

**DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y  
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA  
PISCICULTURA ORNAMENTAL**

**GERMAN GÓMEZ RONCANCIO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.007**

**DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y  
CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA  
PISCICULTURA ORNAMENTAL**

**GERMAN GÓMEZ RONCANCIO**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
NÉSTOR RAÚL DCROZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2.007**

## DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres,

A mi familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y tías que siempre estuvieron para brindarme el apoyo que requerí.

**German Gómez Roncancio.**

## CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	1
1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA	3
1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA	4
1.1.1. Turbiedad	4
1.1.2. Color	4
1.1.3. Olor	5
1.1.4. Temperatura	5
1.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA	6
1.2.1. Dureza	6
1.2.2. Valor de pH	7
1.2.3. Nitrógeno	8
1.3 BACTERIOLOGÍA DEL AGUA	13
1.3.1. Número más probable	13
1.3.2. Técnica de la membrana filtrante	14
2. DISEÑO CONCEPTUAL	15
3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA	19
4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	21
4.1. FILTRACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	22
4.1.1. Tamizado	22
4.1.2. Filtración por membrana	22
4.1.3. Tipos de membrana. Membrana en espiral	28
4.1.4. Especificaciones para realizar la selección de la membrana	29
4.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO	30
4.2.1. Filtro percolador	30
4.2.2. Desnitrificador biológico	31
4.2.3 Sustrato	32

4.3. DESINFECCIÓN	32
4.3.1. Calor	33
4.3.2. Yodo	33
4.3.3. Bromo	34
4.3.4. Cloro	34
4.3.5. Radiación ultravioleta	34
5. DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO	36
5.1 CALCULO DEL BIOFILTRO PARA LA PISCICOLA	36
5.1.1. Resumen del cálculo	39
5.2 CALCULO DEL BIOFILTRO DEL MODELO	40
5.2.2. Resumen del cálculo	41
5.3. SUSTRATO	41
5.3.1 Comprobación del área del sustrato en los biofiltros	42
6. ESTERILIZACIÓN ULTRAVIOLETA	43
6.1. PROPIEDADES DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	44
6.1.1. Longitud de onda	44
6.1.2. Calidad del agua	44
6.1.3. Intensidad de la radiación	44
6.1.4. Tipo de microorganismos	45
6.1.5. Tiempo de exposición	45
6.2. MECANISMOS DE DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	46
6.3 CÁLCULO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	47
6.3.1. Estructura del reactor UV	48
6.3.2. Cálculo de la dosis de UV para el modelo	52
6.3.2. Cálculo de la dosis de UV para la planta piscícola	50
7. MICROFILTRACIÓN	54
7.1.1. Estructura del filtro bolsa	55
7.2. FILTRO BOLSA	55
7.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	57
7.2.1. Lavado con chorro delantero	58

7.2.2. Lavado con chorro de trasero	58
7.2.3. Limpieza por chorro de aire o por chorro de aire y agua	59
7.2.4. Limpieza química	60
8. PRUEBAS	61
8.1. PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA NITRIFICADOR - DESNITRIFICADOR	61
9. CONCLUSIONES	63
10. RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	67

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Transformación del nitrógeno	11
figura 2. Esquematzación de la plata de tratamiento	21
figura 3. Esquema del funcionamiento de una membrana.	24
figura 4. Tamaño de partícula retenido por cada uno de los tipos de filtración por membrana.	25
figura 5. Esquemas de varias aplicaciones de microfiltración	28
figura 6. Rata de remoción de amoniaco con diferentes cargas hidráulicas	36
figura 7. Esquema del biofiltro	39
figura 8. Esquema de un reactor uv	48
figura 9. Porcentaje de la energía radiada en cada una de las longitudes de onda por la lámpara germicida	49
figura 10. Sección trasversal del reactor	50
figura 11. Esquema del filtro bolsa	56
figura 12. Resultado de las concentraciones de nitrógeno en las pruebas hechas al agua tratada en la planta modelo	62

## LISTA DE TABLAS

		pág.
Tabla 1.	Comparación de dureza en diferente unidades	7
Tabla 2.	Concentraciones de nitrógeno mortales y optimas para el cultivo de peces ornamentales	12
Tabla 3.	Concentraciones peligrosas de Amoniacó dependiendo de la temperatura del agua y su pH.	16
Tabla 4.	Características del agua para los peces objetivo de la explotación	17
Tabla 5.	Composición del alimento	17
Tabla 6.	Proyección de producción	18
Tabla 7.	Carga mínima hidráulica para diferentes áreas superficiales específicas del sustrato	38
Tabla 8.	Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos del agua.	47
Tabla 9.	Geometría del reactor de la piscícola	51
Tabla 10.	Geometría del reactor del modelo	52

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Resultados de las pruebas realizadas al agua de las instalaciones donde funciona el modelo	66
Anexo B. Resultados de las pruebas realizadas a la fuente de agua de las instalaciones del modelo	67
Anexo C. Comportamiento de las pérdidas en la bolsa filtro	68
Anexo D. Comportamiento de las pérdidas en la camisa del filtro	70
Anexo E. Informe de costos del modelo	72
Anexo F. Fotografías	73
Anexo G. Cálculos hidráulicos	77
Anexo H. Planos	81

## RESUMEN

### TÍTULO:

**DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL\***

### AUTORES:

German Gómez Roncancio. \*\*

### PALABRAS CLAVES:

Tratamiento de aguas, Radiación germicida UV, Desnitrificación, nitrificación, microfiltración.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es diseñar una planta de tratamiento de agua eficiente y de bajo costo para una instalación de cría de peces ornamentales de 60 m<sup>3</sup> que permita reciclar el agua para ser reutilizada en la planta piscícola, además construir un modelo sobre este diseño. En esta planta se producirán mensualmente 4000 peces ornamentales de las variedades discos, escalares, bettas y goldfish. El periodo producción es de 4 meses por lo tanto se mantendrán 16000 peces en las instalaciones piscícolas

El proceso de tratamiento de agua se diseñó con base en las técnicas desarrolladas para la recuperación de aguas residuales de origen doméstico e industriales, pero como la calidad final del agua debía ser tal, para poder ser utilizada de nuevo en el cultivo de peces, que hubo que incorporar técnicas utilizadas en sistemas de potabilización de agua. Estas técnicas fueron usadas en conjunto debido a la peculiaridad del tratamiento requerido.

El resultado es una planta de tratamiento que permite tomar el agua degradada por los restos del metabolismo de los pescados y ajustar a sus características físico-químicas dentro de los intervalos seguros para una conservación saludable de éstos. Esta transformación se realiza por medio de procesos económicos y seguros

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Néstor D'croz.

## SUMMARY

**TITLE:**

**MECHANICAL DESIGN AT LOW COST AND CONSTRUCTION OF THE MODEL OF A PLANT OF WATER TREATMENT FOR TROPICAL FISH FARM\***

**AUTHORS:**

German Gómez Roncancio. \*\*

**KEY WORDS:**

Water treatment, germicidal Radiation UV, Desnitrificación, nitrificación, microfiltration.

**DESCRIPTION:**

The objective of this project is to design a efficient water treatment plant and low cost for a tropical fish hatchery installation with a capacity of 60m<sup>3</sup>, that plant allows recycle the water to be reused in the hatchery, in addition of constructing a model on this design. In this farm will produce monthly 4000 tropicals fish, of the varieties monthly discus, scalar, bettas and goldfish. The period production is of 4 months therefore in the farm facilities will stay 16000 fishes

The process of water treatment was designed with base in the techniques developed for the recovery of residual waters of domestic origin and industrialists, but as the final quality, of the water, had be high, to again be able to be used in the culture of fish, that was to incorporate techniques used in systems of water purification. These techniques were used altogether due to the peculiarity of the required treatment.

---

\* Degree Work.

\*\* Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Néstor D'croz.

The result is a treatment plant that allows to take the water degraded by the own remainders from the metabolism of the fish and to fit to its properties physical-chemistries within the safe intervals for a healthful conservation of these. This transformation becomes by means of economic and safe processes.

## INTRODUCCIÓN

Los peces ornamentales son de los pocos productos piscícolas que se exportan de Colombia, llegando las exportaciones totales en el 2004 a tener un valor de US\$6.706.388<sup>1</sup> y un promedio de 2.960.000 unidades al año en el periodo comprendido entre 1998 y 2004<sup>2</sup>, es un negocio apenas incipiente en el país y con un potencial enorme. La calidad de dicho producto es muy importante para satisfacer el mercado externo y poder competir exitosamente con otros países productores. Un pez de buena calidad es un ejemplar sano que presenta colores vivos, uniformes, brillantes, es ágil, nada sin esfuerzo y se alimenta normalmente. Sin embargo, la salud de los peces puede ser afectada por una deficiente manipulación y malas condiciones tanto físicas como químicas del agua que les provocan una reacción de respuesta conocida como estrés. El estrés debilita los peces y los hace menos resistentes a las enfermedades.

La planta de tratamiento de aguas obtenida en este trabajo permite conseguir una producción piscícola ornamental de alta calidad y sana, y esto sin la necesidad de tener, cercana al lugar de producción, una fuente de agua demasiado grande.

El capítulo 1 tiene como fin presentar los factores fundamentales tenidos en cuenta al evaluar la calidad del agua. Cada una de las características físicas, químicas y biológicas serán descritas en este capítulo.

---

<sup>1</sup> Dato tomado de INTELEXPORT, PROEXPORT

<sup>2</sup> Datos proporcionados por INCODER y PROEXPORT

En el capítulo 2, se presentarán las características relevantes en la calidad del agua de los peces objetivo de la piscícola a la cual se le realiza el diseño.

El capítulo 3 muestra la descripción de lo que es una planta de tratamiento de aguas, presentando las características con las cuales se debe orientar el diseño.

El capítulo 4 comenta los procesos con los cuales contará la planta de tratamiento de aguas, se hace un bosquejo en lo que consiste cada uno de ellos.

En el capítulo 5, 6 y 7 se pasa a realizar el diseño y dimensionamiento de las etapas de microfiltración, biológicas y desinfectante del proceso de tratamiento de aguas.

## 1. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS DEL AGUA

Dos moléculas se combinan en una sencilla disposición espacial que da lugar a uno de los elementos naturales más complejos en cuanto a sus interacciones químicas: El agua. Este fluido, principio de la vida en nuestro planeta, interviene en tal cantidad de procesos físicos, biológicos, y bioquímicos que le elevan a una de las sustancias más importantes en el desarrollo de los seres vivos.

El agua no se encuentra en la naturaleza en su forma químicamente pura, compuesta solamente por moléculas  $H_2O$ , que sólo se da en el laboratorio. Puesto que disuelve ávidamente a la mayoría de los compuestos sólidos, líquidos o gaseosos, en su forma natural se encuentra normalmente impregnada de ellos. Esto en sí es bueno, pues es precisamente el oxígeno disuelto el que permite la vida acuática; los sólidos en solución modulan su actividad química y son aprovechados por los seres vivos. Pero esta propiedad de disolver compuestos extraños a ella es la que provoca serios problemas de contaminación.

Las características del agua son los parámetros que permiten determinar si el agua es de buena calidad dependiendo del uso al cual va a ser destinada. Para que el agua garantice su calidad para fines de la acuicultura debe cumplir ciertos requisitos que conciernen a sus características físicas, químicas y bacteriológicas.

## 1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGUA

Son los parámetros que definen el buen aspecto del agua; abarca aquellas propiedades que pueden ser captadas por los sentidos.

**1.1.1. Turbiedad.** Es el efecto óptico, causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión.

La turbidez es cualquier impureza insoluble, finamente dividida, que suele estar suspendida en el agua y disminuye su claridad. Estas impurezas pueden ser de origen inorgánico tales como: limo, carbonato de calcio, etc. o de naturaleza orgánica tales como: materia vegetal finamente dividida, aceites, grasa, microorganismos, etc.

La turbidez no sedimenta por si sola, tiene que haber aglomeración de partículas para formar otras mas grandes para que puedan sedimentar.

Para la medición de la turbiedad se puede utilizar el método nefelométrico, el cual se expresa en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

**1.1.2. Color.** Es la impresión ocular producida por ciertas materias presentes en el agua. En gran parte existe en formas de suspensiones coloidales de partículas microscópicas.

El color en el agua es ocasionado por la extracción de material colorante de vegetales en áreas de poca profundidad, solución de productos resultantes de

la descomposición de la madera, solución de materia orgánica o la presencia de hierro y otros metales.

Al determinar el color del agua se distingue el color aparente y el color verdadero, el color de más interés es el color verdadero.

El color verdadero es debido únicamente a las sustancias en solución, esto es, el color del agua después de que la materia suspendida ha sido removida. Mientras que el color aparente es el color verdadero más cualquier otro color que produzcan las sustancias en suspensión.

El color se determina mediante la comparación con colores patrones, según una escala de platino cobalto que se considera como estándar. La unidad de color es producida por 1 mg. de platino por litro de agua.

**1.1.3. Olor.** Es la impresión producida en el olfato por las materias volátiles contenidas en el agua, la mayoría de sustancias productoras de olores en el agua son compuestos orgánicos generados por la actividad de microorganismos y algas.

**1.1.4. Temperatura.** La temperatura es uno de los parámetros importantes, pues de ella depende la velocidad de las reacciones físico-químicas que se presentan.

Cada proceso de la planta tiene su temperatura óptima, pero no es viable estar acondicionándola para cada proceso.

La temperatura del agua actúa como acelerante o retardante de la actividad biológica, absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, desinfección, y

como tiene efecto en la viscosidad del agua, afecta los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración.

## 1.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL AGUA

Un análisis químico completo sería algo muy complejo de realizar, por lo tanto, este análisis se dirige hacia las características específicas para obtener una alta producción piscícola ornamental.

Los análisis más comunes para la determinación de la calidad química del agua son: dureza, valor de pH y nitrógeno (en sus formas de amoníaco  $\text{NH}_3$ , nitrito  $\text{NO}_2$ , nitratos  $\text{NO}_3$ ).

**1.2.1. Dureza.** La dureza del agua se debe a su contenido de calcio y magnesio, midiendo los iones positivos bivalentes de calcio y magnesio ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ).

**Dureza Temporal (KH):** Esta determinada por el contenido de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Puede ser eliminada por ebullición del agua y posterior eliminación de precipitados formados por filtración, también se le conoce como "Dureza de Carbonatos". El KH nos da una idea de la capacidad tampón que tiene el agua, es decir a mayor KH, el agua será más estable en lo que a pH se refiere, mas capacidad tendrá de neutralizar los desequilibrios que se produzcan. Un KH elevado nos asegura que el pH del agua no va a variar de forma brusca. A partir de un KH de 4, nuestro pH se encontrará estable.

**Dureza Permanente (GH):** está determinada por todas las sales de calcio y magnesio excepto carbonatos y bicarbonatos. No puede ser eliminada por

ebullición del agua y también se le conoce como "Dureza de No carbonatos". Para la mayoría de los peces la dureza ideal esta entre 4 y 10.

**Tabla 1. Comparación de dureza en diferente unidades**

°GH	mg CaCO <sub>3</sub> /l agua	ppm	Cualitativo
0-4° gh	0-70	0-70	muy blando
4-8° gh	70-140	70-140	blando
8-12° gh	140-210	140-210	medianamente duro
12-18°gh	210-320	210-320	bastante duro
18-30° gh	320-530	320-530	duro
+ 30° gh	+ 530	+ 530	muy duro

**1.2.2. Valor de pH.** Es un término ampliamente usado para expresar la intensidad de un ácido o la condición alcalina de una solución (de esta manera la concentración del ión hidroxilo).

El pH es de vital importancia en casi todas las fases en la práctica de la ingeniería sanitaria, es un factor que debe ser considerado en la coagulación, desinfección, ablandamiento de agua y el control de la corrosión.

Los valores del pH varían entre 0 y 14, donde los valores de 0 hasta 6.9 indican acidez, 7.0 indica neutralidad y los valores entre 7.1 y 14 indican alcalinidad.

Los métodos para determinar el pH son los siguientes:

**Papel indicador:** los cuales toman una coloración determinada según sea el pH, el papel tornasol es el más utilizado.

**Soluciones indicadoras:** consiste en agregar a una muestra de agua una solución buffer o indicadora y luego comparando el color tomado por la mezcla con patrones fijos.

**Potenciómetro:** es el método más exacto, se utilizan electrodos de flujo sumergidos en la muestra y un potenciómetro calibrado para dar las lecturas en términos de pH, basado en la determinación del potencial de un electrodo sensible al pH, en relación aun electrodo normal.

**1.2.3. Nitrógeno.** El nitrógeno es un componente fundamental de los seres vivos, en los que aparece formando sobre todo parte de los grupos amino de las proteínas. El nitrógeno se mueve en la naturaleza en un ciclo de oxidorreducción en el que la mayor parte de las reacciones son desarrolladas por microorganismos, siendo pues clave su importancia.

**La entrada de nitrógeno en el agua de la piscícola:** En los estanques la entrada de nitrógeno atmosférico por vías "naturales" está muy limitada. Podemos encontrar por ejemplo muy diversos tipos de cianobacterias, en el agua dulce. Muchas de estas presentan en sus colonias algunas células especiales llamadas heterocistes, con un citoplasma anaerobio que contiene el complejo enzimático de la nitrogenasa.

Sin embargo no deja de ser muy atrevido el asegurar que el nitrógeno que entra al agua por estos medios al ser consumidas las algas o las plantas simbióticas tenga un papel relevante. De esta forma, la principal vía de entrada de nitrógeno en los acuarios la constituye el alimento de los peces. El alimento seco con el que se alimentan la inmensa mayoría de los peces

ornamentales contiene entre un 43 y un 47% de proteínas, según la marca, y son estas las que usan los peces para obtener el nitrógeno que necesitan.

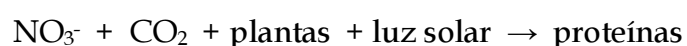
La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho que los cambios en la valencia pueden ser efectuados por organismos vivos. Para añadir aun más interés, los cambios de la valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos y negativos, según si las condiciones son aeróbicas o anaeróbicas.

Las formas de mayor interés para este caso, son:

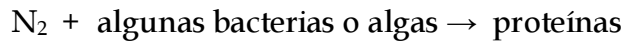
- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno de nitritos
- Nitrógeno de nitratos
- Nitrógeno orgánico

Las relaciones existentes entre las distintas formas de los compuestos del nitrógeno y los cambios que pueden ocurrir en la naturaleza están ilustrados en el diagrama del ciclo del nitrógeno que se muestra a continuación. Dichas relaciones, explicadas muy brevemente, son las siguientes:

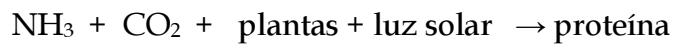
- Durante las tormentas eléctricas, grandes cantidades de nitrógeno atmosférico son oxidadas en pentóxido de nitrógeno,  $N_2O_5$ , el cual se une con el agua para dar  $HNO_3$  que es transportado por la lluvia a la tierra formando nitratos.
- Los nitratos sirven para alimentar las plantas y son convertidos en proteínas así:



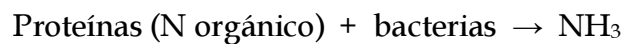
- El nitrógeno atmosférico también es convertido en proteínas por las bacterias fijadoras del nitrógeno y por ciertas algas:



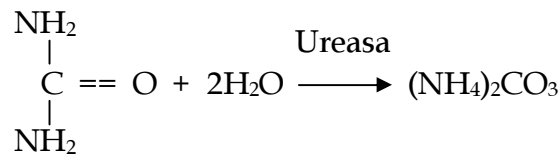
- Los compuestos de amonio suministran amoniaco a las plantas para más producción de proteínas:



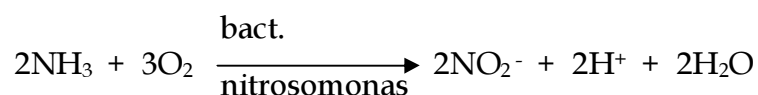
- Los animales y humanos utilizan las proteínas de las plantas para su subsistencia. Los compuestos del nitrógeno no utilizados son arrojados en los excrementos. Esto, y la materia remanente de animales muertos y plantas, son convertidos en amoniaco por las bacterias:



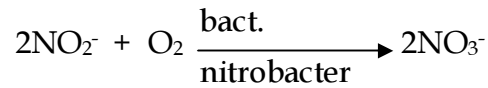
- En la orina existe el nitrógeno principalmente como urea, la cual es hidrolizada rápidamente por la ureasa en carbonato de amonio:



- El amoniaco producido por la acción bacterial sobre la urea y las proteínas puede ser usado directamente por las plantas. Si se produce un exceso de los requerimientos de las plantas, tal exceso es oxidado por las bacterias nitrificantes. Un grupo, conocido como las formadoras de nitrito, nitroso-bacterias, convierte amoniaco en nitrito bajo condiciones aeróbicas.



