un embudo en la parte superior del tanque (figura 40), donde se le ingresan los productos químicos cuando se prenda un bombillo indicador. El proceso de agitación se simula mediante un motor de 12Vdc instalado en la parte superior, al cual se le instala un agitador tal como se ve en la figura 41.

Figura 40. Embudo para simular dosificador



Fuente. El autor

Figura 41. Agitador



Fuente. El autor

Para transportar el agua residual del tanque de sedimentación al filtro de carbón activado se utiliza una bomba sumergible que nos brinda una altura máxima de 0,7m, figura 42, a está se le conecta un tubo flexible por donde se transporta el agua al filtro de carbón activado.

Figura 42. Bomba sumergible



Fuente. El autor

- *Filtro de carbón activado:* Se utiliza un segmento de PVC de una altura de 0,60m y diámetro externo de 0,05m, al cual se le instala una malla en la parte inferior y se coloca el carbón activado sobre ella, el lecho filtrante tiene una altura de 0,35m. en la figura 43 se observa el filtro.

Figura 43. Filtro de Carbón activado



Fuente. El autor

La simulación del PLC se realizó mediante un microcontrolador (PIC16F873) figura 44, la programación del PIC se codificó en MPLAB IDE V 7.10, y el programa es el siguiente:

```

LIST P=16F873A
#INCLUDE "P16F873A.INC"
;*****
;
;   PROGRAMA SIMULACION PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
;*****
ORG 0X0

CONT0EQU 20H
CONT1EQU 21H
CONT2EQU 22H

GOTO PRINCIPAL

PRINCIPAL
    BANKSEL    TRISB
    CLRF       TRISB
    BANKSEL    PORTB
    CLRF       PORTB
    BANKSEL    TRISA
    MOVLW      B'11111111'
    MOVWF      TRISA
    BANKSEL    PORTA
    CLRF       PORTA
    GOTO       INICIO

INICIO
    BTFS      PORTA,2;NIVEL DEL TANQUE DE AIREACION (ON==1)
    GOTO      INICIO
    CALL      AIREACION
    CLRF      PORTB
    CALL      BOMBA2
    CLRF      PORTB

FIRST
    BTFS      PORTA,3;NIVEL DEL TANQUE DE SEDIMENTACION (ON==1)
    GOTO      FIRST
    CALL      DOSIFICACION

```

```
CLRF PORTB
CALL AGITACION
CLRF PORTB
CALL RETARDO; SIMULA
CALL RETARDO; SEDIMENTACION
CALL RETARDO; DEL AGUA
CALL BOMBA3
CLRF PORTB
CLRF PORTA
GOTO PRINCIPAL
```

BOMBA3

```
BSF PORTB,2
BTFSC PORTA,3;NIVEL DEL TANQUE DE SEDIMENTACION (OFF==0)
GOTO BOMBA3
BCF PORTB,2
RETLW 0
```

AGITACION

```
BSF PORTB,7;PRENDE EL MOTOR QUE SIMULA LA AGITACION
CALL RETARDO
BCF PORTB,7
RETLW 0
```

DOSIFICACION

```
BSF PORTB,5;PRENDE INDICADOR PARA INGRESAR LOS PRODUCTOS
QUIMICOS, SIMULADOR DOSIFICADOR
CALL RETARDO;
BCF PORTB,5
RETLW 0
```

BOMBA2

```
BSF PORTB,6;PRENDE INDICADOR PARA ABRIR VALVULA SIMULADOR
BOMBA H. #2
BTFSC PORTA,2;NIVEL DEL TANQUE DE AIREACION (OFF==0)
GOTO BOMBA2
BCF PORTB,6
RETLW 0
```

AIREACION

```
BSF PORTB,4;PRENDE EL COMPRESOR
CALL RETARDO; LO MANTIENE DURANTE UN PERIODO
BCF PORTB,4;APAGA EL COMPRESOR
```

```

RETLW    0
;*****
;
;                               RETARDOS
;*****
DELAY
        MOVLW    .100
        MOVWF    CONT0

CICLO
        DECFSZ   CONT0,1
        GOTO    CICLO
        DECFSZ   CONT1,1
        GOTO    DELAY
        RETLW    0

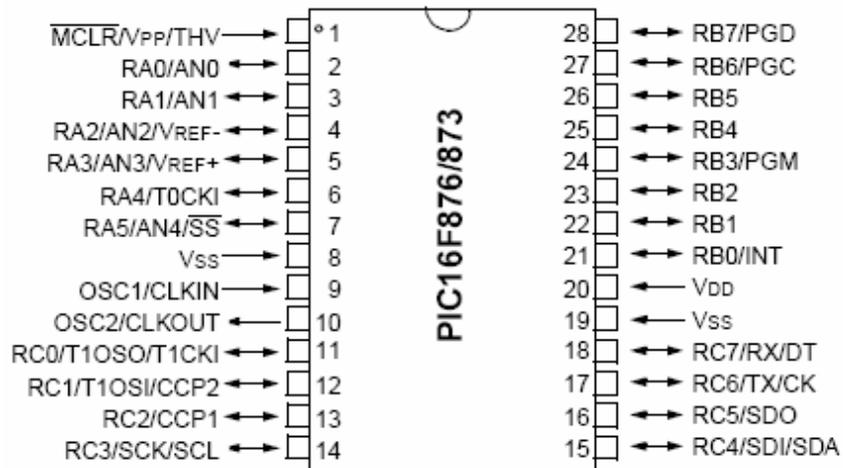
RETARDO
        BSF     PORTB,0
        MOVLW   .5
        MOVWF   CONT2

LOOP
        MOVLW   .100
        MOVWF   CONT1
        CALL   DELAY
        DECFSZ  CONT2,1
        GOTO   LOOP
        RETLW   0

END

