CONSTRUCCION Y MONTAJE DE REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO EN RÉGIMEN CONTÍNUO A ESCALA PILOTO (50L)

I. Especificaciones técnicas.

A. Especificaciones generales

ESPECIFICACIONES ESENCIALES QUE REGIRÁN EL CONTRATO:

Para la ejecución del contrato se deben tener en cuenta las siguientes normas, las cuales serán de consulta permanente y de estricto cumplimiento de acuerdo con su jerarquía:

- NTC 5091 para productos planos, laminados en frío, de acero: al carbono, estructurales, alta resistencia baja aleación, y alta resistencia baja aleación con capacidad de deformado (estampado), endurecido por solución y endurecido en horno
- NTC 11 para tubería metálica. tubos de acero al carbono, de acero aleado ferrítico y de acero aleado austenítico, con o sin costura. requisitos generales
- NTC 1282 para plásticos. láminas de plástico acrílico. poli(metil metacrilato)
- Normas Técnicas Colombianas NTC.
- Sistema de Gestión, Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST (Decreto 1443 de 2014).
- Código Sanitario, (Ley 09 de 1979).
- Resolución 0330 de 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.

a. Especificaciones técnicas del Montaje para la construcción del prototipo escala Bench

1. REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

Descripción.

El Reactor de Lecho Fluidizado es la unidad principal del prototipo, ya que en ésta es donde ocurre la reacción de peroxidación catalítica en fase húmeda. Al interior del reactor, un flujo líquido entra en contacto con un catalizador sólido que es fluidizado mediante un flujo de aire, proporcionando un contacto efectivo entre el catalizador y la sustancia a degradar. Las condiciones bajo la cuales se realiza el proceso es: Temperatura entre 4 y 25 grados, Presión atmosférica y pH entre 6 y 9.

El reactor consta de una base metálica en acero 304, que cuenta con tres tuberías de entrada/salida en acero 304, con su respectiva válvula de control y acoples rápidos para las conexiones que se requerirán. En esta base se instalará un difusor de 150 mm de diámetro y se fijará una malla metálica en acero 304 o superior, de abertura 80 en la escala de Tyler para retener el catalizador sólido, el cual debe contar con un espacio donde será contenido; la base se fijará al cuerpo del reactor mediante abrazadera metálica en acero 304 o rosca y deberá contar con los empaques necesarios para evitar fugas. El cuerpo del reactor en acrílico transparente deberá contener dos entradas con acoples rápidos y un deflector desmontable en su interior. La tapa deberá contener dos tuberías de ingreso/salida en acero 304 con sus respectivas válvulas, deberá tener fija una malla metálica en acero 304 o superior, con abertura 80 en la escala de Tyler para evitar la salida del catalizador sólido en la corriente de agua tratada, ésta tapa deberá contener los empaques necesarios para proveer un sello hermético y deberá acoplarse al cuerpo mediante abrazadera metálica en acero 304 o rosca.

Las dimensiones del reactor serán:

Altura total: 1,042 m

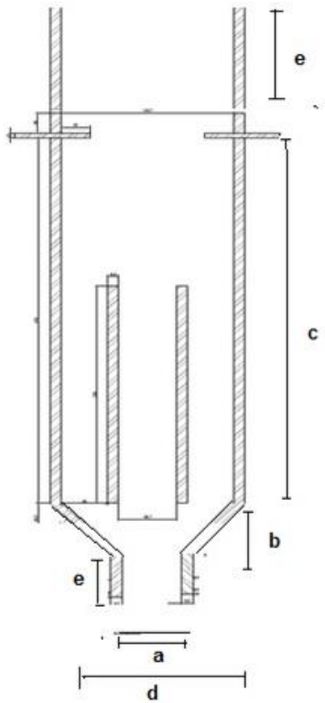
Altura del cono: 0,30 m

Diámetro superior: 0,25 m

Diámetro inferior: 0,15 m

Diámetro deflector interior: 0,1625m

Corte transversal:



Dimensiones del reactor de lecho fluidizado	
e altura para la dosposicion del difudor (m)	0,1
a diemetro para la disposición del difusor (m)	0,15
b altura del cono (m)	0,3
d ancho del cono (m)	0,25
C Altura del reactor hasta la malla (m)	0,7
e Altura del reactor hasta la malla (m)	0,2

La construcción del prototipo requiere de la revisión y estudio cuidadoso de los planos y documentos que contiene el proyecto a fin de verificar detalles, dimensiones y demás especificaciones que serán exigidas para la aprobación y recepción del montaje

MATERIALES:

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Equipos eléctricos con conexión a 110V
- Tanques de almacenamiento en Polietileno de alta densidad
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

2. HIDROCICLÓN

Descripción:

El hidrociclón es un aparato diseñado para separar la parte sólida de la parte fluida en mezclas bifásicas, en este caso, se separará el catalizador sólido que pueda salir en el efluente líquido de la corriente de agua tratada del reactor de lecho fluidizado. La mezcla sólido/fluido entrará tangencialmente en la parte superior del recipiente cilíndrico que le dará a la mezcla el momento angular, de tal manera que esta baje rotando por el ciclón. Debido a la fuerza centrífuga, la fase sólida es lanzada hacia las paredes exteriores del hidrociclón, desciende y es recogida en la parte cónica inferior. La fase fluida, una vez en el fondo, asciende rotando y es recogida mediante una tubería situada en el centro del ciclón. En el centro del ciclón se produce un fuerte vórtice y la baja presión impulsa la fase fluida hacia arriba. Debido a que, en general, no se logra separar todas las partículas sólidas, la tubería central contará con una malla metálica en acero 304 con abertura 80 en la escala de Tyler fija, que retendrá el material sólido e impedirá que pase a la unidad de mezcla rápida.

Sus dimensiones se especifican en los planos del montaje. (Anexo II)

La construcción del prototipo requiere de la revisión y estudio cuidadoso de los planos y documentos que contiene el proyecto a fin de verificar detalles, dimensiones y demás especificaciones que serán exigidas para la aprobación y recepción del montaje.

Materiales

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Acoples rápidos plásticos
- Mangueras de conexión en silicona

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

3. UNIDAD DE MEZCLA RÁPIDA.

DESCRIPCIÓN.

En esta unidad se debe garantizar que toda la masa de agua entre en contacto con el coagulante bajo intensas condiciones de agitación en un corto tiempo de residencia para garantizar una mezcla homogénea; el coagulante debe adicionarse de manera uniforme en toda la masa de agua. En esta unidad, la mezcla se realizará mediante un agitador mecánico, lo cual permitirá controlar el grado de agitación mediante la variación de la velocidad de rotación del impulsor.

Las condiciones de operación serán: agitación: 100 rpm y tiempo de residencia: 1 min.

Las dimensiones del equipo se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

La construcción del prototipo requiere de la revisión y estudio cuidadoso de los planos y documentos que contiene el proyecto a fin de verificar detalles, dimensiones y demás especificaciones que serán exigidas para la aprobación y recepción del montaje.

Materiales

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Acoples rápidos plásticos
- Mangueras de conexión en silicona
- Equipos eléctricos con conexión a 110V

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

4. FLOCULADOR

Descripción

El objetivo principal de la floculación es reunir a las partículas desestabilizadas por el coagulante, para formar partículas de mayor tamaño y peso, llamadas flóculos. Para garantizar una buena formación del flóculo, el agua debe pasar un tiempo suficiente en el floculador (tiempo de retención) y el gradiente (agitación) que recibe el agua debe ser suficiente; el exceso en tiempo o intensidad del gradiente producirá el rompimiento del flóculo formado. El tiempo de residencia será de 20 min y la agitación de 40 rpm.

Esta unidad será un floculador de paso forzado, que contará con 6 tabiques con orificio circular, cuya función será obligar al agua a pasar entre los compartimentos por su parte superior e inferior, alternadamente.

Las dimensiones del equipo se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

La construcción del prototipo requiere de la revisión y estudio cuidadoso de los planos y documentos que contiene el proyecto a fin de verificar detalles, dimensiones y demás especificaciones que serán exigidas para la aprobación y recepción del montaje.

Materiales

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Acoples rápidos plásticos
- Tabiques acrílicos de 3mm de espesor
- Mangueras de conexión en silicona

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

5. SEDIMENTADOR

Descripción:

Se entiende por sedimentación a la remoción, por efecto gravitacional, de las partículas en suspensión en un fluido, y que tengan peso específico mayor que el fluido. Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma durante el proceso, dependiendo de su forma, tamaño y densidad. El tiempo de residencia en esta unidad es de 15 minutos.

El tipo de sedimentador, será de placas o también conocido como sedimentador de alta tasa. Las placas deben ser de acrílico de 3mm grosor, con una inclinación de 60°.

Las dimensiones del equipo se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

La construcción del prototipo requiere de la revisión y estudio cuidadoso de los planos y documentos que contiene el proyecto a fin de verificar detalles, dimensiones y demás especificaciones que serán exigidas para la aprobación y recepción del montaje.

Materiales

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Acoples rápidos plásticos
- Tabiques acrílicos de 3mm de espesor
- Mangueras de conexión en silicona

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

6. FILTRO

Descripción:

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso, así los flóculos más pequeños, que no se eliminaron en la sedimentación, quedan atrapados en el medio filtrante que tienen los filtros; de esta operación depende en gran medida la calidad final del agua. La eficiencia de la filtración está relacionada con las características de la suspensión y del medio filtrante, con la hidráulica de la filtración y la calidad del efluente.

Esta unidad será un filtro rápido por gravedad con lecho de grava, arena y antracita.

Las dimensiones del equipo se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

La construcción del prototipo requiere de la revisión y estudio cuidadoso de los planos y documentos que contiene el proyecto a fin de verificar detalles, dimensiones y demás especificaciones que serán exigidas para la aprobación y recepción del montaje.

MATERIALES:

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Tanques de almacenamiento en Polietileno de alta densidad
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos
- Lecho de grava, arena y antracita.

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

7. ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA

Descripción:

El almacenamiento de agua cruda se hará en tanques de Polietileno de alta densidad.

Las dimensiones se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

MATERIALES:

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Equipos eléctricos con conexión a 110V
- Tanques de almacenamiento en Polietileno de alta densidad
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

8. ALMACENAMIENTO DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

Descripción:

El almacenamiento de la solución de peróxido de hidrógeno se hará en un tanque de Polietileno de alta densidad, que impida el paso de la luz para evitar la descomposición del reactivo.

Las dimensiones se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

MATERIALES:

- Acrílico con espesor de 4 mm
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Equipos eléctricos con conexión a 110V
- Tanques de almacenamiento en Polietileno de alta densidad
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

9. ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA

Descripción:

El almacenamiento de agua tratada se hará en un tanque de Polietileno de alta densidad que permita mantener condiciones asépticas del producto obtenido y que sea de fácil lavado,

Las dimensiones se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

MATERIALES:

- Tanques de almacenamiento en Polietileno de alta densidad
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Equipos eléctricos con conexión a 110V
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

10. ALMACENAMIENTO DE COAGULANTE

Descripción:

El almacenamiento de coagulante se hará en un tanque de Polietileno de alta densidad.

