



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS EN COLUMNA  
PARA EL ANÁLISIS DE SUSTANCIAS REACTIVAS EN CONDICIONES  
DINÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

---

**AUTOR:** Brito Chagcha Karen Beatriz

Núñez Cruz William Steve

**TUTOR:** Ing. Mayacela Rojas Celia Margarita PhD.

**AMBATO-ECUADOR**

**Marzo - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema “**DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS EN COLUMNA PARA EL ANÁLISIS DE SUSTANCIAS REACTIVAS EN CONDICIONES DINÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**”, elaborado por la Srta. Brito Chagcha Karen Beatriz portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1803148855 y el Sr. Núñez Cruz William Steve portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0502977242, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Marzo 2021

---

**Ing. Mayacela Rojas Celia Margarita PhD.**  
**TUTORA**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Brito Chagcha Karen Beatriz con C.I. 1803148855 y Núñez Cruz William Steve con C.I. 0502977242, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema “**DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS EN COLUMNA PARA EL ANÁLISIS DE SUSTANCIAS REACTIVAS EN CONDICIONES DINÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**”, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Marzo 2021



---

**Brito Chagcha Karen Beatriz**  
**C.I. 1803148855**  
**AUTORA**



---

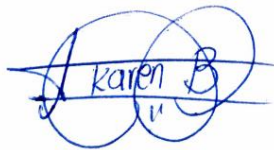
**Núñez Cruz William Steve**  
**C.I. 0502977242**  
**AUTOR**

## DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Marzo 2021



---

**Brito Chagcha Karen Beatriz**  
**C.I. 1803148855**  
**AUTORA**



---

**Núñez Cruz William Steve**  
**C.I. 0502977242**  
**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Brito Chagcha Karen Beatriz y Núñez Cruz William Steve, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS EN COLUMNA PARA EL ANÁLISIS DE SUSTANCIAS REACTIVAS EN CONDICIONES DINÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

Ambato, Marzo 2020

Para constancia firman:

-----  
**Ing. Guevara Robalino Jorge Javier**  
**Miembro Calificador**

-----  
**Ing. Byron Genaro Cañizares Proaño**  
**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto y toda mi carrera universitaria se la dedico a los principales pilares de mi vida, a mis queridos padres, por ser mi ejemplo, por su esfuerzo y apoyo incondicional diario, por sus consejos y palabras de aliento, por su comprensión y amor me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, por enseñarme a ser perseverante y no dejarme derrotar cuando había dificultades, este logro es de ustedes como forma de gratificación por su paciencia y dedicación.

Con mucho cariño también le dedico este logro a mis dos angelitos, mis abuelitos, por estar siempre pendiente de mí, y más aún a mi abuelita que vivió gran parte de este proceso junto a mí, por las bendiciones de todas las mañanas y las oraciones de todos los días.

A mis hermanos por estar en los momentos más importantes, por ayudarme cuando los necesite, por su tiempo y su apoyo en momentos difíciles. Este logro también es de ustedes.

A mi familia por apoyarme, por estar presentes, por permanecer siempre unidos.

A mis amigos y compañeros que conocí a lo largo de la carrera, con quienes he compartido las mejores experiencias de mi vida.

Brito Chagcha Karen Beatriz

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por brindarles salud a mis padres Ricardo y Mirian, a mis hermanos Andrés, Pablo y Doménica para que puedan celebrar conmigo este escalón más que logro en mi vida.

Gracias a ti papá por ser de carácter fuerte y nunca dejarme desmayar, por ayudarme a resolver mis dificultades y siempre estar para mí, a ti mamá por ser tan comprensible y regalarme un abrazo cuando más lo necesite. Muchas gracias por inculcarme valores, por formarme como una persona íntegra y honesta, valores fundamentales para ejercer mi profesión.

Agradezco infinitamente a toda mi familia por apoyarme en todas las etapas de mi vida y nunca dejarme sola, en especial a mi tío y mi guía Ing. Holguer Chagcha por sus consejos, por compartir su conocimiento, por la paciencia y por brindarme muchas oportunidades para aprender de esta bonita profesión.

Gracias a los docentes del área de hidráulica a mi tutora Ing. Margarita Mayacela y al Ing. Lenin Maldonado por su apoyo incondicional durante la época de pandemia, por contribuir con su tiempo y conocimiento para la obtención del proyecto.

Brito Chagcha Karen Beatriz

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación, así como los futuros éxitos en mi carrera profesional, están dedicados a mis padres, Celso y Maggy, por ser ejemplo de sacrificio, esfuerzo y dedicación, por su paciencia y fe en mí durante toda mi vida y darme las fuerzas e inspiración de seguir durante los momentos difíciles para nunca rendirme y cumplir con mis objetivos.

A mis abuelitos, mi mamita Ceci, mi papito Ángel, mi mamita Leonor y mi abuelito Celso, que me con tanto cariño han hecho de mí una persona de bien y para el servicio a los demás, que me han apoyado de sobremanera durante todo este largo proceso de formación y siguen siendo un pilar importante y son mi ejemplo a seguir.

A mi ñaña Tami, por todo el cariño y apoyo brindado, que es y siempre será una prioridad en mi vida y una razón más para seguir adelante.

A toda mi familia, que siempre ha estado pendiente de mí y que ha permanecido unida, aportando en el logro de cada uno.

Núñez Cruz William Steve



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme una oportunidad cada día de cumplir con este gran objetivo de vida, por la salud y la fuerza para continuar con mi vida profesional y por permitirme seguir aprendiendo y mejorando cada día.

Agradezco a toda mi familia, a mis papás, a mi ñaña, a mis abuelitos y primos, por siempre brindarme apoyo, por ese consejo en tiempos difíciles, por esos abrazos y palabras de aliento y por nunca perder la esperanza y la fe de convertirme en un profesional.

A mis amigos Mau, Naty, Wilo, David, Gaby, Celena, Dey, Andrés, Danny, Tefita y Pancho, quienes me han apoyado a lo largo de todo este proceso, en los buenos y malos momentos y que con sus enseñanzas han hecho de mí una mejor persona.

Agradezco a mi compañera de tesis Karen, por todo el apoyo, confianza y dedicación mutua que hizo posible el alcanzar este objetivo en común.

Agradecer infinitamente a mi tutora Ing. Margarita Mayacela y al Ing. Lenin Maldonado por todo el apoyo, consejos y sabiduría brindada, por el tiempo y la dedicación mutua que permitió la realización de este proyecto.

Núñez Cruz William Steve

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación.....	4
1.1.3. Normativa.....	6
1.1.4. Fundamentación teórica .....	10
1.1.4.1. Tratamiento de Aguas Residuales.....	10
1.1.4.2. Propiedades físicas y químicas del agua residual .....	11
1.1.4.2.1. Aceites y grasas .....	11
1.1.4.2.2. Organismos patógenos .....	11
1.1.4.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	12
1.1.4.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO).....	12
1.1.4.2.5. Potencial de hidrógeno .....	12

1.1.4.2.6.	Sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos .....	13
1.1.4.2.7.	Tensoactivos .....	13
1.1.4.3.	Tren de tratamiento de Aguas Residuales.....	14
1.1.4.3.1.	Tratamiento preliminar .....	15
1.1.4.3.2.	Tratamiento primario.....	15
1.1.4.3.3.	Tratamiento secundario .....	16
1.1.4.3.4.	Tratamiento terciario .....	16
1.1.4.4.	Filtración.....	17
1.1.4.4.1.	Mecanismos de remoción .....	18
1.1.4.4.1.1.	Cernido .....	18
1.1.4.4.1.2.	Sedimentación .....	18
1.1.4.4.1.3.	Intercepción .....	18
1.1.4.4.1.4.	Adhesión.....	18
1.1.4.4.1.5.	Floculación .....	18
1.1.4.4.2.	Sustancias reactivas filtrantes.....	20
1.1.4.4.3.	Arena .....	20
1.1.4.4.3.1.	Tamaño específico.....	20
1.1.4.4.3.2.	Coefficiente de uniformidad .....	21
1.1.4.4.3.3.	Porosidad .....	21
1.1.4.4.3.4.	Esfericidad.....	22
1.1.4.4.3.5.	Profundidad del material filtrante.....	22
1.1.4.4.4.	Filtración en medio granular .....	24
1.1.4.4.4.1.	Filtración lenta.....	24
1.1.4.4.4.2.	Filtración rápida .....	24
1.1.4.4.5.	Sistemas de filtración rápida a presión.....	25
1.1.4.4.6.	Variables de la filtración rápida .....	26

1.1.4.4.6.1.	Medio filtrante .....	26
1.1.4.4.6.2.	Profundidad medio filtrante.....	26
1.1.4.4.7.	Tasa de filtración .....	27
1.1.4.4.8.	Perdida carga .....	27
1.1.4.4.9.	Mecanismo de limpieza o retrolavado.....	27
1.1.4.5.	Software de modelación.....	30
1.1.4.5.1.	SolidWorks ©.....	30
1.1.4.5.2.	Herramientas que permiten ensamblar y crear nuevas piezas .	30
1.2	OBJETIVOS .....	32
1.2.1	Objetivo General.....	32
1.2.2	Objetivos Específicos .....	32
CAPITULO II .....		33
METODOLOGÍA .....		33
2.1.	Tipos de investigación .....	33
2.2.	Materiales y Equipo .....	34
2.4.	Plan de Recolección de Datos.....	36
2.5.	Plan de procesamiento y análisis de información .....	37
CAPITULO III.....		38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		38
3.1.	Determinación de las propiedades de las sustancias reactivas .....	38
3.1.1.	Diámetro de partícula.....	38
3.1.2.	Coefficiente de uniformidad.....	40
3.1.3.	Longitud del lecho filtrante.....	42
3.1.4.	Profundidad del material de soporte .....	43
3.2.	Tasa de filtración .....	44
3.3.	Diseño del sistema de columnas .....	44

3.3.1.	Longitud de la columna.....	44
3.3.2.	Diámetro del filtro.....	47
3.3.3.	Espesor del filtro .....	48
3.4.	Caudal de funcionamiento .....	49
3.5.	Pérdida de carga.....	50
3.6.	Detalles de los componentes .....	52
3.6.1.	Columna filtrante .....	52
3.6.2.	Bridas del sistema de filtración.....	52
3.6.3.	Tubería, acoples y reducciones .....	52
3.6.4.	Herramienta de control de caudal .....	53
3.6.5.	Sistema de bombeo .....	53
3.6.6.	Estructura de soporte del sistema.....	53
3.7.	Modelamiento del sistema.....	57
3.7.1.	Diagrama de flujo para modelado 3D de piezas. ....	57
3.7.2.	Detalle de creación de piezas .....	58
3.7.3.	Modelado de elementos.....	65
3.7.4.	Diagrama de flujo ensamble.....	87
3.7.4.1.	Partes del sistema de filtración en columnas .....	88
3.7.5.	Diagrama de flujo elaboración de planos.....	90
CAPITULO IV.....		91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		91
4.1.	Conclusiones.....	91
4.2.	Recomendaciones.....	92
MATERIALES DE REFERENCIA .....		93
Bibliografía .....		93
Anexos.....		97