```

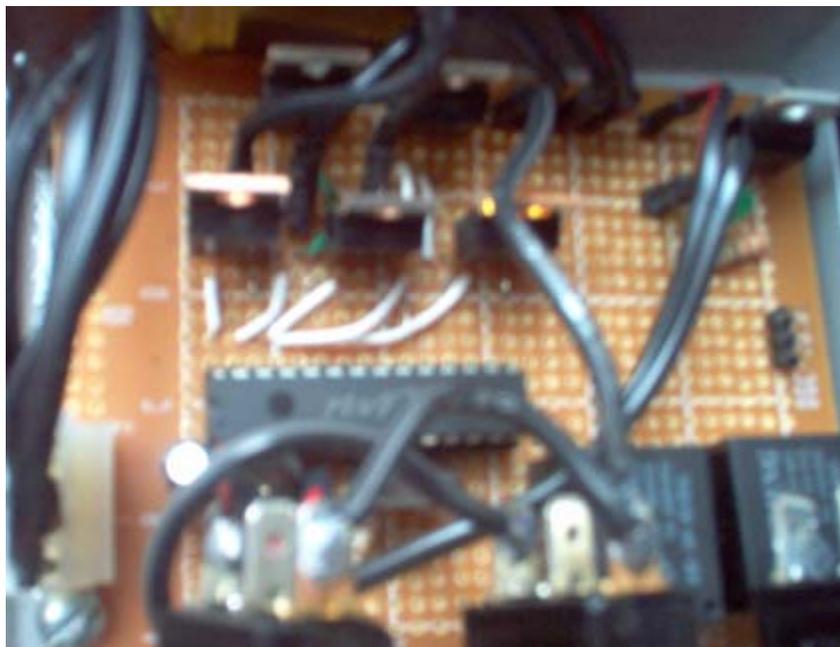
Figura 44. PIC 16F873



Fuente. Microchip Technology Inc.

Las componentes eléctricos que se usan es un regulador de voltaje, (5) transistores de potencia MOSFET (IRF630), (2) relevos de 10Amp / 120Vac – 24Vdc, y se ensambla en una baquela, tal como se muestra en la figura 45.

Figura 45. Circuito electrónico



Fuente. El autor

5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO QUÍMICO

Lo primero que se hace para poder determinar el proceso que se debe seguir en una planta de tratamiento de aguas residuales es realizar un análisis fisicoquímico del agua residual a tratar; ya que esto determina cuales parámetros se encuentran fuera del rango permitido por la entidad reguladora, en este caso el DAMA, ahora que se conocen los contaminantes que contiene el agua se procede a determinar los procesos que trataran dichos contaminantes.

Según el análisis fisicoquímico realizado en el agua residual de FARMACOOOP (Anexo L), el parámetro que se encuentra fuera del rango permitido para vertimientos es el porcentaje de fenoles, este dato hace referencia a la cantidad de compuestos fenólicos que posee el agua y se da en partes por millón (ppm); el DAMA permite verter un máximo de 0,2ppm de dichos compuestos. Verter un porcentaje mayor de fenoles a parte de generar una multa por la entidad reguladora, genera problemas ambientales ya que los compuestos fenólicos son compuestos orgánicos tóxicos, están conformados por carbono, hidrógeno y oxígeno, se llaman compuestos orgánicos a las cadenas de carbonos e hidrógenos (metano, hexano, pentano, etc.) que poseen en su estructura un benceno con radical OH, éste es el que les da el nombre de fenoles.

Ya se determino que el objetivo principal de la planta de tratamiento de aguas es reducir la cantidad de compuestos fenólicos y mantener todos los parámetros de vertimientos bajo la norma, los compuestos fenólicos son muy contaminantes y difíciles de erradicar, ya que en su estructura poseen un radical aromático que se debe reducir para poderlo remover; algunas industrias prefieren modificar sus procesos para evitar la generación de dichos contaminantes, pero cuando no se puede modificar (como es el caso) lo mejor es reducirlos por medio de una oxidación, atacarlos con productos químicos y luego hacerles una adsorción con un lecho de carbón activado.

La oxidación reduce los compuestos fenólicos de mayor número de carbonos a varios de menor número de carbonos, preparándolos para que sean adsorbidos en el lecho de carbón activado. Con la adición de la soda cáustica o el ácido clorhídrico se mantiene el pH entre 6,0 y 8,0 porque es un parámetro que no es constante y depende de la producción que se este haciendo, algunas veces será ácido y otras básico, mientras que con la adición del hidroxiclورو de aluminio lo que se busca es reducir los contaminantes como: sólidos en suspensión, compuestos orgánicos y metales, este reacciona con dichos contaminantes

aglomerándolos y dándoles peso para que puedan decantar y el agua que pasa al siguiente proceso (filtración) sea menos contaminante y así alargar la vida del lecho filtrante, disminuyendo los costos de mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

Por último se pasa el agua por un filtro de carbón activado que tiene como principio de funcionamiento una adsorción de los compuestos fenólicos reducidos que no fueron eliminados en los procesos anteriores, reducción de color, olor y sólidos totales, el agua que sale de este proceso ya cumple con los parámetros exigidos por el DAMA.

6. CONCLUSIONES

- El diseño de los procesos de una planta de tratamientos de aguas residuales es variable, dependiendo del tipo de contaminante que contenga, por esto es indispensable realizar un análisis fisicoquímico, antes de seleccionar los equipos que intervienen durante el proceso y en lo posible estar asesorado por un ingeniero químico.
- Es preferible manejar todos los procesos del tratamiento de aguas residuales en un solo lugar, donde los equipos no se encuentren separados unos de otros a grandes distancias, para evitar problemas de comunicación e impedir tantas pérdidas en las tuberías.
- La automatización de una planta de tratamiento de aguas residuales es sencilla por lo que se maneja con control secuencial, donde cada proceso es seguido de otro al recibir una señal.
- En el proceso de aireación para aguas residuales de caudales no tan altos es preferible utilizar unidades compresoras, por costos y espaciamiento.
- En caso de que la industria farmacéutica FARMACOOOP modifique el tipo de aguas a tratarse, la planta de tratamiento de aguas residuales diseñada estará en la capacidad de adoptar estos cambios con variaciones ya sea en los productos químicos o en los tiempos de funcionamiento de cada proceso.

RECOMENDACIONES

- Seguir las indicaciones tanto de almacenamiento como de uso de los proveedores de productos químicos; ya que con esto se evitan posibles contaminaciones en los productos.
- Se debe hacer un mantenimiento de equipos cada mes, exceptuando el filtro de carbón activado que requiere de un retrolavado cada vez que el caudal de salida se disminuya en aproximadamente una tercera parte al caudal de entrada.
- Calibrar los medidores de nivel y el medidor de pH cada vez que se realice un mantenimiento, para obtener señales de control correctas.
- Instalar válvulas de protección para que el fluido sea transportado en una sola dirección.
- Revisar conexiones eléctricas en los dispositivos de control, para evitar daños por sobre voltajes.
- Se debe realizar un análisis fisicoquímico de las aguas a verter cada tres meses con el fin de verificar que todos los patrones estén bajo la norma.