Las dimensiones se encuentran especificadas en los planos del montaje. (Anexo II)

MATERIALES:

- Tanques de almacenamiento en Polietileno de alta densidad
- Accesorios, tuberías en acero 304
- Equipos eléctricos con conexión a 110V
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

11. UNIDAD DE CLORACIÓN

Descripción:

La finalidad de esta unidad es proveer al agua el residual de cloro (entre 0,3 y 2g/mL) que garantice la protección del agua tratada contra los agentes microbiológicos que pueden contaminarla después del tratamiento.
El equipo consta de una bomba peristáltica con capacidad para un caudal entre 0,5 a 10 mL/min, ésta dosifica cloro en la entrada superior de una tubería de 2” la cual contiene en su interior una estructura de tornillo sin fin en teflón, para garantizar una mezcla perfecta del desinfectante en el agua. Sus dimensiones son, largo 45 cm

MATERIALES:

- Tubería PVC
- Tornillo sin fin de teflón
- Accesorios, tuberías en PVC
- Equipos eléctricos con conexión a 110V
- Mangueras de conexión en silicona
- Acoples rápidos plásticos

NO CONFORMIDAD.

En caso de no conformidad con estas especificaciones, durante su ejecución ó a su terminación, las obras se considerarán como mal ejecutadas. En este evento, el Constructor deberá reconstruirlas a su costo y sin que implique modificaciones y/o adiciones en el plazo y en el valor del contrato.

12. SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

Descripción

De acuerdo con el estudio realizado, se hace necesario realizar control sobre el caudal de agua contaminada y peróxido de hidrógeno principalmente, para realizar un tratamiento adecuado y optimo del agua. Este control automático se basa en las mediciones de peróxido de hidrógeno presente en el agua tratada que se tiene a la salida del reactor. El módulo de control está compuesto por dos componentes: uno componente de monitoreo de variables como: turbidez, pH, temperatura, y especialmente peróxido de hidrógeno. El segundo componente consiste en el control de variables como : caudal de agua contaminada con materia orgánica natural, caudal de peróxido de hidrógeno, caudal de aire y caudal de coagulante. Este componente de control esta dirigido por una unidad de procesamiento de datos (computador), que incluye las mediciones realizadas desde el componente de monitoreo, la programación de decisión, y actuadores que regulan electrónicamente Los diferentes caudales antes descritos en el proceso. **MATERIALES**

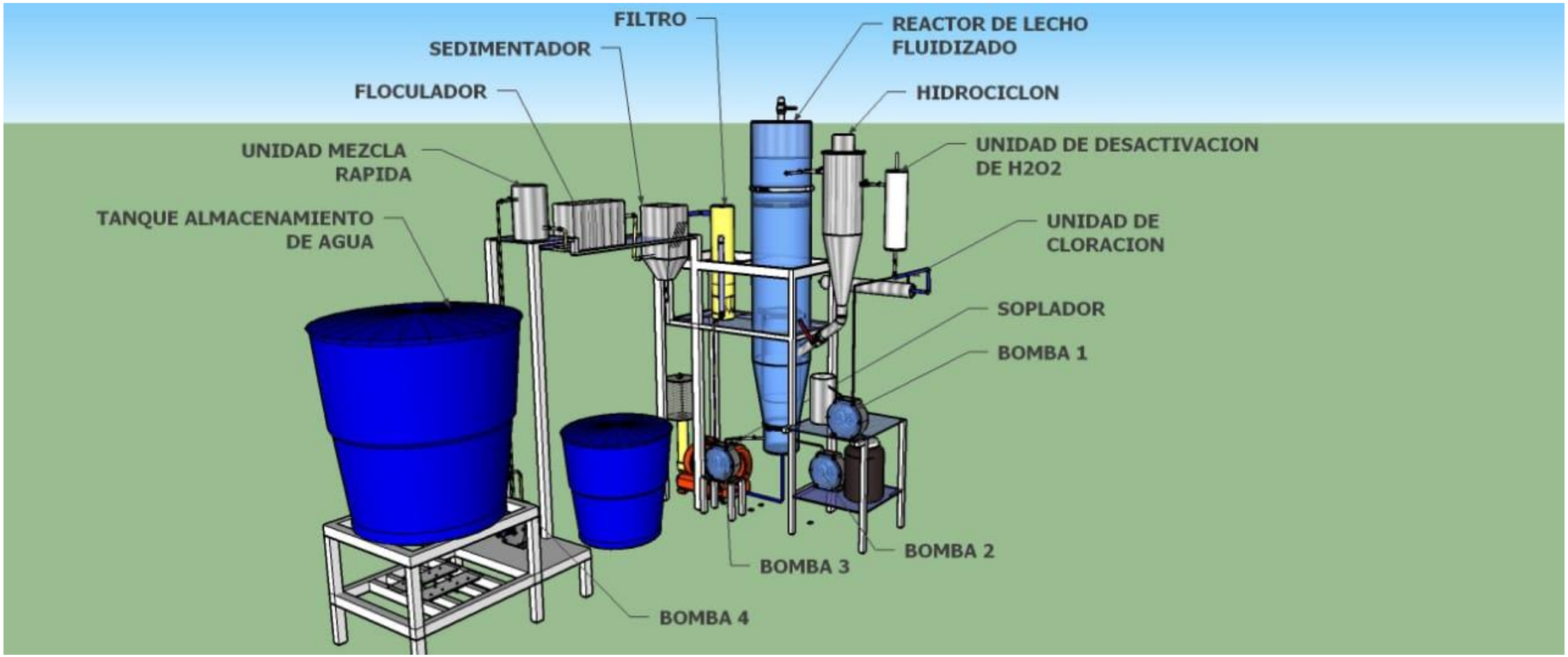
Los equipos necesarios para realizar el control de variables dentro del proceso se listan a continuación

EQUIPOS DE MONITOREO	
EQUIPO	**CARACTERÍSTICAS**
Sensor de temperatura Aplicaciones de tratamiento de agua	Sonda de inmersión en tanque Opciones de salida: 4-20 mA o VDC Interfaz para control por computadora Análogo o digital Tensión de alimentación: 5 a 24 VCD Intervalo de medición: ≥ 1min Rango de presión ≥ 1 bar Rango de temperatura de operación: 2-40°C Cables de conexión
Sensor de peróxido de hidrógeno Aplicaciones de tratamiento de agua	Sonda para instalación en tubería Opciones de salida: 4-20 mA o VDC Interfaz para control por computadora Análogo o digital Tensión de alimentación: 5 a 24 VCD Intervalo de medición: ≥ 1min Rango de presión ≥ 1 bar Rango de temperatura de operación: 2-40°C Cables de conexión
Sensor de pH Aplicaciones de tratamiento de agua	Sonda de inmersión en tanque Opciones de salida: 4-20 mA o VDC Interfaz para control por computadora Análogo o digital Rango de pH: 1 a 12 Tensión de alimentación: 5 a 24 VCD Intervalo de medición: ≥ 1min Rango de presión ≥ 1 bar Rango de temperatura de operación: 2-60°C Cables de conexión

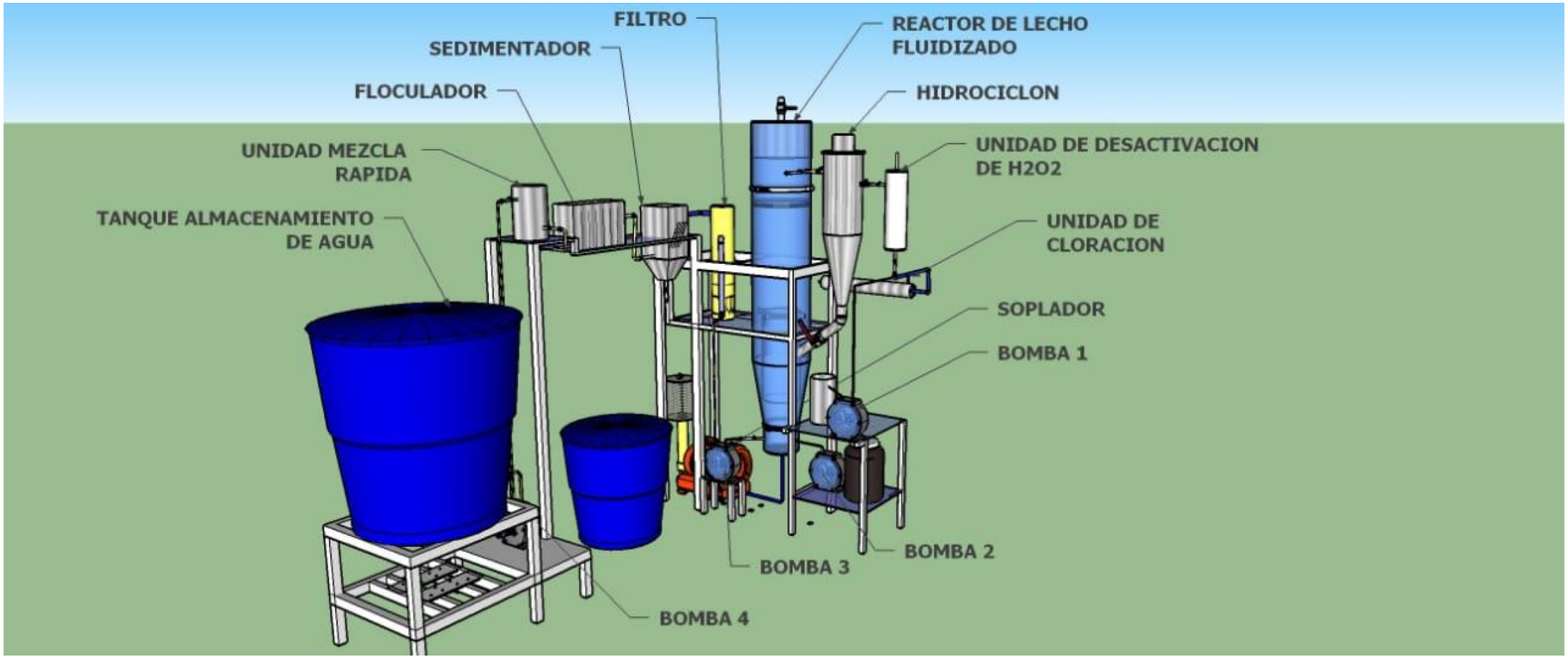
Sensor de turbiedad Aplicaciones de tratamiento de agua	Sonda para instalación en tubería Opciones de salida: 4-20 Ma o VDC Interfaz para control por computadora Análogo o digital Tensión de alimentación: 12 a 24 VCD Rango de caudal: 300 a 1200 mL/min Intervalo de medición: ≥ 1min Rango de presión ≥ 1 bar Rango de temperatura de operación: 2-60°C Cables para conexión
Computador	Intel Core i7-7500U/ RAM 16GB/ DISCO DURO 1 tera/ tamaño de pantalla 15,6 "
EQUIPO DE CONTROL	
EQUIPO	**CARACTERÍSTICAS**
Bomba peristáltica Regulación de caudal de entrada de agua contaminada	Caudal de control entre 300 a 1200 mL/min +-1 ml/min, Salida a interfaz de control por computadora Presión para vencer 2,2 metros de columna de agua Cables de conexión y alimentación
Bomba peristáltica Regulación de caudal de entrada de peróxido de hidrógeno	Caudal de control entre 0,5 a 5 mL/min +-0,2 ml/min Salida a interfaz para control mediante computadora Presión para vencer 2,2 metros de columna de agua Cables de conexión y alimentación
Válvula de control Entrada de aire	Electroválvula Caudal entre 50 L/min a 250 L/min +- 2 L/min Entrada desde interfaz de control mediante computadora Cables de conexión y alimentación
Bomba peristáltica Regulación de caudal de coagulante	Caudal de control entre 0,5 a 5 mL/min +-0,2 ml/min Salida a interfaz para control mediante computadora Presión para vencer 2,2 metros de columna de agua Cables de conexión y alimentación