- Un segundo grupo, las nitro-bacterias, oxida los nitritos para formar nitratos.

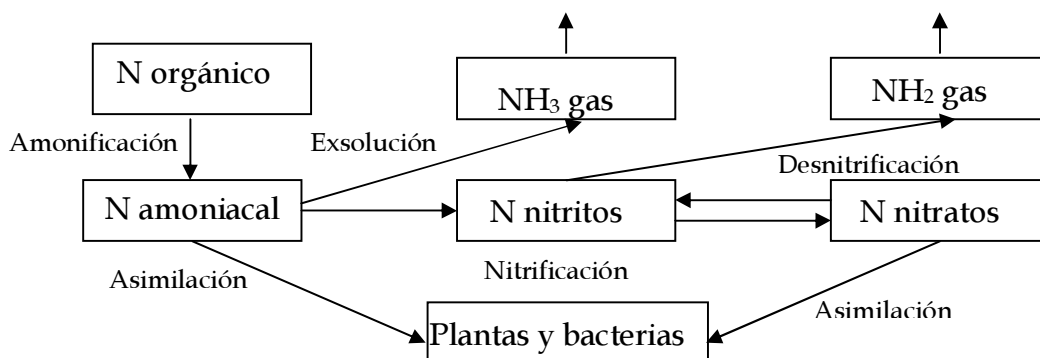


Los nitratos formados sirven como fertilizantes para las plantas. El proceso se conoce con el nombre de nitrificación y se usa como primera etapa en el tratamiento de aguas residuales que contienen nitrógeno amoniacal, cuando se requiere remoción biológica de nitrógeno.

En condiciones anaeróbicas, los nitratos son reducidos a nitritos y estos a gas nitrógeno por bacterias. El proceso se conoce con el nombre de desnitrificación y se supone ocurre en dos pasos sucesivos: la reducción inicial de los nitratos en nitritos y la de estos en nitrógeno gaseoso.

En aguas es también conveniente visualizar las transformaciones del nitrógeno de la manera siguiente:

Figura 1. Transformación del nitrógeno



De acuerdo con el ciclo del nitrógeno, una concentración alta de nitrógeno orgánico es característica de una polución fresca o reciente. El amoníaco es el producto inicial en la descomposición del nitrógeno orgánico. A medida que transcurre el tiempo, en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos y estos en nitratos, los cuales son el producto final de la descomposición del nitrógeno orgánico. En otras palabras, el nitrógeno en el estado reducido, N en el estado trivalente negativo, puede ser oxidado en nitratos por las bacterias nitrificantes.

Las concentraciones de amonio usuales en aguas de consumo no representan riesgo para la salud del consumidor. Sin embargo, debido a la toxicidad del amoníaco no ionizado para los peces, algunos autores recomiendan concentraciones de  $\text{NH}_3\text{-N}$ , no mayores de 6 mg/L en las aguas destinadas para la acuicultura. Las concentraciones de interés para este estudio de las formas de nitrógeno para la piscicultura ornamental son:

**Tabla 2. Concentraciones de nitrógeno mortales y óptimas para el cultivo de peces ornamentales**

Forman del nitrógeno	Concentración mortal mg/l <sup>3</sup>	Concentración optima mg/l
Nitrógeno amoniacal	12	6
Nitrógeno nitritos	20	10
Nitrógeno nitrato	300	150

---

<sup>3</sup> Posible mortalidad dependiendo de la variedad, Sawyer y McCarty

### 1.3 BACTERIOLOGÍA DEL AGUA

Para determinar si un agua tiene la posibilidad de transmitir enfermedades, se realiza un examen bacteriológico al agua. Para determinar si hay contaminación biológica.

El examen bacteriológico rutinario esta basado en la determinación aproximada del número total de bacterias presentes y de la presencia o ausencia de organismos de origen intestinal o de aguas negras.

Es muy difícil aislar las bacterias que causan determinada enfermedad, estor requeriría métodos muy complejos. Por lo tanto, se busca un organismo indicador, que es característico de las evacuaciones intestinales.

Los principales organismos indicadores de contaminación biológica son las bacterias del grupo del coliforme. Dentro de este grupo se ha elegido la *Escherichia Coli* como indicador universal de contaminación biológica, debido a que es la más abundante y una de las más resistentes, de tal manera que su ausencia es indicadora de que no hay peligro de contaminación.

Todos los miembros del grupo coliforme fermentan la lactosa (azúcar de la leche) con la formación de un ácido y un gas; crecen aeróbicamente y no forman esporas. Estas características son la base de las pruebas rutinarias.

**1.3.1. Número más probable.** El número más probable se realiza por medio de dos pruebas: la presuntiva y la confirmativa.

El NMP presuntivo consiste en reproducir bacterias en un medio líquido llamado caldo lactosado a una temperatura de 37°C durante 24 o 48 horas, tiempo al cabo del cual, se verificara si hubo o no la producción de gases en el caldo lactosado, esto determina si es presuntivo positivo (hubo presencia de gases) o presuntivo negativo (no hubo presencia de gases). Esta prueba se denomina presuntiva, ya que la producción de gases, no indica necesariamente la presencia de bacterias del grupo coliforme, pues puede haber otras bacterias que fermenten la lactosa.

Si la prueba dio NMP presuntivo positivo, se realiza en NMP confirmativo. El cultivo de los tubos que presentan gases es trasladado al caldo con bilis y verde brillante, las bacterias que no sean coniformes son inhibidas por la bilis, por lo tanto cualquier gas que se presente en este medio puede atribuirse al grupo coliforme.

Si la prueba da NMP presuntiva positiva y NMP confirmativo positivo, se puede hacer una estimación semicuantitativa del número presente en la muestra, el cual usualmente se expresa como NMP (número más probable de bacterias coniformes por 100 ml de la muestra).

**1.3.2. Técnica de la membrana filtrante.** Para descubrir y contar los gérmenes o colonias coliformes en el agua, se utiliza cada vez más la técnica del microfiltro. Consiste en filtrar el agua y las bacterias que quedan atrapadas en el filtro son cultivadas ahí mismo. Es un método de gran precisión y permite un análisis de muestras más voluminosas que las que se emplean en la prueba de fermentación.

## 2. DISEÑO CONCEPTUAL

La mayoría de peces puede tolerar condiciones ambientales que difieren de las condiciones naturales en la cuales han evolucionado. Sin embargo, esto no significa que van a estar sanos o que van a vivir tanto como deberían. Un pez con estrés reduce su capacidad para protegerse de enfermedades y de curarse el mismo, además, el estrés disminuye las crías exitosas. A continuación se enumerarán los factores que, en el agua, contribuyen a producir estrés en el pez:

- Derivados del nitrógeno (amoníaco, nitritos y nitratos)
- Temperatura
- Dureza
- Acidez
- Oxígeno disuelto

Como todos los seres vivos, los peces eliminan excrementos. Estos productos de desecho nitrogenados se descomponen en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), el cual es muy tóxico para la mayoría de los peces. En la naturaleza, el volumen de agua por pez es muy elevado, y los productos de desecho quedan muy diluidos. En los cultivos intensivos, sin embargo, bastan unas pocas horas para que el amoníaco llegue a niveles tóxicos.

La concentración exacta a partir de la cual el amoníaco es tóxico para los peces cambia de una especie a otra; algunas son más tolerantes que otras. Además, factores como la temperatura y química del agua juegan un papel

importante. Por ejemplo, amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) continuamente cambia a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y viceversa, cambiando las concentraciones de cada uno según la temperatura y el pH. El amoníaco es extremadamente tóxico; el amonio es relativamente inofensivo. A temperaturas y pH más alto, mayor parte del nitrógeno está en la forma tóxica del amoníaco que ha niveles más bajos de pH. En la Tabla 3 se muestran las concentraciones peligrosas de amoniaco dependiendo de la temperatura del agua y el ph.

**Tabla 3. Concentraciones peligrosas de Amoniaco dependiendo de la temperatura del agua y su pH.**

pH	Agua a 20°C	Agua a 30°C
6.5	15.4	11.1
7.0	5.0	3.6
7.5	1.6	1.2
8.0	0.5	0.4
8.5	0.2	0.1

Al momento de seleccionar el tipo de peces que se cultivarán debe tenerse muy en cuenta factores como: la temperatura ambiental de la zona del cultivo y condiciones químicas de la fuente de agua, esto con el fin de no incurrir en costos de funcionamiento al necesitar cambiar estos factores, ya que se necesitaría altos en consumo de fluido eléctrico y en suministrar productos químicos o procesos para ajustar los parámetros a los adecuados.

Las especies que serán explotadas en la piscícola a la cual se le realizo el diseño de la planta de tratamiento son:

**Tabla 4. Características del agua para los peces objetivo de la explotación**

<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Dureza ppm</b>	<b>pH</b>
Betta splendens	Beta	26 - 32	40 - 70	6.5 - 7.2
Pterophyllum scalare	Escalar	26 - 32	30 - 70	6.0 - 7.0
Symphysodon sp	Disco	26 - 32	30 - 70	6.0 - 7.0
Carássiis auratus	Bailarina	26 - 32	40 - 70	6.5 - 7.4

La cantidad de alimento diaria suministrada al cultivo es un dato muy importante, tanto como la composición de este, ya que este es la fuente de nitrógeno que debemos retirar. La cantidad diaria de alimento aportada al cultivo es 800 gramos, y las especificaciones de la composición del alimento son:

**Tabla 5. Composición del alimento**

Proteína mínima	30%
Grasa mínima	2.5 %
Ceniza máxima	12%
Humedad máxima	13%
Fibra máxima	4%

La producción proyecta del cultivo es:

**Tabla 6. Proyección de producción**

<b>Especie</b>	<b>Producción mensual</b>	<b>En producción</b>
Discos	120	360
Escalares	1200	3600
Goldfish	1200	3600
Bettas	2000	6000

La capacidad volumétrica de agua del cultivo es de 60 m<sup>3</sup>. Por lo tanto en el cultivo existirán 18.000 unidades dando una densidad de 0.3 peces/litro de agua.

### 3. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Las plantas de tratamiento de aguas son instalaciones que tienen la finalidad de acondicionar el agua, produciendo en ella los cambios físicos, químicos y bacteriológicos necesarios para hacerla apta para una finalidad específica.

En una planta de tratamiento de aguas el tipo de procesos requeridos depende de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la fuente de abastecimiento.

La planta de tratamiento que acá se diseñó, no se ajusta a ninguna de las plantas tradicionales debido a que el agua efluente será usada en una explotación piscícola y la afluente provendrá de la misma parte. Por tal motivo las características del tratamiento no se ajustan totalmente ni a tratamientos potabilizadores ni a un tratamiento de aguas residuales, la planta de tratamiento de aguas resultante es un híbrido entre las dos.

Los parámetros necesarios a mantener por la planta de tratamiento de aguas, para asegurar un desempeño de la actividad piscícola sin contratiempos, son:

- Remoción de sólidos en suspensión hasta de 1 micra.
- Remoción de compuestos nitrogenados que aseguren concentraciones de: amoníaco 2.5 ppm, nitrito 10 ppm, nitrato 150 ppm.
- Desinfección.

El proceso de tratamiento tiene en cuenta a la dureza, pH y temperatura como parámetros que influyen los procesos para asegurar los valores antes mencionados, pero, en sí, no serán objeto de ningún proceso para modificar sus valores debido a que estos no son afectados en el desarrollo de la actividad piscícola.

#### 4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Se ha seleccionado un sistema de tratamiento de aguas que constara de las siguientes etapas:

- Filtración de sólidos en suspensión
- Tratamiento biológico
- Desinfección.

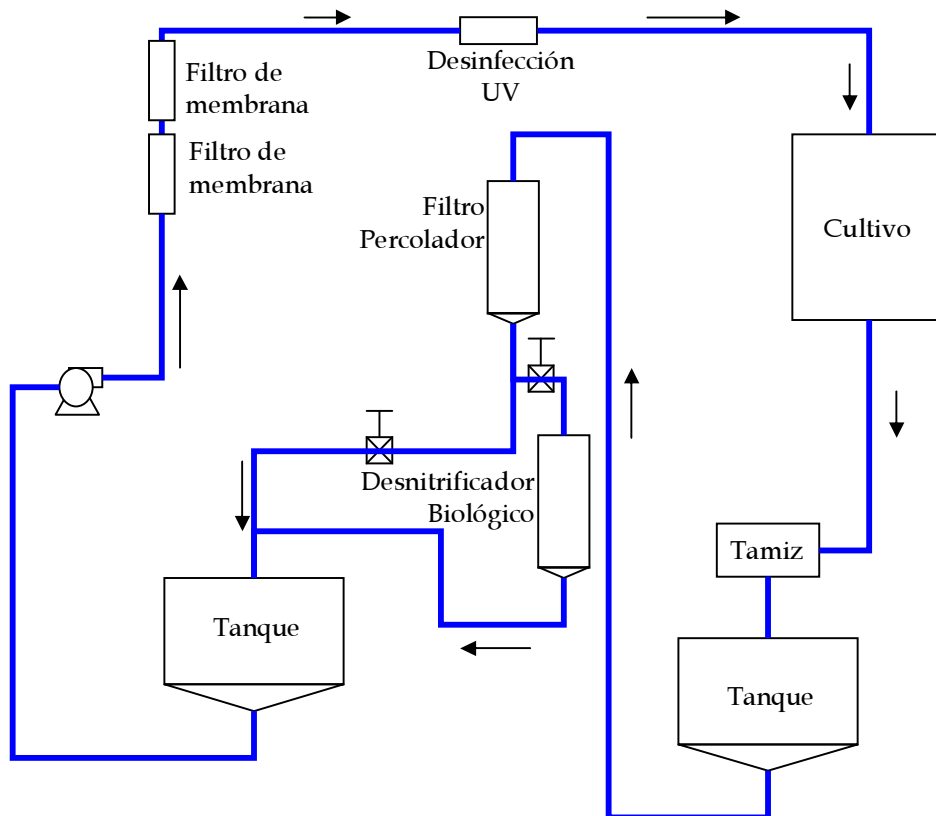


Figura 2. Esquematización de la planta de tratamiento

#### 4.1. FILTRACIÓN DE SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Cuando el agua captada está turbia o tiene color, es necesario eliminar esa turbidez o color para asegurarnos una desinfección eficaz.

Usualmente se utiliza en las etapas iniciales del tratamiento la coagulación y la floculación, pero en este caso es innecesario, debido a la poca cantidad de sólidos en suspensión que serán fácilmente retirados por métodos de filtración, además debe ser una premisa fundamental la no utilización de productos químicos en el tratamiento del agua ya que estos podrían tener algún efecto residual y afectar la salud de los peces.

Los sólidos en suspensión serán retirados mediante:

**4.1.1. Tamizado.** En comparación con los procesos convencionales de clarificación de agua, donde se añaden los coagulantes y otros productos químicos antes de la filtración, en este caso son los perifiltros ideales para eliminar grandes partículas que pueden cegar el interior de las fibras dentro del módulo de membranas (microfiltración). El tamizado nominal o tamaño de perifiltro está en el rango de 50 a 200  $\mu\text{m}$ , dependiendo del tipo de microfiltración a emplear.

**4.1.2. Filtración por membrana.** La tecnología de membrana se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos decenios. La fuerza principal de la tecnología de membrana es el hecho de que trabaja sin la adición de productos químicos, con un uso relativamente bajo de la energía y conducciones de proceso fáciles y bien dispuestas. La tecnología de la membrana es un término genérico para una serie de procesos

de separación diferentes y muy característicos. Estos procesos son del mismo tipo porque en todos ellos se utiliza una membrana. Las membranas se utilizan cada vez más a menudo para la creación de agua tratada procedente de aguas subterráneas, superficiales o residuales. Actualmente las membranas son competitivas para las técnicas convencionales. El proceso de la separación por membrana se basa en la utilización de membranas semi-permeables.

El principio es bastante simple: la membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana.

La membrana funciona como una pared de separación selectiva. Ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella.

La filtración de membrana se puede utilizar como una alternativa a la floculación, las técnicas de purificación de sedimentos, la adsorción (filtros de arena y filtros de carbón activado, intercambiadores iónicos), extracción y destilación.

Hay dos factores que determinan la efectividad de un proceso de filtración de membrana: selectividad y productividad. La selectividad se expresa mediante un parámetro llamado factor de retención o de separación (expresado en  $l/m^2 h$ ). La productividad se expresa mediante un parámetro llamado flujo (expresado en  $l/m^2 h$ ). La selectividad y la productividad dependen de la membrana.

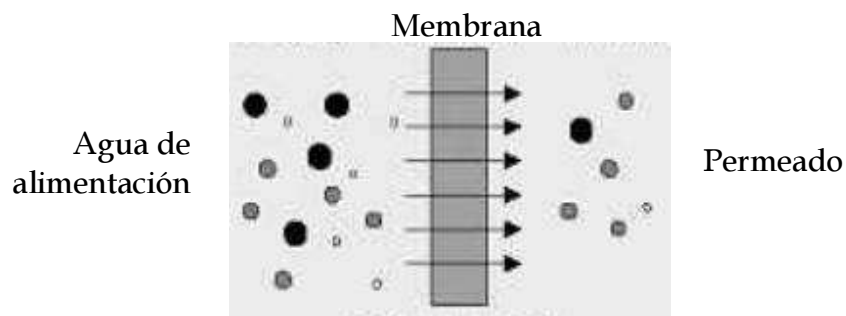


Figura 3. Esquema del funcionamiento de una membrana.

La filtración de membrana se puede dividir en micro y ultra filtración por una parte, y en nanofiltración y ósmosis inversa (RO o hiperfiltración) por la otra.

Cuando la filtración de membrana se utiliza para retirar partículas más grandes, se aplican la microfiltración y la ultrafiltración. Debido al carácter abierto de las membranas su productividad es alta mientras que las diferencias de presión son bajas.

Cuando se necesita desalinizar el agua, se aplican la nanofiltración y la ósmosis inversa. La nanofiltración y las membranas de RO no actúan según el principio de porosidad; la separación ocurre por difusión a través de la membrana. La presión requerida para realizar la nanofiltración y la ósmosis inversa es mucho más alta que la requerida para la micro y ultra filtración, mientras que la productividad es mucho más baja.

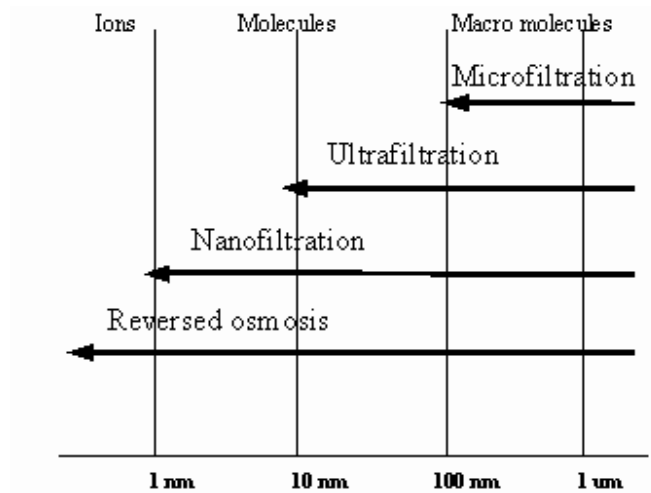


Figura 4. Tamaño de partícula retenido por cada uno de los tipos de filtración por membrana.