BIBLIOGRAFÍA

CONSTITUCIÓN NACIONAL DE COLOMBIA de 1.991, Artículo 80.

DECRETO 1594 de 1984.

DERECHO DE AGUAS TOMO II, Universidad Externado de Colombia, 2004.

DONALD, Fox. Introducción a la mecánica de fluidos, Editorial Mc Graw Hill, 1995, México.

GRUPO AGVAR, Equipamiento y mantenimiento de instalaciones de tratamiento de aguas residuales. Formación división de agua y saneamiento.

GRUPO NOVEM, Manual de ingeniería.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnica Colombiana NTC 1486, para documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros proyectos de investigación. Quinta actualización, Bogotá DC. ICONTEC, 2002.

IPCS. Ficha internacional de seguridad química, Soda cáustica, Cloruro de Hidrógeno, 1994.

MASTER EN INGENIERIA DEL AGUA, Curso de bombas, <http://tar5.eup.us.es/master/formacion/documentacion/cursodebombas.pdf>.

METCALF – EDDY, Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización. Editorial Mc Graw Hill. 1.998

MICROCHIP, Datasheet PIC 16F873, www.microchip.com.

NORTON Robert, Diseño de máquinas, México, Editorial Prentice Hall, 1.999

OGATA, Katsuhiko. Dinámica de sistemas, Editorial Prentice – Hall Hispanoamericana S.A. 1987.

PERRY, Robert H. – Don W. Green. Perry Manual del ingeniero químico. Editorial Mc Graw Hill, séptima edición, 2001.

PLASTIFORTE SRL, Manual técnico de SUPERTUBO PEAD y Superjunta, <http://plastiforte.aguatuya.com>.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999.

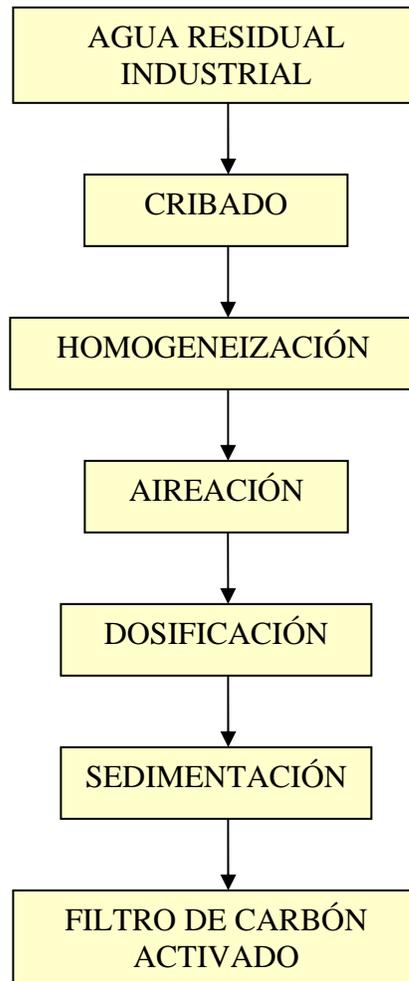
SHIGLEY, Joseph. Diseño en ingeniería mecánica. Sexta edición. Editorial Mc Graw Hill. 2002. México.

ANEXOS

ANEXO A

Esquema general del tratamiento de aguas residuales para la industria farmacéutica.

Figura 46. Esquema general del tratamiento de aguas residuales.