ANEXO II

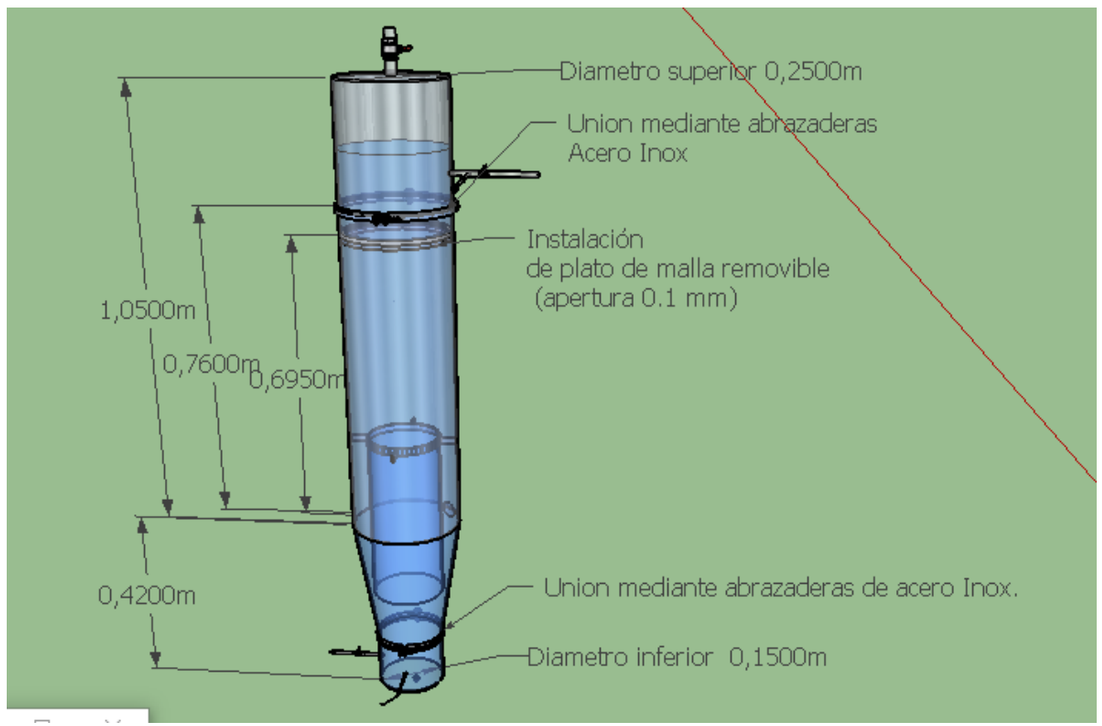
PLANOS DEL PROTOTIPO ESCALA BENCH

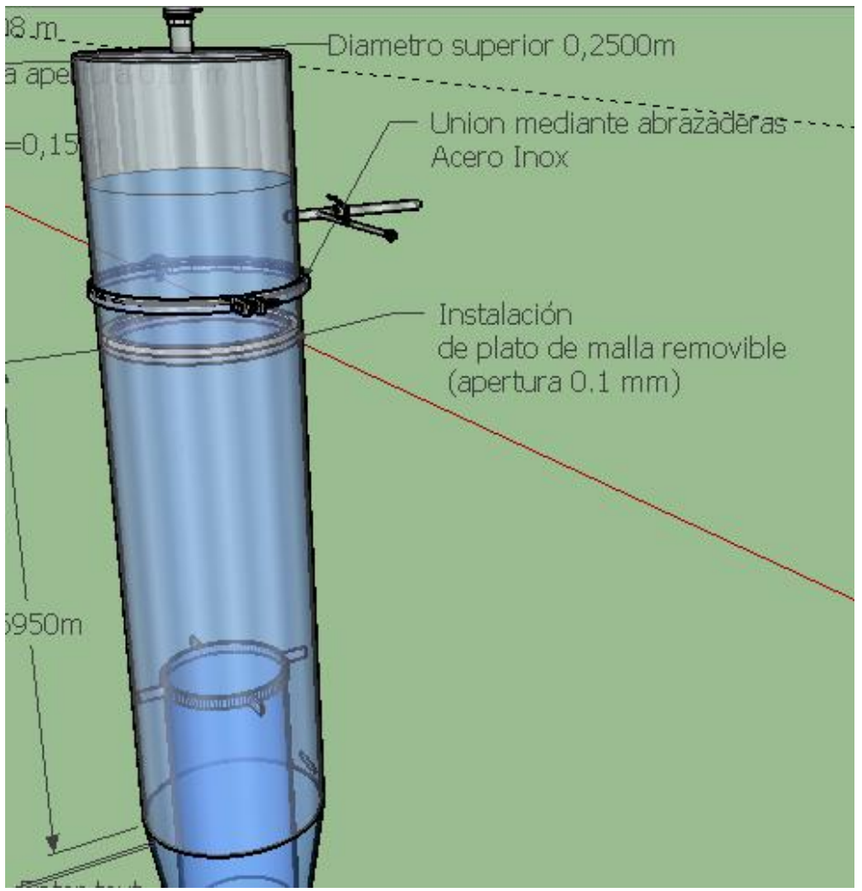


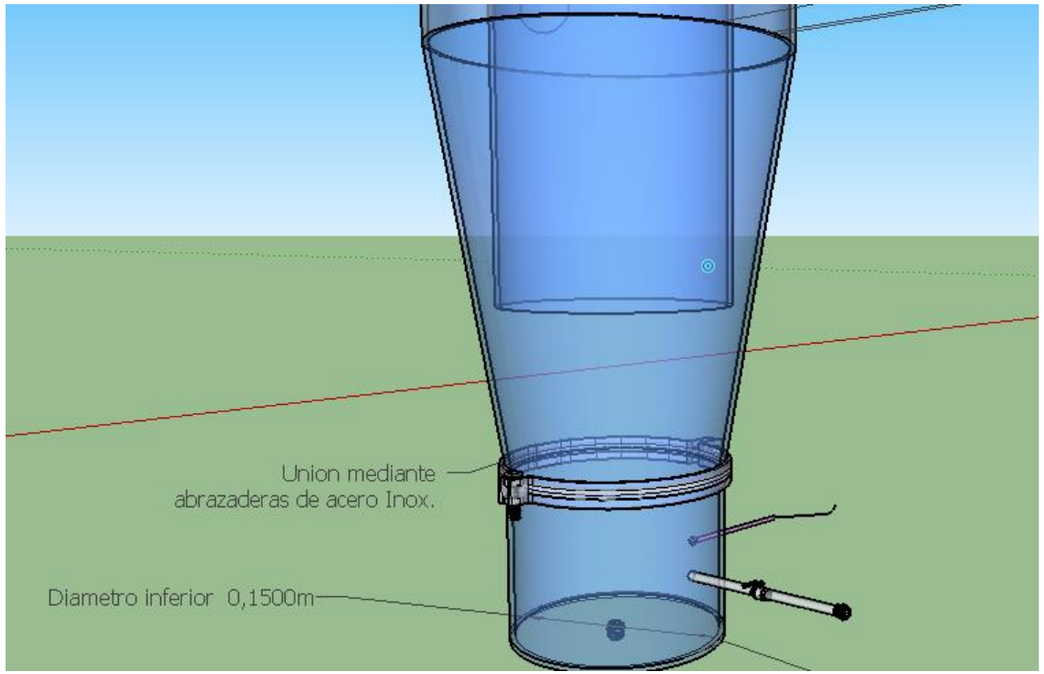
PLANOS UNIDAD EXPERIMENTAL DE ESCALAMIENTO DE TECNOLOGÍAS DE OXIDACIÓN AVANZADA A 50