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Criterios de uso de aguas grises en distintos países.</i>	6
<b>Tabla 2.</b> <i>Componentes y cantidades necesarias para la generar agua residual sintética de lavadora.</i>	7
<b>Tabla 3.</b> <i>Caracterización de las aguas tratadas por el sistema (NSF International, 2014).</i>	8
<b>Tabla 4.</b> <i>Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.</i>	8
<b>Tabla 5.</b> <i>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.</i>	9
<b>Tabla 6.</b> <i>Procesos de tratamiento avanzado y eficiencia remocional</i>	16
<b>Tabla 7.</b> <i>Tamaños de partícula de diferentes medios para filtración.</i>	20
<b>Tabla 8.</b> <i>Factores de esfericidad y forma de los materiales granulares y porosidad típica asociados a filtros rápidos de arena.</i>	22
<b>Tabla 9.</b> <i>Valores típicos para filtros de medio único.</i>	23
<b>Tabla 10.</b> <i>Valores típicos para filtros de material filtrante único.</i>	26
<b>Tabla 11.</b> <i>Velocidades de fluidización para medio filtrante uniforme.</i>	28
<b>Tabla 12.</b> <i>Equipos y materiales</i>	34
<b>Tabla 13.</b> <i>Plan de recolección de datos</i>	36
<b>Tabla 14.</b> <i>Tamaños de partícula de diferentes medios para filtración.</i>	38
<b>Tabla 15.</b> <i>Diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad de la arena según varios autores</i>	41
<b>Tabla 16.</b> <i>Parámetros experimentales sin recirculación</i>	42
<b>Tabla 17.</b> <i>Valores típicos de los parámetros de la arena</i>	43
<b>Tabla 18.</b> <i>Velocidades de fluidización para medio filtrante uniforme.</i>	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tratamiento terciario y/o desinfección. _____	15
<b>Figura 2.</b> Mecanismos de filtración. _____	17
<b>Figura 3.</b> Mecanismos de filtración con arena. a) Colado, b) Sedimentación o impactación, c) Interceptación, d) Adhesión, e) Floculación. _____	19
<b>Figura 4.</b> Expansión del medio dependiendo de la tasa de retrolavado y el tamaño específico del medio. _____	29
<b>Figura 5.</b> Pantalla principal de las áreas de trabajo. _____	30
<b>Figura 6.</b> Reducción de concentración de sólidos suspendidos en filtros rápidos de arena para a) distintos diámetros de arena y b) distintas tasas de filtración. _____	39
<b>Figura 7.</b> Curva granulométrica _____	40
<b>Figura 8.</b> Expansión del medio dependiendo de la tasa de retrolavado y el tamaño específico del medio. _____	46
<b>Figura 9.</b> Diagrama inicial de fuerzas _____	53
<b>Figura 10.</b> Diagrama inicial de fuerza cortante _____	54
<b>Figura 11.</b> Diagrama inicial de momento flector _____	54
<b>Figura 12.</b> Diagrama final de distribución de cargas _____	55
<b>Figura 13.</b> Diagrama final de fuerza cortante _____	55
<b>Figura 14.</b> Diagrama final de momento flector _____	56

## RESUMEN

Para la ejecución de este proyecto se identificó el tipo de material reactivo para el medio filtrante, considerando el tamaño nominal y crítico de la arena, como base para la determinación del diseño de la longitud y diámetro de la columna, obteniendo la longitud mínima que debe poseer el espesor del material reactivo en el filtro en base a estudios preliminares, para el cual el sistema funciona en su máxima capacidad; posteriormente se recopiló toda la información necesaria para el diseño de la columna, donde realizaron los cálculos correspondientes de caudal necesario en base a las tasas de filtración que varios autores recomiendan y se ha decidido utilizar los parámetros de diseño de un filtro rápido debido a una mayor eficiencia obtenida en la remoción de contaminantes y menor tiempo de funcionamiento del sistema. Para poder dar como válido el diseño del sistema experimental de pruebas en columna se incorporó un sistema de mantenimiento del medio filtrante cuando se requiera, para el cual se seleccionó un sistema de bombeo y tuberías que garantice la limpieza del mismo.

Finalizada la etapa de diseño, se procedió al modelado del sistema de pruebas en columna mediante el uso del software SolidWorks debido a la facilidad de generar accesorios y materiales necesarios para el ensamblaje y mostrar a detalle el proceso que conlleva a la construcción del sistema.

**Palabras clave:** Aguas residuales, sustancias reactivas, medio filtrante, filtro rápido, columna filtrante, tasa de filtración.



## ABSTRACT

For the accomplishment of this project, we identify the type of reactive material for the media filter, considering the nominal and critical size of sand, as a starting point to determining the design of the length and diameter of the column, obtaining the minimum length of the thickness for the reactive material in the filter based on preliminary studies, for the system to work at its maximum capacity; subsequently, where all the necessary information for the column design was collected, the corresponding necessary flow calculations were made based on the filtration rates, recommended by several authors, and therefore we use the design parameters of a rapid filter due to a greater efficiency obtained in pollutants removal and shorter system operating time. In order to validate the design of the experimental column test system, a filter medium maintenance system was incorporated when required, for which a pumping and piping system was selected to guarantee its cleaning.

After the design stage, the column test system was modeled using SolidWorks software due to the ease of generating accessories and materials necessary for assembly and showing in detail the process that leads to the construction of the system.

**Keywords:** Wastewater, reactive substances, media filter, rapid filter, column filter, filtration rate.

# **CAPITULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

#### **1.1.1. Antecedentes**

El agua es un recurso de vital importancia para el desarrollo de las comunidades, que debe ser suministrado en cantidad suficiente para garantizar un nivel óptimo de vida. Cada país y región ha adoptado normas y parámetros básicos que tiene que cumplir tanto el agua para consumo como el agua residual que se desecha, por lo que el agua captada, así como también el agua residual, debe pasar por un tren de tratamiento para la remoción de contaminantes y sustancias externas en conjunción con la disponibilidad de agua natural, las tecnologías existentes y emergentes y la sustentabilidad a largo plazo de los procedimientos a emplearse. [1][2][3]

En las plantas de tratamiento de aguas residuales existen tratamientos convencionales, como coagulación, floculación, sedimentación y filtración, de los más usados; sin embargo, se han realizado estudios e investigaciones para el mejoramiento de cada uno de los procesos en el tren de tratamiento. Recientes investigaciones se han enfocado en la mejora de los procesos de filtración, dado que esta operación es frecuente en el tratamiento de agua residual, utilizándose tejidos permeables y medios porosos, así como materiales granulares como la arena silícica, que se utiliza en bancos de pruebas experimentales, para evaluar los niveles de eliminación de contaminantes y organismos patógenos. [4][5][6]

En Irlanda (M. Healy y otros 2006), se llevó a cabo un estudio para el tratamiento de aguas residuales diarias a través turba y filtros de arena de un solo flujo, en donde se construyó una serie de columnas llenas de arena de construcción de 0.32 mm de diámetro efectivo y de profundidad variable; obteniendo 92% de remoción de carbono orgánico y 91% de sustancias nitrificantes; concluyendo que la eliminación de un gran

porcentaje de las sustancias contaminantes ocurre en los primeros 30 cm de espesor del filtro y que dicho espesor de los materiales filtrantes no deben ser menor a 90cm. [7]

En Reino Unido (Jianan Lia y otros), se realizó un trabajo experimental sobre tanques de estabilización conectadas a una columna filtrante a escala de laboratorio, para la remoción de contaminantes seleccionados; cuya columna de prueba tiene 34 mm de diámetro interno y 65 cm de altura, el material filtrante posee un diámetro efectivo de 0.6 mm y coeficiente de uniformidad de 1.4. El espesor de cada capa de material filtrante se distribuyó en 10 cm de arena, 20 cm de carbón activado granular y otros 20 cm de arena, con 3 cm de grava de soporte en ambos extremos; obteniéndose porcentajes de remoción de las partículas contaminantes variaron de 95.9% a 97.4% en diversas pruebas de flujo individual. [8]

En la ciudad de Bogotá, Colombia (A. Torres 2017), se condujo el diseño de una columna filtrante de PVC de 150 cm de largo y 10.16 cm de diámetro, con materiales filtrantes como arena fina y gruesa, antracita y carbón activado, con diámetros de partícula de 0.35 mm y un espesor de capa filtrante variable; en donde se obtuvo una correlación directa entre el diámetro de la partícula y su tiempo de vida útil, mientras que una relación inversa entre el diámetro y la reducción de turbidez, además de la tasa de filtración influye en la remoción de contaminantes dependiendo de la naturaleza del material filtrante. [9]

En Cuenca, Ecuador (D. Calle y M. Romero 2019) elaboraron un modelo físico de columnas cuadradas de filtración, de 30 cm x 30 cm, con una altura de 90 cm, en donde se colocó una capa única de material de 35 cm de espesor para la arena, antracita y carbón activado, seguido de soporte de 30 cm de espesor; sirviendo como banco de pruebas para futuros estudios y pruebas de filtración lenta para distintos tipos de aguas residuales. [10]

En la ciudad de Santa Elena, Ecuador (R. Ramírez y otros 2019), se condujo un estudio para la reducción de contaminantes mediante el uso materiales adsorbentes como zeolita, de 0.25 mm de tamaño nominal y carbón activado, con tamaños de partícula entre 2.38 mm a 0.6 mm, a través de columnas filtrantes a pequeña escala. Este

procedimiento experimental contó con tres columnas conectadas en paralelo, con una longitud de 35 cm y un diámetro de 12.7 mm, con un caudal de funcionamiento de 0.106 L/min; con diferentes puntos para la toma de muestras, antes y después de la columna, para la comparación del agua resultante filtrada en los tres materiales utilizados. Dichas pruebas se realizaron en un solo sentido y sin el lavado del material filtrante, obteniéndose altas tasas de remoción de materia orgánica, por lo que los autores recomiendan la utilización e implementación de las columnas de adsorción en el proceso de potabilización, tomando en consideración los compuestos específicos del agua de la planta. [11]

### **1.1.2. Justificación**

La contaminación de los recursos hídricos está relacionada principalmente con los desperdicios domésticos, industriales y agrícolas. Los productos químicos, aceites y grasas, usados en los procesos del lavado de vehículos son enormemente contaminantes, por lo que no pueden desecharse al alcantarillado o basureros directamente, Estudios revelan que hace varios años se utiliza entre 70 a 90 litros de agua en el lavado de un vehículo tradicional, hoy en día se estima un consumo de 200 a 300 litros por lavado de un vehículo. Las lavadoras y lubricadoras de autos generan efluentes con aceites y grasas con concentraciones desde 300mg/L hasta 600mg/L, por lo que es necesario la implementación de tecnologías que permitan reducir dichas concentraciones acorde a la normativa ambiental nacional en Ecuador prohíbe el desecho en el agua de aceites y grasas en una concentración superior a 70 mg/L. [12][13][14]

Para el tratamiento de aguas residuales se utilizan métodos físicos de tratamiento, como la filtración en donde se emplea el uso de materiales simples como membranas de diversas composiciones hasta elementos complejos con cierta granulometría, porosidad, etc. La filtración a través de un medio granular es una operación unitaria usada como tratamiento complementario y una opción viable para la eliminación de sólidos suspendidos remanentes en el agua residual de dichos establecimientos, permitiendo un mejor tratamiento antes de ser vertidos al sistema de alcantarillado de la ciudad. [13]