Fuente. El autor

ANEXO B

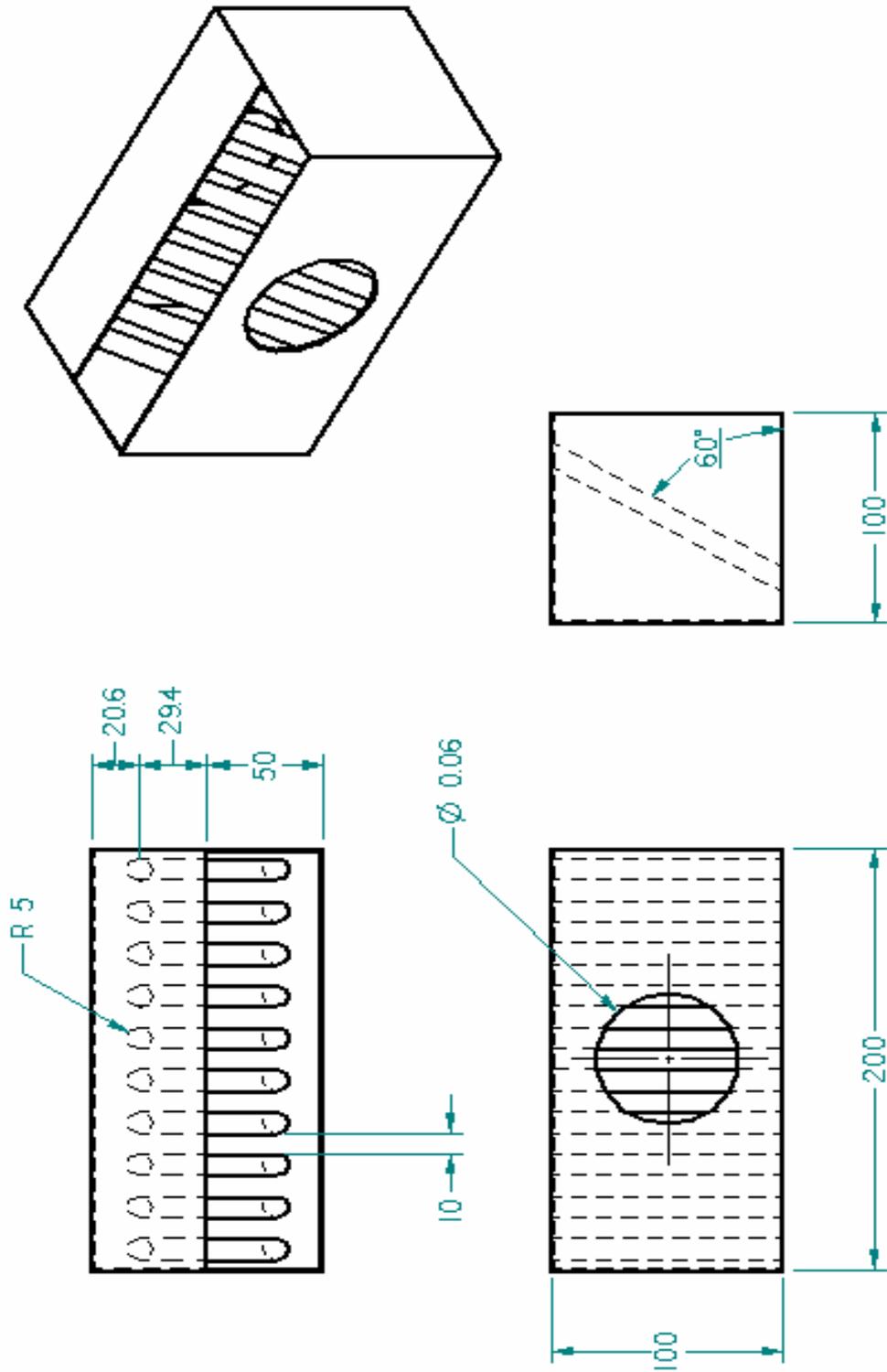
Plano de la cámara de cribado

Especificaciones:

Tabla 9. Especificaciones cámara de cribado

Ancho de la cámara	20 Cm
Profundidad de la cámara	10 Cm
Altura de la cámara	10 Cm
Número de barras	10
Espaciamiento entre barras	1 Cm
Diámetro de las barras	1 Cm
Diámetro de unión tubería	6,2 Cm
Material de la cámara	Polietileno
Material de los tubos	Acero inoxidable

Fuente. El autor



Dibujado por:
Gustavo Adolfo Fuquene

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ± 0.1 y $\pm 1^\circ$

Universidad de San Buenaventura
Facultad de Ingeniería
Programa Mecatrónica

Título: CÁMARA DE CRIBADO
Fecha
Junio de 2.006

ANEXO C

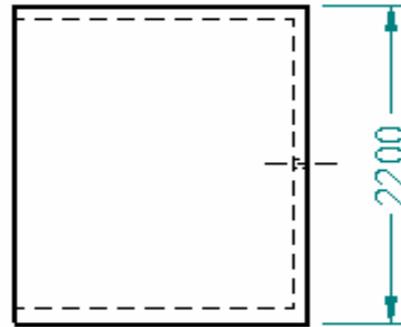
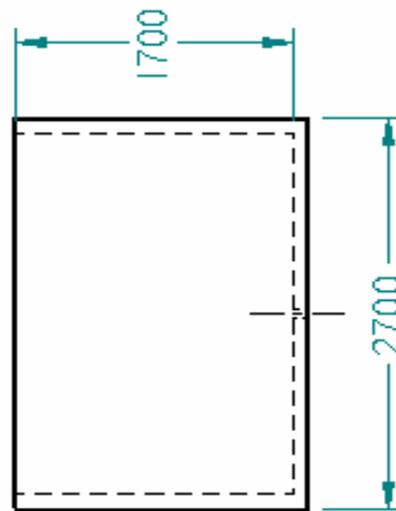
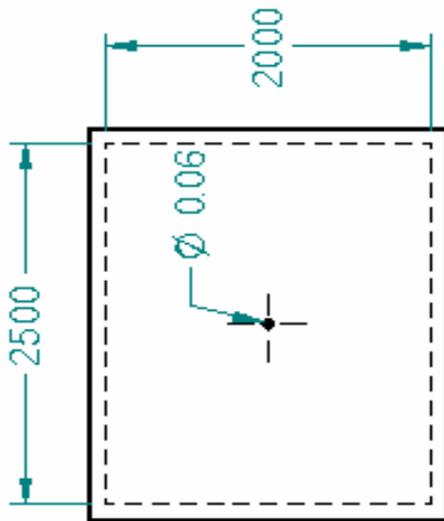
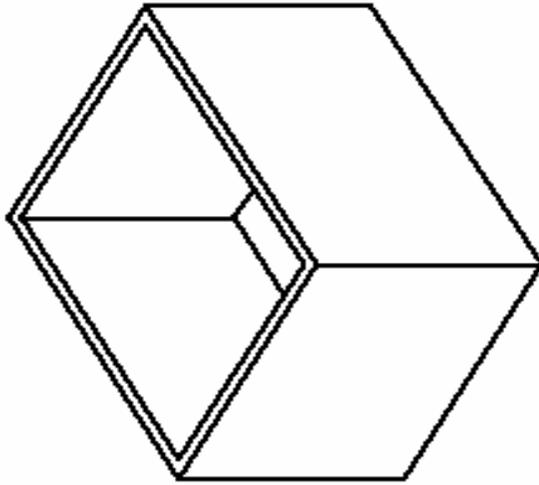
Plano del tanque de homogeneización

Especificaciones:

Tabla 10. Especificaciones tanque de homogeneización

Volumen del tanque	8.5 m ³
Ancho del tanque	2.5 m
Altura del tanque	1.7 m
Largo del tanque	2.0 m
Material del tanque	Concreto

Fuente. El autor



	<i>Dibujado por:</i> Gustavo Adolfo Fuente	Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Programa Mecatrónica	
		Título: TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN	Fecha Junio de 2.006
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,1$ y $\pm 1^\circ$			

ANEXO D

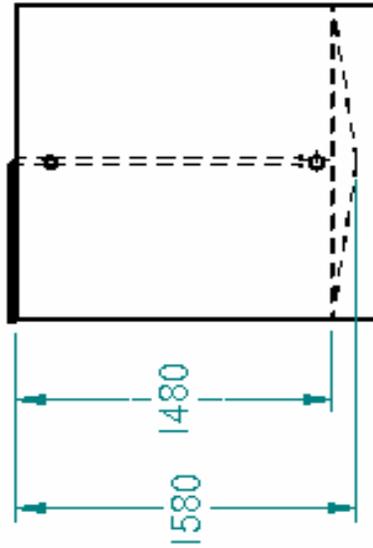
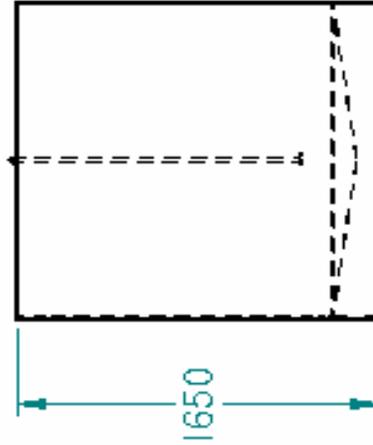
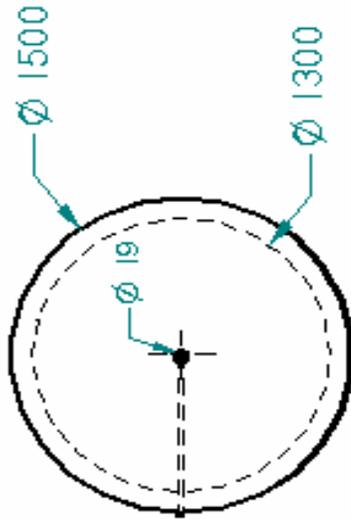
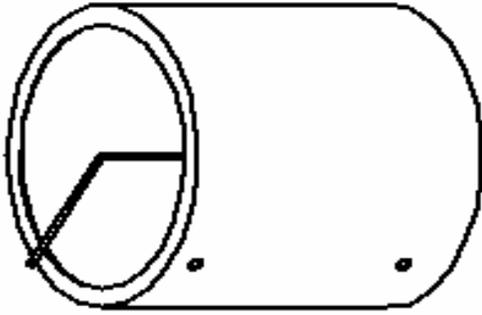
Plano del tanque de aireación