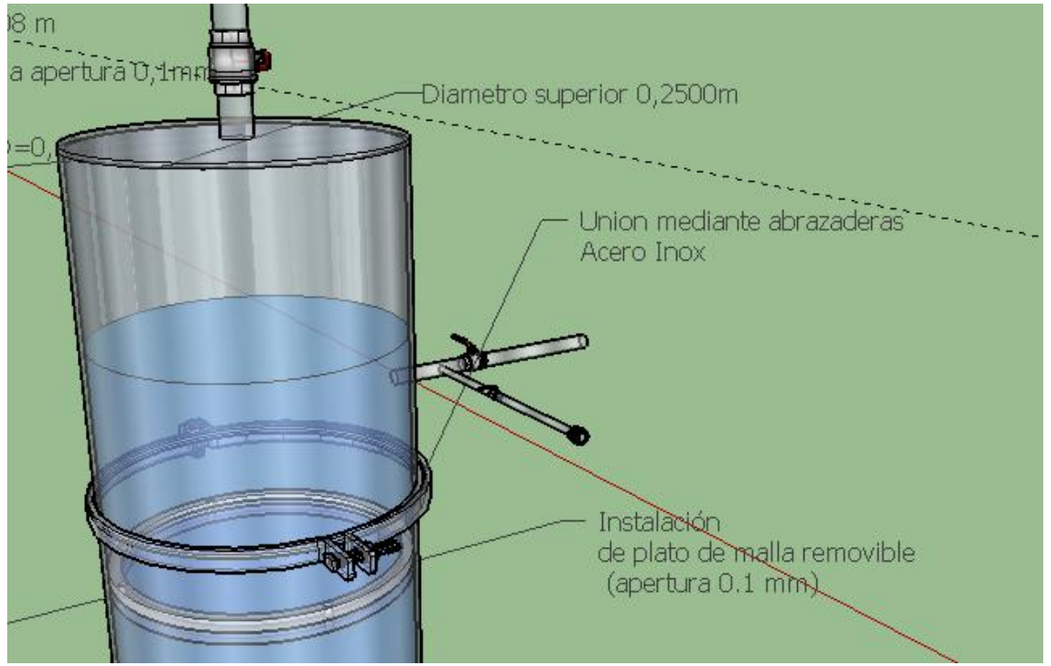


REACTOR DE LECHO FLUIDIZADO

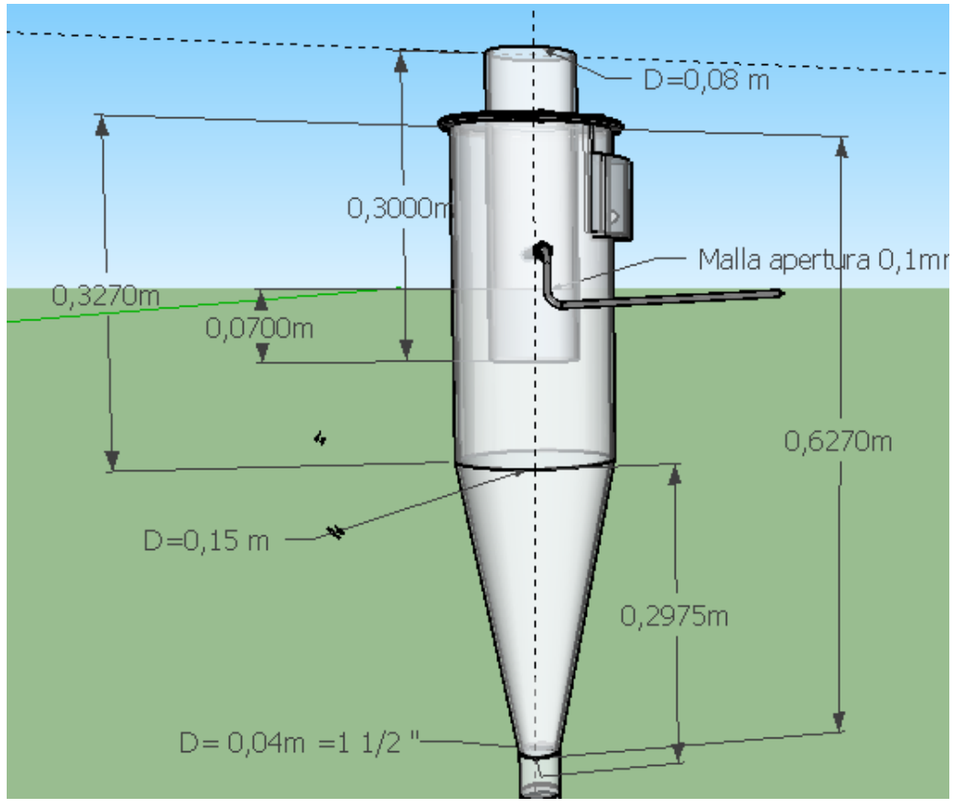


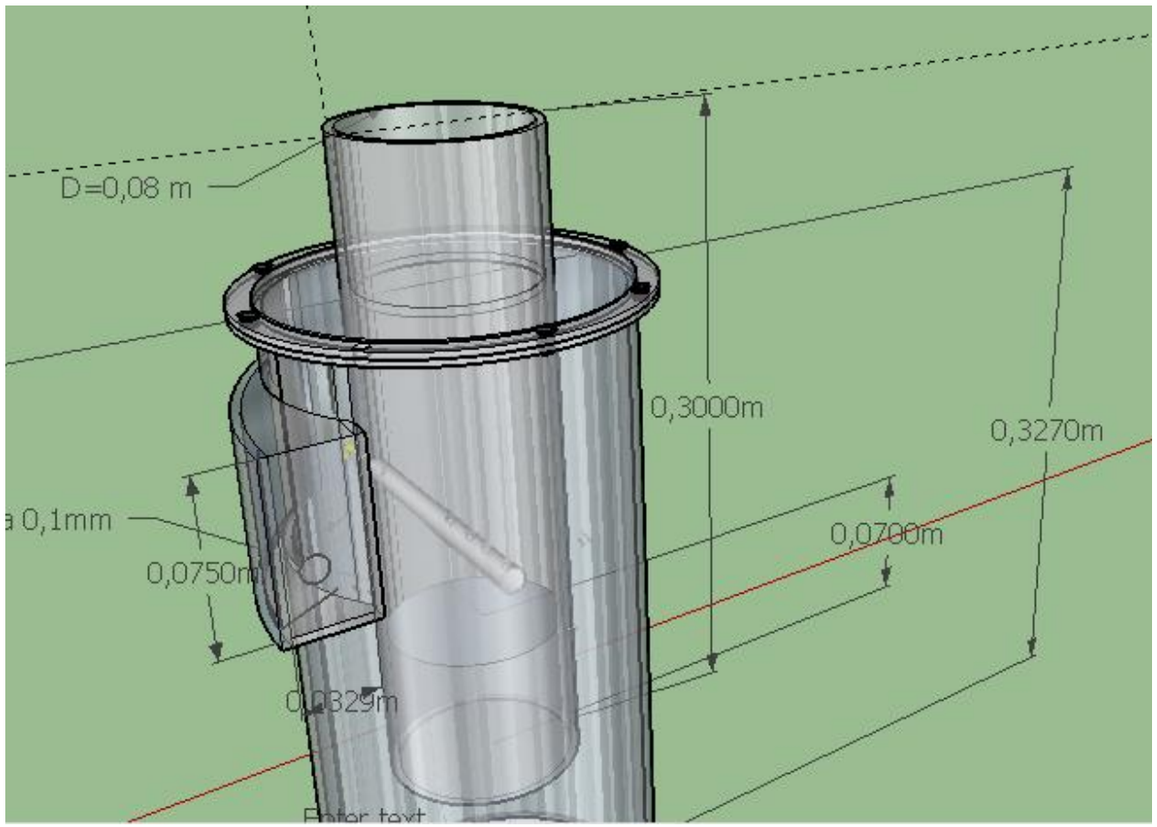


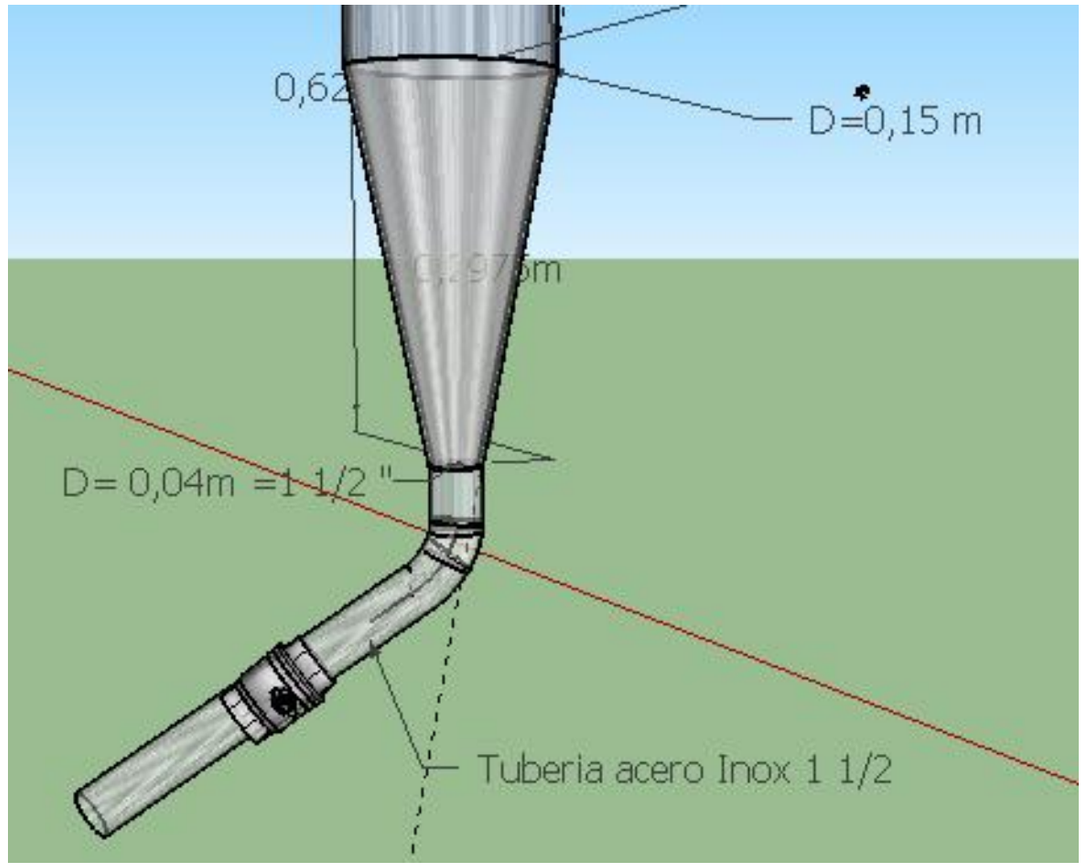

Union mediante
abrazaderas de acero Inox.
Diametro inferior 0,1500m


Diametro superior 0,2500m
Union mediante abrazaderas
Acero Inox
Instalación
de plato de malla removible
(apertura 0.1 mm)