Las membranas de microfiltración consiguen la eliminación absoluta de los contaminantes de una corriente de alimentación por un proceso de separación basado en la retención de contaminantes sobre una superficie de membrana.

La filtración de membrana tiene bastantes ventajas frente a las técnicas existentes de purificación del agua:

- Es un proceso que puede ocurrir a baja temperatura. Esto es principalmente importante porque permite el tratamiento de los materiales sensible al calor. Es por esto que se aplican ampliamente para la producción de alimento.
- Es un proceso de bajo coste energético. La mayor parte de la energía requerida es la necesaria para bombear los líquidos a través de la

membrana. La cantidad total de energía utilizada es mínima comparada con las técnicas alternativas, tales como evaporación.

- El proceso puede ser fácilmente ampliado.

Hay varias aplicaciones de la microfiltración en la industria del agua potable. Los impulsos principales para un uso más amplio de la microfiltración se debieron a los requerimientos más restrictivos para una mejor eliminación de partículas y microorganismos de los suministros de agua potable. Adicionalmente, hay un énfasis en creciente en limitar las concentraciones y número de productos químicos que se aplican para tratar las aguas.

En algunas de las aplicaciones para eliminación de partículas y microbios, no se añaden productos químicos durante el ciclo de producción de agua del proceso. En otros, los procesos de coagulación o adsorción son usados como pretratamiento de la microfiltración. Un tren típico de tratamiento de agua para esta aplicación constaría simplemente de tamizado, microfiltración y desinfección.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la microfiltración son:

- Esterilización por frío de bebidas y productos farmacéuticos.
- Aclaramiento de zumos de frutas, vinos y cerveza.
- Separación de bacterias del agua (tratamiento biológico de aguas residuales).
- Tratamiento de efluentes.
- Separación de emulsiones de agua y aceite.
- Pre-tratamiento del agua para nano filtración y ósmosis inversa.

- Separación sólido-líquido para farmacias e industrias alimenticias

Cuando esta técnica de filtración es aplicada, el pre-tratamiento del agua es muy importante, porque el ensuciamiento de la membrana puede perjudicar fácilmente el proceso de purificación.

El pre-tratamiento debe ser determinado tan pronto como se conozca la composición del agua residual. Para prevenir que las membranas sean dañadas por partículas duras y cortantes, el agua debe ser pre-filtrada antes de realizar los procesos de microfiltración. Los poros de la unidad de pre-filtración deben depender de la composición del agua residual.

Durante los procesos de filtración de membrana la obstrucción de la membrana es inevitable, incluso con un pre-tratamiento suficiente. Los tipos y las cantidades de suciedad dependen de muchos factores diferentes, tales como la calidad del agua, tipo de membrana, material de la membrana y diseño y control de los procesos. Partículas, bio-obstrucción y escalamiento son los tres tipos principales de suciedad en una membrana.

Estos contaminantes hacen que se requiera una mayor carga de trabajo, para poder garantizar una capacidad continua de las membranas. Llegará el punto en el que la presión aumentará tanto que ya no será rentable ni económica ni técnicamente.

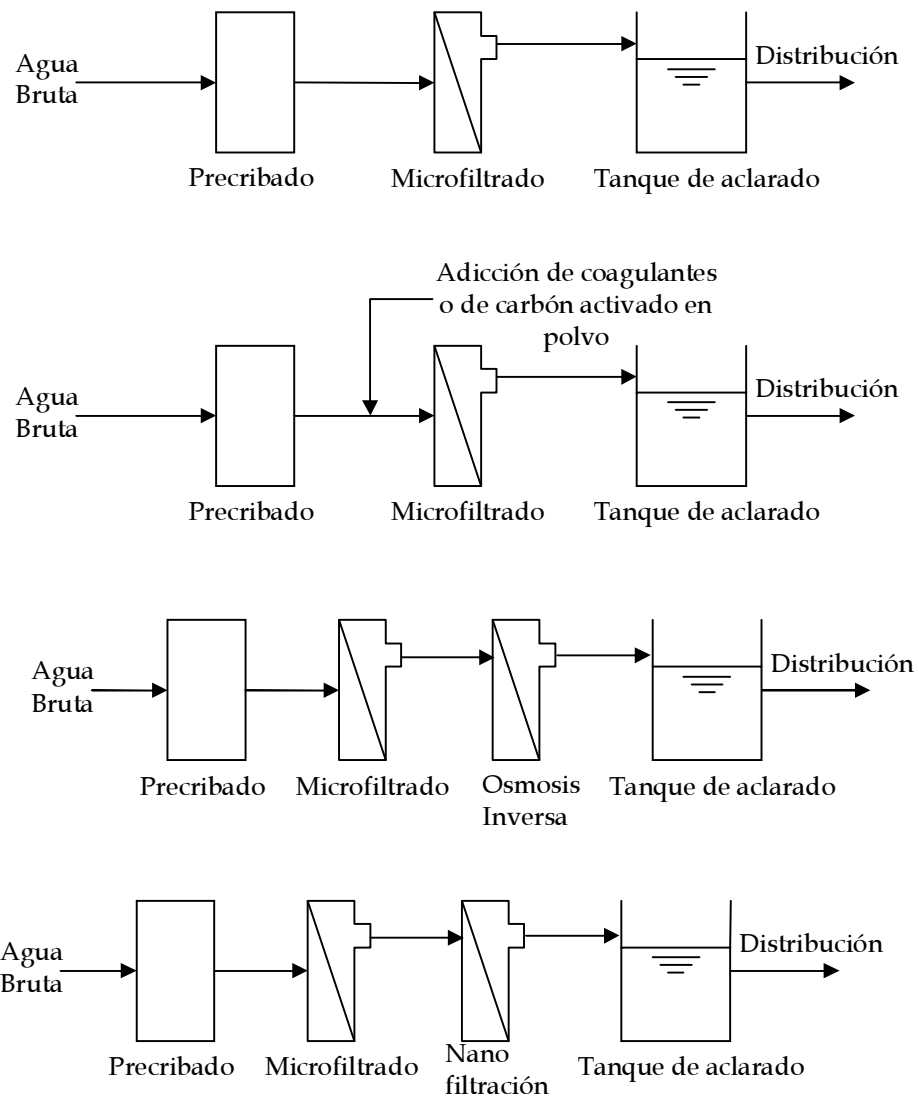


Figura 5. Esquemas de varias aplicaciones de microfiltración

Existen unas cuantas técnicas de limpieza para la eliminación de la suciedad de membrana. Estas técnicas son de lavado por chorro delantero, lavado por chorro trasero, lavado por chorro de aire y limpieza química.

**4.1.3. Tipos de membrana. Membrana en espiral.** A causa de su diseño compacto y su magnitud de área de membrana por elemento, los espirales se utilizan típicamente para aplicaciones de alto flujo con cantidades mínimas

de sólidos es suspensión. Su ventaja reside en su bajo material y costo operativo.

**Membrana cerámica.** Ideal para productos de valor agregado o productos sanitarios, al igual que para aplicaciones que requieran separaciones selectivas de fluidos conteniendo componentes agresivos como solventes.

**Membrana de acero inoxidable.** Diseño rugoso, especialmente efectivo para aplicaciones que demanden condiciones de procesamiento extremas o productos con elevadas partículas sólidas y/o alta viscosidad.

**Membrana tubular.** Altamente resistentes a taponarse al procesar corrientes con grandes cantidades de sólidos en suspensión o componentes fibrosos.

**Membrana de fibra hueca.** Con densidad extremadamente alta de empaquetamiento y diseño de canales abiertos; ofrece la posibilidad de limpieza a contracorriente desde el permeado. Particularmente adecuada para flujos líquidos con bajos sólidos.

**4.1.4. Especificaciones para realizar la selección de la membrana.** Las características que permiten una correcta escogencia de la membrana son: tamaño de poro, tiempo de vida, técnica de lavado a emplear, caudal y fluido a filtrar, requerimientos de presión de la membrana, costos operativos, facilidad de mantenimiento e inspección de saturación y cantidad de sólidos a retirar.

## 4.2. TRATAMIENTO BIOLÓGICO.

De los métodos existentes para la eliminación del nitrógeno, la nitrificación/desnitrificación biológica suele ser el más adecuado por las siguientes razones: elevado rendimiento, alta estabilidad y fiabilidad del proceso, relativa facilidad de control del proceso, reducida necesidad de espacio y bajo costo. La eliminación del nitrógeno por nitrificación/desnitrificación biológica es un proceso de dos etapas. En la primera de ellas, nitrificación, el amoníaco se transforma por vía aerobia a nitrato ( $\text{NO}_3$ ). En la segunda etapa, desnitrificación, los nitratos se convierten a nitrógeno gaseoso.

**4.2.1. Filtro percolador.** Estos filtros han sido utilizados para el tratamiento de aguas residuales durante casi 100 años. Consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos que realizan la transformación del amoníaco a nitrato (nitrificación).

En la actualidad los filtros percoladores están formados por un lecho de medio filtrante sobre el cual se distribuye continuamente agua residual, de tal manera que este medio filtrante nunca queda sumergido. Los filtros percoladores se clasifican por las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas: **Percoladores de carga baja:** Es un dispositivo relativamente sencillo y de gran fiabilidad, que produce una calidad estable del efluente con independencia de la naturaleza cambiante de afluente. Si la población de bacterias nitrificantes está suficientemente desarrollada, y las condiciones climáticas y las características del agua residual son las adecuadas, los filtros de baja carga bien operados pueden producir un efluente con un elevado nivel de eliminación de DBO y altamente nitrificado. **Percoladores de media**

y **alta carga**: La recirculación del efluente del filtro permite la utilización de cargas orgánicas más elevadas. Estos filtros suelen utilizar medios constituidos por piedras o materiales plásticos.

**4.2.2. Desnitrificador biológico.** La función de un desnitrificador en la planta de tratamiento es la de completar el ciclo del nitrógeno transformando los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ) que se elimina en la atmósfera. Esto aumentará la calidad del agua con el consiguiente beneficio para los peces.

Esta desnitrificación es llevada a cabo por bacterias anaerobias que viven sin oxígeno alimentándose de los compuestos nitrogenados.

Existen dos tipos de desnitrificadores biológicos, el primero el cultivo bacteriano se realiza sobre lodos que se encuentran en suspensión, y el segundo la película bacteriana se encuentra sobre un sustrato fijo.

El sistema de película fija es bien simple y consiste en hacer correr un flujo lento de agua del cultivo a través de un conducto en el cual debe disponerse algún tipo de sustrato, con la suficiente área, para que en el se fijen las bacterias que realizan la transformación. En la primera porción del conducto anidarán colonias de bacterias aeróbicas que terminarán de agotar el oxígeno disuelto en el agua, residual del proceso llevado en el percolador, y en el último tramo el tubo anidarán las bacterias anaerobias que, en ausencia de oxígeno, convertirán los nitratos en nitrógeno gaseoso.

En resumidas cuentas es un filtro percolador, con la característica que en este el medio filtrante se encuentra sumergido y es cerrado para evitar la entrada de oxígeno.

#### 4.2.3 Sustrato.

El sustrato ideal es un material que posea una gran área superficial por unidad de volumen, que sea económico, no se degrade y que no se obstruya fácilmente. Su propósito es servir de soporte para que la población bacteriana se desarrolle sobre el.

### 4.3. DESINFECCIÓN

El proceso de microfiltración remueve bacterias y virus presentes del agua. Desde este punto de vista puede ser considerado como procesos preparatorios para la desinfección, pues cumple dos funciones:

- Disminuye la carga bacteriana del agua.
- Hace más eficiente los métodos de desinfección.

Debe considerarse a los microorganismos partículas coloidales y se puede concluir que la remoción de bacterias es directamente proporcional a la remoción de turbiedad.

Las condiciones que debe tener un buen desinfectante para esta aplicación específica, son:

- Debe ser capaz de destruir los organismos causantes de enfermedades en un tiempo de contacto razonable.
- No debe dejar efecto residual.

La desinfección la podemos dividir en natural o artificial. La desinfección natural se refiere a la muerte progresiva de los agentes patógenos producida por agentes naturales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en las capas arenosas del suelo o la estabilización de la materia orgánica que disminuye la reserva de alimento para los microorganismos.

La desinfección artificial se puede realizar mediante agentes físicos o químicos. Los agentes físicos más importantes son: el calor y la radiación ultravioleta. Los agentes químicos más importantes son: los halógenos (cloro, bromo, yodo), la plata ionizada y el ozono.

**4.3.1. Calor.** Es principalmente un sistema de desinfección doméstico no aplicable a las plantas de tratamiento. De 15 a 20 minutos a la temperatura de ebullición son suficientes para destruir cualquier organismo patógeno. El agua sin embargo pierde en el proceso el oxígeno disuelto que es importantísimo en la vida de los peces, además de su alto costo económico.

**4.3.2. Yodo.** Es un excelente desinfectante, efectivo para destruir coniformes, amibas y algunos virus. El  $I_2$  es el alógeno con mayor peso atómico y por su bajo poder de oxidación resulta más estable, por eso sus residuales se conservan por mucho más tiempo que los del cloro. Se adiciona comúnmente al agua en forma de solución acuosa y es efectivo en un amplio rango de pH, su acción depende menos del tiempo de contacto y de la temperatura, su uso y manejo es simple. Sin embargo la mayor dificultad en su uso es su precio, ya que es elevado y para su acción efectiva se necesita altas concentraciones, además su efecto residual valorado para otras aplicaciones resulta desventajoso debido a que en ningún momento se desea que llegue a los estanques donde se mantienen los peces.

**4.3.3. Bromo.** La eficiencia del bromo es comparable a la del cloro y el yodo en la destrucción de organismos su costo es el más alto que el de dichos compuestos y su manejo es problemático, por eso su uso se ha limitado a la desinfección de piscinas pues produce menor irritación de los ojos.

**4.3.4. Cloro.** Entre los halógenos es el más conocido, la desinfección del agua suele hacerse casi universalmente con cloro gaseoso o compuestos clorados debido a las limitaciones de los otros sistemas, pero por su misma voracidad desinfectante y su efecto residual queda descartado para el uso en la planta de tratamiento porque encarecería mucho el proceso de retirar el cloro que permanecería disuelto después de la desinfección.

**4.3.5. Radiación ultravioleta.** La radiación ultravioleta (UV) es un proceso probado para desinfectar el agua, el aire o las superficies sólidas que están microbiológicamente contaminadas.

“La radiación UV ha demostrado ser un desinfectante eficaz. La simplicidad de la instalación, la comodidad de uso, mantenimiento y los bajos costos de desinfección hace del UV una opción útil de desinfección de los sistemas pequeños.”<sup>4</sup>

La radiación ultravioleta se reconoce como superior comparado a otros métodos de desinfección:

- UV es muy seguro. No hay productos químicos peligrosos a dirigir o a supervisar. Los resultados de la desinfección son inmediatos.

---

<sup>4</sup> Reglas Tratamiento superficial de aguas, EE.UU. EPA, Agosto De 1997 y Tecnología de desinfección con luz ultravioleta en agua potable, EE.UU. EPA, 1996

- UV tiene un sistema inicial de bajo costo y un costo de la operación muy bajo.
- UV es ambientalmente amistoso. No hay subproductos del proceso UV, y no se descarga nada en el ambiente.
- La radiación UV no causa ningún cambio al olor del agua desinfectada. Es imposible sobre-tratar el agua con UV.
- UV no quita ninguno de los minerales, que son de vital importancia en el desarrollo de los peces
- Los sistemas UV son muy fáciles de instalar y de mantener.
- La desinfección UV es compatible con el resto de las formas de tratamiento de aguas.

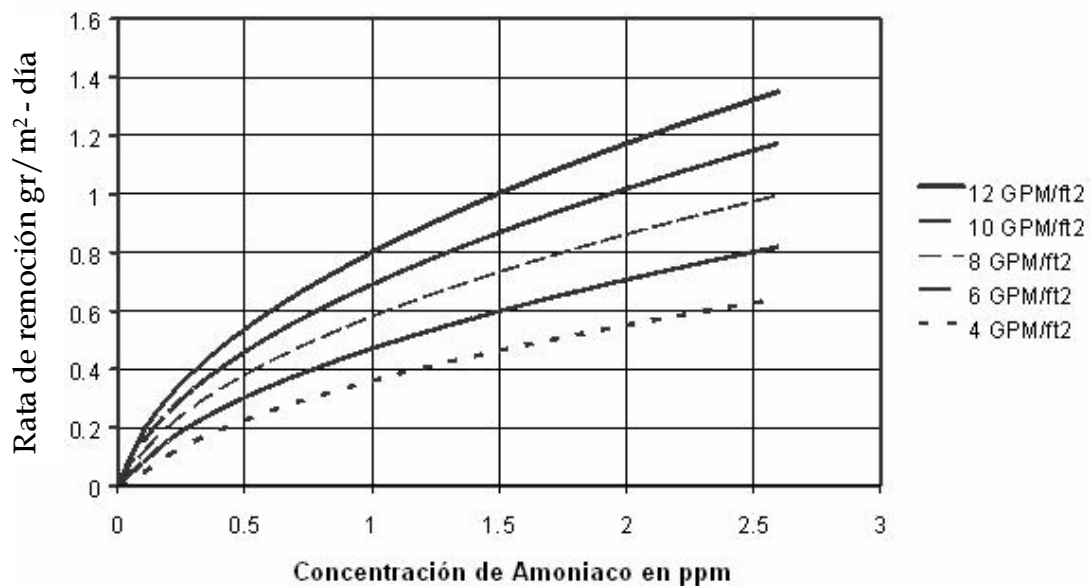
Este es el método mas apropiado para este tipo de plantas de tratamiento debido a que no tiene ningún efecto residual, es imposible sobre tratar el agua y no afecta la composición química de ella. Mas adelante se estudiara con mayor detalle las características de este método de desinfección.

## 5. DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS PARA EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El fin del tratamiento biológico es la remoción del nitrógeno del agua. A continuación se presentarán los cálculos realizados para el dimensionamiento de los dispositivos que componen esta fase del tratamiento del agua. Para este tipo de tratamiento de agua tan particular, tanto el filtro percolador como el desnitrificador biológico se calculan de la misma manera, lo único que varían es en la disposición en la instalación el equipo.

### 5.1 CALCULO DEL BIOFILTRO PARA LA PISCICOLA

Figura 6. Rata de remoción de amoniaco con diferentes cargas hidráulicas



Por ser los peces muy sensibles la presencia de amoníaco el valor seleccionado para los cálculos de las instalaciones de la concentración de

amoníaco será mucho más bajo del que podrían soportar sin ningún problema, esto para poder soportar aumentos de la carga de nitrógeno en cualquier eventualidad en la piscícola:

Capacidad del cultivo:  $60m^3$

Suministro de alimento diario:  $800 \text{ gr/día}$

Concentración de amoníaco deseada =  $0.1 \text{ ppm}$

Se asume una carga hidráulica de  $8 \text{ GPM/ft}^2$ , para obtener de la figura 6 una rata de remoción de amoníaco de  $0.15 \text{ gr/m}^2 - \text{día}$ .