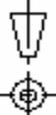
Especificaciones:

Tabla 11. Especificaciones del tanque de aireación

Volumen del tanque	2.8 m ³
Diámetro del tanque	1.50 m
Altura del tanque	1.65 m
Material del tanque	Polietileno

Fuente. El autor



	<i>Dirección por:</i> Gustavo Adolfo Fuquene	Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Programa Mecatrónica
	Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,1$ y $\pm 1^\circ$	Título: TANQUE DE AIREACIÓN

ANEXO E

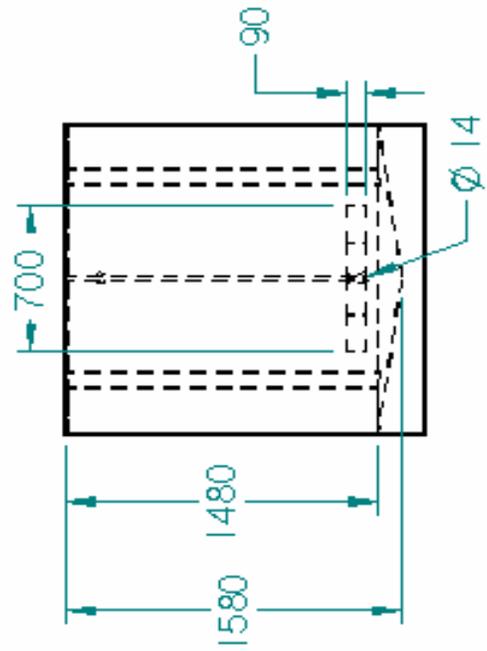
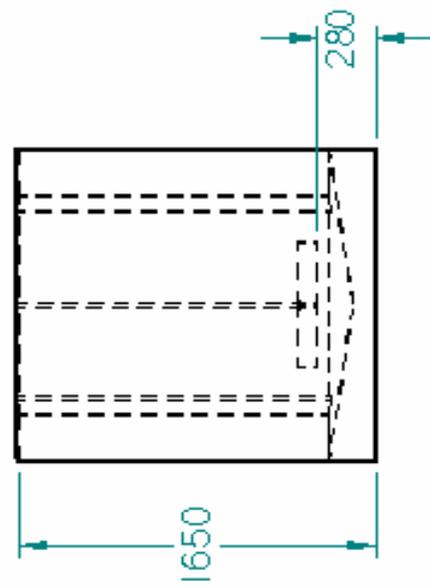
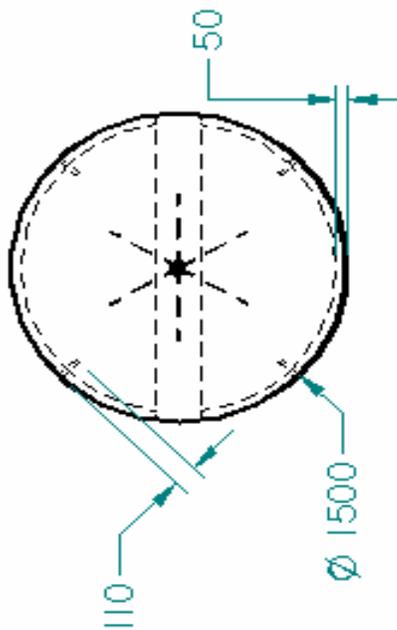
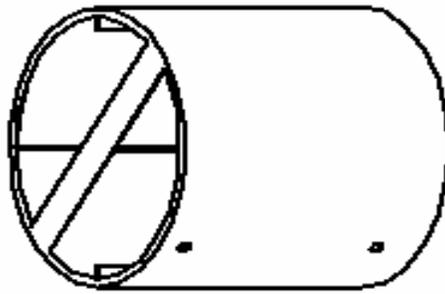
Plano del tanque de sedimentación o reactor con agitación

Especificaciones:

Tabla 12. Especificaciones del tanque de sedimentación con agitación

Volumen del tanque	20 Cm
Diámetro del tanque	10 Cm
Altura del tanque	10 Cm
Número de aspas del agitador	10
Longitud de las aspas del agitador	1 Cm
Longitud del eje del agitador	1 Cm
Diámetro del eje del agitador	6,2 Cm
Material del tanque	Polietileno
Material del agitador	Acero inoxidable

Fuente. El autor



	<i>Dibujado por:</i> Gustavo Adolfo Fuquene	Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Programa Mecatrónica	
		Título: TANQUE DE SEDIMENTACIÓN CON AGITACIÓN	Fecha Junio de 2006
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,1$ y $\pm 1^\circ$			

ANEXO F

Datos generales para filtros de carbón activado (*grupo Novem*)