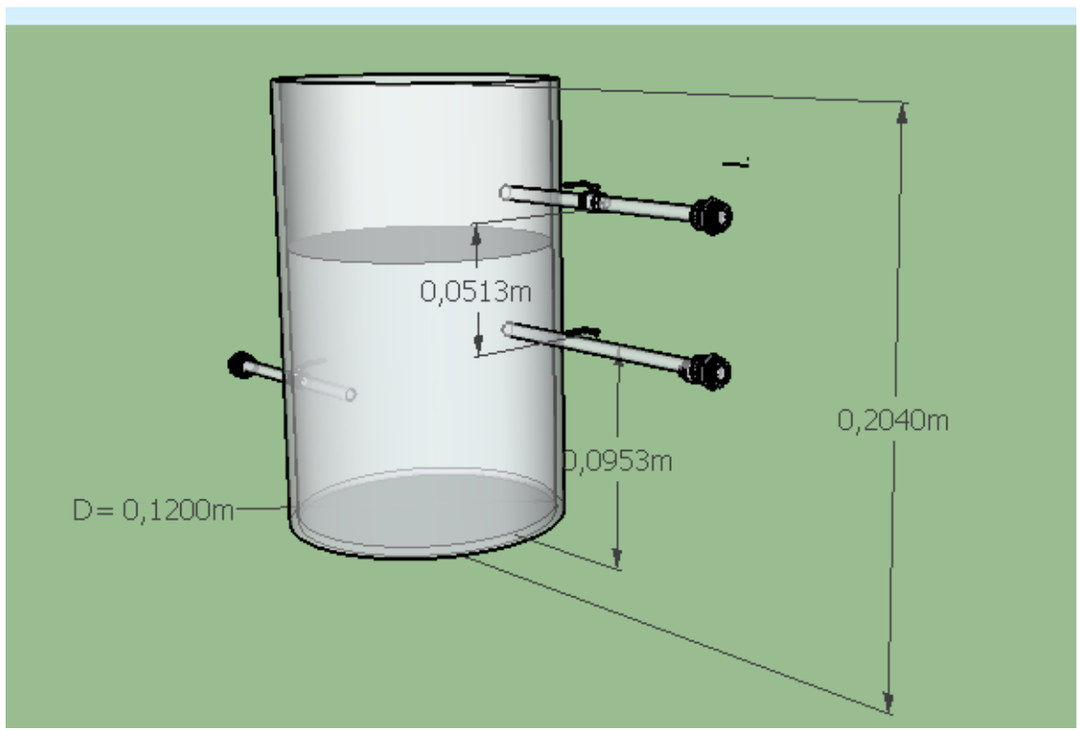
HIDROCICLÓN

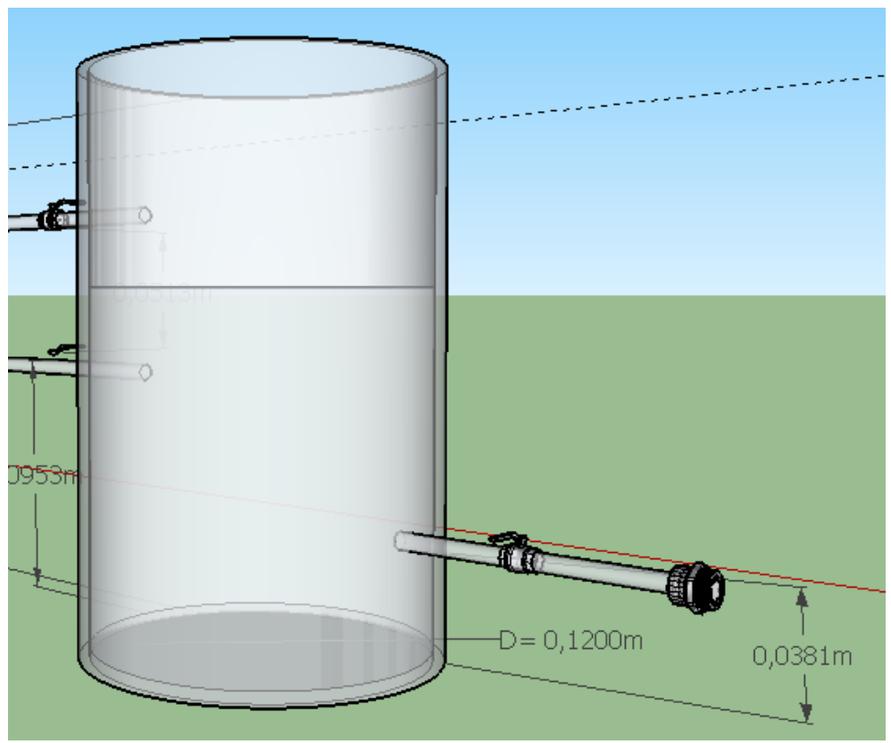



D=0,08 m
0,3000m
0,3270m
a 0,1mm
0,0750m
0,0700m
0,0329m

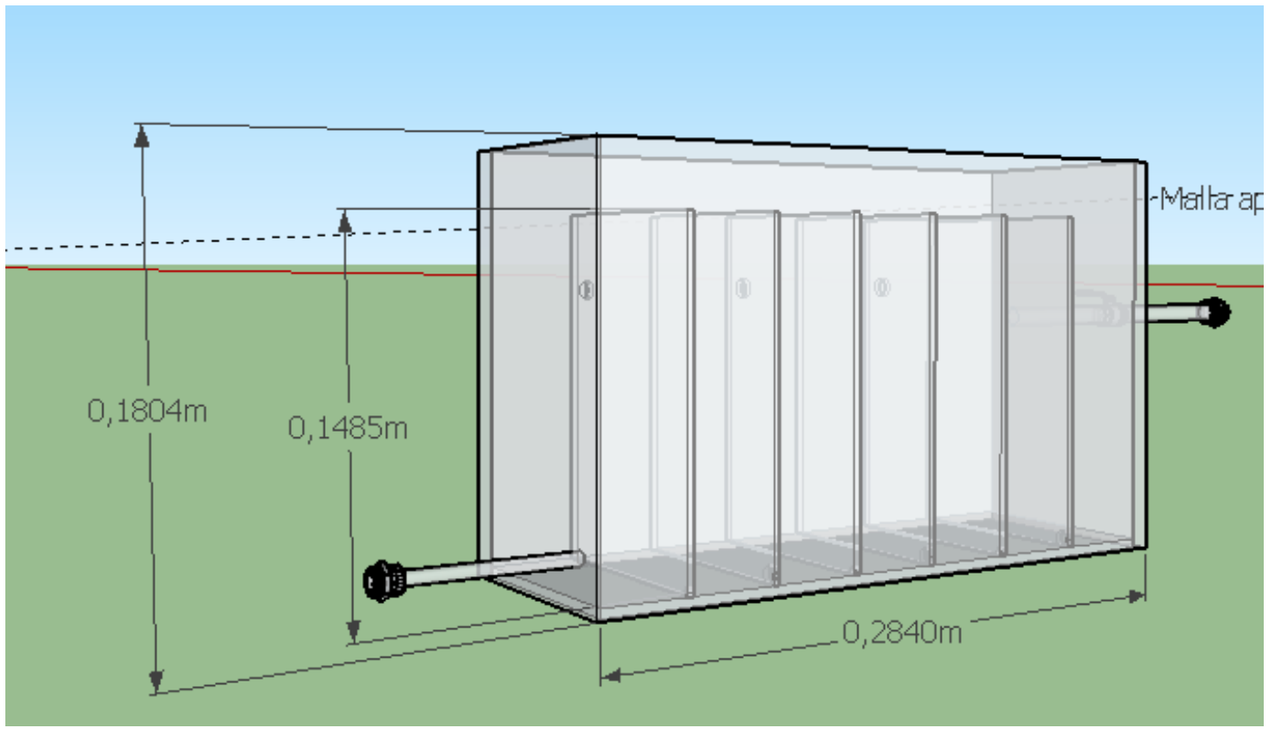

0,62
D=0,15 m
D= 0,04m =1 1/2 "
Tuberia acero Inox 1 1/2

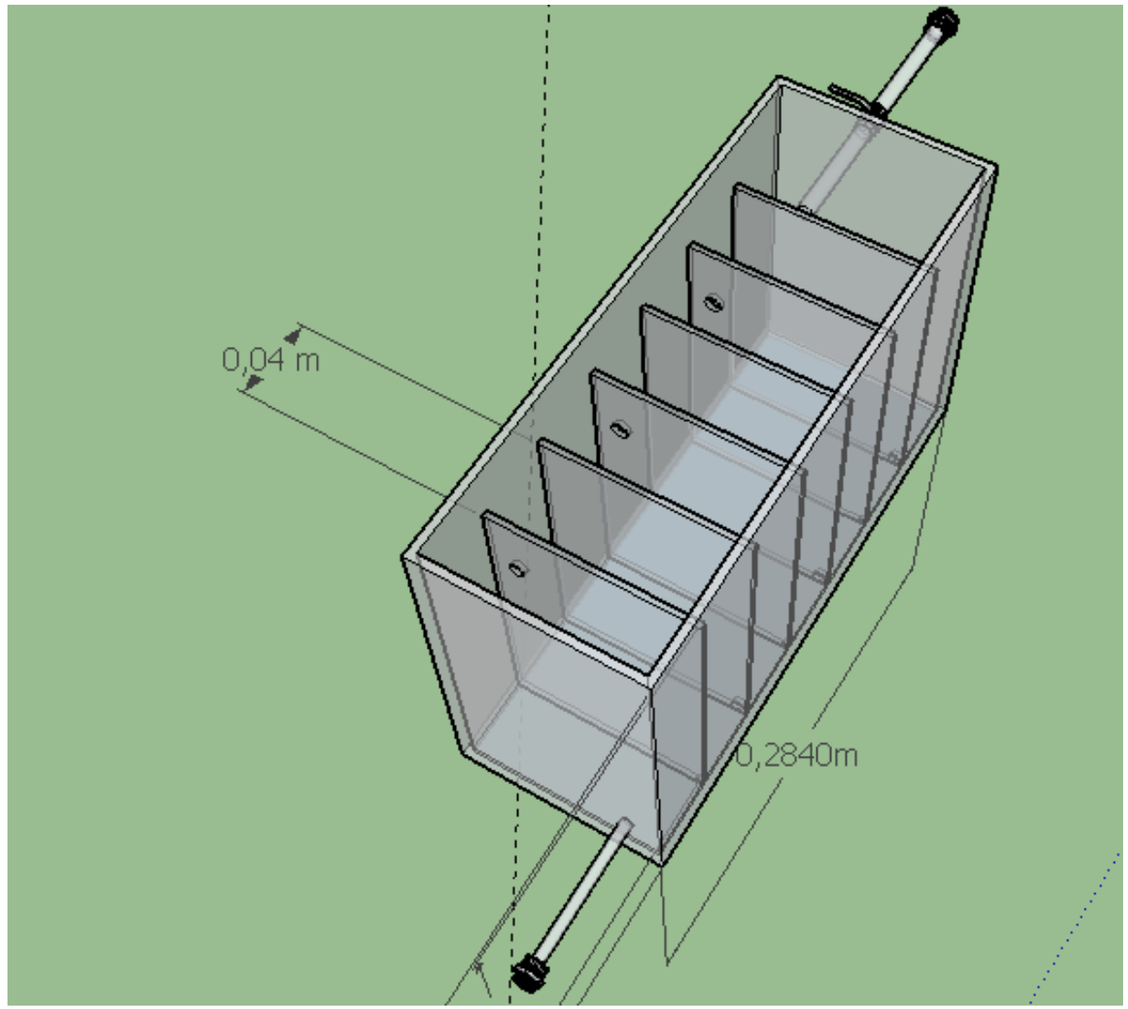
UNIDAD DE MEZCLA RÁPIDA