En la actualidad las plantas de tratamiento cuentan con operaciones y procesos unitarios establecidos para la población y agua residual considerada en el diseño. Sin embargo, es esencial adoptar y mejorar tecnologías emergentes para un mejor tratamiento; como lo son los filtros a través de material granular, siendo una efectiva manera de simular el proceso de adsorción, para proyectarlo en modelos piloto a gran escala e implementarlos en el tren de tratamiento. [15] [16]

Dentro del ámbito investigativo es esencial contar con un sistema experimental didáctico a escala de laboratorio que nos permitan evaluar diferentes sustancias reactivas filtrantes, estableciendo variables y condiciones dinámicas para determinar la calidad y porcentajes de remoción de las distintas aguas residuales del medio, permitiendo evaluar la eficiencia de estos materiales en la purificación, permitiendo usarlos en plantas de tratamiento para la reducción de la contaminación de los recursos hídricos antes de reintegrar el líquido vital a los afluentes. [17]

La finalidad es diseñar un sistema de prueba de columnas base para diferentes materiales filtrantes, que permita el tratamiento de aguas residuales por el proceso de filtración, a través de distintos materiales reactivos filtrantes y condiciones dinámicas según el requerimiento y necesidad. Además, Mediante la revisión de trabajos previos, el diseño del sistema no sólo permitirá realizar el tratamiento de agua residual a través del material filtrante, sino que contará con un mecanismo de limpieza del material o retrolavado, implementado para limpiar y regenerar el lecho, permitiendo un mayor número de pruebas y ahorro tanto de material como económicamente.[18]

### 1.1.3. Normativa

Los parámetros de caracterización para aguas residuales varían de acuerdo a la zona y al país en donde se realice el estudio; que se establecen a partir diferentes factores naturales y tecnológicos y en conjunción con la legislación local. En la Tabla 1 se muestran los parámetros para la utilización de aguas grises en distintos países, donde dichos indicadores varían de país, ajustándose a su normativa interna y tecnología.

**Tabla 1.** Criterios de uso de aguas grises en distintos países.

	pH	TSS (mg/l)	TDS (mg/l)	Turbidity (NTU)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	Detergent (anionic) (mg/l)	TN (mg/l)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	TP (mg/l)	Dissolved O <sub>2</sub> (mg/l)	Residual Cl (mg/l)	Total coliform	Faecal coliform	Reuse application
Nolde, 1999, Germany	-	-	-	-	5 mg/l (BOD <sub>7</sub> )	-	-	-	-	>50%	-	<100/ml	<10/ml	Toilet flushing
Ernst et al., 2006, China	6-9	-	<1500	<5	<10	1	-	<10	-	-	>1 mg/l after 30 min. >0.2 mg/l at point of use	-	<3/100 ml	Toilet flushing
	6-9	-	<1000	<20	<20	1	-	<20	-	>1	>1 mg/l after 30 min. >0.2 mg/l at point of use	-	<3/100 ml	Irrigation purpose
	6-9	-	>1000	<5	<6	0.5	-	<10	-	-	>1 mg/l after 30 min. >0.2 mg/l at point of use	-	<3/100 ml	Washing purpose
	6-9	-	-	-	<6	0.5	15	<5	<0.5	>1.5	-	-	<10000/ 100 ml	Restricted impoundments and lakes
	6-9	-	-	<5	<6	0.5	15	<5	<0.5	>2	-	-	<500/100 ml	Unrestricted impoundments and lakes
Asano, 2007, USA	6-9	-	-	<2	10	-	-	-	-	-	1 mg/l	-	ND /100 ml	Unrestricted reuses *
	6-9	30	-	-	30	-	-	-	-	-	1 mg/l	-	<200 / 100 ml	Restricted reuses **
Maeda et al., 1996, Japan	5.8-	-	-	Not unpleasant	≤20	-	-	-	-	-	Retained	≤1000/ml	-	Toilet flushing
	8.6	-	-	Not unpleasant	≤20	-	-	-	-	-	-	≤50/ml	-	Landscape irrigation
	5.8-	-	-	Not unpleasant	≤10	-	-	-	-	-	-	≤1000/ml	-	Environmental (aesthetic settling)
	8.6	-	-	≤5	≤3	-	-	-	-	-	-	≤50/ml	-	Environmental (limited public contact)
	5.8-	-	-	≤5	≤3	-	-	-	-	-	-	≤50/ml	-	Environmental (limited public contact)
Australia, Queensland (2003)	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<100/ 100 ml	-	-

**Fuente:** NSF/ANSI 350-14: Onsite Residential and Commercial Water Reuse Treatment Systems, 2014.

En 2014 se publicó la norma NSF/ANSI 350-14 con acreditación internacional, en donde se expresan estándares enfocados en la reutilización de aguas grises; especificando la estructura y componentes que conforma un sistema de reutilización de aguas residuales, así como las propiedades físicas, químicas y biológicas mínimas. Adicionalmente, la normativa establece los materiales y procedimientos para la elaboración de aguas residuales sintéticas, con parámetros iguales al agua gris con la que se estudiará. La Tabla 2 muestra los componentes y cantidades que sugiere la norma para la elaboración de agua residual sintética proveniente de una lavadora de vehículos.

**Tabla 2.** Componentes y cantidades necesarias para la generar agua residual sintética de lavadora.

Componentes de aguas residuales <sup>1</sup>	Cantidad /100 L
Detergente líquido de ropa (X2)	40 mL
Polvo de prueba <sup>2</sup>	10 g
Efluente secundario	2 L
Suavizante líquido para ropa	21 mL
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4 g
NaHCO <sub>3</sub>	2 g
Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4 g
<sup>1</sup> revisar el Anexo C para ejemplo de productos. <sup>2</sup> revisar ISO 12103-1, Vehículos de carretera - polvo de prueba para evaluación de filtros. El polvo de prueba debe cumplir las especificaciones de ISO 12103-1, A2 – Polvo fino de prueba. El polvo de prueba que cumpla con las especificaciones está disponible en Technology Inc., P.O. Box 1464, Burnsville, MN 55337. <a href="http://www.powdertechologyinc.com/products/test-dust/testdust.php">www.powdertechologyinc.com/products/test-dust/testdust.php</a>	

**Fuente:** NSF/ANSI 350-14: Onsite Residential and Commercial Water Reuse Treatment Systems, 2014.

**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

Adicionalmente, la norma especifica los parámetros mínimos que debe tener el agua de descarga del sistema de tratamiento y reutilización de aguas residuales, mostrados en la Tabla 3. Considerando estos valores se puede comparar con los límites de descarga permitidos para aguas residuales expresados en el texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) en el Libro VI, el cual regula dichos límites para el agua tratada y su descarga; plasmado en la Tabla 4 y Tabla 5, siendo las fuentes receptoras el alcantarillado público y un cuerpo de agua dulce, respectivamente.



**Tabla 3.** Caracterización de las aguas tratadas por el sistema (NSF International, 2014).

Measure	Class R	
	Test Average	Single sample Maximum
CBOD <sub>5</sub> (mg/L)	10	25
TSS (mg/L)	10	30
Turbidity (NTU)	5	10
E coli <sup>2</sup> (MPN/100 mL)	14	240
pH (SU)	6.0 - 9.0	NA <sup>1</sup>
Storage vessel Disinfection (mg/L) <sup>3</sup>	≥ 0.5 - ≤ 2.5	NA
Color	MR <sup>4</sup>	NA
Odor	Non-offensive	NA
Oily film and foam	Non- detectable	Non-detectable
Energy consumption	MR	NA
SAR	MR	

**Fuente:** NSF/ANSI 350-14: Onsite Residential and Commercial Water Reuse Treatment Systems, 2014.

**Tabla 4.** Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Parámetros	Expresado	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	50,0
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO5	mg/l	250,0
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Potencial de Hidrogeno	pH		6-9
Solidos suspendidos totales		mg/l	220,0
Sólidos totales		mg/l	1600,0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0

**Fuente:** Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), 2015

**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

**Tabla 5.** Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	30,0
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	10000
Demanda Bioquímica de oxígeno	DBO5	mg/l	100,0
Demanda Química de oxígeno	DQO	mg/l	200,0
Potencial de Hidrogeno	pH		6-9
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	130,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600,0
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	1,0

**Fuente:** Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), 2015.

**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

Analizando y comparando los parámetros para aguas residuales tratadas, se puede notar que la norma NSF/ANSI 350-14 es mucho más estricta que los límites expresados en el Libro VI del TULSMA. Por ejemplo, el valor permisible de DBO5 es 10 mayor para descarga en el alcantarillado público en la normativa nacional que lo permitido en la norma internacional; así como el límite para coliformes fecales para descarga en cuerpos de agua dulce es aproximadamente 40 veces mayor que lo establecido en la norma NSF/ANSI 350-14. Sin embargo, para el presente proyecto se utilizará la normativa nacional vigente que regula los parámetros para aguas residuales tratadas.

#### **1.1.4. Fundamentación teórica**

##### **1.1.4.1. Tratamiento de Aguas Residuales**

En principio, las aguas residuales se descargaban directamente en el suelo, posteriormente se lo hacía en fuentes de agua cercana a la población como ríos y a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales toman relevancia y se implementan progresivamente; en respuesta a problemas sanitarios, de salud y de organización urbanística; así como en busca de la preservación del recurso hídrico para su reutilización. [19]

Las aguas residuales pueden definirse como líquidos de variada composición que provienen de usos municipal, comercial, agrícola, industrial o de otra índole, de sectores públicos o privados y que por su utilización ha sufrido degradación de su calidad original. Se las puede clasificar en aguas residuales domésticas, provenientes de zonas de viviendas producidas por actividades domésticas; aguas residuales industriales, utilizadas en actividades comerciales y de industria; y las aguas residuales urbanas, siendo la mezcla de las aguas domésticas con las aguas de escorrentía pluvial o con aguas residuales industriales. [20]

El tratamiento de aguas residuales es el procesamiento de aguas negras para lograr una reducción de sus contaminantes mediante el uso de procedimientos y métodos normados, y que, a su vez, cumpla con los estándares específicos establecidos por una entidad reguladora o el usuario final; para devolver el agua a las fuentes naturales de manera segura. Cuando se usan métodos de tratamiento de origen físico, se les conoce como operaciones unitarias, mientras que los procedimientos de naturaleza química o biológica se los conoce como procesos unitarios. [21] [22]

#### **1.1.4.2. Propiedades físicas y químicas del agua residual**

Las propiedades físicas de las aguas residuales están ligadas al contenido de sólidos totales, que comprende la materia sedimentable, en suspensión, materia coloidal y disuelta; incluyéndose otras características como densidad, temperatura, olor, color y turbiedad. Las propiedades químicas se las puede analizar en base a la materia orgánica, inorgánica y gases presentes en el agua residual. [22] Según la Normativa ecuatoriana, los parámetros admisibles de contaminación se pueden encontrar en la Tabla 4 y Tabla 5, acorde a la fuente receptora de dichas aguas grises.