Tanque	Flujo de Servicio													
	Area Tanque Pies2		Vol. Tanque Pies3		Vol. Mat. Fil. Pies3		Olores y Sabores		Decolorar		Osmosis Inversa		Retrolavado	
	GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM	GPM	LPM
8" x 44"	0.35	1.16	0.75	7.93	2.09	3.49	13.2	3.49	13.2	1.75	6.6	3.49	13.2	
9" x 48"	0.44	1.58	1.00	10.03	2.65	4.42	16.7	4.42	16.7	2.21	8.4	4.42	16.7	
10" x 54"	0.54	2.19	1.50	12.26	3.24	5.40	20.4	5.40	20.4	2.70	10.2	5.40	20.4	
12" x 52"	0.78	3.00	2.00	17.71	4.68	7.80	29.5	7.80	29.5	3.90	14.8	7.80	29.5	
13" x 54"	0.92	3.68	2.50	20.89	5.52	9.20	34.8	9.20	34.8	4.60	17.4	9.20	34.8	
14" x 65"	1.07	5.10	3.00	24.28	6.41	10.69	40.5	10.69	40.5	5.34	20.2	10.69	40.5	
16" x 65"	1.39	6.60	4.00	31.57	8.34	13.90	52.6	13.90	52.6	6.95	26.3	13.90	52.6	
18" x 65"	1.77	8.30	5.00	40.13	10.60	17.67	66.9	17.67	66.9	8.84	33.4	17.67	66.9	
21" x 62"	2.41	11.00	7.00	54.62	14.43	24.05	91.0	24.05	91.0	12.03	45.5	24.05	91.0	
24" x 65"	3.14	13.40	10.00	71.34	18.85	31.42	118.9	31.42	118.9	15.71	59.5	31.42	118.9	
30" x 72"	4.91	25.00	15.00	111.47	29.45	49.09	185.8	49.09	185.8	24.54	92.9	49.09	185.8	
36" x 72"	7.07	35.30	20.00	160.56	42.42	70.70	267.6	70.70	267.6	35.35	133.8	70.70	267.6	
42" x 72"	9.62	46.10	30.00	218.47	57.72	96.20	364.1	96.20	364.1	48.10	182.1	96.20	364.1	
48" x 72"	12.57	61.90	40.00	285.46	75.42	125.70	475.8	125.70	475.8	62.85	237.9	125.70	475.8	
63" x 67"	21.65	80.20	55.00	491.60	129.88	216.47	819.3	216.47	819.3	108.24	409.7	216.47	819.3	
66" x 60"	23.76	118.80	80.00	539.59	142.56	237.60	899.3	237.60	899.3	118.80	449.7	237.60	899.3	
72" x 60"	28.27	141.35	95.00	642.01	169.62	282.70	1070.0	282.70	1070.0	141.35	535.0	282.70	1070.0	
78" x 60"	33.18	165.90	110.00	753.52	199.08	331.80	1255.9	331.80	1255.9	165.90	627.9	331.80	1255.9	
84" x 60"	38.48	192.40	130.00	873.88	230.88	384.80	1456.5	384.80	1456.5	192.40	728.2	384.80	1456.5	
90" x 60"	44.18	220.90	150.00	1003.33	265.08	441.80	1672.2	441.80	1672.2	220.90	836.1	441.80	1672.2	
96" x 60"	50.27	251.35	170.00	1141.63	301.62	502.70	1902.7	502.70	1902.7	251.35	951.4	502.70	1902.7	
102" x 60"	56.75	283.75	190.00	1288.79	340.50	567.50	2148.0	567.50	2148.0	283.75	1074.0	567.50	2148.0	
108" x 60"	63.62	318.10	215.00	1444.81	381.72	636.20	2408.0	636.20	2408.0	318.10	1204.0	636.20	2408.0	
114" x 60"	70.88	354.40	240.00	1609.68	425.28	708.80	2682.8	708.80	2682.8	354.40	1341.4	708.80	2682.8	
120" x 60"	78.54	392.70	260.00	1783.64	471.24	785.40	2972.7	785.40	2972.7	392.70	1486.4	785.40	2972.7	
126" x 60"	86.59	432.95	300.00	1966.46	519.54	865.90	3277.4	865.90	3277.4	432.95	1638.7	865.90	3277.4	
132" x 60"	95.03	475.15	315.00	2158.13	570.18	950.30	3596.9	950.30	3596.9	475.15	1798.4	950.30	3596.9	
138" x 60"	103.87	519.35	350.00	2358.89	623.22	1038.70	3931.5	1038.70	3931.5	519.35	1965.7	1038.70	3931.5	
144" x 60"	113.10	565.50	380.00	2568.50	678.60	1131.00	4280.8	1131.00	4280.8	565.50	2140.4	1131.00	4280.8	

ANEXO G

Características técnicas de la tubería “SUPERTUBO PEAD”

Tabla 13. Características técnicas SUPERTUBO PEAD

Código	Descripción	Diámetro externo D [mm]	Calibre equivalente [pulgadas]	Presión de trabajo [bar]	Longitud del Rollo [m]
110.010.020	SUPER TUBO PEAD DE 20mm	20	1/2"	12	100
110.010.025	SUPER TUBO PEAD DE 25mm	25	3/4"	12	100
110.010.032	SUPER TUBO PEAD DE 32mm	32	1"	10	100
110.010.040	SUPER TUBO PEAD DE 40mm	40	1 1/4"	10	100
110.010.050	SUPER TUBO PEAD DE 50mm	50	1 1/2"	8	100
110.010.063	SUPER TUBO PEAD DE 63mm	63	2"	8	100
110.010.075	SUPER TUBO PEAD DE 75mm (*)	75	2 1/2"	8	50
110.010.090	SUPER TUBO PEAD DE 90mm	90	3"	8	50
110.010.110	SUPER TUBO PEAD DE 110mm	110	4"	8	50

(*) Se fabrica solo a pedido del cliente

Código	Descripción	Caudal Mínimo [l/s]	Caudal Máximo [l/s]
110.010.020	SUPER TUBO PEAD DE 20mm	0.1	0.6
110.010.025	SUPER TUBO PEAD DE 25mm	0.2	0.9
110.010.032	SUPER TUBO PEAD DE 32mm	0.4	1.6
110.010.040	SUPER TUBO PEAD DE 40mm	0.6	2.4
110.010.050	SUPER TUBO PEAD DE 50mm	1.0	4.0
110.010.063	SUPER TUBO PEAD DE 63mm	1.5	6.3
110.010.075	SUPER TUBO PEAD DE 75mm	2.2	9.0
110.010.090	SUPER TUBO PEAD DE 90mm	3.1	13.0
110.010.110	SUPER TUBO PEAD DE 110mm	4.6	19.2

Fuente. Manual técnico de SUPERTUBO PEAD y SUPERJUNTA, PLASTIFORTE SRL 2004

ANEXO H

HIDROXICLORURO DE ALUMINIO

El hidroxiclорuro de aluminio es un líquido ligeramente viscoso de color ámbar claro, a veces opalescente, que contiene complejos de aluminio multinuclear. El almacenamiento del hidroxiclорuro de aluminio no presenta mayores inconvenientes si se dispone de tanques o recipientes de materiales plásticos tales como: PP, PFC o PVC. Debido al carácter higroscópico del producto el recipiente de almacenamiento debe estar cerrado y provisto de venteo apropiado. Si el producto se almacena en tanques abiertos el área superior debe tener en cuenta que el producto estará diluido en la parte superior.