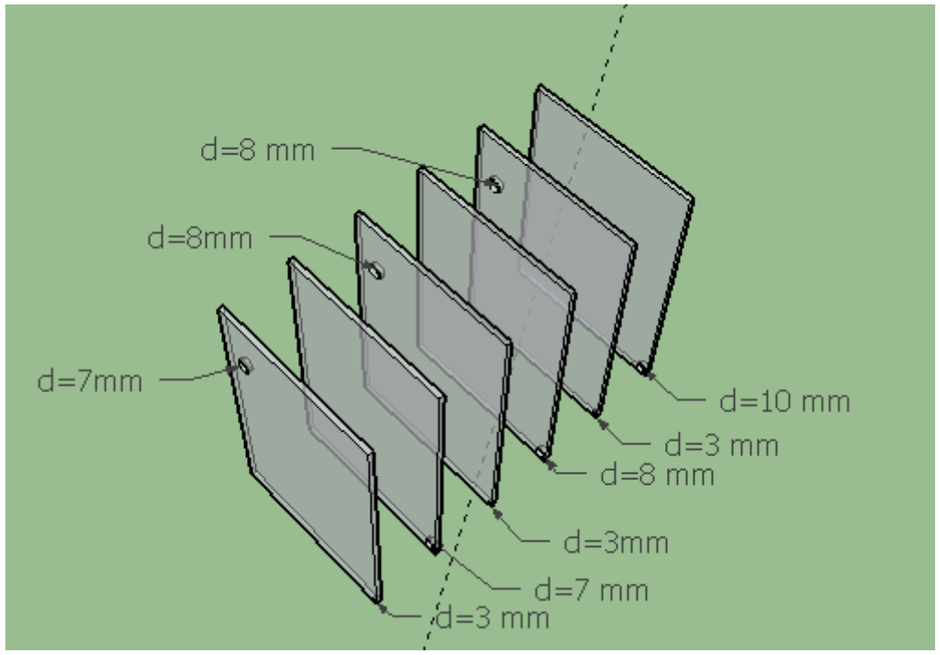


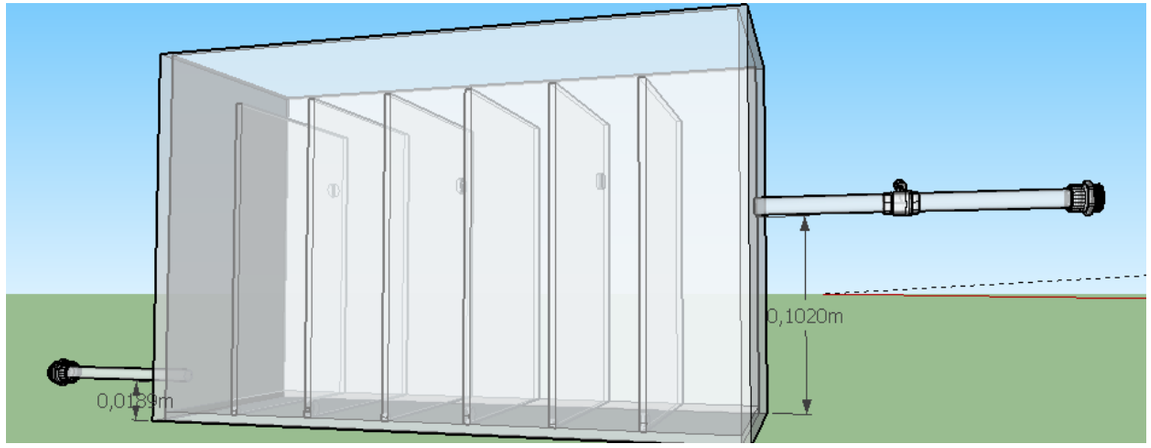
FLOCULADOR



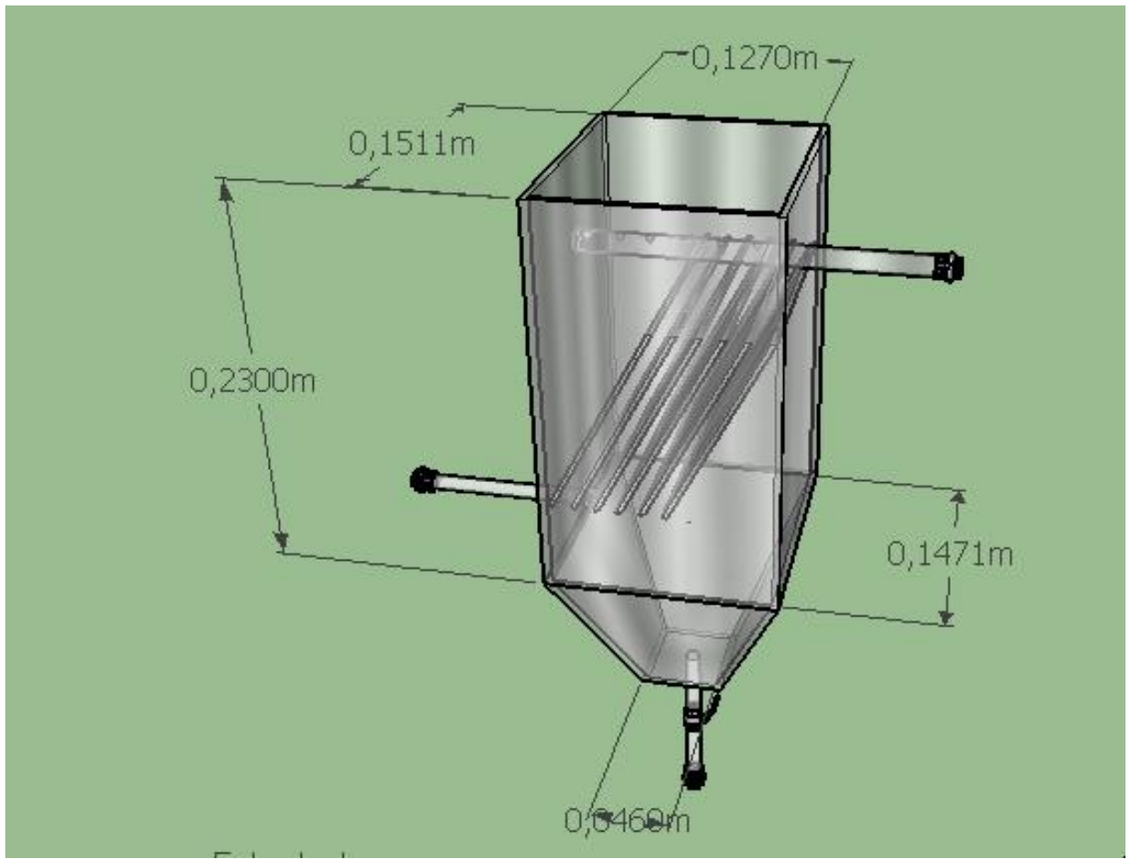

0,04 m
0,2840m

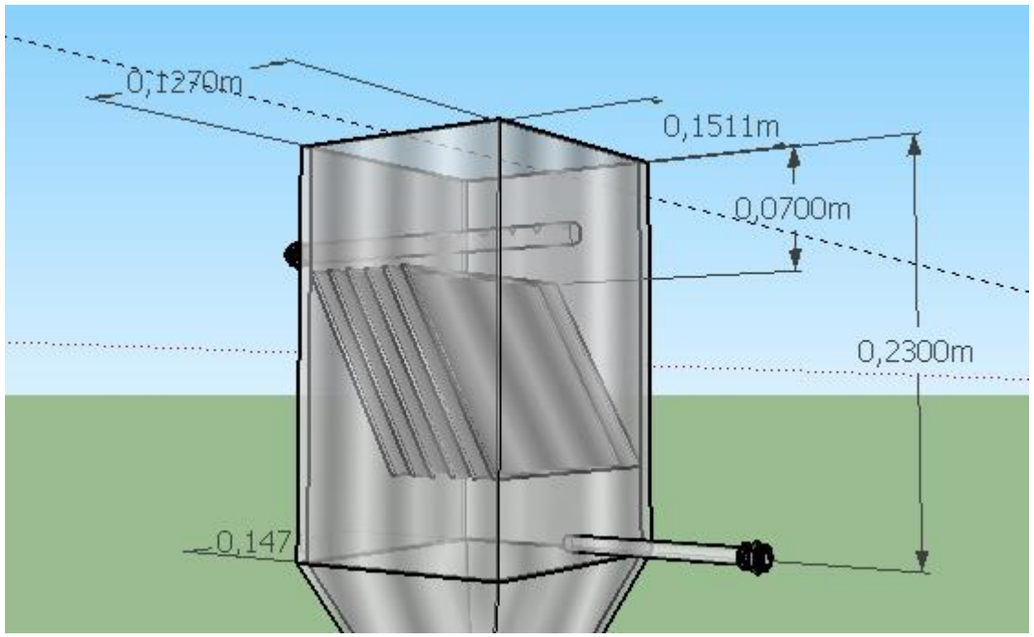
Las perforaciones de las placas de 3 mm de espesor deben ajustarse a las dimensiones mostradas en el plano.