Caudal de entrada, se requiere tratar el agua de las instalaciones completamente dos veces al día, esto nos entregaría:

$$CE = 120m^3 / \text{día} = 22 \text{ gpm}$$

Amoníaco producido en el cultivo, estimando que el concentrado administrado es del 32% de proteína entonces tenemos que:

$$AP = 0.03(\text{gr}_N / \text{Kg}_{\text{alimento}}) * 0.8 \text{kg}_{\text{alimento}} / \text{día} = 24 \text{gr}_N / \text{día}$$

Área superficial requerida, es el área requerida para proveer de suficiente sustrato para la formación de la película bacteriana:

$$SSA = \frac{AP}{RRA} = \frac{24 \text{gr}_N / \text{día}}{0.15 \text{gr}_N / \text{m}^2 - \text{día}} = 160 \text{m}^2$$

El área superficial específica de sustrato, es el área que tiene el sustrato por unidad de volumen, el sustrato se diseñó con un ASE de:

$$ASE = 120 \text{m}^2 / \text{m}^3$$

Volumen del sustrato requerido para proveer del área necesitada para obtener a rata de remoción deseada:

$$VE = \frac{SSA}{ASE} = \frac{160m^2}{120m^2 / m^3} = 1.3m^3$$

Geometría del filtro, se asume una sección cuadrada de 0.5m de lado y entonces la altura del filtro percolador sería 5.2m.

Comprobación de la carga hidráulica:

Carga hidráulica = caudal del influente/area perpendicular de flujo

$$CH = \frac{22gpm}{2.75ft^2} = 8gpm / ft^2$$

Vemos que al filtrar dos veces el agua del cultivo y la geometría escogida, obtenemos una carga hidráulica que nos permite obtener una rata de remoción de nitrógeno adecuada.

Pasamos a comprobar si cumple con la carga hidráulica mínima para el área superficial específica del sustrato utilizado para los cálculos, de la siguiente tabla:

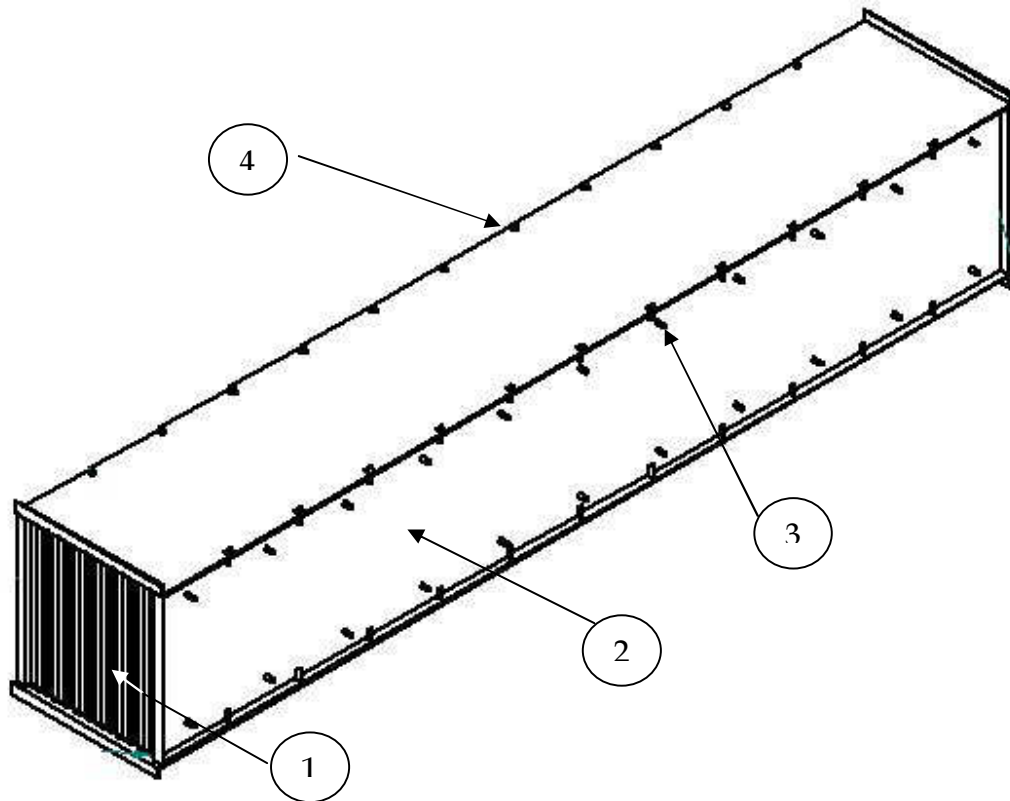
Tabla 7. Carga mínima hidráulica para diferentes áreas superficiales específicas del sustrato

Área superficial específica		Carga mínima de agua	
Ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup>	M <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Gpm/ft <sup>2</sup>	Gpm/m <sup>2</sup>
30	98.5	3	32.3
50	164	4	43
70	229.7	5	53.8
120	393.7	7	75.3

Al comparar con la tabla 5 muestra que el cálculo efectuado está muy cerca del valor mínimo, situación muy conveniente ya que el sistema de biofiltros diseñados se ajusta a la medida del caudal a tratar.

**5.1.1. Resumen del cálculo.** Las dimensiones de la torre del percolador y el biofiltro desnitrificante son: sección transversal cuadrado de 0.5m de lado y 5,2m de diámetro, y un sustrato de superficie específica de  $120\text{m}^2/\text{m}^3$ .

Figura 7. Esquema del Biofiltro



1. Láminas plásticas (sustrato)
2. Armazón en lámina galvanizada
3. Soporte de láminas
4. Tornillos del armazón

## 5.2 CALCULO DEL BIOFILTRO DEL MODELO

Capacidad del cultivo:  $5m^3$

Suministro de alimento diario: 80 gr/día

Concentración de amoníaco deseada = 0.1 ppm

Se asume una carga hidráulica de 8 GPM/ft<sup>2</sup>, para obtener de la figura 6 una tasa de remoción de amoníaco de 0.15 gr/m<sup>2</sup> - día.

Caudal de entrada, estos filtros son eficientes para grandes caudales de agua, por este motivo en el modelo debe ser filtrada el agua 4 veces al día:

$$CE = 20m^3 / día = 7.2\text{ gpm}$$

Amoníaco producido en el cultivo, estimando que el concentrado administrado es del 32% de proteína entonces tenemos que:

$$AP = 0.03(gr_N / Kg_{alimento}) * 0.08kg_{alimento} / día = 2.4gr_N / día$$

Área superficial requerida, es el área requerida para proveer de suficiente sustrato para la formación de la película bacteriana:

$$SSA = \frac{AP}{RRA} = \frac{2.4gr_N / día}{0.1gr_N / m^2 - día} = 16m^2$$

El área superficial específica de sustrato, es el área que tiene el sustrato por unidad de volumen, el sustrato se diseñó con un ASE de:

$$ASE = 120m^2 / m^3$$

**Volumen del sustrato** requerido para proveer del área necesitada para obtener a rata de remoción deseada:

$$VE = \frac{SSA}{ASE} = \frac{16m^2}{120m^2 / m^3} = 0.13m^3$$

**Geometría del sustrato**, se asume una sección cuadrada de 0.3m de lado y entonces la altura del filtro percolador sería 1.5m.

**Comprobación de la carga hidráulica:**

Carga hidráulica = caudal del influente/área perpendicular de flujo

$$CH = \frac{7.2gpm}{0.97ft^2} = 7.4gpm / ft^2$$

**5.2.2. Resumen del cálculo.** Las dimensiones de la torre del percolador y del biofiltro desnitrificante para el modelo son: sección transversal cuadrado de 0.3m de lado y 1.5m de diámetro, y un sustrato de superficie específica de 120m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

### **5.3. SUSTRATO**

Después de indagar diferentes materiales se ha seleccionado el polietileno de alta densidad para la fabricación de láminas de acuerdo a la geometría del biofiltro. Estas láminas irán dispuestas paralelamente en dirección del flujo de agua y con un espacio entre láminas de 15mm para evitar cualquier taponamiento. Con esta disposición geométrica se cumple cabalmente con la necesidades de área específica del sustrato que en este caso es de 120m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

**5.3.1 Comprobación del área del sustrato en los biofiltros.** Se procede a realizar este cálculo:

En los biofiltros para la piscícola: Como la sección transversal es de 0,5m x 0,5m y el espaciado de las láminas es de 15mm, caben 33 láminas,

$$\text{Área por lámina: } 2 \times 0,5\text{m} \times 5,2\text{m} = 5,2\text{m}^2$$

Se multiplica por 2 debido a que cada lámina tiene dos caras

$$\text{Área total de láminas: } 5,2\text{m}^2 \times 33 = 171,6\text{m}^2$$

y se requerían 160m<sup>2</sup>.

En los biofiltros del modelo: Como la sección transversal es de 0,3m x 0,3m y el espaciado de las láminas es de 15mm, caben 20 láminas,

$$\text{Área por lámina: } 2 \times 0,3\text{m} \times 1,5\text{m} = 0,9\text{m}^2$$

Se multiplica por 2 debido a que cada lámina tiene dos caras

$$\text{Área total de láminas: } 0,9\text{m}^2 \times 20 = 18\text{m}^2$$

y se requerían 16m<sup>2</sup>.

## 6. ESTERILIZACIÓN ULTRAVIOLETA

Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Esta técnica se consideró para la desinfección del agua de bebida cuando se comprobó que el cuarzo era una de los pocos materiales casi totalmente transparente a la radiación ultravioleta, lo que permitió la envoltura protectora de los tubos. Sin embargo, la popularidad del cloro y sus derivados, asociados a su bajo costo de aplicación, hicieron que se retardara la producción de equipos hasta la década de 1950 y más aún hasta la de 1970 en que las lámparas comienzan a ser confiables y de vida prolongada.

La aparición de los subproductos de la desinfección, sobretodo aquellos asociados a la desinfección con cloro, hizo que numerosos sistemas pasaran de éste a la UV.

La desinfección con radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos, como hospitales, industrias de alimentos, bebidas y hoteles.

Recientemente se ha incrementado su uso para la desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas y ha vuelto a recibir atención como desinfectante de pequeños sistemas de agua, debido a su capacidad de desinfectar sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

## **6.1. PROPIEDADES DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

La radiación ultravioleta se caracteriza por longitudes de onda muy cercanas a las de la luz del sol. Los parámetros más importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua son:

**6.1.1. Longitud de onda.** El rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm (nanómetros) y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm. Estos límites se encuentran dentro del rango denominado ultravioleta - C (100-280 nm), que se diferencia del ultravioleta - A (315-400 nm) y del ultravioleta - B (280-315 nm).

**6.1.2. Calidad del agua.** La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de la desinfección con luz ultravioleta, pero afecta el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta, cuando la misma está inmersa en el agua. La energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. La turbiedad debe ser tan baja como sea posible y en todo caso, deben evitarse turbiedades mayores de 5 UTN.

**6.1.3. Intensidad de la radiación.** A menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de los mismos y por tanto la desinfección será más eficiente. Con respecto a esta condición, existe una regla general que dice que no debe haber más de 75 mm de profundidad de agua para asegurar que cada porción de la misma sea alcanzada por los rayos adecuadamente.

**6.1.4. Tipo de microorganismos.** La radiación ultravioleta se mide en microvatios por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) y la dosis en microvatios segundo por centímetro cuadrado ( $\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ ). La resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes (coliformes, pseudomonas, etc.) varía entre 6.000 y 10.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Las normas para la dosificación de luz ultravioleta en diferentes países varían entre 16.000 y 38.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ .

**6.1.5. Tiempo de exposición.** Como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto (ya que éste depende del tipo de flujo y de las características del equipo), pero el período debería estar relacionado con la dosificación necesaria.

Para un grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la luz ultravioleta es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua, teniendo en cuenta la capacidad de absorción del agua y la dispersión de la luz debido a la distancia.

El método de desinfección es sencillo, consiste en poner en contacto el flujo de agua con una lámpara ultravioleta, de tal manera que la radiación UV actúe sobre los microorganismos del agua bajo las condiciones arriba expuestas con el consecuente efecto desinfectante.

## 6.2. MECANISMOS DE DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

Se cree que la inactivación por luz ultravioleta se produce mediante la absorción directa de la energía ultravioleta por el microorganismo y una reacción fotoquímica intracelular resultante que cambia la estructura bioquímica de las moléculas (probablemente en las nucleoproteínas) que son esenciales para la supervivencia del microorganismo. Está demostrado que independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección.

En la tabla que esta a continuación se muestran valores reportados por varias fuentes de dosis de energía ultravioleta para eliminar algunos microorganismos. Estos dan una idea del rango y orden de la magnitud de la exposición.

La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta utilizan una exposición mínima (en el agua) de 30.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Esto es adecuado para inactivar las bacterias y virus patógenos, pero quizá no sea suficiente para ciertos protozoos patógenos, quistes de protozoos y huevos de nemátodos, que pueden requerir hasta 100.000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  para su inactivación total.

**Tabla 8. Radiación de energía ultravioleta necesaria para destruir hasta en un 99.99% de los microorganismos patógenos del agua.**

<b>BACTERIAS</b>	<b>Energía μW/cm<sup>2</sup></b>	<b>OTROS ORGANISMOS</b>	<b>Energía μW/cm<sup>2</sup></b>
Bacillus anthracis	8.700		
S. enteritidis	7.600		
B. Megatherium sp. (veg)	2.500	<b>LEVADURA</b>	
B. Megatherium sp. (sporas)	5.200		
B. peratyphosus	6.100	Saccharomyces ellipsoideus	13.200
B. subtilis	11.000	Saccharomyces sp.	1.600
B. subtilis spores	22.000	Saccharomyces cerevisiae	13.200
Clostridium tetani	22.000	Levadura para cerveza	660
Corynebacterium diphtheriae	6.500	Levadura para panadería	800
Eberthella typosa	4.100	Levadura para repostería	13.200
Escherichia coli	6.600		
Micrococcus candidus	12.300	<b>ESPORAS</b>	
Mycobacterium tuberculosis	10.000		
Neisseria catarrhalis	8.500	Penicillium roqueforti	26.400
Phytomonas tumefaciens	500	Penicillium expansum	22.000
Proteus vulgaris	6.600	Mucor racemosus A	35.200
Pseudomonas aeryginosa	10.500	Mucor racemosus B	5.200
Pseudomonas fluorescens	6.600	Oospora lactis	1.100
S. typhimurium	15.200		
Salmonella	10.000	<b>VIRUS</b>	
Sarcina lutea	26.400		
Serratia marcescens	6.160	Bacteriophage (E. coli)	6.600
Dysentry bacilli	4.200	Virus de la influenza	6.600
Shigella paradysenteriae	3.400	Virus de la hepatitis	8.000
Spirillum rubrum	6.160	Poliovirus(Poliomyelitis)	1.000
Staphylococcus alous	5.720	Rotavirus	24.000
Staphylococcus aureus	6.600		
Streptococcus hemolyticus	5.500	<b>ALGAS</b>	
Streptococcus lactis	8.800		
Streptococcus viridans	3.800	Chlorella vulgaris	2.000
Vibrio cholerae	6.500		

### 6.3 CÁLCULO DE LA DOSIS DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

En el diseño del reactor UV, es crítico obtener la dosificación UV apropiada para el agua. El agua que se incorpora en el reactor UV debe estar

suficientemente libre de sólidos suspendidos para que los microorganismos (algunos de los cuales, como virus, son extremadamente pequeños) no pueden ocultar detrás "en las sombras" de las partículas que flotan en el agua.

La velocidad del agua debe ser compensada por la energía de la lámpara, de modo que el microorganismo tenga tiempo para absorber la radiación UV y ser destruido. El buen diseño del reactor UV en sí mismo promueve velocidad uniforme del agua.

**6.3.1. Estructura del reactor UV.** El reactor se muestra en detalle en su plano que se encuentra ubicado en los anexos.

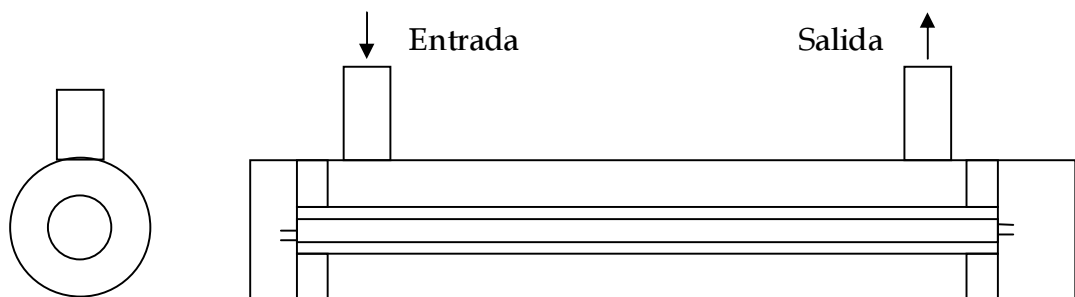


Figura 8. Esquema de un reactor UV

El reactor está compuesto por un tubo de pvc que sirve de camisa, con las siguientes especificaciones:

Diámetro nominal: 88 mm

Diámetro exterior: 88.9 mm

Espesor de pared: 4.24 mm

Dos retenedores cuya función es impedir el paso del agua hacia los conectores eléctricos de la lámpara ultravioleta, con las siguientes especificaciones:

Diámetro interno: 25 mm.

Diámetro externo: 80.5 mm.

Lámpara de radiación UV de acción germicida, especificaciones técnicas:

Diámetro: 20mm

Longitud: 450mm

Potencia nominal: 55 Watios

Eficiencia en la onda de 253.7 nm: 85%

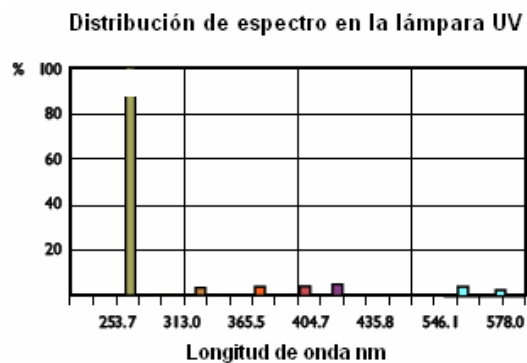


Figura 9. Porcentaje de la energía radiada en cada una de las longitudes de onda por la lámpara germicida

Tubo de cuarzo, su funcionalidad es proteger la lámpara de radiación UV, debido que esta solo alcanza su máxima eficiencia si permanece a una temperatura de 50°C, cosa que no sería posible si estuviera en contacto directo con el agua.

Diámetro: 26mm

Transparencia a la radiación de onda 253.7 nm: 80%

**6.3.2. Cálculo de la dosis de UV para la planta piscícola.** El reactor básico es el mostrado en el numeral anterior, de acuerdo a las necesidades se requerirá un reactor o varios trabajando en serie.