OBTENCION

Mediante proceso fisicoquímico, donde se hace reaccionar ácido clorhídrico de concentración conocida con aluminio primario.

USOS

En el tratamiento y clarificación de aguas potables, residuales o industriales. Especialmente recomendado para clarificar aguas con altos niveles de color, obteniéndose los parámetros ambientales necesarios para descargar al medio ambiente. Muy eficiente para el tratamiento de aguas con alto contenido de hierro.

PRECAUCIONES

Para el manejo del producto es necesario el uso de guantes y gafas de seguridad. En caso de contacto con la piel o los ojos es necesario lavarse con abundante agua y jabón. Si se presenta irritación se debe acudir de inmediato a un médico.

ESPECIFICACIONES - CIFRAS TIPICAS

APARIENCIA	LIQUIDO CLARO AMBAR
OLOR	NINGUNO
PH	2.8 – 3.0
VISCOSIDAD	65 cps A 20 °C
GRAVEDAD ESPECIFICA	1.31 – 1.33
CARÁCTER IONICO	CATIONICO
% Al ₂ O ₃	23.5 +/- 0.3
ACIDEZ	12.5 +/- 1,0

PRESENTACION

* GARRAFAS X 250 Kg Y GARRAFAS X 1,5,15 GALONES.

CONTROL Y CALIDAD, LAB. QUIMICO
Bogotá, Abril de 2006

Fuente. Ciacomeq Ltda

ANEXO I

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDROXIDO DE SODIO

ICSC: 0360






HIDROXIDO DE SODIO
 Hidróxido sódico
 Sosa cáustica
 Sosa
 NaOH
 Masa molecular: 40.0

Nº	CAS	1310-73-2
Nº	RTECS	WB4900000
Nº	ICSC	0360
Nº	NU	1823
Nº CE 011-002-00-6		

PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN			

EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
INHALACIÓN	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
PIEL	Corrosivo. Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
OJOS	Corrosivo. Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTIÓN	Corrosivo. Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.	No comer, ni beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado, eliminar el residuo con agua abundante. (Protección personal adicional:	Separado de ácidos fuertes, metales, alimentos y piensos, materiales combustibles. Mantener en lugar seco y bien cerrado (véanse Notas).	No transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2-)26-37/39-45	

traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).		Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE		
ICSC: 0360	Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDROXIDO DE SODIO

ICSC: 0360

D A T O S I M P O	ESTADO FISICO; ASPECTO	VIAS DE EXPOSICION
	Sólido blanco, deliquescente en diversas formas e inodoro.	La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION
	PELIGROS QUIMICOS	La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	La sustancia es una base fuerte, reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva en ambientes húmedos para metales tales como cinc, aluminio, estaño y plomo originando hidrógeno (combustible y explosivo). Ataca a algunas formas de plástico, de caucho y de recubrimientos.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION
		Corrosivo. La sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del

R T A N T E S	<p>Absorbe rápidamente dióxido de carbono y agua del aire.</p> <p>Puede generar calor en contacto con la humedad o el agua.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION</p> <p>TLV: 2 mg/m³ (valor techo) (ACGIH 1992-1993).</p> <p>PDK no establecido.</p> <p>MAK: clase G</p>	<p>aerosol de la sustancia puede originar edema pulmonar (véanse Notas).</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p> <p>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	<p>Punto de ebullición: 1390°C</p> <p>Punto de fusión: 318°C</p> <p>Densidad relativa (agua = 1): 2.1</p>	<p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109</p> <p>Presión de vapor, kPa a 739°C: 0.13</p>
DATOS AMBIENTALES	<p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>	
NOTAS		
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadirla al agua siempre lentamente. Almacenar en una área que disponga de un suelo de hormigón, resistente a la corrosión.</p>		

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-121

Código NFPA: H 3; F 0; R 1;

INFORMACION ADICIONAL

FISQ: 3-134 HIDROXIDO DE SODIO

ICSC: 0360

HIDROXIDO DE SODIO

© CCE, IPCS, 1994

Fuente. IPCS ficha internacional de seguridad química

ANEXO J

Fichas Internacionales de Seguridad Química

COLORURO DE HIDROGENO

ICSC: 0163






COLORURO DE HIDROGENO
 Acido clorhídrico, anhidro
 Cloruro de hidrógeno, anhidro
 HCl
 Masa molecular: 36.5

Nº	CAS	7647-01-0
Nº	RTECS	MW4025000
Nº	ICSC	0163
Nº	NU	1050
Nº CE 017-002-00-2		

PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fría la botella

			rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
INHALACIÓN	Corrosivo. Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta. (Síntomas no inmediatos: véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
PIEL	Corrosivo. Quemaduras cutáneas graves, dolor.	Guantes protectores y traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y proporcionar asistencia médica.
OJOS	Corrosivo. Dolor, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
INGESTIÓN			

DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
<p>Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar gas con agua pulverizada. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).</p>	<p>Separado de sustancias combustibles y reductoras, oxidantes fuertes, bases fuertes, metales. Mantener en lugar bien ventilado.</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>CE: símbolo C símbolo T</p> </div> </div> <p>R: 23-35 S: (1/2-)9-26-36/37/39-45 Clasificación de Peligros NU: 2.3 Riesgos Subsidiarios NU: 8</p>
<p>ICSC: 0163 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994</p>		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

COLORURO DE HIDROGENO

ICSC: 0163

D A T O S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Gas licuado comprimido incoloro, de olor acre.</p> <p>PELIGROS FISICOS El gas es más denso que el aire.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACION Al producirse una pérdida de gas se alcanza muy rápidamente una concentración nociva de éste en el aire.</p>
----------------------------------	---	---