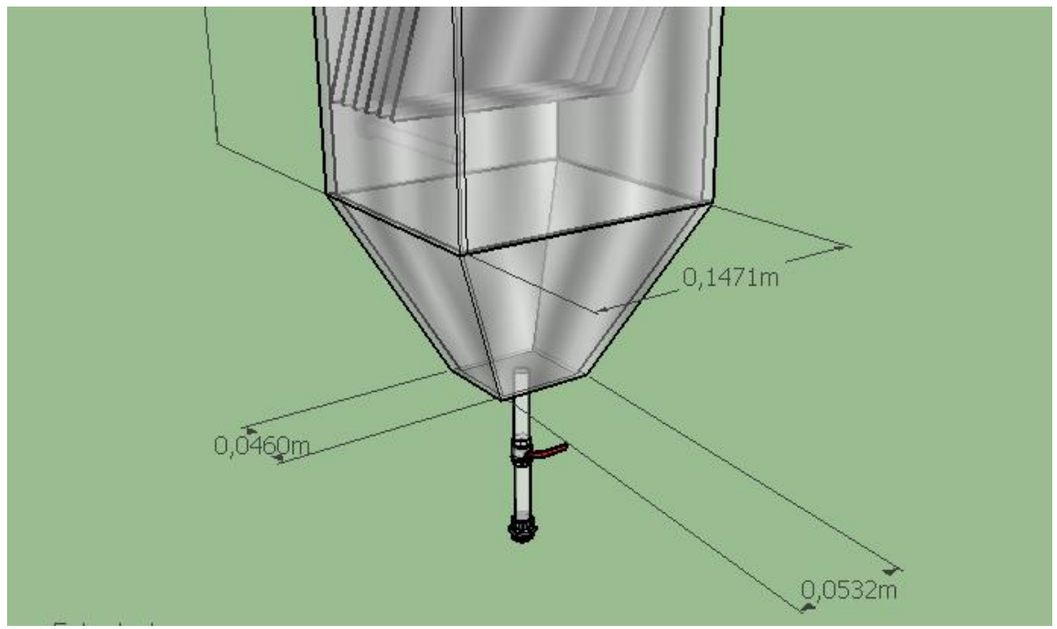




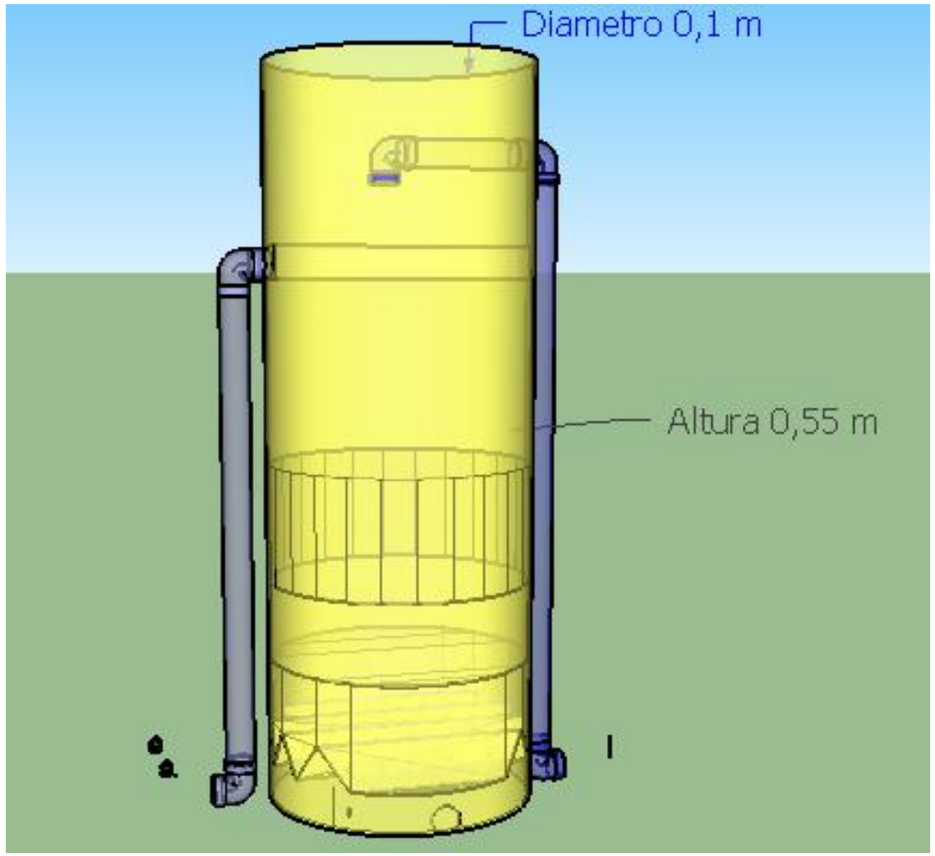
SEDIMENTADOR

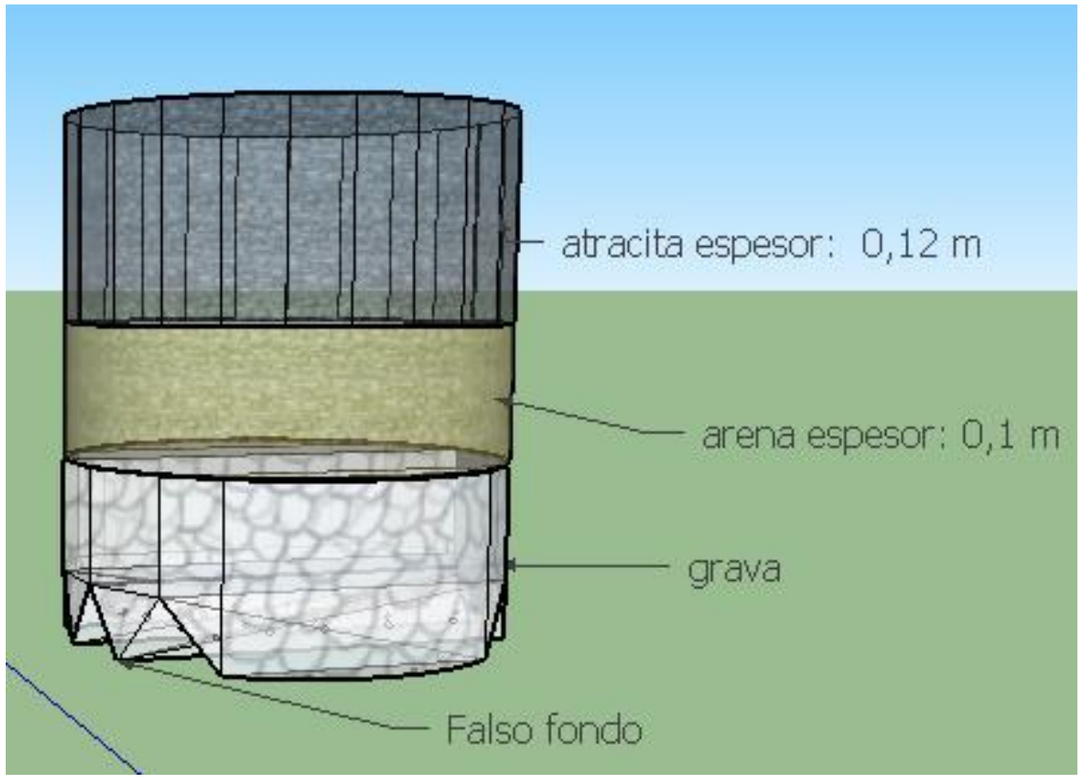


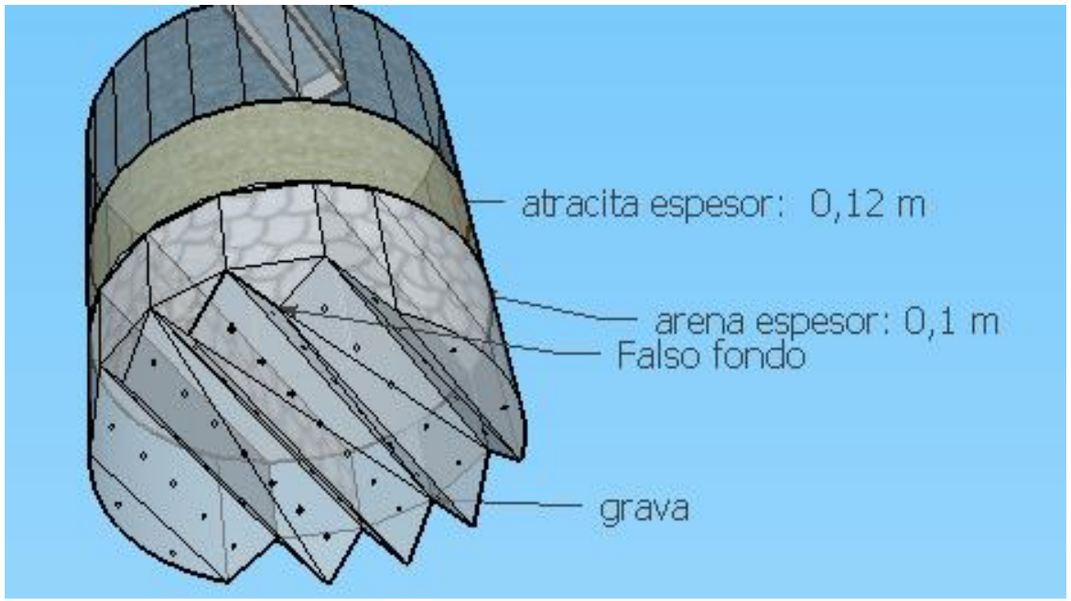

0,1270m
0,1511m
0,0700m
0,2300m
0,147

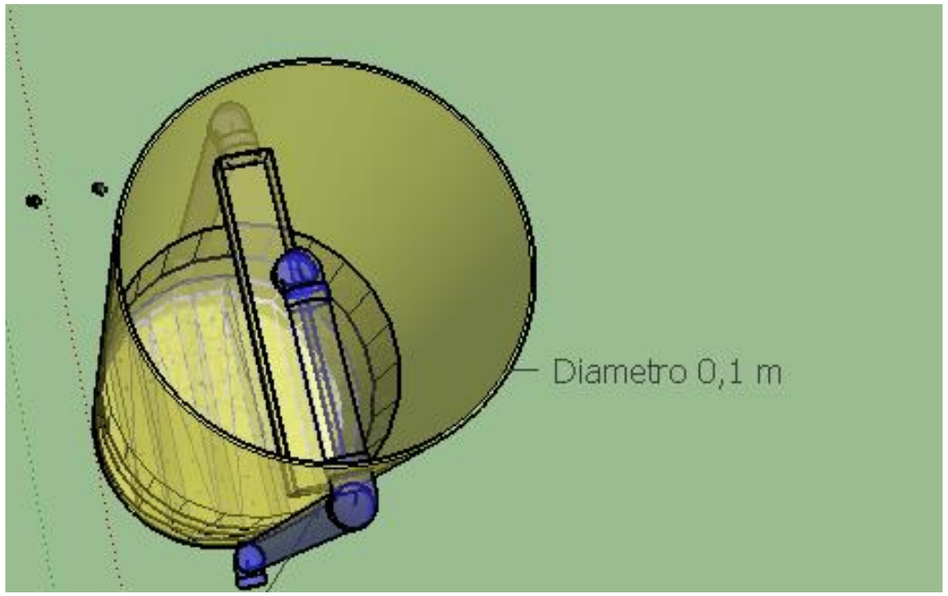

0,1471m
0,0460m
0,0532m

FILTRO

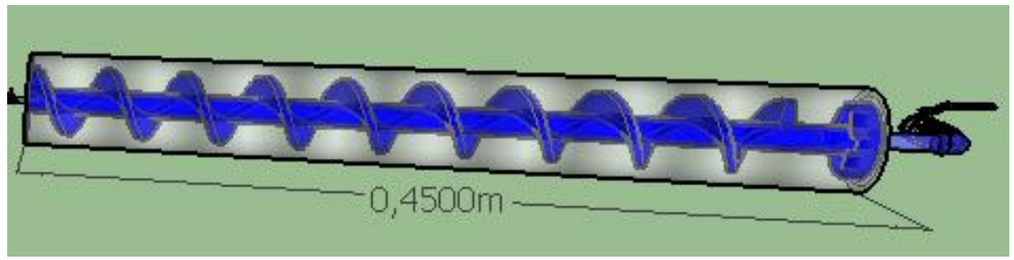


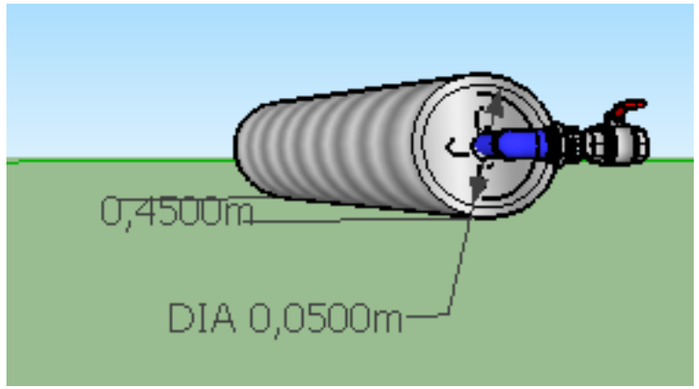

atracita espesor: 0,12 m
arena espesor: 0,1 m
grava
Falso fondo

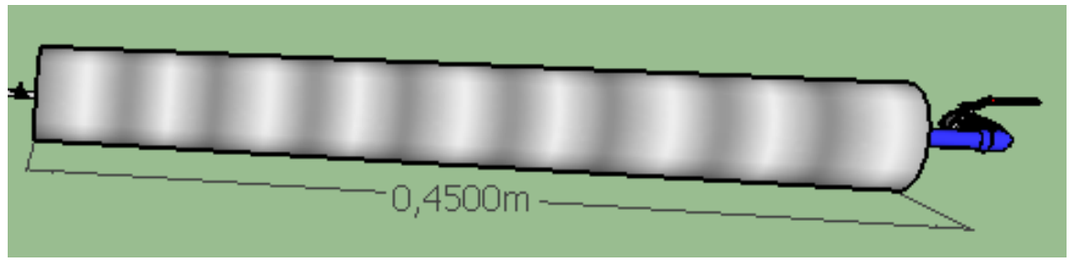

atracita espesor: 0,12 m
arena espesor: 0,1 m
Falso fondo
grava


Diametro 0,1 m

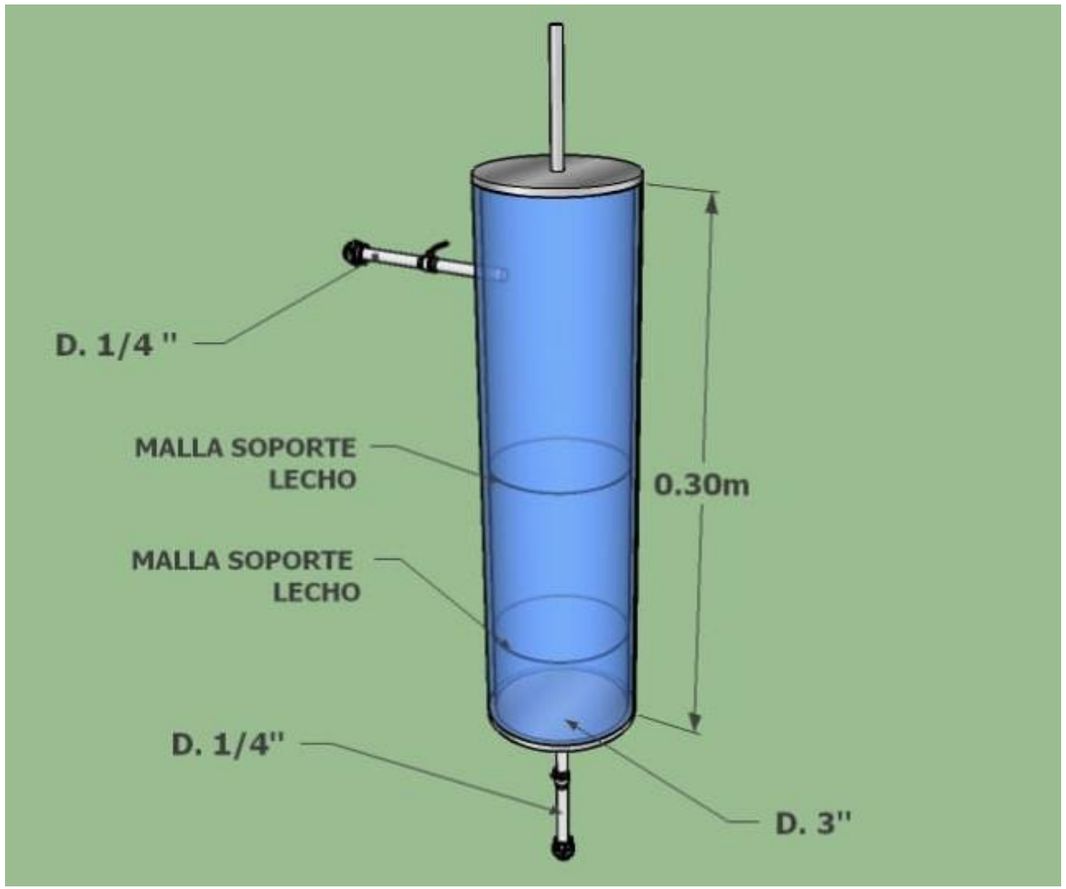
UNIDAD DE CLORACIÓN



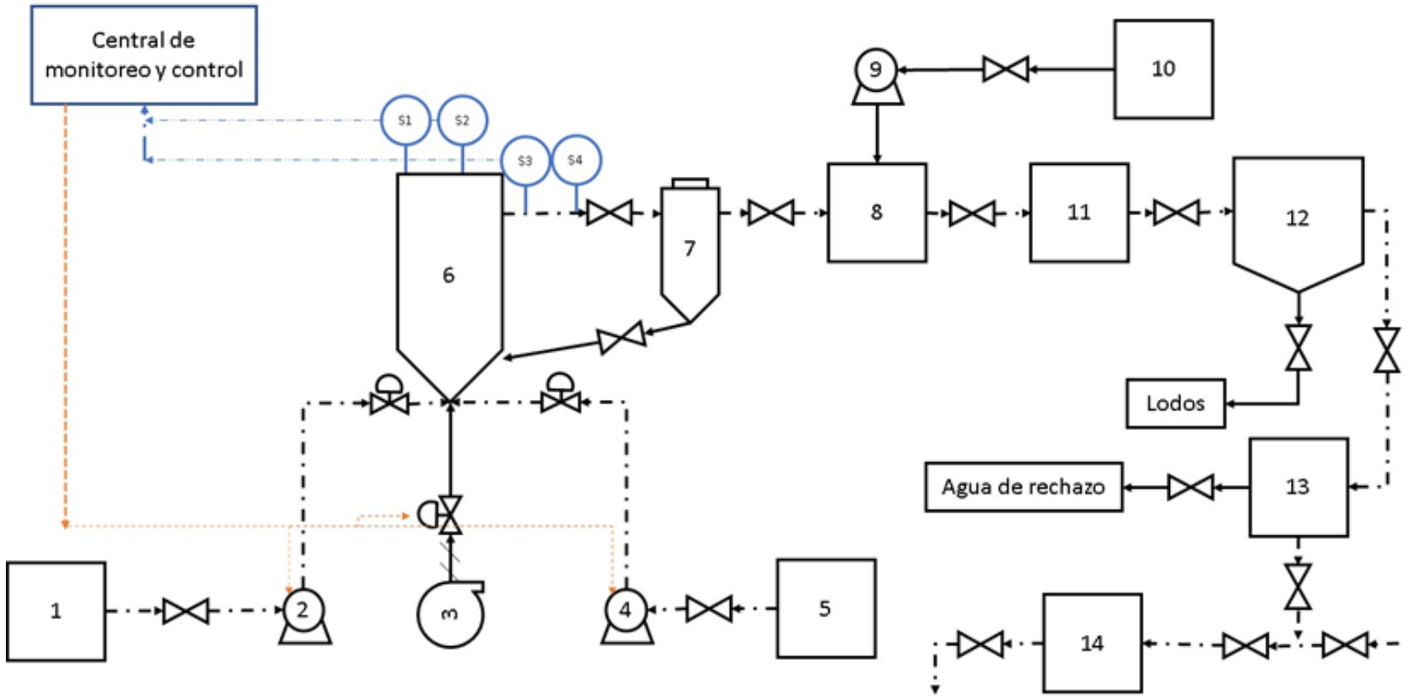




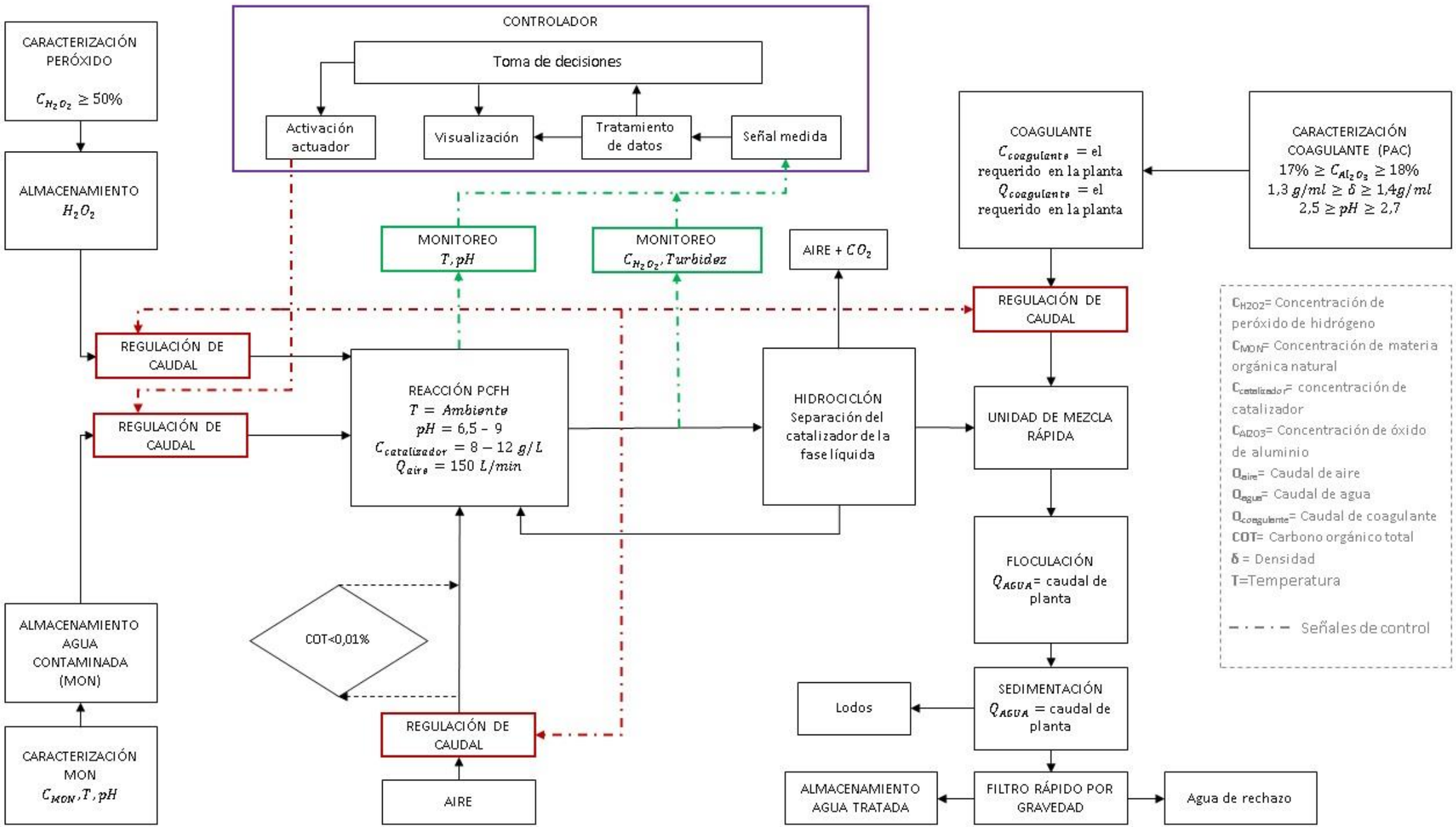
UNIDAD DE DESACTIVACION DEL PERÓXIDO DE HIDROGENO



SISTEMA DE CONTROL



CONVENCIONES	
1	Tanque de agua cruda
2	Bomba peristáltica para agua cruda
3	Soplador
4	Bomba peristáltica para peróxido de hidrógeno
5	Tanque de peróxido de hidrógeno
6	Reactor de lecho fluidizado
7	Hidrociclón
8	Unidad de mezcla rápida
9	Bomba peristáltica para coagulante
10	Tanque de coagulante
11	Floculador
12	Sedimentador
13	Filtro
14	Tanque de agua tratada
	Línea de agua
	Línea de aire
	Línea de proceso
	Válvula
	Válvula de control
S1	Sensor de temperatura
S2	Sensor de pH
S3	Sensor de peróxido de hidrogeno
S4	Sensor de turbidez
	Bus señales de monitoreo
	Señal de monitoreo