Partimos que la dosis mínima debe ser la suficiente para asegurar la eliminación del 99.9% de los microorganismos:

$$dosis = 100.000 \mu W - s / cm^2$$

Y que el caudal a tratar es 22gpm = 0.37 gal/seg

La expresión para calcular la dosis es:

$$dosis = \frac{Pot * t}{A}$$

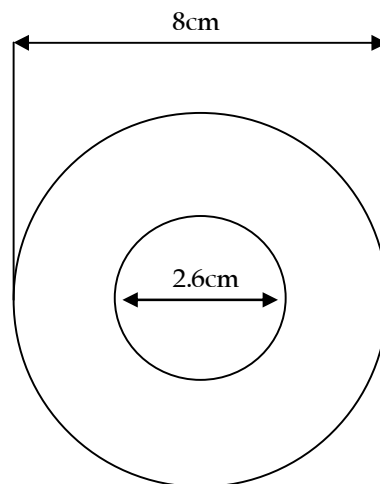
Donde:

Pot: Potencia de la lámpara o lámparas

t: Tiempo de exposición a la radiación UV

A: Área máxima de exposición a la radiación UV

Figura 10. Sección transversal del reactor



**Tabla 9. Geometría del reactor de la piscícola**

Geometría del tubo de cuarzo	Geometría de la camisa
Diámetro: 2.6cm	Diámetro: 8.042cm
Área transversal: 5,3cm <sup>2</sup>	Área transversal: 50,7cm <sup>2</sup>
Longitud de la lámpara = 45cm	Área envolvente de la camisa = 361 cm <sup>2</sup>

A partir de los datos de la tabla 7 de esto se calcula la diferencia de áreas para luego calcular la capacidad volumétrica del reactor:

$$\text{Diferencia de áreas} = 50,7\text{cm}^2 - 5,3\text{cm}^2 = 45,4 \text{ cm}^2$$

Volumen de agua dentro del reactor uv:

$$\text{Vol} = \text{Area}_{dif} * \text{long}_{lamp} \rightarrow 45,4\text{cm}^2 * 45\text{cm} = 2043\text{cm}^3 = 0.54 \text{ gal}$$

Tiempo del agua dentro del reactor:

$$t = \frac{0.54 \text{ gal}}{\frac{0.37 \text{ gal}}{\text{seg}}} = 1,46 \text{ seg} \approx 1.4 \text{ seg}$$

Potencia teórica requerida:

$$\text{dosis} = 100.000 = \frac{P(\mu\text{W}) * t(\text{seg})}{A(\text{cm}^2)} \Rightarrow P(\mu\text{W}) = \frac{100.000 * 361}{1.4} = 25.785.714 \mu\text{W} = 26\text{W}$$

Potencia real requerida:

$$\text{Pot}_{real} = \frac{\text{Pot}_{req}}{\text{Eficiencia}_{lamp} * \text{Trasparencia}_{cuarzo}} = \frac{26\text{W}}{0.85 * 0.8} = 38.2\text{W}$$

La lámpara utilizada en el reactor es de 57W, esta por encima de los requerimientos.

### 6.3.2. Cálculo de la dosis de UV para el modelo.

Como en el caso anterior, partimos que la dosis mínima debe ser la suficiente para asegurar la eliminación del 99.9% de los microorganismos:

$$dosis = 100.000 \mu W - s / cm^2$$

Y que el caudal a tratar es 7,2gpm = 0.12 gal/seg

La expresión para calcular la dosis es:

$$dosis = \frac{Pot * t}{A}$$

Donde:

Pot: Potencia de la lámpara o lámparas

t: Tiempo de exposición a la radiación UV

A: Área máxima de exposición a la radiación UV

Tabla 10. Geometría del reactor del modelo

Geometría del tubo de cuarzo	Geometría de la camisa
Diámetro: 2.6cm	Diámetro: 8.042cm
Área trasversal: 5,3cm <sup>2</sup>	Área trasversal: 50,7cm <sup>2</sup>
Longitud de la lámpara = 45cm	Área envolvente de la camisa = 361 cm <sup>2</sup>

A partir de los datos de la tabla 7 de esto se calcula la diferencia de áreas para luego calcular la capacidad volumétrica del reactor:

$$\text{Diferencia de áreas} = 50,7\text{cm}^2 - 5,3\text{cm}^2 = 45,4 \text{ cm}^2$$

Volumen de agua dentro del reactor uv:

$$Vol = Area_{dif} * long_{lamp} \rightarrow 45,4\text{cm}^2 * 45\text{cm} = 2043\text{cm}^3 = 0.54\text{gal}$$

Tiempo del agua dentro del reactor:

$$t = \frac{0.54 \text{ gal}}{\frac{0.12 \text{ gal}}{\text{seg}}} = 4.5 \text{ seg}$$

Potencia teórica requerida:

$$\text{dosis} = 100.000 = \frac{P(\mu\text{W}) * t(\text{seg})}{A(\text{cm}^2)} \Rightarrow P(\mu\text{W}) = \frac{100.000 * 361}{4.5} = 8.022.222 \mu\text{W} = 8\text{W}$$

Potencia real requerida:

$$Pot_{real} = \frac{Pot_{req}}{\text{Eficiencia}_{lamp} * \text{Trasparencia}_{cuarzo}} = \frac{26\text{W}}{0.85 * 0.8} = 11.7\text{W}$$

La lámpara utilizada en el reactor será 25W, que es la menor que se encuentra en el mercado.

## 7. MICROFILTRACIÓN

Las membranas de microfiltración consiguen la eliminación absoluta de los contaminantes de una corriente de alimentación por un proceso de separación basado en la retención de contaminantes sobre una superficie de membrana. El microfiltrado es el más “libre” de los procesos de membrana, teniendo un tamaño de poro desde 0.1 a 5  $\mu\text{m}$ . A consecuencia de su gran tamaño de poro, se utilizan primariamente para eliminación de partículas y microbios y se puede operar bajo condiciones de presiones ultra bajas. Sin embargo, debería notarse que la microfiltración no elimina contaminantes basados estrictamente en el tamaño del poro de membrana en todos los casos. Una capa de torta consistente en los materiales presentes en el agua de alimentación, pueden formarse en la superficie de la membrana y suministrar capacidades adicionales de eliminación.

Son dos los propósitos de este sistema de microfiltración:

- Retener las partículas de materia orgánica en suspensión.
- Proveer de agua adecuada para que la acción germicida del proceso de desinfección por radiación ultravioleta sea realmente efectivo.

La microfiltración se realiza en dos etapas, en la primera se utiliza una bolsa de membrana de 10 micras. En la segunda una bolsa de membrana de 1 micra.

## **7.1. FILTRO BOLSA**

Un filtro bolsa trabaja por el principio de la microfiltración. El líquido es purificado en bolsas, que pueden ser de polipropileno o poliéster, pasando a través de poros permeables. Los filtros bolsas pueden ser usados para grandes cantidades de agua.

La capacidad depende de la superficie de las bolsas. Los sistemas más grandes pueden limpiar más de 500 m<sup>3</sup>/h.

El líquido fluye desde la parte alta de la cubierta del filtro y es distribuido igualmente entre la bolsa. El líquido acaba en el fondo dejando la suciedad detrás.

Los sistemas de filtros bolsas son aplicados en varias industrias. Incluyendo tratamiento de agua, derivados de la leche, pintura, cerveza, etc.

El diseño del filtro bolsa debe cumplir con las siguientes características:

- Construcción resistente para la durabilidad y la vida larga del equipo.
- Cierre de la tapa con tornillo para la rápida y fácil apertura.
- Requisitos de presión de servicio máxima 80 PSI.
- Cubierta y canastilla de PVC.

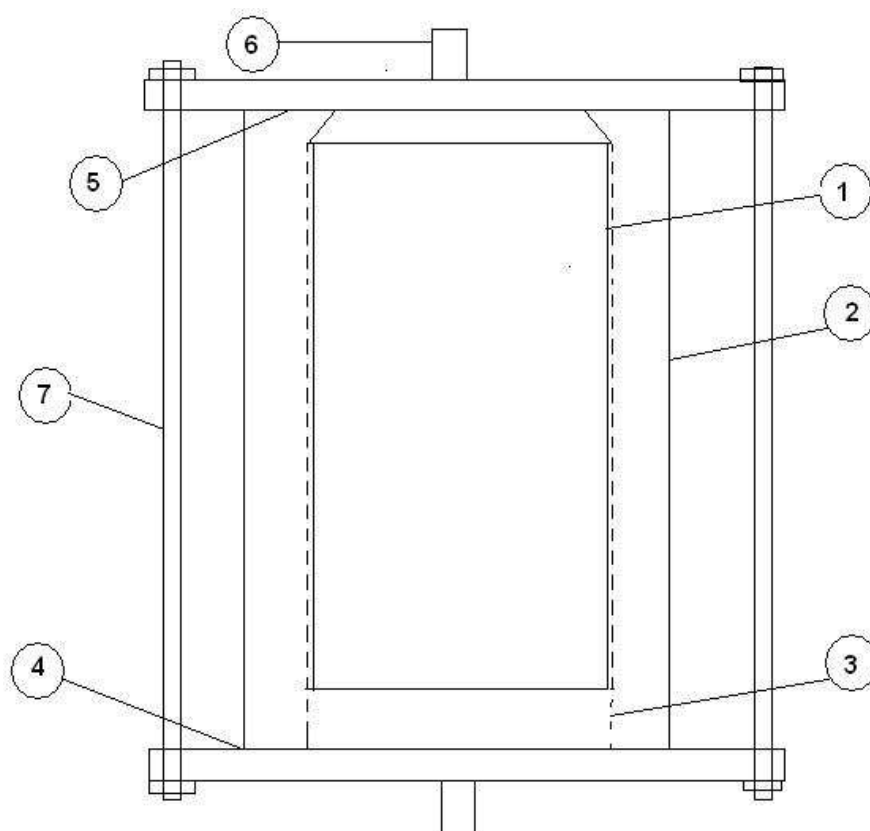
**7.1.1. Estructura del filtro bolsa.** Los elementos que conforman el filtro bolsa son:

1 Membrana bolsa.

2 Cubierta.

- 3 Canastilla.
- 4 Empaques.
- 5 Tapa.
- 6 Accesorios de pvc.
- 7 Varillas roscadas.

Figura 11. Esquema del filtro bolsa



El detalle de este filtro se encuentra en un plano ubicado en los anexos.

Por cuestiones de falta de practicidad y los costos adicionales de fabricación en los que se incurriría al fabricar un filtro bolsa específico para el modelo, no se construyó uno, se ha construido el filtro bolsa que se utilizará en las instalaciones del criadero.

## 7.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las siguientes son las instrucciones que deben ser seguidas para poner en operación el filtro sin ningún percance:

- Cerciorar que las tuercas de las varillas roscadas tengan el apriete correcto.
- Verificar que las válvulas de drenaje estén cerradas.
- Comprobar la apertura de la válvula de entrada de agua a la batería de los filtros.
- Prender la bomba de alimentación.
- Inspección de los manómetros ubicado a la entrada de cada filtro bolsa, el valor máximo de funcionamiento es de 80 psi.

Una vez sea detectada la saturación de alguna de las membranas el proceso de limpieza debe ser precedido de las siguientes instrucciones:

- Apagado de bomba de alimentación.
- Apertura de válvulas de drenado de cada uno de los filtros bolsa.
- Abrir la unión universal una vez sea terminado el drenaje.
- Retirar las tuercas de las varillas roscadas.
- Desacoplar el adaptador de la membrana para poder liberar esta.
- Libre la membrana, proceder a limpiar esta, el método recomendado es haciendo pasar un flujo de agua en dirección contraria para así liberar la membrana de partículas.

Una vez al mes debe ser sumergida la membrana en una solución de hipoclorito de sodio al 4%, esto para eliminar la población bacteriana que suele alojarse en la superficie interna de la membrana.

**7.2.1. Lavado con chorro delantero.** Cuando se aplica un chorro de agua delantero, las membranas son lavadas desde adelante con el agua entrante o con el permeado. El agua entrante o el permeado fluyen a través del sistema más rápidamente que durante la fase de producción. Debido a la mayor rapidez de flujo y a la turbulencia resultante, las partículas que habían sido absorbidas por la membrana son liberadas y descargadas. Las partículas que habían sido absorbidas por los poros de la membrana no son liberadas. Estas partículas solo pueden ser eliminadas por medio del lavado con chorro de agua trasero.

El propósito del chorro de agua delantero es la eliminación de la capa de contaminantes formada en la membrana por medio de la creación de turbulencias. Durante el lavado con chorro de agua delantero se tiene alto gradiente de presión hidráulica.

**7.2.2. Lavado con chorro de trasero.** Es un proceso de filtración inversa. Se hace fluir el permeado a presión a través de la parte por donde sale el permeado, aplicando el doble de flujo que se usa durante la filtración. En caso de que el flujo no se haya reestablecido suficientemente después del lavado con chorro de agua trasero, se puede aplicar un proceso de limpieza química.

Cuando se aplica un flujo desde atrás, los poros de la membrana son lavados del revés. La presión en la parte del permeado de la membrana es mayor que

la presión dentro de las membranas, haciendo que los poros se limpien. El lavado con chorro trasero se realiza bajo una presión sobre 2.5 veces mayor que la presión de producción.

El permeado es lo que siempre se usa para lavar desde atrás, porque la cámara del permeado siempre debe estar libre de contaminantes.

Una consecuencia del lavado con chorro trasero es un decrecimiento en la producción del proceso. Debido a esto, el lavado con chorro trasero debe realizarse en el menor tiempo posible.

**7.2.3. Limpieza por chorro de aire o por chorro de aire y agua.** Este es un lavado por chorro delantero durante el cual se inyecta aire en el tubo de abastecimiento. Debido a la inyección del aire (permaneciendo igual la velocidad del agua), se crea un sistema de limpieza mucho más turbulento.

La suciedad de la superficie de la membrana necesita ser eliminada tan efectivamente como sea posible durante la limpieza con chorro trasero. El uso de un chorro de aire significa lavar el interior de las membranas con una mezcla de aire y agua.

Durante el lavado con aire, se añade aire al chorro de agua delantero, provocando la formación de burbujas, que producen una mayor turbulencia. Debido a esta turbulencia la suciedad se desprende de la superficie de la membrana.

La ventaja del lavado con chorro de aire frente al lavado con chorro de agua delantero es que usa una menor capacidad de bombeo durante el proceso de limpieza.

**7.2.4. Limpieza química.** Cuando los métodos de limpieza anteriormente mencionados no son suficientemente efectivos para reducir el flujo hasta un nivel aceptable, es necesario limpiar las membranas químicamente.

Las membranas son empapadas con una solución de lejía clorada, ácido hipoclorito o peróxido de hidrógeno. Primeramente la solución se empapa en las membranas durante unos minutos y después se aplica un chorro de agua delantero o trasero que enjuaga los contaminantes.

## 8. PRUEBAS

### 8.1. PRUEBAS REALIZADAS AL SISTEMA NITRIFICADOR - DESNITRIFICADOR

Durante el proceso de ciclado, los niveles de amoníaco subieron y después caen repentinamente al hacerse cargo las bacterias que lo transforman en nitrito. Dado que las bacterias nitrificantes ni siquiera empiezan a aparecer hasta que los nitritos están presentes en una cantidad significativa, los niveles de nitritos se disparan (a medida que el amoníaco es convertido), continúan subiendo mientras el amoníaco producido continuamente es convertido en nitritos. Una vez que las bacterias formadoras de nitrato se hacen cargo, los niveles de nitritos caen, los niveles de nitratos aumentan, el proceso nitrificante esta completo.

Una vez en el sistema empieza a presentarse la existencia de nitratos, las bacterias desnitrificantes anaerobias empiezan su desarrollo, este es lento y demora aproximadamente 50 días hasta que se desarrolla una colonia lo suficientemente grande para hacer descender los niveles de nitratos.

Los datos que sirvieron para poder presentar la gráfica que sigue a continuación, fueron tomados usando tests de la marca LaMotte:

Test de nitrógeno amoniacal

Test de nitritos

Test de nitratos

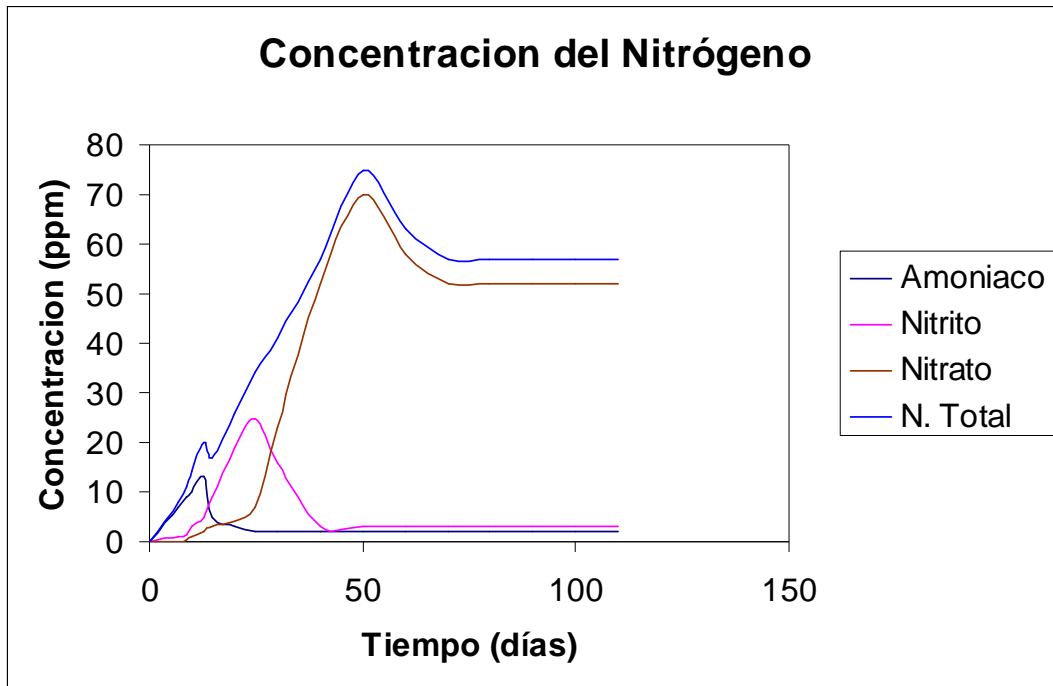


Figura 12. Resultado de las concentraciones de nitrógeno en las pruebas hechas al agua tratada en la planta modelo

En los anexos se adjunta la tabla que dio los resultados que aparecen en la gráfica.

## 9. CONCLUSIONES

1. Se cumplió con el objetivo propuesto de lograr una planta de tratamiento de aguas para piscicultura ornamental que presenta las siguientes características:
  - Opera con un mínimo de esfuerzo, que en la práctica se reduce a mantener los filtros bolsas libres de suciedad.
  - Altamente segura, por no tener ningún tipo de aditivo químico y por esto ningún dosificador que en algún momento pueda fallar y producir contaminación.
  - Produce agua tratada continuamente, por la naturaleza de los procesos.
2. Se lograron obtener los valores de amoníaco, nitritos y nitratos por debajo de los rangos óptimos para el desempeño de la actividad piscícola, tanto así que se obtuvieron crías en las instalaciones requeridas para demostrar la funcionalidad del modelo.
3. Se cumplió el objetivo que buscaba la transferencia de tecnología al sector agropecuario, ya que se incorporó a la planta una nueva tecnología de desinfección, poco usada en el país, que proporciona agua segura biológicamente y no produce ningún riesgo de generar residuos o sobretratamiento.

4. Se demostró que los valores de pH y dureza, utilizando esta plata de tratamiento, no son modificados en el proceso de producción, por tal motivo no hubo necesidad de agregar procesos para modificarlos.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda si se utilizan cubiertas metálicas, para el filtro percolador y el biofiltro desnitrificantes, revestir las superficies internas con pintura epóxica anticorrosiva con caucho clorado, con mantenimiento cada año o cuando las superficies den muestra de corrosión.
2. Aunque las lámparas de luz ultravioleta vienen diseñadas para un vida de 9000 horas de trabajo, sería aconsejable adicionar una sensor que de una alarma al momento de no haber presencia de la longitud de onda germicida en las emisiones de dicha lámpara.
3. Se recomienda optimizar el sistema de desarme de los filtros bolsa para facilitar la limpieza de las membranas.

## BIBLIOGRAFÍA

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Acuaquímica. Escuela Colombiana de Ingeniería. Editorial Presencia. 1987

CRITES, Ron y TCHOBANOGLOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill. 2000.

MASKEW, Gordon y GEYER, John. Purificación de aguas y tratamiento, y remoción de aguas residuales. Limusa Noriega editores. 1992.

Wright, H.B. y Cairns, W.L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva (1998).

RAMIREZ, Hernando y MARTINEZ, Rosa. Fundamentos de la acuicultura ornamental. INPA. 2001.

METCALF y EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill, Inc. 1.995.

American Water Works Association, Lyonnaise des Eaux, Water Research Comisión of South Africa. Tratamiento del agua por procesos de membrana. McGraw-Hill, Inc. 1.998.