##### **1.1.4.2.1. Aceites y grasas**

Las grasas y los aceites están formados principalmente de alcohol o glicerol y ácidos grasos, más específicamente por carbono, oxígeno e hidrógeno, con la diferencia que si los glicéridos se encuentran en estado líquido a temperaturas normales se los conoce como aceites; mientras que si se encuentran en estado sólido se denominan grasas. Las grasas y aceites animales presentes en las aguas residuales provienen habitualmente de mantecas animales, margarinas, mantequillas carnes, semillas y cereales. Por otro lado, los aceites proceden de lubricantes, keroseno, aceite vegetal y materiales bituminosos que son derivados del petróleo y del alquitrán. [22]

##### **1.1.4.2.2. Organismos patógenos**

Los organismos patógenos se encuentran en aguas residuales en muy pequeñas cantidades, que son principalmente protozoos, virus y bacterias, procedentes en su mayoría de desechos humanos infectados o portadores de determinadas enfermedades. Aunque resulta muy difícil su aislamiento, es necesaria su eliminación; en donde se emplean los coliformes como organismo de referencia durante el proceso de desinfección, es decir al eliminarse los coliformes se eliminarán también los demás organismos presentes. [20]

#### **1.1.4.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Es la cantidad equivalente de oxígeno necesaria para modificar bioquímicamente partículas y elementos oxidables debido a la presencia de bacterias aeróbicas en 1 litro de agua. Para su obtención se prepara una combinación de agua residual y agua pura con una concentración de oxígeno disuelto conocida, que se almacenará durante 5 días en condiciones especiales y posteriormente se medirá la cantidad de oxígeno empleada para la oxidación de los residuos orgánicos y que consume aproximadamente el 70% de dichas sustancias biodegradables. [23]

#### **1.1.4.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)**

Es la cantidad equivalente de oxígeno necesaria para la oxidación química de los compuestos orgánicos, tanto de las aguas naturales como de las aguas residuales, mediante el empleo de un agente oxidante. Para su determinación, se utiliza un agente oxidante fuerte que es el dicromato de potasio, un catalizador, como el sulfato de plata y se somete a elevadas temperaturas. La DQO de un agua residual generalmente es mayor que su DBO, debido a que existen mayor número de compuestos cuya oxidación se realizará por vía química que por oxidación biológica. [22]

#### **1.1.4.2.5. Potencial de hidrógeno**

El potencial de hidrógeno (pH) es un indicador para medir la acidez o alcalinidad que poseen las aguas residuales. Su determinación es muy importante en este tipo de aguas, ya que influye de manera directa en la proliferación y desarrollo de la mayoría de vida biológica; por lo que las aguas residuales con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta problemas con su tratamiento con procesos biológicos, siendo imprescindible su regulación. [22]

#### **1.1.4.2.6. Sólidos totales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos**

Se define como aquella materia obtenida como residuo después someter la muestra de agua residual a un proceso de evaporación y se expresa en mg/l. Dichos sólidos totales pueden clasificarse en filtrables y no filtrables. De esta parte sólida se pueden identificar los sólidos suspendidos, siendo esta la fracción filtrable, constituida principalmente de materia de naturaleza orgánica y con partículas comprendidas entre 0.001 y 1 micrómetro; y los sólidos disueltos, compuestos por iones en disolución y moléculas orgánicas e inorgánicas, que corresponden a la fracción de sólidos coloidales que no se eliminaron en los procesos de sedimentación y filtración, y es necesario procesos de oxidación biológica y coagulación. [22]

#### **1.1.4.2.7. Tensoactivos**

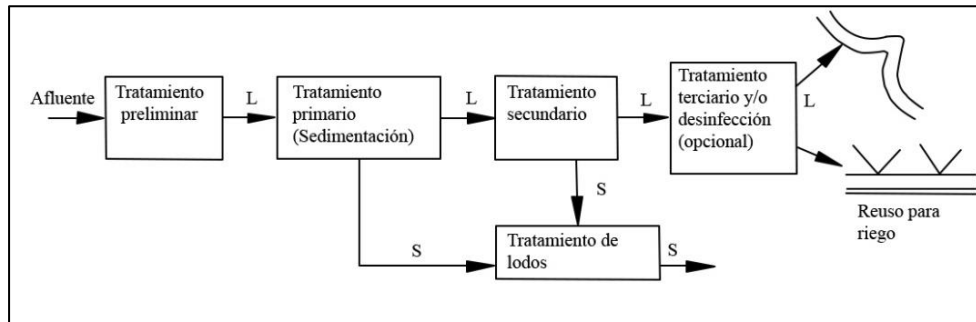
Son moléculas de gran tamaño y levemente solubles en agua que tienden a concentrarse en la interfase aire-agua, por lo que provocan la aparición de una espuma muy estable en el proceso de aireación en la planta de tratamiento, así como la presencia de espuma en el vertido hacia cuerpos de agua receptores. Para su determinación se emplea el azul de metileno y se analiza el cambio de color de la muestra. [22]

### **1.1.4.3. Tren de tratamiento de Aguas Residuales**

El tren de tratamiento es el conjunto de operaciones y procesos unitarios empleados jerárquicamente para purificar agua residual dependiendo de las características contaminantes propias, previo al análisis del agua y a la fuente generadora de la misma. Para el proceso de tratamiento de agua gris, se ha clasificado en: [6][24]

- Tratamiento preliminar: Es una fase en donde se remueven los contaminantes de gran tamaño que puedan generar problemas en los siguientes procesos, siendo el cribado y desarenado las operaciones más comunes.
- Tratamiento primario: En esta etapa se busca la eliminación de los sólidos en suspensión y materia orgánica, ya sea por sedimentación o mediante microorganismos para los procesos biológicos de degradación.
- Tratamiento secundario: Son procedimientos empleados para la remoción de partículas disueltas, en donde se emplea tratamientos físico-químicos como la floculación y filtración para la eliminación de contaminantes.
- Tratamiento terciario: Son operaciones adicionales a los procedimientos anteriormente indicados para lograr efluentes más puros, con menor carga contaminante. Los procesos de tratamiento están conformados por procesos físicos, químicos y biológicos y las sustancias comúnmente removidas son: Fosfatos y nitratos, algas, sustancias tenso activas.
- Desinfección: La principal función es la destrucción selectiva de los organismos, así, como también reducir el contenido de bacterias, virus y quistes amebianos en las aguas residuales tratadas, previo a su disposición final.

**Figura 1.** Tratamiento terciario y/o desinfección.



**Fuente:** R. Ayala & G. González, Apoyo didáctico en la enseñanza – aprendizaje de la asignatura de plantas de tratamiento de aguas residuales, Cochabamba, 2008

**Adaptado por:** Karen Brito y Steve Núñez

#### **1.1.4.3.1. Tratamiento preliminar**

Es una operación esencial al inicio del proceso de tratamiento como tal, en donde se busca remover la mayor cantidad de materiales del agua, que, por su tamaño o naturaleza, puedan generar problemas en las siguientes etapas. Es recomendable que en toda planta exista esta etapa, enfatizando en su limpieza y mantenimiento periódico, para evitar problemas en los procesos posteriores. Los procesos más comunes son el cribado o desbaste. [25]

#### **1.1.4.3.2. Tratamiento primario**

El tratamiento primario tiene por objetivo la remoción de los sólidos en suspensión, puede ser este material biodegradable, inorgánico, grasas y aceites. En esta etapa, generalmente se aplica procesos físicos como la sedimentación para la eliminación de partículas inorgánicas; y procesos biológicos como sistemas aerobios, anaerobios y anóxicos, dependiendo de las características del agua cruda que ingresa, tanto industriales como urbanas. [24][25]



#### 1.1.4.3.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario permite la eliminación de materia particulada y coloidal residual de tratamientos anteriores, mediante procesos físico-químicos como la floculación y la filtración para la separación de contaminantes; lo que permite obtener efluentes finales de mayor calidad que podrán ser vertidos en cuerpos de agua con parámetros más exigentes. [20]

#### 1.1.4.3.4. Tratamiento terciario

El tratamiento terciario o avanzado es un proceso adicional necesario para la depuración de las sustancias disueltas y sólidos suspendidos que perduran en el agua residual posteriormente al tratamiento secundario convencional; con la finalidad de conseguir efluentes finales de mejor calidad, permitiendo su reutilización o vertido en cuerpos de agua con requisitos más exigentes. La tabla 6 muestra los principales procesos de remoción y su eficiencia en la eliminación de contaminantes para ciertos parámetros. [22]

**Tabla 6.** Procesos de tratamiento avanzado y eficiencia remocional

Proceso	Eficiencia Remocional						
	SS	DBO	DQO	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	STD
Filtración							
Múltiple	80-90	50-70	40-60				
Diatomea	95-99						
Microfiltro	50-80	40-70	30-60				
Flotación	60-80						
Congelación	95-98	95-99	90-99		99	99	95-99
Osmosis inversa	95-98	95-99	90-95	95-99	95-99	95-99	95-99
Carbón activado	80-90	70-90	60-75				
Electrodialisis					30-50	30-50	40

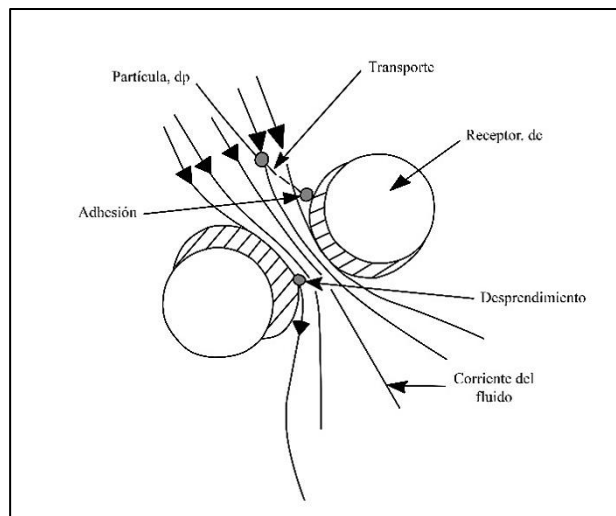
**Fuente:** R. Rojas, Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales, 2002

**Adaptado por:** Karen Brito y Steve Núñez

#### 1.1.4.4. Filtración

La filtración de agua residual es considerada un tratamiento de tipo físico, y se refiere al proceso en el cual se eliminan las partículas en suspensión contenidos en el agua residual, generalmente se usa un filtro es un aparato compuesto de material poroso y carbón activado, con lo cual se logra purificar este líquido. [22][26]

**Figura 2.** Mecanismos de filtración.



**Fuente:** A. Amirtharajah, Some Theoretical and Conceptual Views of Filtration, 1988

**Adaptado por:** Karen Brito y Steve Núñez

La filtración es un método de separación en el que las partículas suspendidas en un fluido, ya sea líquido o gas, se separan mecánicamente o físicamente usando un medio poroso que retiene las partículas en forma de fase separada que permite el paso del filtrado sin sólidos. [27]

Mientras que los distintos tipos de filtros pueden ser usados dependiendo del modo del flujo del agua, de forma ascendente y descendente, el más utilizado es el filtro de flujo descendente; utilizando varios materiales de filtración, para mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales con alta carga orgánica, con ayuda de sus características de carga superficial y de adsorción. [28][22]

#### **1.1.4.4.1. Mecanismos de remoción**

##### **1.1.4.4.1.1. Cernido**

Es el mecanismo principal de remoción de sólidos suspendidos en la filtración y consiste en la retención e intercepción de partículas cuyo tamaño es mayor que los intersticios de los granos de arena, conforme los intersticios se hacen más pequeños, retienen partículas con tamaño menor al del poro. Este mecanismo es de filtración superficial y es independiente a la velocidad de filtración. [29]