	Bus señales de control
	Señal de control


CONTROLADOR
Toma de decisiones
Activación actuador
Visualización
Tratamiento de datos
Señal medida
CARACTERIZACIÓN PERÓXIDO
$C_{H_2O_2} \geq 50\%$
ALMACENAMIENTO H_2O_2
MONITOREO T, pH
MONITOREO $C_{H_2O_2}, Turbidez$
AIRE + CO_2
COAGULANTE $C_{coagulante}$ = el requerido en la planta $Q_{coagulante}$ = el requerido en la planta
CARACTERIZACIÓN COAGULANTE (PAC)
$17\% \geq C_{Al_2O_3} \geq 18\%$
$1{,}3\ g/ml \geq \delta \geq 1{,}4 g/ml$
$2{,}5 \geq pH \geq 2{,}7$
REGULACIÓN DE CAUDAL
REGULACIÓN DE CAUDAL
REGULACIÓN DE CAUDAL
REACCIÓN PCFH
$T = Ambiente$
$pH = 6{,}5 - 9$
$C_{catalizador} = 8 - 12\ g/L$
$Q_{aire} = 150\ L/min$
HIDROCICLÓN Separación del catalizador de la fase líquida
UNIDAD DE MEZCLA RÁPIDA
FLOCULACIÓN Q_{AGUA}= caudal de planta
SEDIMENTACIÓN Q_{AGUA} = caudal de planta
Lodos
FILTRO RÁPIDO POR GRAVEDAD
ALMACENAMIENTO AGUA TRATADA
Agua de rechazo
COT<0,01%
REGULACIÓN DE CAUDAL
AIRE
ALMACENAMIENTO AGUA CONTAMINADA (MON)
CARACTERIZACIÓN MON C_{MON}, T, pH
C_{H2O2}= Concentración de peróxido de hidrógeno
C_{MON}= Concentración de materia orgánica natural
$C_{catalizador}$= concentración de catalizador
C_{Al2O3}= Concentración de óxido de aluminio
Q_{aire}= Caudal de aire
Q_{agua}= Caudal de agua
$Q_{coagulante}$= Caudal de coagulante
COT= Carbono orgánico total
δ = Densidad
T=Temperatura
Señales de control