## ANEXOS

### ANEXOS A. Resultados de las pruebas realizadas al agua de las instalaciones donde funciona el modelo.

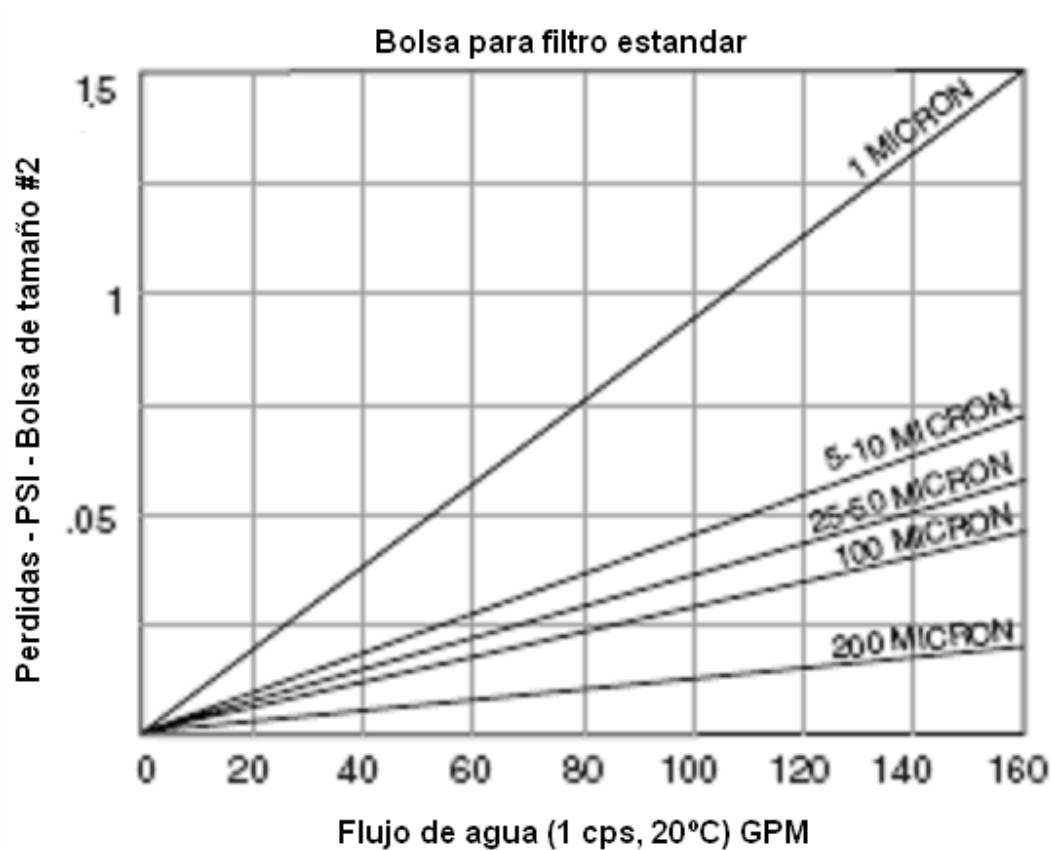
Tiempo (Días)	Amoniaco (ppm)	Nitrito (ppm)	Nitrato (ppm)	Nitrógeno total (ppm)	Tiempo (ppm)	Dureza	pH
0	0	0	0	0	0	50	7.0
7	7	1	0	8	7	52	6.8
9	9	1,5	0,5	11	9	56	6.9
10	10	3	1	14	10	54	6.9
13	13	5	2	20	13	58	7.2
15	5	9	3	17	15	53	7.0
20	3	19	4	26	20	54	7.0
25	2	25	7	34	25	52	6.9
30	2	16	23	41	30	52	6.8
40	2	3	52	57	40	53	6.9
50	2	3	70	75	50	55	7.0
60	2	3	58	63	60	53	7.0
70	2	3	52	57	70	52	7.1
80	2	3	52	57	80	56	7.0

**ANEXO B. Resultados de las pruebas realizadas a la fuente de agua de las instalaciones del modelo.**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Valor permisible</b>		<b>Técnica</b>
Olor	aceptable	aceptable		
Sustancias flotantes	ausencia	ausencia		
Color	10	15	unid platino cobalto	comparación visual
Turbiedad	8,3	5		método nefelométrico
Ph	7,0	6,5 a 9		potencial de hidrogeno
Cloro residual	0	0,2 a 1	mgcl <sub>2</sub> /l	tit. Volum. Con fas-dpd
Dureza total	50,6	160	mgrcaco <sub>3</sub> /l	volumétrico con edta
Sulfato	41,6	250	mg/l	método calorímetro
Hierro total	0	0,3	mg/l	método calorímetro
Cloruros	58,9	250	mgrcl/l	método calorímetro
Alcalinidad	510	100	mgcaco <sub>3</sub> /l	tit. Tec. volumétricas
Acidez mineral	0	50	mgrcaco <sub>3</sub> /l	tit. Por volumétrica
Conductividad	433	50 a 1000	micromhos/cm	método electrónico
Fosfatos	0,12	0,2	mgpo <sub>4</sub> /l	método calorímetro

### ANEXO C. Comportamiento de las perdidas en bolsa filtro

En la siguiente gráfica muestra las perdidas de presión para un fluido de 1 cps y 68°C, las perdidas de presión depende del tipo de bolsa, tamaño del poro y del caudal a filtrar. Esta gráfica no tiene en cuenta las perdidas causadas por la cubierta del filtro.



Corrección del tamaño de bolsa y de viscosidad:

Si utiliza un tamaño diferente de bolsa multiplicar la pérdida obtenida en la tabla anterior por el factor de la siguiente tabla. También si se filtra un fluido

con una viscosidad diferente multiplicar el resultado anterior por el factor indicado

#### Factor de corrección por tamaño

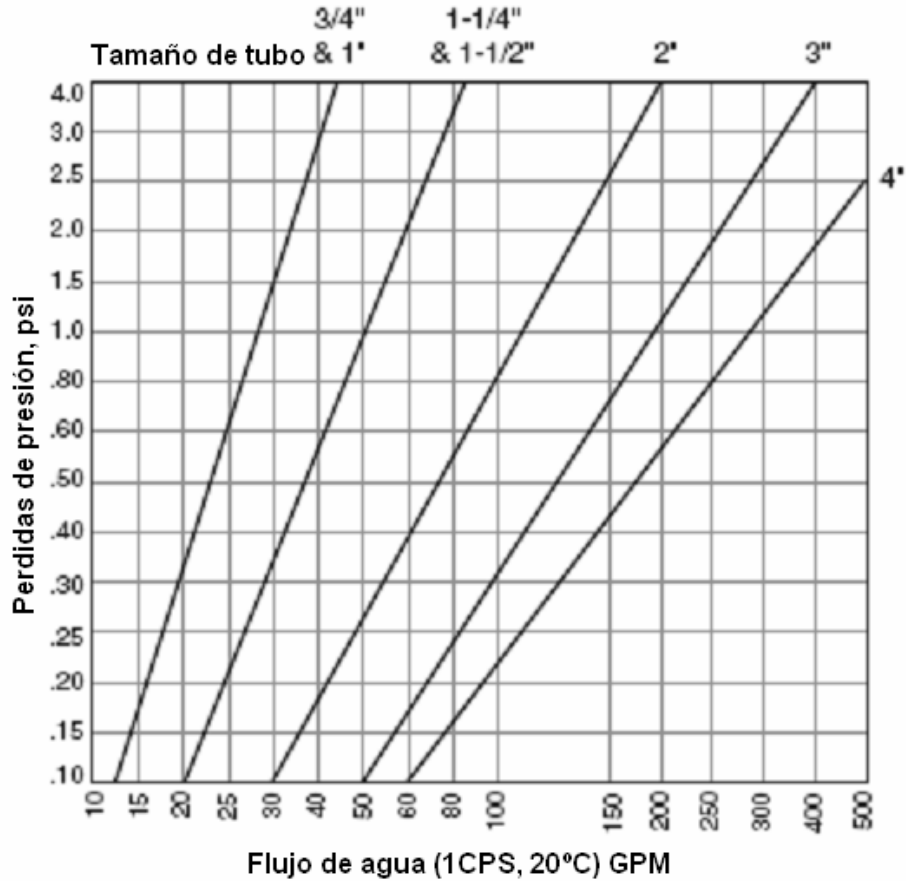
Bag Size	Correction Factor
1	2.25
2	1.00
3	9.00
4	4.50
7	3.00
8	2.25
9	1.50

#### Factor de corrección por viscosidad

Viscosity CPS	Correction Factor
50	4.5
100	8.3
200	16.6
400	27.7
800	50.0
1000	56.2
1500	77.2
2000	113.6
4000	161.0
6000	250.0
8000	325.0
10,000	430.0

**ANEXO D. Comportamiento de las perdidas en la camisa del filtro bolsa:**

La gráfica a continuación muestra las perdidas de presión a través de la camisa del filtro bolsa funcionando sin bolsa



El factor para corregir las perdidas de acuerdo a la viscosidad diferente a 1 CPS, multiplicar la perdida obtenida de arriba por el factor obtenida en la tabla siguiente.

		Viscosity, cps								
		1	50	100	200	400	600	800	1000	2000
(h <sub>2</sub> O)		1.0	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.8

### ANEXO E. Informes de costo del modelo

Filtros de Bolsa	2.000.000.00
Biofiltros	1.500.000.00
Esterilizador U.V.	900.000.00
Mano de obra	1.000.000.00
Tanques	800.000.00
Línea de distribución	500.000.00
Trasporte	400.000.00
Papelería (Memorias, cartas, fotocopias, carpetas, borradores, empastes, etc.)	500.000.00
Producción intelectual	<u>3'000.000.00</u>
Subtotal	<u>12.600.000.00</u>

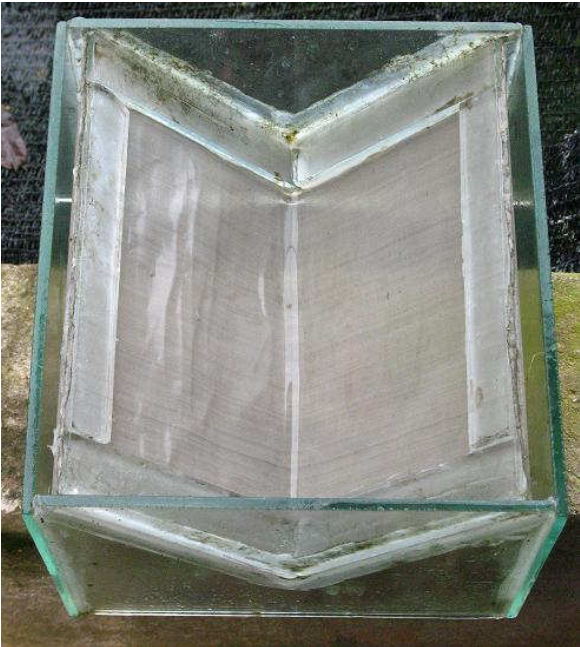
## ANEXO F. FOTOGRAFÍAS

### Fotografía de instalaciones complementarias





Tamiz con malla inoxidable de 70 micras



Batería de filtros bolsa y filtro germicida UV



Biofiltros nitrificante y desnitrificante



## ANEXO G. CÁLCULOS HIDRÁULICO

### Perdidas en tubería

A continuación se pasa a enumerar los accesorios utilizados en el transporte del agua en el modelo construido. Además se calcula las longitudes equivalentes de estos.

Elemento	Cantidad	Diámetro	Lon Equiv. Total
Tubo	12 mts	1 ¼"	12,0000
Codo 90°	12 und	1 ¼"	15,1776
Tee	03 und	1 ¼"	7,5888
Válvula de Bola	04 und	1 ¼"	0,5059
		<b>TOTAL</b>	<b>35,2723</b>

Según la fórmula de Hazen & Willians

$$f = 0.2083 \times (100/C)^{1.85} (Q^{1.85}/S^{4.866})$$

$$f = 0.0985 \times Q^{1.85}/S^{4.866}$$

f: Perdida en tubería m/100m

Q: Caudal en gpm

S: Diámetro interior en pulgadas

C: Factor de Fricción constante, 150 para el PVC

$$f = 0.0985 \times 71.85 / 1.502^{4.866} = 0.4979 \text{ m} / 100 \text{ m}$$

$$\text{Perdidas totales} = 0.4979 \times 35.2723 / 100 = 0.1756 \text{ m}$$

Visto que las pérdidas menores son muy bajas con respecto a las presiones necesarias para el correcto funcionamiento de los filtros bolsa, estas no son tenidas en cuenta para la selección de las bombas.

#### **Selección de la Bomba:**

Para la selección de la bomba se tiene en cuenta los valores obtenidos del caudal para el buen funcionamiento de los biofiltros, para cada uno de los casos (el diseño y el modelo) y los intervalos de presión en donde operaran los filtros bolsas.

##### **Bomba del Diseño**

Presión de trabajo: 35 - 50 psi

Caudal de Trabajo: 22 - 32 gpm

Selección: Motobomba centrífuga eléctrica marca IHM 1.5Hp modelo 1.1/2<sup>a</sup>-1.5 (la curva de funcionamiento de esta bomba es contenida en este anexo).

##### **Bomba del Modelo**

Presión de trabajo: 30 - 40 psi

Caudal de Trabajo: 7 - 17 gpm

Selección: Motobomba centrífuga eléctrica marca IHM 1.0Hp modelo CD1-1/2 (la curva de funcionamiento de esta bomba es contenida en este anexo).

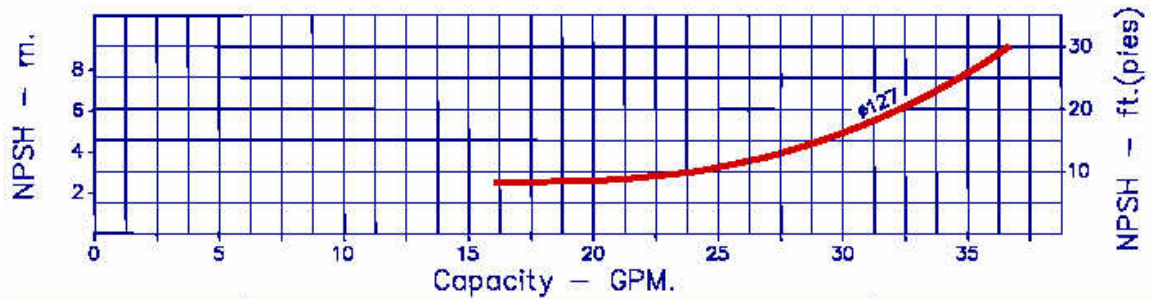
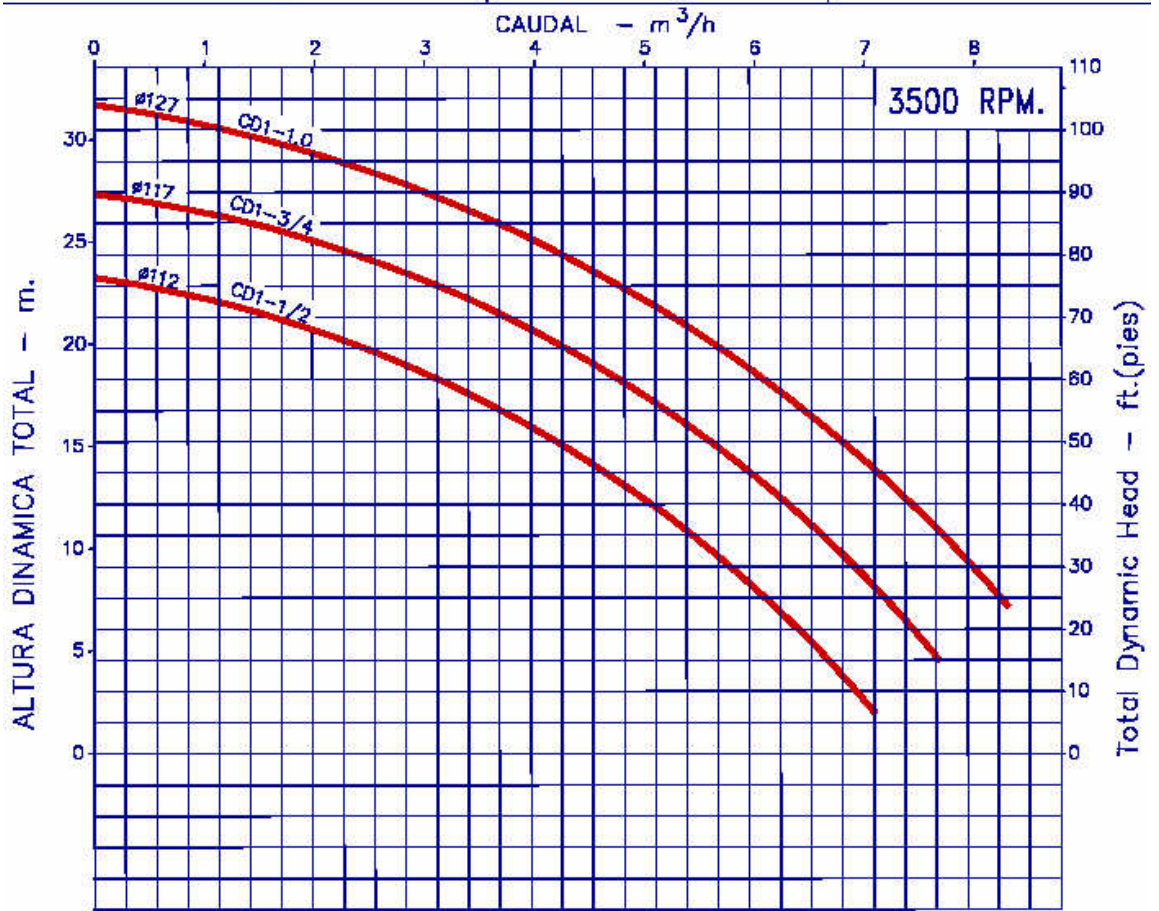


MOTOBOMBAS CENTRIFUGAS USO GENERAL  
"CARACOL DOMESTICA"  
MONOBLOCK ELECTRICAS

Version: Sello Mecanico.  
 Ø Rotor: Variable  
 Ø Max. Particulas: 3 mm.  
 Motor: Electrico Monof.  
 1/2 a 1.0 HP

MODELOS: CD1-1/2  
 CD1-3/4  
 CD1-1.0

CONEXIONES: 1.1/4" x 1" NPT.



Codigo: 065180CU  
 Reemp:  
 Fecha: DIC-11-06

NOTAS: 1. Densidad del agua a 4°C : 1 gr/cm<sup>3</sup>  
 2. Curvas desarrolladas a Nivel del Mar.