##### **1.1.4.4.1.2. Sedimentación**

Esta operación consiste en la separación de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor al del agua por acción de la gravedad. En el proceso de filtración, las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, sobre los granulos superiores del lecho filtrante. [22]

##### **1.1.4.4.1.3. Intercepción**

En este mecanismo de remoción, las partículas que se mueven según las líneas de la corriente del agua, son retenidas y eliminadas cuando entran en contacto con la superficie de los granulos del medio filtrante. [22]

##### **1.1.4.4.1.4. Adhesión**

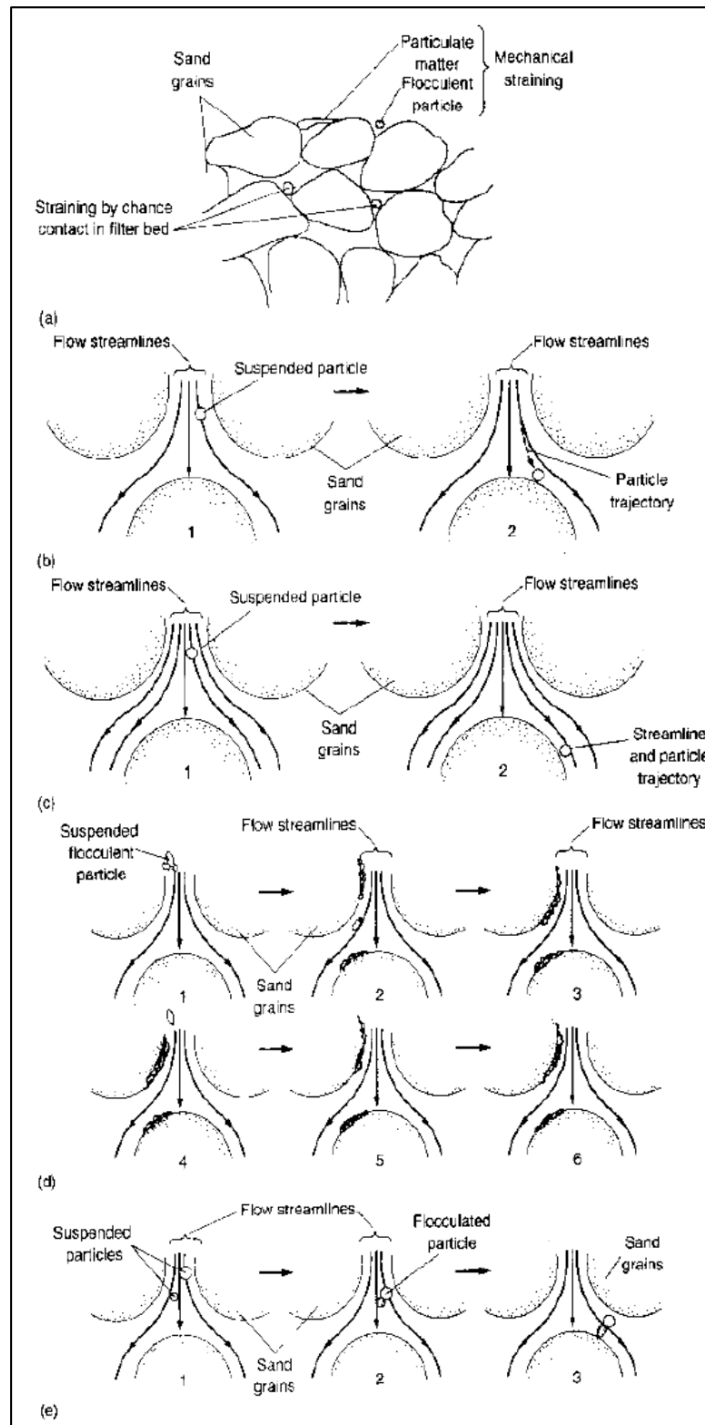
La remoción por adhesión se produce cuando las partículas se adhieren a la superficie del medio filtrante al pasar por él debido a la fuerza creada por el agua que fluye. Debido a esta fuerza de flujo, parte del material se fractura por cizalla para adherirse al medio filtrante; mientras que el resto es conducido a zonas más profundas del lecho. [22]

##### **1.1.4.4.1.5. Floculación**

Este fenómeno ocurre cuando las partículas de mayor tamaño alcanzan a las de menor tamaño, se juntan y forman partículas aún mayores, debido a las gradientes de

velocidad dentro del proceso de filtración. Generalmente ocurre en los intersticios del medio filtrante y dichas partículas se eliminan por los mecanismos anteriormente mencionados. [22]

**Figura 3.** Mecanismos de filtración con arena. a) Colado, b) Sedimentación o impactación, c) Intercepción, d) Adhesión, e) Floculación.



**Fuente:** Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 2003.

#### 1.1.4.4.2. Sustancias reactivas filtrantes

Las sustancias reactivas usadas en los lechos filtrantes, para filtros usados en tratamiento de aguas residuales, están constituidos por material granular como la arena; que se caracterizan y seleccionan en base a su tamaño específico principalmente, así como de otras propiedades como el coeficiente de uniformidad, porosidad y esfericidad. [30]

#### 1.1.4.4.3. Arena

La arena es un material amarillento o blanco, constituido por pequeños gránulos de minerales desprendidos de las rocas silíceas, formándose de manera natural o artificial. Sus usos son muy variados, siendo la filtración el más común en tratamientos de agua; actuando como material filtrante, reteniendo contaminantes. [10]

##### 1.1.4.4.3.1. Tamaño específico

El tamaño específico de un material se representa por medio del tamaño de partícula que separa un porcentaje definido del total. Se representa con la abreviación  $d_x$ , donde el subíndice  $x$  muestra el porcentaje de material que se encuentra por debajo del tamaño indicado y generalmente se caracteriza una muestra de material granulado con el valor  $d_{10}$ . El rango de tamaños específicos de arena para filtración varía entre 0.15 a 0.4 mm para filtración lenta y 0.45 a 1 mm para filtración rápida, como se muestra en la Tabla 7 [22] [31]

**Tabla 7.** Tamaños de partícula de diferentes medios para filtración.

Autor(es)	Tamaño de arena (mm)	Información adicional
(Droste, 1997)	0.45-1	Filtros rápidos de arena
(Beverly, 2005)	0.9-1.5	Antracita
(Beverly, 2005)	0.5-0.8	Arena de sílice
(M. E. Barrett, 2010)	0.15-0.3	Equivalente a agregado fino de ASTM C-33
(England, Darby, & Tchobanoglous, 1994)	0.9	-
(J.M. Barrett, Bryck, Collins, Janonis, & Logsdon, 1991)	0.31-0.4	Diseño de filtros lentos de arena
(Metcalf & Eddy, 2003)	0.8-2	Antracita
(Metcalf & Eddy, 2003)	0.4-0.8	Arena
(Huisman & Wood, 1974)	0.15-0.35	Filtro lento de arena

**Fuente:** Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica, 2017.

#### **1.1.4.4.3.2. Coeficiente de uniformidad**

El coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) es un número adimensional que indica la distribución de las partículas de un material granulado graduado, mostrando que tan grande es la variación de tamaños específicos en este. Este valor se puede hallar mediante la relación entre el diámetro dimensional ( $d_{60}$ ) y el diámetro efectivo ( $d_{10}$ ).

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

**$C_u$ :** Coeficiente de uniformidad

**$d_{60}$ :** Diámetro dimensional de la muestra

**$d_{10}$ :** Diámetro efectivo de la muestra

Mientras el valor de este coeficiente se acerque a 1, más homogénea o uniforme será el material analizado. El valor de coeficiente de uniformidad para la arena oscila entre 1.30 hasta 3. [22] [10]

#### **1.1.4.4.3.3. Porosidad**

La porosidad ( $e$ ) de un material filtrante indica el porcentaje del filtro que no está ocupado por material sólido. El valor dependerá de qué tan bien se acomoden las partículas; mientras las partículas sean menos esféricas, la porosidad del volumen que ocupan aumenta, lo cual beneficia a los mecanismos de remoción que dependen del área superficial. Debido a la forma sub-angular y fracturada de los gránulos de la arena, el valor de porosidad rondará los 0.43 acorde a la Tabla 8. [22]

#### 1.1.4.4.3.4. Esfericidad

La esfericidad ( $\psi$ ) de una partícula es una medición de su forma, indicando qué tan similar son las partículas del medio filtrante a una esfera perfecta. Por lo tanto, se define como la razón entre el área superficial de una esfera con el diámetro de la partícula y el área superficial real. Para materiales granulares es difícil medir el volumen y área superficial de sus partículas, por lo que se pueden usar métodos indirectos a través de su granulometría para obtener un valor referencial muy cercano a lo real. Dado que la arena posee una forma fracturada y sub-angular, se estima que la esfericidad rondará valores cercanos a 0.78, según la Tabla 8. [22]

**Tabla 8.** Factores de esfericidad y forma de los materiales granulares y porosidad típica asociados a filtros rápidos de arena.

Item	Descripción	Esfericidad (Ce)	Factor de Forma (s)	Porosidad (Po)
1	Esféricos	0.95	6	0.355
2	Desgastados	0.94	6.1	0.375
3	Redondeados	0.82	6.4	0.400
4	Agudos	0.81	7.4	0.415
5	Angulares	0.78	7.7	0.430
6	Triturados	0.7	8.5	0.480

**Fuente:** Descripción hidráulica de la batería de filtros de la planta de Atarjea, 2005.

#### 1.1.4.4.3.5. Profundidad del material filtrante

La profundidad de las sustancias reactivas en un filtro es un parámetro que relaciona el diámetro específico que deben tener las partículas, con la eficiencia de tratamiento que se realice. En varios trabajos de eficiencia de filtración, se ha observado que la permeabilidad del medio filtrante es determinada por las partículas más finas del medio, y que generalmente representa el valor  $D_{15}$ ; adicionalmente, en el momento en que un fluido circule por aproximadamente 5 veces  $D_{15}$ , ya habrá pasado por todas las posibles combinaciones de formas y tamaños de poros. Por último, las partículas más pequeñas que  $0.1D_{15}$  pasan a través del filtro sin problema, mientras que los cuerpos más grandes a  $0.12D_{15}$  son retenidos. Por esta razón, se puede considerar que el material filtrante actúa como un tamiz con aperturas de tamaño  $0.11D_{15}$ .