<p style="text-align: center;">I M P O R T A N T E S</p>	<p>PELIGROS QUIMICOS</p> <p>La disolución en agua es un ácido fuerte, reacciona violentamente con bases y es corrosiva. Reacciona violentamente con oxidantes formando gas tóxico de cloro. En contacto con el aire desprende humos corrosivos (véanse Notas). Los efectos de cloruro de hidrógeno. Ataca a muchos metales formando hidrógeno.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</p> <p>Corrosivo. La sustancia es corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de altas concentraciones del gas puede originar edema pulmonar (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p> <p>La sustancia puede afectar el pulmón, dando lugar a bronquitis crónica. La sustancia puede causar erosiones dentales.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION</p> <p>TLV: 5 ppm; 7.5 mg/m³ (valor techo) (ACGIH 1993-1994).</p>
<p style="text-align: center;">PROPIEDADES FÍSICAS</p>	<p>Punto de ebullición a 101.3 kPa: - 85°C</p> <p>Punto de fusión: -114°C</p> <p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 72</p> <p>Solubilidad en agua: Elevada</p> <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.3</p> <p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.25</p>
<p style="text-align: center;">DATOS</p>	

AMBIENTALES**NOTAS**

El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto, a menudo, hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello, imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un aerosol adecuado por un médico o persona por él autorizada. NO pulverizar con agua sobre la botella que tenga un escape (para evitar la corrosión de la misma). Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape.

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-135

Código NFPA: H 3; F 0; R 0;

INFORMACION ADICIONAL

FISQ: 3-072 CLORURO DE HIDROGENO

ICSC: 0163

CLORURO DE HIDROGENO

© CCE, IPCS, 1994

Fuente. IPCS ficha internacional de seguridad química

ANEXO K

Controladores FEC, Standard

Datos técnicos

FESTO

Datos generales						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Temperatura máx. de funcionamiento	0 ... 55 °C					
Temperatura máx. para el transporte y almacenamiento	-25 ... +70 °C					
Humedad relativa	0 ... 95% (sin condensación)					
Tensión de funcionamiento	24 V DC +25%/-15%					
Consumo	<5 W					
Clase de protección	IP20					
Clase de protección	Clase de protección III. Unidad de alimentación según IEC 742/EN60 742/VDE0551/PELV con aislamiento mínimo de 4 kV o unidad con separación segura según NE 60 950/VDE 0805					
Conexiones E/S	Conectores con muelle de tracción					
EMC	EN 61 000-6-2, EN 50 081-2					

Entradas digitales						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	16		32			
Como entradas ráp. (máx. 2 kHz)	2 Longitud mínima de impulsos para TRUE: 250 µs Duración mínima de pausas para FALSE: 250 µs					
Tensión de entrada / Corriente	24 V DC, normal 5 mA					
Valor nominal para TRUE	1.5 V DC mín.					
Valor nominal para FALSE	5 V DC máx.					
Retardo de la señal de entrada	Normal 5 ms					
Separación de potencial	Sí, mediante optoacoplador					
Long. máx. cable conexión	Máx. 30 m					
Indicación estado por LED	Opcionalmente en el conector					

Entradas analógicas						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	0	0	0	3	0	3
Márgenes de señales	0(4) ... 20 mA					
Resolución	12 Bit, ±3 LSB					
Tiempo de conversión	10 ms					
Long. máx. cable conexión	Máx. 30 m					

Salidas digitales						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	8		16			
Contactos	Transistor					
Tensión/Corriente	24 V DC, máx. 400 mA					
Aprueba de cortocircuitos	Sí					
Lámpara resistente	Sí, hasta 5 W					
Resistente a sobrecargas	Sí					
Separación de potencial	Sí, mediante optoacoplador					
Velocidad de conexión	Máx. 1 kHz					
Separación de potencial en grupos	Sí, 1 byte cada uno					
Corriente máx. de grupo	3,2 A					
Ciclos de conmutación	Ilimitada					
Indicación de estado mediante LED	Opcionalmente en el conector					

Salidas analógicas						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	0	0	0	1	0	1
Márgenes de señales	0(4) ... 20 mA					
Resolución	12 Bit					
Tiempo de conversión	10 ms					
Resistencia máx. de carga	700 Ω					

Selector giratorio						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	1					
Posiciones	16					
STOP/RUN	0 = Stop 1 ... F = RUN					

Módulo interface serie						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	2					
Conexión	Conector RJ12					
Propiedades	Serie, asíncrona, nivel TTL, sin separación galvánica					
Utilización como RS232c	Indispensables PS1-SM14 o PS1-SM15					
Ocupación de las conexiones SM14/15	Transmisión, recepción, RTS, CTS					
Utilización como RS485	Indispensable PS1-SM35					
Utilización como interface de programación	9 600 Bit/s, 8/N/1					
Utilización con interface universal: COM	300 ... 9 600 Bit/s, 7N1, 7E1, 7O1, 8N1, 8E1, 8O1					
Utilización con interface universal: EXT	300 ... 115 000 Bit/s, 7N1, 7E1, 7O1, 8N1, 8E1, 8O1					

Conector SAC						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad de conectores necesarios	4	4	7	8	7	8
Material de aislamiento	PBT, negro					
Temperatura	PS1-SAC10/SAC30: -20 ... +100 °C PS1-SAC11/SAC31: -20 ... +75 °C					
Clase de inflamabilidad	V-0					
Patrón	3,5 mm					
Técnica de unión	Conexión con muelle					
Longitud aislada	9 ... 10 mm					
Zona de fijación	0,05 ... 1,5 mm ²					
Un hilo H05(07)V-U	0,20 ... 1,5 mm ²					
Hilo fino sin casquillo	0,5 ... 1,5 mm ²					
Hilo fino con casquillo según DIN 46 228/1	0,5 ... 1,5 mm ²					
Hilo fino galvanizado por inmersión	0,05 ... 0,2 mm ²					
Contactos de manipulación de corriente	16 A					
Contacto de corriente individual	2 A (máx. 6 A por contacto, considerando la carga máx. admisible por distribuidor y contacto de alimentación)					

Ethernet						
	FEC-FC400	FEC-FC440	FEC-FC600	FEC-FC620	FEC-FC640	FEC-FC660
Cantidad	0	1	0	0	1	1
Interface de bus	IEEE802.3 (10BaseT)					
Velocidad de la transmisión de datos	10 MBit/s					
Conector	RJ45					
Protocolos compatibles	TCP/IP, EasyIP, http (únicamente FST)					
Servidor OPC	Bajo demanda					
Servidor DDE	Sí, para EasyIP					

ANEXO L

Análisis fisicoquímico FARMACOOOP.