Caudal Max.	gpm.
Altura Max.	ft.
Eficiencia Max.	%



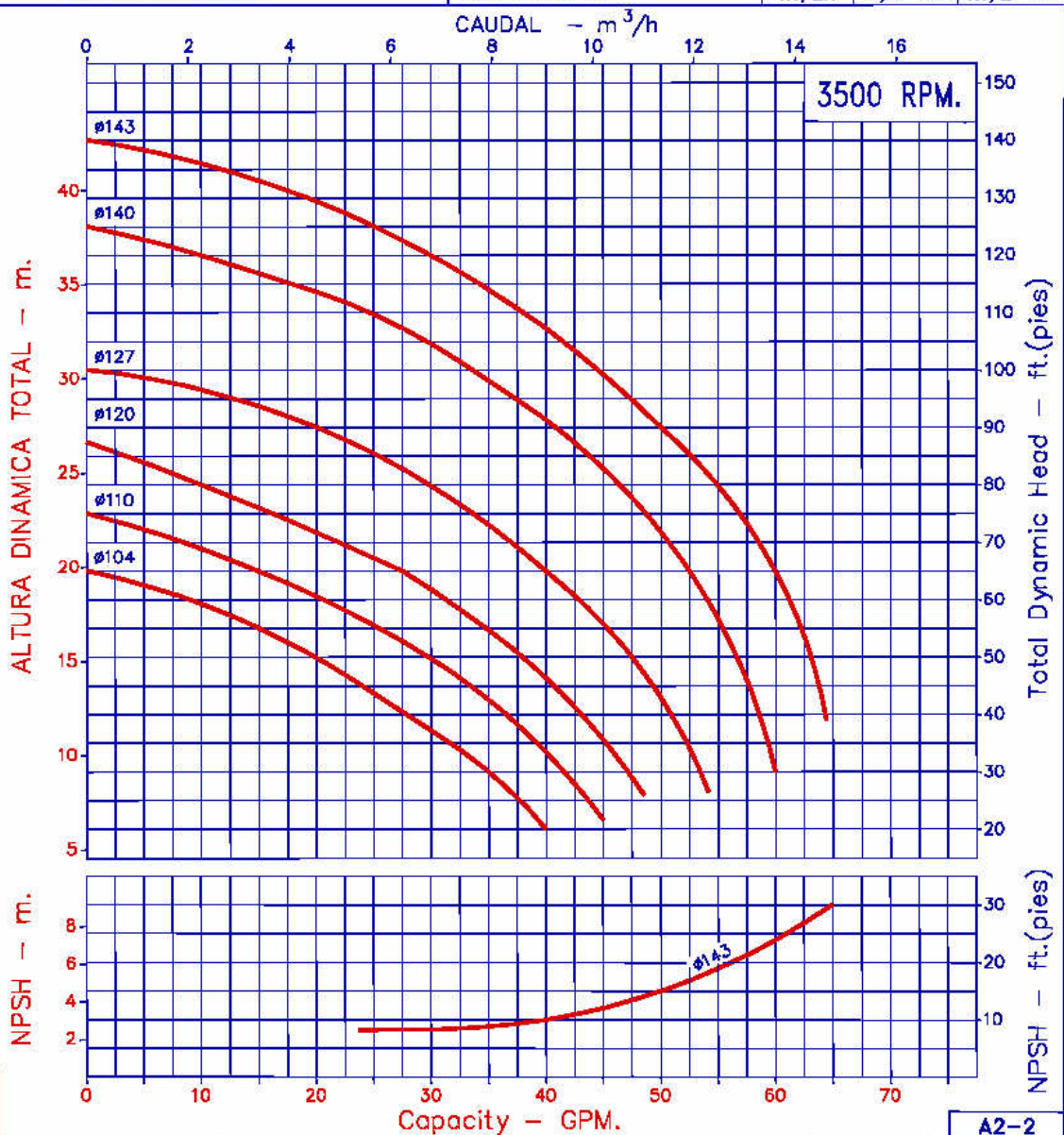
MOTOBOMBAS CENTRIFUGAS USO GENERAL  
"CARACOL SUPER"  
MONOBLOCK ELECTRICAS

Version: Sello Mecanico.  
 Ø Rotor: Variable  
 Ø Max. Particulas: 3 mm.  
 Motor: Electrico Monof.  
 1/3 a 2.0 HP

MODELOS: 1A-1/3; 1A-1/2; 1A-3/4  
 1.1/2A-1.0; 1.1/2A-1.5; 1.1/2A-2.0

CONEXIONES:

MODELO	SUCCION	DESCARGA
1A	1.1/4" NPT.	1" NPT.
1.1/2A	1.1/2" NPT.	1.1/2" NPT.

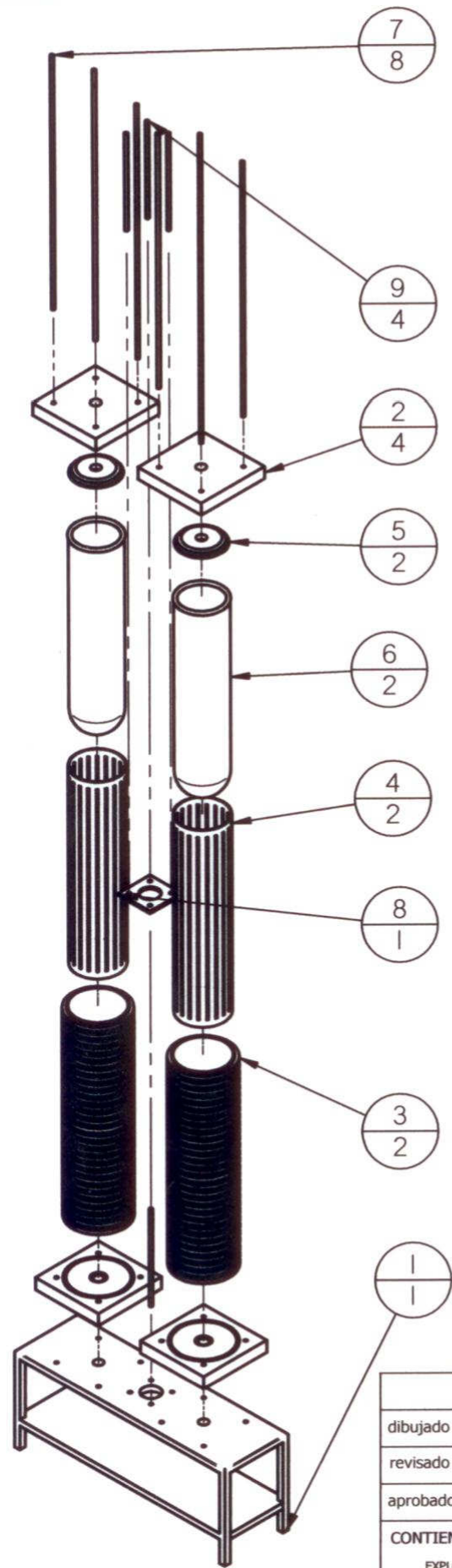


Codigo: 980040CU  
 Reemp: 950190CU  
 Fecha: ABR-29-98

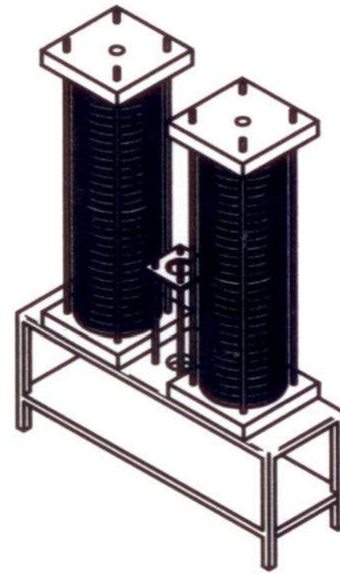
NOTAS: 1. Densidad del agua a 4°C : 1 gr/cm<sup>3</sup>  
 2. Curvas desarrolladas a Nivel del Mar.

Caudal Max.	gpm.
Altura Max.	ft.
Eficiencia Max.	%

## **ANEXO H. PLANOS**



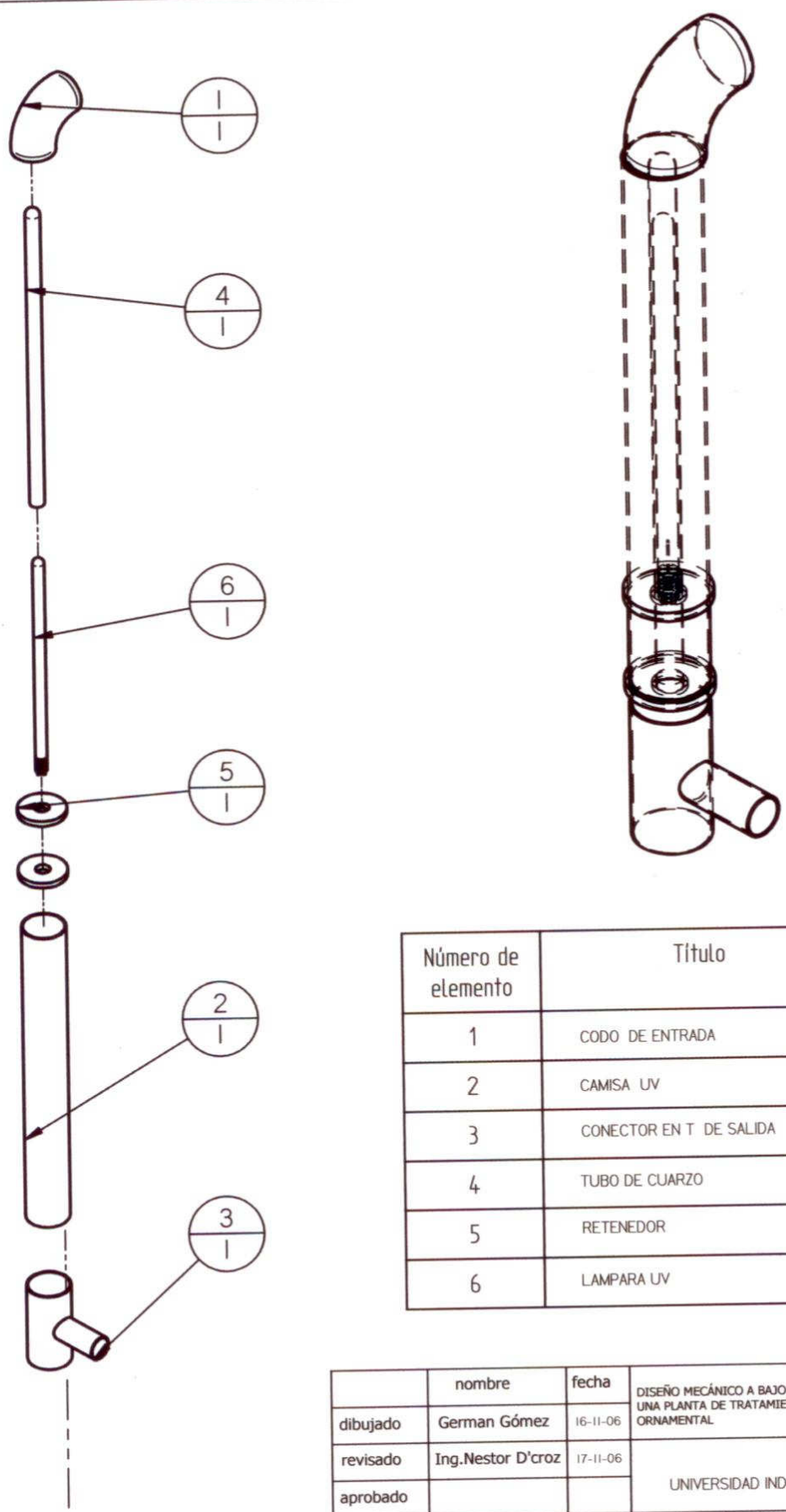
1:20



1:20

Número de elemento	Título	Cantidad
1	MESA SOPORTE	1
2	TAPA	4
3	CAMISA	2
4	CANASTA	2
5	ADAPTADOR MEMBRANA	2
6	MEMBRANA	2
7	PERNO DE TAPA	8
8	SOPORTE UV	1
9	PERNO SOPORTE UV	4

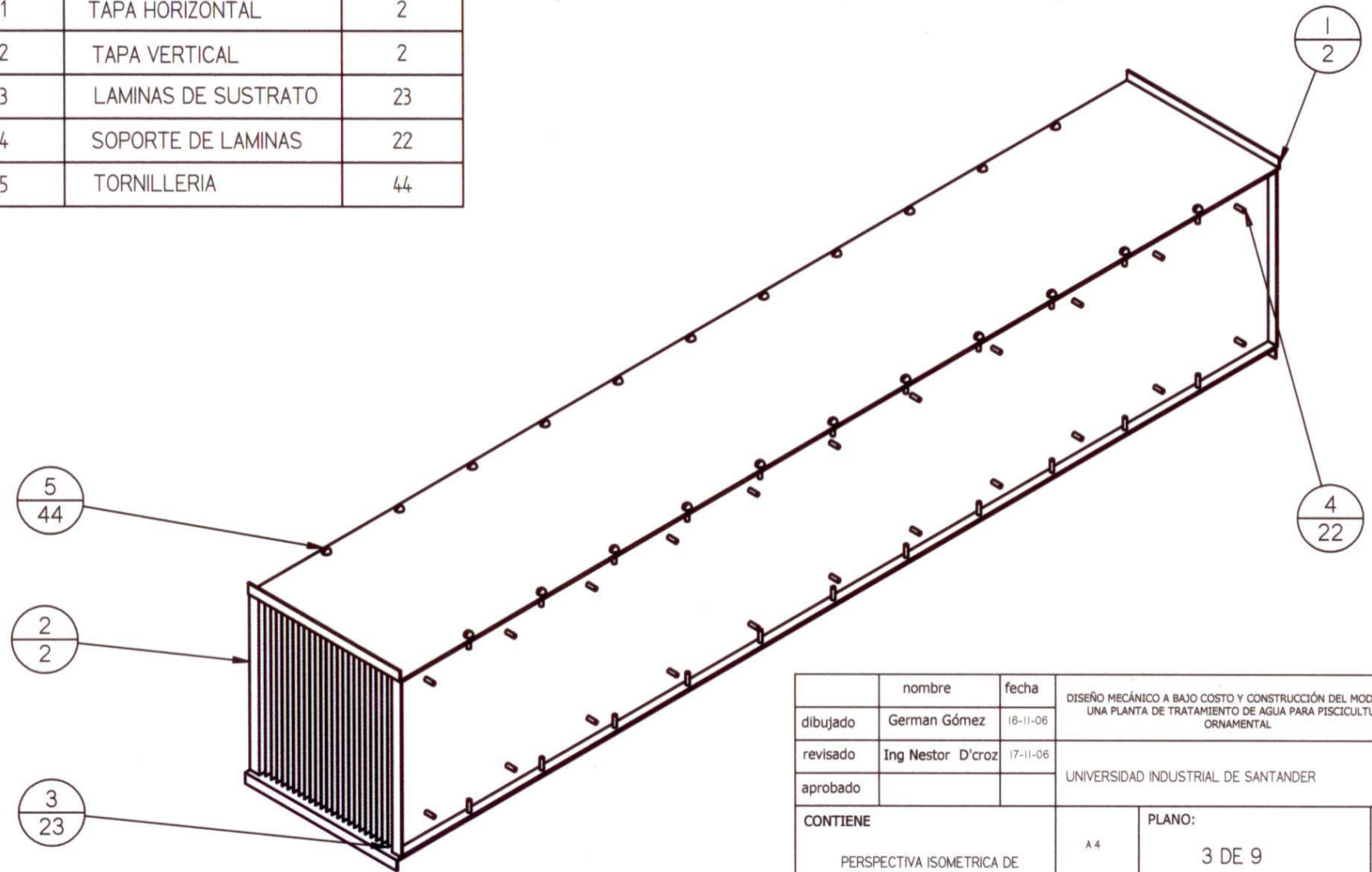
nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL
dibujado	German Gómez	16-11-06
revisado	Ing. Nestor D'croz	17-11-06
aprobado		
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
CONTIENE		PLANO:
EXPLOSION Y PERSPECTIVA ISOMETRICA DE BATERIA PARA FILTROS DE MEMBRANA		A 4 1 de 9
Escuela de Ingeniería Mecánica		
ESC: Predeterminada		



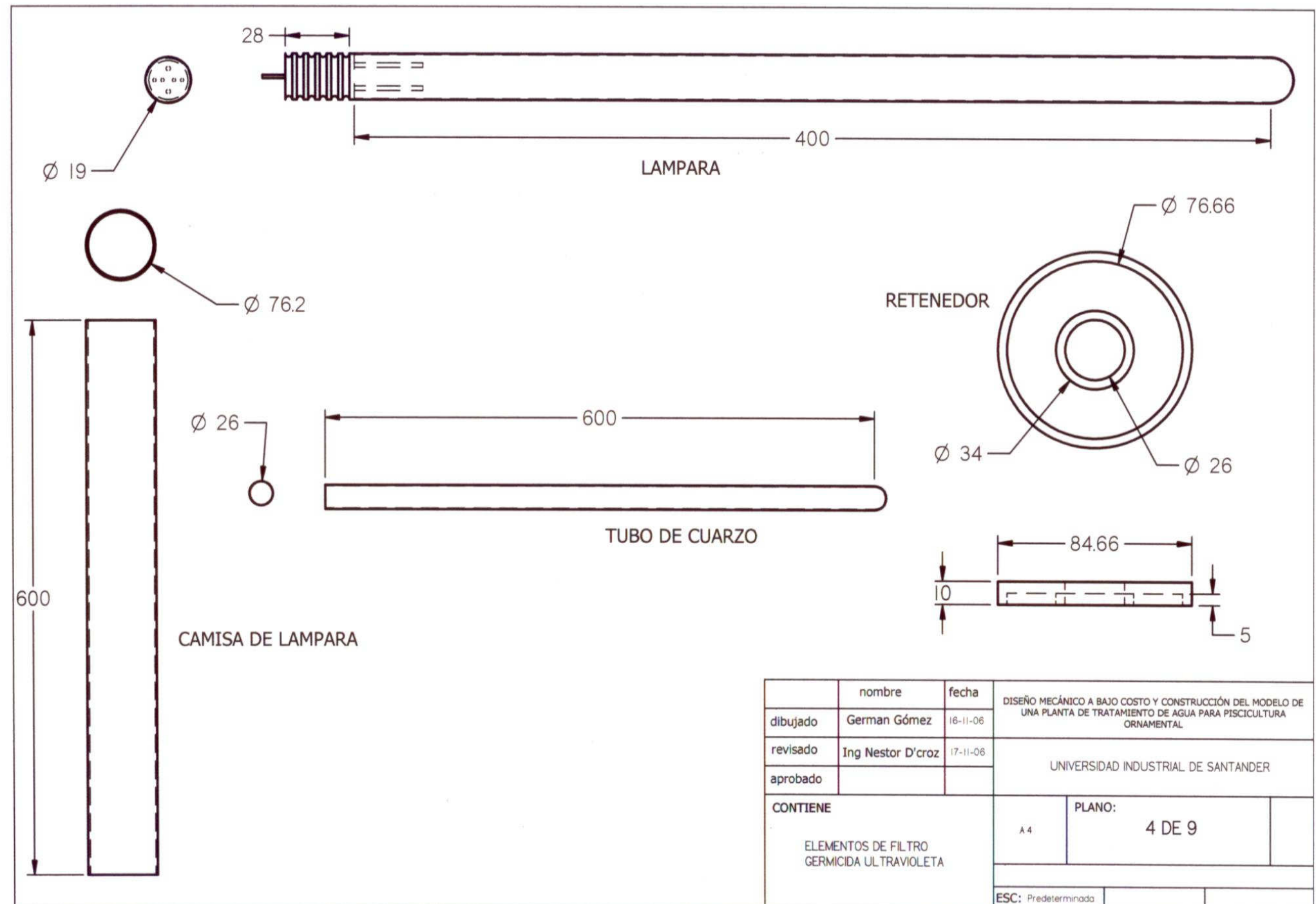
Número de elemento	Título	Cantidad
1	CODO DE ENTRADA	1
2	CAMISA UV	1
3	CONECTOR EN T DE SALIDA	1
4	TUBO DE CUARZO	1
5	RETENEDOR	1
6	LAMPARA UV	1

	nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL		
dibujado	German Gómez	16-11-06			
revisado	Ing. Nestor D'cruz	17-11-06			
aprobado			UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
CONTIENE EXPLOSION Y PERSPECTIVA ISOMETRICA DE FILTRO GERMICIDA ULTRAVIOLETA			<table border="1"> <tr> <td>A 4</td> <td>PLANO: 2 DE 9</td> </tr> </table>	A 4	PLANO: 2 DE 9
A 4	PLANO: 2 DE 9				
			Escuela de Ingeniería Mecánica		
			ESC: Predeterminada		