Como se observa en la Tabla 9, para lechos de arena poco profundos y con estratos, la profundidad varía entre 25 y 30 cm, para lechos convencionales de arena

estratificados, su profundidad va de 50 a 75 cm y para lechos profundos sin estratos, la profundidad va desde 90 cm a 1.80 m; indicando amplias posibilidades en cuanto a la profundidad a usarse dependiendo del material seleccionado. [30]

**Tabla 9.** Valores típicos para filtros de medio único.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
	INTERVALO	TÍPICO
<b>Lecho poco profundo estratificado</b>		
Arena:		
Profundidad, cm	25-30	28
Diámetro efectivo, mm	0,35-0,6	0,45
Coefficiente uniformidad	1,2-1,6	1,5
Velocidad de filtración, m/h	4,88-14,66	7,33
Antracita:		
Profundidad, cm	30-75	40
Diámetro efectivo, mm	0,8-1,5	1.3
Coefficiente uniformidad	1,3-1,8	1.6
Velocidad de filtración, m/h	4,88-14,66	7.33
<b>Lecho convencional estratificado</b>		
Arena:		
Profundidad, cm	50-75	60
Diámetro efectivo, mm	0,4-0,8	0.65
Coefficiente uniformidad	1,2-1,6	1.5
Velocidad de filtración, m/h	4,88-14,66	7.33
Antracita:		
Profundidad, cm	60-90	75
Diámetro efectivo, mm	0,8-2	1.3
Coefficiente uniformidad	1,3-1,8	1.6
Velocidad de filtración, m/h	4,88-19,54	9.77
<b>Lecho profundo no estratificado</b>		
Arena:		
Profundidad, cm	90-180	120
Diámetro efectivo, mm	2-3	2.5
Coefficiente uniformidad	1,2-1,6	1.5
Velocidad de filtración, m/h	4,88-24,43	12.21
Antracita:		
Profundidad, cm	90-210	150
Diámetro efectivo, mm	2-4	2.75
Coefficiente uniformidad	1,3-1,8	1.6
Velocidad de filtración, m/h	4,88-24,43	12.21

**Fuente:** Filtración de aguas residuales para reutilización, 2009.



#### **1.1.4.4. Filtración en medio granular**

La operación de filtración se la puede realizar a través de un medio filtrante granular, dependiendo de las características físico químicas del agua gris a tratar; en materiales como arena, antracita, carbón activado, etc. y que puede efectuarse baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos). [30]

##### **1.1.4.4.1. Filtración lenta**

En los filtros de acción lenta, el agua pasa por gravedad a través del material granular a baja velocidad. La separación de las materias sólidas, se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante adhiriéndose las partículas sólidas a los granos. Debido a la menor tasa de filtración, es viable utilizar un material filtrante más fino; por lo que el menor tamaño del material garantiza un menor tamaño de poros intersticiales, y junto con la baja tasa de filtración, no se genera una pérdida de carga considerable. La filtración lenta se caracteriza por usar tasas de filtración entre 0.042 y 0.3 m/h. [9]

En este tipo de filtración se genera el efecto de una capa gelatinosa de bacterias o algas que crece en la superficie de la columna de filtración, quedan obstruidos los poros de la capa arenosa y ésta debe limpiarse, siendo una desventaja para este tipo de sistema, Estos filtros se utilizan normalmente para aguas potables. [9][30]

Otras desventajas de estos sistemas son los grandes volúmenes que se necesitan para filtrar grandes cantidades de agua, gracias a la baja tasa de filtración utilizada. Adicionalmente, si la distribución de presión no es uniforme en el medio filtrante, se generan zonas de taponamiento con un rendimiento disminuido. [9]

##### **1.1.4.4.2. Filtración rápida**

En los filtros de arena de acción rápida, el agua desciende por presión a través de la sustancia reactiva filtrante a alta velocidad. Se utilizan para efluentes de aguas residuales provenientes de un tratamiento secundario, y es indispensable un pretratamiento con un coagulante para eliminar la mayor parte de las materias en suspensión por asentamiento. [9]

Este tipo de sistemas posee una mayor velocidad del flujo, por lo que es necesario utilizar material filtrante de mayor diámetro para evitar una pérdida de carga considerable. Su tasa de filtración oscila generalmente entre 4.17 y 19.8 m/h. En estos filtros, la profundidad del medio filtrante es relevante en el desempeño del sistema, ya que se busca que la totalidad del material se utilice para tratar el agua, permitiendo un aumento en el área superficial que entra en contacto con el agua residual y sus contaminantes. [9]

#### **1.1.4.4.5. Sistemas de filtración rápida a presión**

Los filtros a presión funcionan igual que los de gravedad y se emplean en plantas pequeñas. La única diferencia entre ambos consiste en que, en los filtros a presión, la operación de filtrado se lleva a cabo en un depósito cerrado, bajo condiciones de presión conseguidas mediante bombeo. Los filtros a presión suelen funcionar con mayores pérdidas de carga máximas admisibles, lo cual conduce a ciclos de filtración más largos y menores necesidades de lavado.

Los filtros a presión están basados en el mismo principio que los filtros de arena rápidos por gravedad, pero los desagües, la grava y la arena se encuentran en un tanque cilíndrico y el agua recorre el filtro bajo presión (Figura 3.2). El eje del cilindro puede ser vertical u horizontal. Los filtros de este modelo deben utilizarse donde el agua cruda se suministra bajo presión y donde se desea filtrar y entregar el agua sin bombeo adicional. El caudal de filtración en estos filtros se puede considerar constante.

#### 1.1.4.4.6. Variables de la filtración rápida

##### 1.1.4.4.6.1. Medio filtrante

Un medio filtrante ideal para el fenómeno de la filtración, debe ser de un tamaño tal, que retenga una gran cantidad de sólidos contaminantes, proveyendo un efluente de buena calidad, y pueda limpiarse con facilidad. Por ejemplo, la arena fina da una calidad mejor para el efluente, pero no permite la penetración de sólidos en el lecho; por otro lado, las arenas más gruesas, darán tiempos de funcionamiento más largos, calidad del efluente mejor, y puede lavarse más fácilmente, pero se requiere un caudal de agua de lavado mayor, para obtener cierta expansión del lecho durante el lavado.

##### 1.1.4.4.6.2. Profundidad medio filtrante

La profundidad de las sustancias reactivas en un filtro es un parámetro que relaciona el diámetro específico que deben tener las partículas; así como también del método de tratamiento previo del agua a filtrar, de la velocidad de filtración, de la naturaleza y de la cantidad de las partículas o del flóculo a retener. La Tabla 10 muestra valores típicos de diámetro de partículas y espesor de lecho filtrante típicos para materiales granulares para filtración.

**Tabla 10.** Valores típicos para filtros de material filtrante único.

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
	INTERVALO	TÍPICO
Arena:		
Profundidad, cm	90-180	120
Diámetro efectivo, mm	2-3	2.5
Coefficiente uniformidad	1.2-1.6	1.5
Velocidad de filtración, m/h	4.88-24.43	12.21
Antracita:		
Profundidad, cm	90-210	150
Diámetro efectivo, mm	2-4	2.75
Coefficiente uniformidad	1.3-1.8	1.6
Velocidad de filtración, m/h	4.88-24.43	12.21

**Fuente:** Filtración de aguas residuales para reutilización, 2009.

#### **1.1.4.4.7. Tasa de filtración**

La tasa de filtración hace referencia a la velocidad con la que pasa el flujo a través del filtro. El rango en el que se encuentre la tasa de filtración en un sistema permite la activación de distintos métodos de tratamiento de agua, de forma que es posible categorizar la tasa de filtración en lenta y rápida. Para distintas pruebas del sistema, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia de los gránulos y del tamaño medio del grano del lecho filtrante. Por ejemplo, si los flóculos son de débil consistencia, las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los flóculos y arrastrar gran parte de los mismos a través del filtro. Se ha observado que las velocidades de filtración dentro del intervalo de 4,8 a 19,2 m/h no afectan la calidad del efluente del filtro, debido a la propia resistencia del flóculo biológico. [30]

#### **1.1.4.4.8. Pérdida carga**

Al pasar un caudal determinado por un lecho granular poroso, esto genera fricción produciendo una pérdida de carga. Al comenzar el proceso de filtración, la pérdida de carga se debe únicamente al tamaño, forma, porosidad y espesor del lecho filtrante y a la velocidad del agua. A medida que avanza en el tiempo, los contaminantes retenidos van taponando los poros del lecho, aumentando la pérdida de carga para el mismo caudal, teniendo valores típicos entre 3 a 6 mca, según casos específicos. Cuando el filtro esté cerca de la pérdida de carga máxima; es necesario una limpieza o regeneración del lecho filtrante mediante un mecanismo de retrolavado. [30]

#### **1.1.4.4.9. Mecanismo de limpieza o retrolavado**

El proceso de retrolavado del medio filtrante es esencial para el rendimiento del filtro, el propósito de esta fase es remover las impurezas retenidas en el medio filtrante y lograr que el medio recupere la capacidad de adsorción y remoción deseada, de tal manera no desarrollar problemas relacionados a la calidad de agua filtrada. El retrolavado consiste en enviar una cantidad de flujo de agua de forma ascendente a través del medio filtrante, con suficiente fuerza para lograr separar las partículas acumuladas en el material filtrante y removerlos del sistema. [32]

Se considera que un buen proceso de retrolavado se lleva a cabo cuando el 90% del medio filtrante se logra fluidizar. Se conoce como fluidización a la operación unitaria

en donde un lecho fijo de partículas sólidas que descansa sobre una placa logra ser suspendido en un fluido a velocidades que permitan vencer el peso del medio filtrante. [32]

Con el diseño del sistema se debe lograr la suspensión del 90% de la arena en el flujo de agua. Se conoce que la tasa de retrolavado del filtro está basado en el valor de D90, es posible observar que mientras más uniforme sea el medio filtrante o mientras menor sea el coeficiente de uniformidad UC, menor serán los requerimientos para el sistema de retrolavado. [32]

**Tabla 11.** Velocidades de fluidización para medio filtrante uniforme.

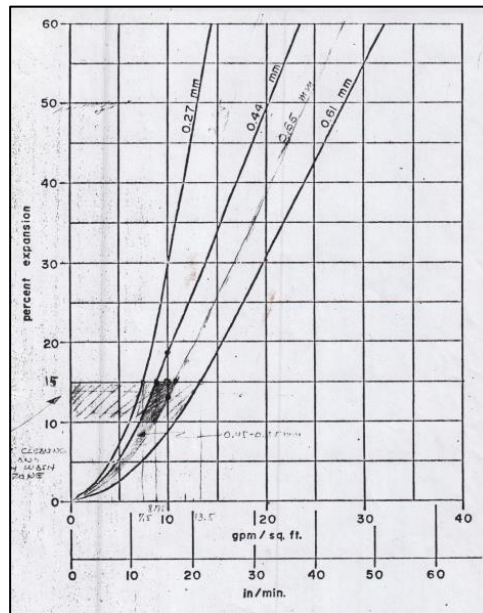
Para tamices estándar de Estados Unidos			Tamaño medio mm	Tasa de flujo para alcanzar expansión de 10% a 25°C m/h (gal/min/ft <sup>2</sup> )		
Pasa	mm	Retiene		Antracita	Arena	Granate
7	2.830	8	2.59	90.4 (37.0)		
8	2.380	10	2.18	73.3 (30.0)		
10	2.000	12	1.84	58.7 (24.0)	100.2 (41.0)	
12	1.680	14	1.54	48.9 (20.0)	80.7 (33.0)	
14	1.410	16	1.30	38.4 (15.7)	66.0 (27.0)	119.8 (49.0)
16	1.190	18	1.09	30.6 (12.5)	51.3 (21.0)	97.8 (40.0)
18	1.000	20	0.92	24.2 (9.9)	40.1 (16.4)	78.2 (32.0)
20	0.841	25	0.78	20.5 (8.4)	30.8 (12.6)	66.0 (27.0)
25	0.707	30	0.65	17.1 (7.0)	22.0 (9.0)	53.8 (22.0)
30	0.595	35	0.55		15.4 (6.3)	44.0 (18.0)
35	0.500	40	0.46		13.2 (5.4)	33.5 (13.7)
40	0.420	45	0.38		9.8 (4.0)	27.6 (11.3)
50	0.297	60	0.27			15.4 (6.3)
		(0.25 mm)				