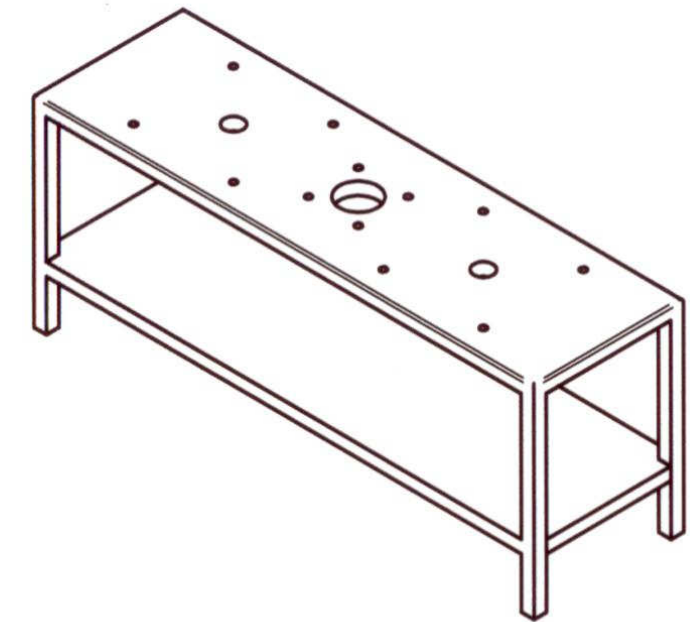
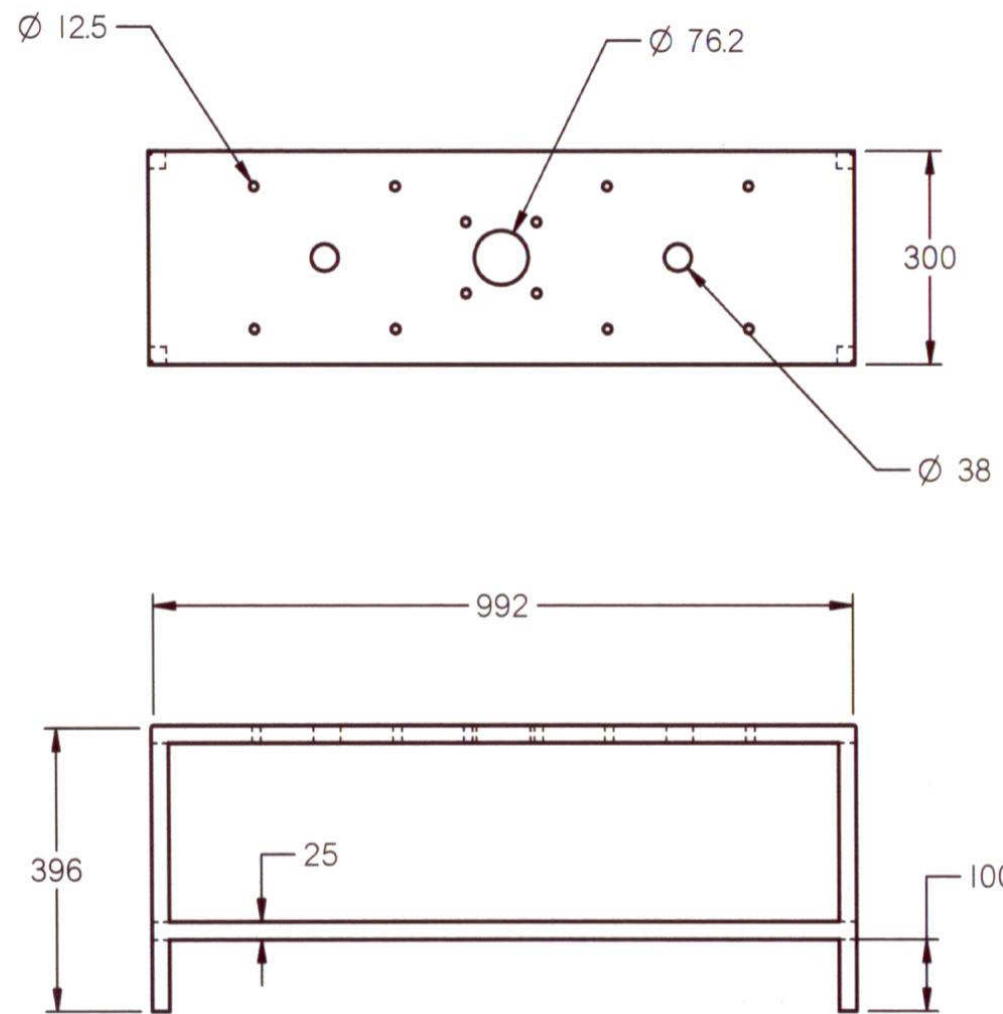
Número de elemento	Título	Cantidad
1	TAPA HORIZONTAL	2
2	TAPA VERTICAL	2
3	LAMINAS DE SUSTRATO	23
4	SOPORTE DE LAMINAS	22
5	TORNILLERIA	44



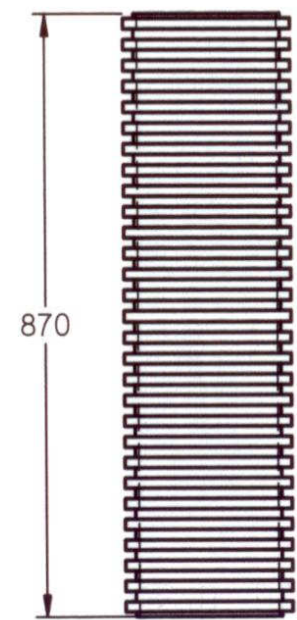
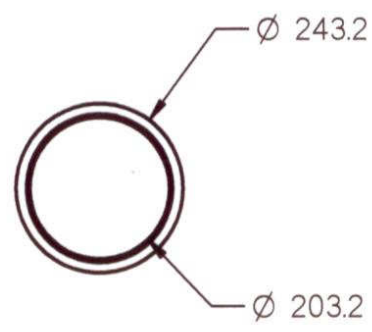
	nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL
dibujado	German Gómez	16-11-06	
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06	
aprobado			UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CONTIENE			PLANO:
PERSPECTIVA ISOMETRICA DE BIOFILTROS			A 4
			3 DE 9
			Escuela de Ingeniería Mecánica
ESC: 1:10			



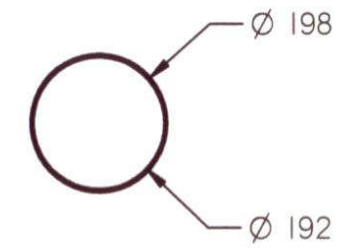
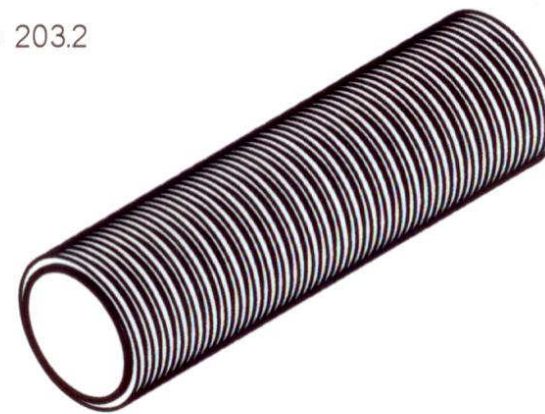
	nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL
dibujado	German Gómez	16-11-06	
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06	
aprobado			UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CONTIENE			PLANO:
ELEMENTOS DE FILTRO GERMICIDA ULTRAVIOLETA			A 4 4 DE 9
ESC: Predeterminada			



	nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL	
dibujado	German Gómez	16-11-06		
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
aprobado				
CONTIENE			A 4	PLANO: 5 DE 9
SOPORTE PARA BATERIA DE FILTROS DE MEMBRANA				
ESC: Predeterminada				



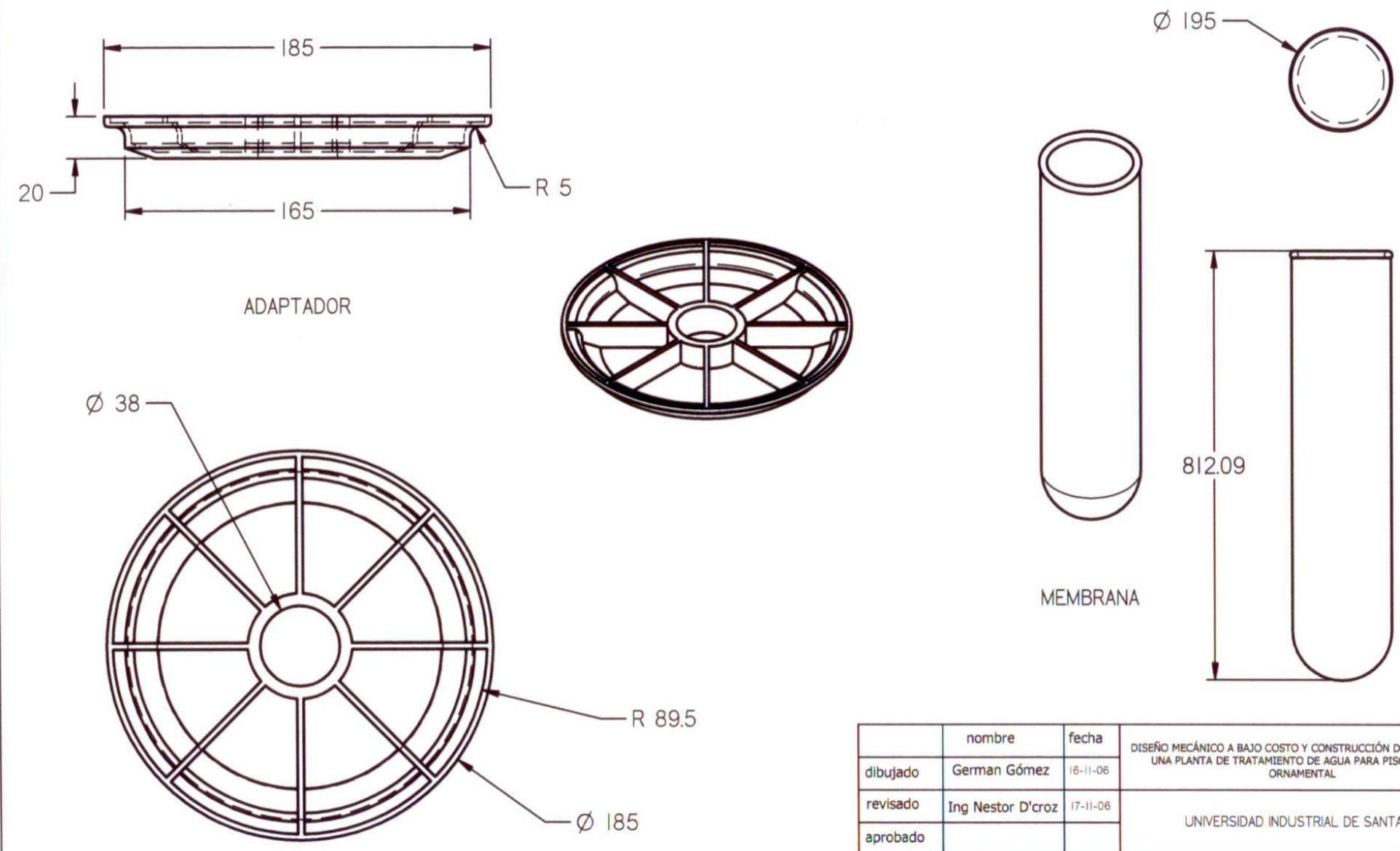
CAMISA DEFILTRO DE MEMBRANA



CANASTA



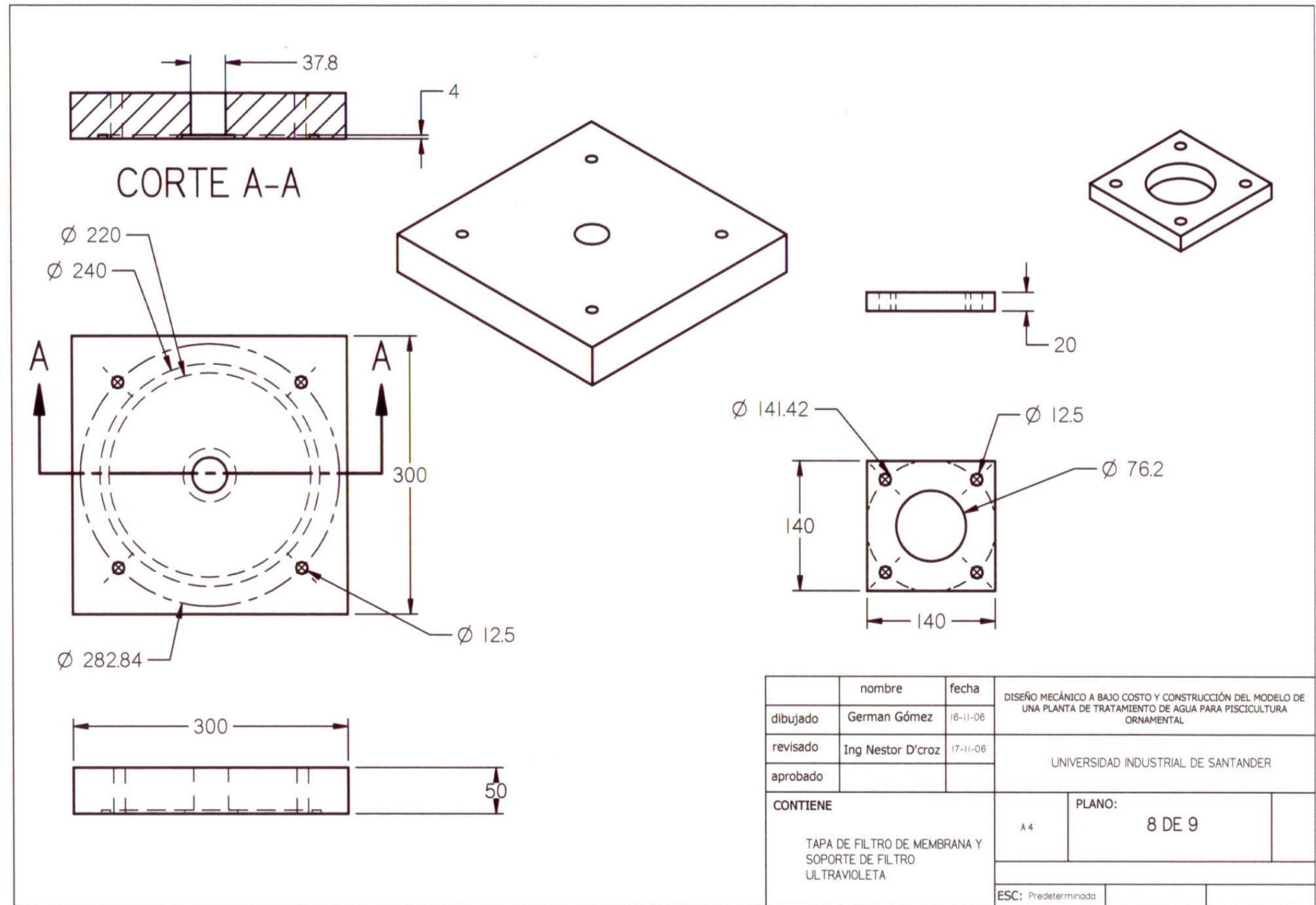
	nombre	fecha	
dibujado	German Gómez	16-11-06	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
aprobado			
CONTIENE			PLANO:
CAMISA Y CANASTA DE FILTRO DE MEMBRANA			A4 6 DE 9
ESC: 1 : 10			



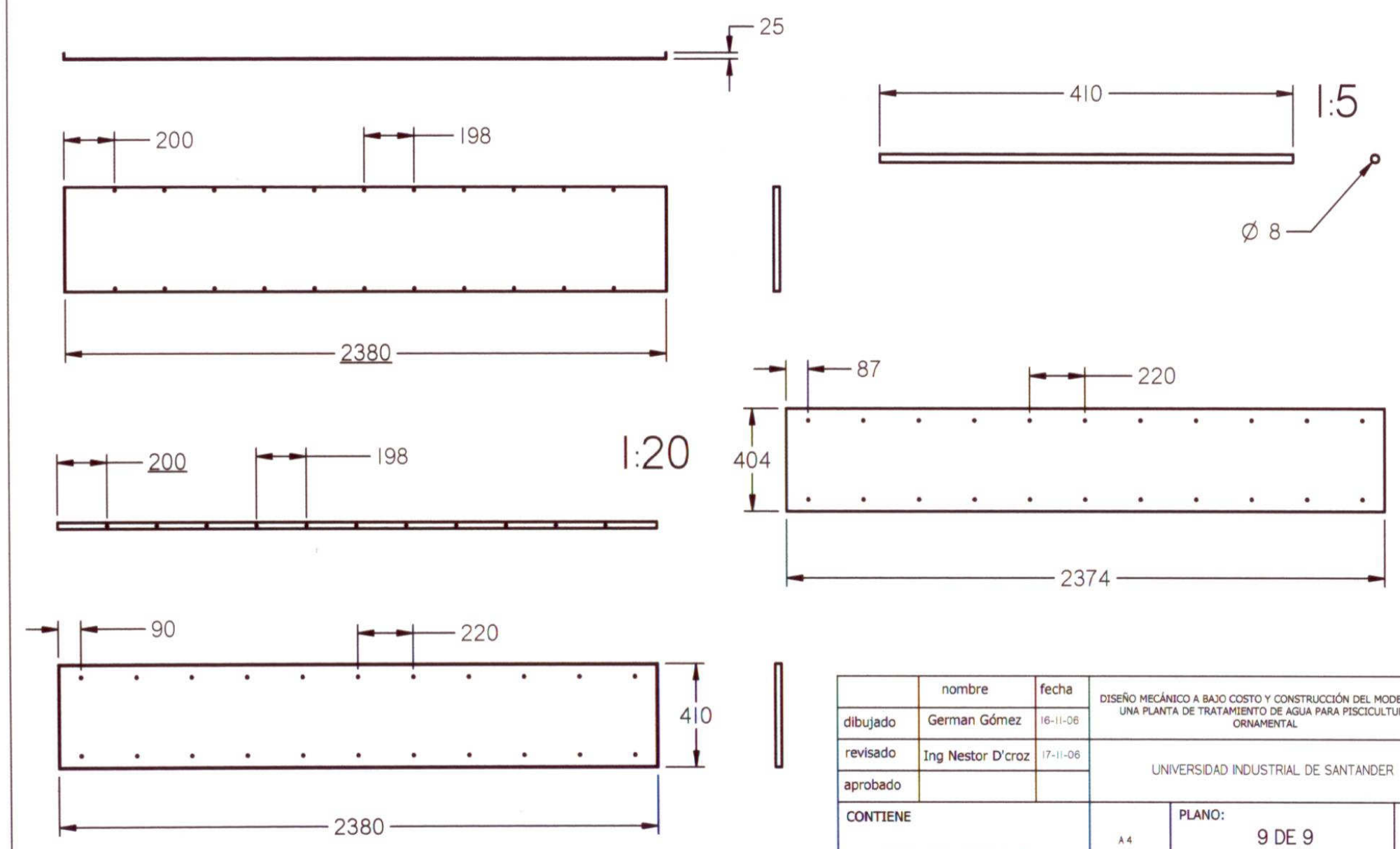
ADAPTADOR

MEMBRANA

	nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL
dibujado	German Gómez	16-11-06	
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06	
aprobado			UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CONTIENE			PLANO:
ADAPTADOR Y MEMBRANA			A 4 7 DE 9
ESC: Predeterminada			



	nombre	fecha	
dibujado	German Gómez	16-11-06	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06	
aprobado			UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
CONTIENE			
TAPA DE FILTRO DE MEMBRANA Y SOPORTE DE FILTRO ULTRAVIOLETA			
A 4	PLANO:		8 DE 9
ESC: Predeterminada			



	nombre	fecha	DISEÑO MECÁNICO A BAJO COSTO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA PISCICULTURA ORNAMENTAL	
dibujado	German Gómez	16-11-06	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
revisado	Ing Nestor D'croz	17-11-06		
aprobado				
CONTIENE			A 4	PLANO: 9 DE 9
ELEMENTOS DE BIOFILTRO				
ESC: Predeterminado				