**Fuente:** Donal I, Droste, 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater treatment.

John Willey & Sons, Inc. USA

Como se muestra en las velocidades de fluidización a una tasa de filtración de aproximadamente 30 m/h se lograría expandir partículas de arena con diámetro 0.78mm, pero también una antracita con partículas de diámetro 1.09mm con el mismo porcentaje. Sin embargo, si el medio filtrante tiene un alto UC (coeficiente de uniformidad), tendrá mayor tamaño de partículas que se deben fluidizar con tasas de retrolavado más altas, en estos casos, los materiales más finos se expandirán por encima del 10% por lo que no muestra este comportamiento en la Tabla 8. Para estos casos se puede utilizar otras gráficas empíricas que muestran la expansión del medio dependiendo del tamaño y de la tasa de retrolavado. [32]

**Figura 4.** Expansión del medio dependiendo de la tasa de retrolavado y el tamaño específico del medio.



**Fuente:** Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica, 2017.

En la figura se muestra una correlación entre el diámetro de la arena y la tasa que se expande el medio mientras aumenta el caudal, mostrando la necesidad de aumentar el caudal del sistema, a mayor diámetro de la arena gruesa mayor será el caudal. [9]

#### 1.1.4.5. Software de modelación

##### 1.1.4.5.1. SolidWorks ©

SolidWorks es un software para diseñar objetos en 3 dimensiones, generalmente a partir de los croquis en 2D y luego utilizar las herramientas para producir la forma sólida y detallada. A partir de estos bocetos o croquis se pueden crear componentes de relación que constan de piezas o subensamblajes para la posterior creación de ensamblajes en 3D, también se puede crear dibujos en 2D a partir de los ensamblajes en 3D. SolidWorks cuenta con 3 tipos de áreas de trabajo.

**Figura 5.** Pantalla principal de las áreas de trabajo.



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

##### 1.1.4.5.2. Herramientas que permiten ensamblar y crear nuevas piezas

Un ensamblaje es un conjunto de piezas relacionadas, está compuesto de dos o más de mil componentes. Antes de construir un ensamblaje, se debe preparar todos los componentes, una vez relacionadas, se guardan en un archivo de documento de SolidWorks con extensión. sldasm.

Las piezas o componentes se integran en un ensamblaje mediante relaciones de posición:

- Concéntricas
- Coincidentes

Las piezas son bloques principales de los modelos de SolidWorks y cada ensamblaje que es creado está compuesto por piezas.

Los métodos de diseño de un ensamblaje están compuestos por:

- Diseño ascendente: Es la técnica preferida cuando se utiliza piezas construidas previamente, se diseñan independientemente las piezas.
- Diseño descendente o diseño en contexto: Se utiliza la geometría de una pieza para definir otras piezas, se puede controlar cotas de una pieza y crear relaciones geométricas a la pieza original.



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un sistema experimental de pruebas en columna para el análisis de sustancias reactivas en condiciones dinámicas para el tratamiento de aguas residuales.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Establecer las propiedades, cantidad y parámetros de diseño de la sustancia reactiva para el proceso de filtración de las aguas residuales.
- Determinar los parámetros base de diseño del sistema de columna de filtración rápida para el análisis del sistema hidráulico.
- Modelar y construir el sistema experimental de pruebas en columnas rápidas para análisis de aguas residuales mediante el uso de las sustancias reactivas.

## CAPITULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Tipos de investigación

- **Investigación Descriptiva**

La sustancia reactiva utilizada para el diseño del sistema en columnas es la arena por sus características y propiedades físicas y mecánicas. El espesor del lecho de arena es fundamental para una remoción efectiva de partículas, así mismo considerar las recomendaciones del diámetro nominal efectivo de las partículas de arena según investigaciones de varios autores ya que la altura de la columna de acrílico depende de la sustancia reactiva.

- **Investigación Bibliográfica-Documental.**

El procedimiento para determinar el diseño del sistema de columna de filtración rápida, es un tema en el cual es necesario obtener información de fuentes bibliográficas como revistas científicas, libros, informes, acerca de las diferentes propuestas de diseño de sistemas en columnas de filtración rápida en el tratamiento de agua residual con el uso de arena como sustancia reactiva.

- **Investigación Aplicada**

El fin de realizar las investigaciones y obtener resultados del ensayo granulométrico en el presente proyecto técnico, el objetivo de modelar el sistema de columnas en un software y visualizar de forma detallada la estructuración de dimensiones y materiales que formarán el sistema.

## 2.2. Materiales y Equipo

**Tabla 12.** Equipos y materiales

ENSAYO	MATERIALES	EQUIPOS	NORMA
Granulometría	Muestra cuarteada	Tamizadora Juego de tamices Balanza electrónica Brocha Recipiente de aluminio Horno	AASHTO T88 2013

**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

### **2.3. Métodos**

Para el diseño y construcción del sistema de columnas se desarrollará:

Se determinó mediante revisión bibliográfica y cálculos el diámetro para la sustancia reactiva base del sistema, que es la arena, y posteriormente se realizó el ensayo granulométrico para establecer las propiedades y parámetros de dicho material, en donde se obtuvo el diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad.

Se investigó a profundidad sistemas similares para la construcción de sistemas en columnas con filtración rápida según varios autores con lo cual se realizará los cálculos de diseño y se utilizará los datos de la arena obtenida de los ensayos y a continuación se realizará una comparación de datos para tomar como referencia para su posterior construcción.

Se modelará el sistema de columnas con la información obtenida de los ensayos y de las referencias de otros autores, con el uso del software SolidWorks 2019.

## 2.4. Plan de Recolección de Datos

En el proceso de la investigación se ha desarrollado un trabajo de búsqueda bibliográfica, de recolección de información que permite diseñar y proponer un sistema eficaz. Este Plan, se describe a continuación:

**Tabla 13.** Plan de recolección de datos

<b>Preguntas Básicas</b>	<b>Explicación</b>
1. ¿Para qué?	Para diseñar un sistema experimental de pruebas en columnas.
2. ¿De qué personas u objetos?	Análisis de sustancias reactivas.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Filtración y tratamiento de aguas residuales.
4. ¿Quién evalúa?	Karen Beatriz Brito Chagcha (Egresada) William Steve Núñez Cruz (Egresado) Ing. Mg. Margarita Mayacela (Tutora)
5. ¿Dónde evalúa?	Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
6. ¿Cómo se evalúa?	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigación bibliográfica en artículos científicos e investigaciones previas.</li><li>• Aplicando conceptos, demostraciones y cálculos para el diseño de un filtro rápido.</li></ul>

**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

## **2.5. Plan de procesamiento y análisis de información**

Para desarrollar el plan de procesamiento y análisis de información del presente proyecto técnico se realizará el siguiente proceso:

- Obtener información de referencias bibliográficas de estudios realizados.
- Proponer una metodología a seguir de acuerdo a los objetivos planteados como: investigación de las propiedades y parámetros de las sustancias reactivas, diámetro y profundidad del lecho; así como para el sistema de columnas con filtración rápida, medidas del filtro y parámetros hidráulicos para filtración.
- Plasmar y graficar la información mediante un modelado en el software SolidWorks.

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Determinación de las propiedades de las sustancias reactivas

##### 3.1.1. Diámetro de partícula

En la Tabla 14, en la cual dichos autores sugieren diferentes tamaños de arena usados para filtración, el tamaño de partícula a determinar estará de acuerdo a las investigaciones realizadas específicamente en el tratamiento de aguas residuales y basadas según el tipo de filtración; estableciendo un rango de tamaño de partículas para condiciones dinámicas como lo son los filtros rápidos.

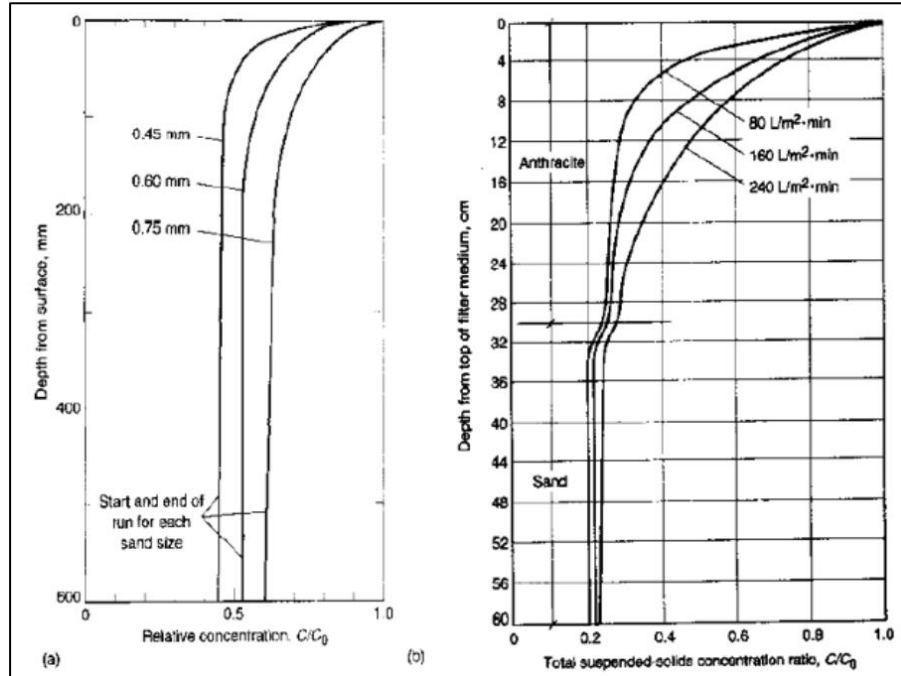
**Tabla 14.** Tamaños de partícula de diferentes medios para filtración.

Autor(es)	Tamaño de arena (mm)	Información adicional
(Droste, 1997)	0.45-1	Filtros rápidos de arena
(Beverly, 2005)	0.9-1.5	Antracita
(Beverly, 2005)	0.5-0.8	Arena de sílice
(M. E. Barrett, 2010)	0.15-0.3	Equivalente a agregado fino de ASTM C-33
(England, Darby, & Tchobanoglous, 1994)	0.9	-
(J.M. Barrett, Bryck, Collins, Janonis, & Logsdon, 1991)	0.31-0.4	Diseño de filtros lentos de arena
(Metcalf & Eddy, 2003)	0.8-2	Antracita
(Metcalf & Eddy, 2003)	0.4-0.8	Arena
(Huisman & Wood, 1974)	0.15-0.35	Filtro lento de arena

**Fuente:** Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica, 2017.

Para la determinación del tamaño de partícula, estableceremos datos iniciales a partir de la Tabla 14, considerando un rango de tamaños para arena entre 0.15 y 1 mm y las curvas de expansión del lecho filtrante de la Fig 6, en donde se tiene:

**Figura 6.** Reducción de concentración de sólidos suspendidos en filtros rápidos de arena para a) distintos diámetros de arena y b) distintas tasas de filtración.



**Fuente:** Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización, 2003.

$$\phi_p = \frac{(\phi_m + \phi_M)}{2}$$

**Ecuación 2**

Donde:

$\phi_M$ : Diámetro mayor partícula [mm]

$\phi_m$ : Diámetro menor partícula [mm]

$\phi_p$ : Diámetro de partícula [mm]

$$\phi_p = \frac{(0.27 \text{ mm} + 0.44 \text{ mm})}{2}$$

$$\phi_p = 0.35 \text{ mm}$$

El diámetro de partícula obtenido es el tamaño límite para el diseño entre un sistema de filtración rápida, en conjunción con lo establecido en [9] en donde usa partículas del mismo diámetro calculado; por lo que se usará dicho tamaño para el diseño.



### 3.1.2. Coeficiente de uniformidad

Para la determinación de uniformidad se realizó un ensaño de granulometría acorde a la norma AASHTO T88, en donde se seleccionó una muestra de 1200 gr de arena fina, tamizándose la muestra a través de los tamices desde 3/8" hasta el tamiz #200 acorde a la norma. De donde se obtiene según la curva granulométrica:

$$d_{10} = 0.3 \text{ mm}$$

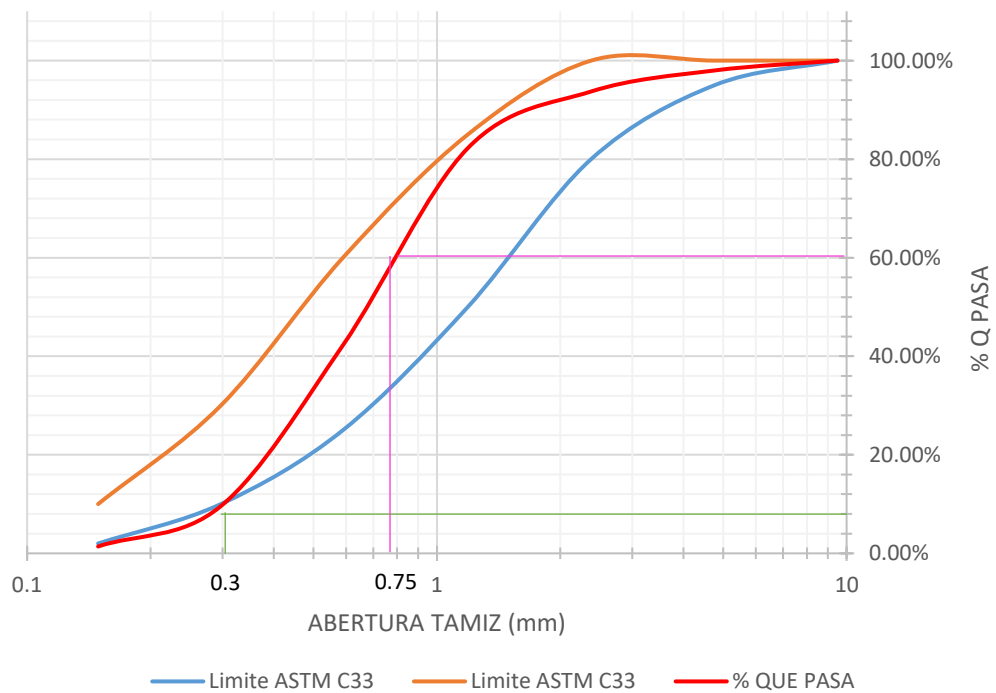
$$d_{60} = 0.75 \text{ mm}$$

Donde

**d<sub>10</sub>**: Diámetro efectivo de la muestra

**d<sub>60</sub>**: Diámetro dimensional de la muestra

**Figura 7.** Curva granulométrica



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

Por lo que el coeficiente de uniformidad es:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$C_u = \frac{0.75}{0.3}$$

$$C_u = 2.5$$

Donde:

**C<sub>u</sub>**: Coeficiente de uniformidad

**d<sub>10</sub>**: Diámetro efectivo de la muestra

**d<sub>60</sub>**: Diámetro dimensional de la muestra

Para la muestra de arena seleccionada, se obtuvo un diámetro efectivo de 0.3 mm, cercano al valor calculado de 0.35 mm, y un coeficiente de uniformidad de 2.5; que en comparación con varios autores acorde a la Tabla 15, estos valores se encuentran dentro de los rangos sugeridos, siendo las características del material idóneas para el diseño de las columnas de filtración.

**Tabla 15.** Diámetro efectivo y coeficiente de uniformidad de la arena según varios autores

Fuente	Diámetro efectivo de arena (mm)	Coeficiente uniformidad
USEPA, 1980; Ball y Denn, 1997; Loomis y Dow, 1999	1.5 – 3.00	1.3 – 2.5
MG Healy *, M. Rodgers, J. Mulqueen (2006)	0.25-1.2	<3.5
Satyendra Kumar, S. K. Kamra, R. K. Yadav and J. P. Sharma (2012)	0.7 - 1.00	
Jianan Li, Xingguo Han, Bernd W. Brandt, Qizhi Zhou, Lena Ciric, Luiza C. Campos (2019)	0.6	1.4

**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

### 3.1.3. Longitud del lecho filtrante

La Figura 5 muestra la reducción en la concentración de sólidos suspendidos a medida que aumenta la profundidad del medio filtrante, para varios diámetros de arena y para varias tasas de filtración. Adicionalmente se observa en la Figura 5(b) que la profundidad del lecho filtrante para la arena es superior a los 30 cm, por lo que esta medida serviría como una altura mínima para el lecho.[9]

**Tabla 16.** Parámetros experimentales sin recirculación

Parámetro de prueba	Parámetros fijos
Profundidad del medio filtrante: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 cm</li> <li>• 40 cm</li> <li>• 60 cm</li> <li>• 80 cm</li> </ul>	Medio filtrante: Arena fina <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>d_{10} = 0,35</math> mm</li> <li>• UC = 1,45</li> </ul> Tasa de filtración: $14,8 \pm 0,74$ m/h
Medio filtrante: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arena fina               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>d_{10} = 0,35</math> mm</li> <li>○ UC = 1,45</li> </ul> </li> <li>• Arena gruesa               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <math>d_{10} = 0,66</math> mm</li> <li>○ UC = 1,98</li> </ul> </li> <li>• Antracita               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tamaño: 0,6 – 5 mm</li> <li>○ UC &lt; 1,7</li> </ul> </li> </ul>	Profundidad del medio: 40 cm Tasa de filtración: $14,8 \pm 0,74$ m/h
Profundidad de medio: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 cm</li> <li>• 70 cm</li> <li>• 90 cm</li> </ul>	Medio filtrante: Carbón activado granular Tasa de filtración: $14,8 \pm 0,74$ m/h

**Fuente:** Torres,A. 2017. Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica.

Para la determinación de la longitud del lecho filtrante, se analiza la Tabla 16 en donde se ha realizado pruebas de filtración para nuestro diámetro de partícula calculado, donde se coteja conjuntamente con lo analizado en la Figura 5.

Por lo que se tiene que:

$$L_l = 0.80 \text{ m}$$

Donde:

**L<sub>l</sub>**: Longitud del lecho filtrante [m]

Analizando en [33] la longitud del medio filtrante para su filtro piloto es 90 cm mientras que en [9] obtiene una longitud del medio de 80 cm, por lo que la longitud adoptada en base a la Tabla 16, permite obtener una cantidad de material filtrante adecuado, ya que, si se incrementa la longitud del lecho, no se incrementa el porcentaje de remoción de contaminantes, evitando desperdicio de material. Además, según la Tabla 17, la profundidad del lecho se encuentra del rango recomendado para la arena.

**Tabla 17.** Valores típicos de los parámetros de la arena

CARACTERÍSTICAS	VALOR	
	INTERVALO	TÍPICO
Arena:		
Profundidad, cm	90-180	120
Diámetro efectivo, mm	2-3	2.5
Coefficiente uniformidad	1.2-1.6	1.5
Velocidad de filtración, m/h	4.88-24.43	12.21

**Fuente:** Filtración de aguas residuales para reutilización, 2009.

#### **3.1.4. Profundidad del material de soporte**

En este tipo de sistemas de pruebas en columnas filtrantes, es recomendable usar una capa de material grueso, que sirva como soporte para el lecho filtrante. Acorde a [30] sugiere un material con diámetro efectivo de 3 a 25 mm para la capa de soporte; para esto se utilizará el tamiz #4, con apertura de 4.75 mm que está dentro del rango sugerido. Para su espesor, se sugiere una capa de 20 cm en la base de la columna. [9]

### 3.2. Tasa de filtración

Con el tamaño de partícula y longitud del lecho filtrante establecidos, considerando las condiciones dinámicas que se busca para el diseño, se optó por realizar un filtro rápido, por lo que su tasa de filtración, acorde a lo establecido en [31], se encuentra entre los siguientes rangos:

- **Tasa de filtración mínima**

$$Tf_{\min} = 4.17 \text{ m/h}$$

- **Tasa de filtración máxima**

$$Tf_{\max} = 19.80 \text{ m/h}$$

Donde:

**Tf<sub>min</sub>**: Tasa de filtración mínima [m/h]

**Tf<sub>max</sub>**: Tasa de filtración máxima [m/h]

Dichas tasas de filtración se seleccionaron debido a su alta eficiencia en la remoción de contaminantes y a su tiempo más corto de prueba, así como en [9] muestra en su investigación, mostrando que dichas tasas de filtración son viables para un sistema de pruebas. Adicionalmente en la Tabla 17 sugieren valores para las tasas de filtración, de 4.88 m/h a 24.43 m/h, indicando que los valores elegidos están dentro de rango para este tipo de procedimientos.

### 3.3. Diseño del sistema de columnas

#### 3.3.1. Longitud de la columna

Para la determinación de la longitud de la columna, se tomará como medida inicial la longitud del lecho filtrante de arena fina, siendo una dimensión crítica mínima. Posteriormente se analiza la Tabla 18, en donde se observa la tasa de flujo para el tamaño máximo crítico de 0.65mm, valor acorde a lo recomendado por las normas ASTM y la AASHTO, mostrando:

$$V_r = 22 \text{ m/h}$$

Donde:

$V_r$ : Velocidad de fluidización [m/h]

**Tabla 18.** Velocidades de fluidización para medio filtrante uniforme.

Para tamices estándar de Estados Unidos			Tamaño medio mm	Tasa de flujo para alcanzar expansión de 10% a 25°C m/h (gal/min/ft <sup>2</sup> )		
Pasa	mm	Retiene		Antracita	Arena	Granate
25	0.707	30	0.65	17.1 (7.0)	22.0 (9.0)	53.8 (22.0)

**Fuente:** Donal I, Droste, 1997. Theory and Practice of Water and Wastewater treatment.

John Willey & Sons, Inc. USA

Con el valor de la tasa de retrolavado o fluidización, y mediante el uso de la Figura 8, se puede obtener el porcentaje de expansión para nuestro diámetro de partícula inicial que sería de un 30%; por lo que la longitud del filtro es:

$$L_{f_{min}} = L_l + 30\%L_l \quad \text{Ecuación 3}$$

$$L_{f_{min}} = 80 \text{ cm} + 0.30 * (0.8 \text{ cm})$$

$$L_{f_{min}} = 104 \text{ cm}$$

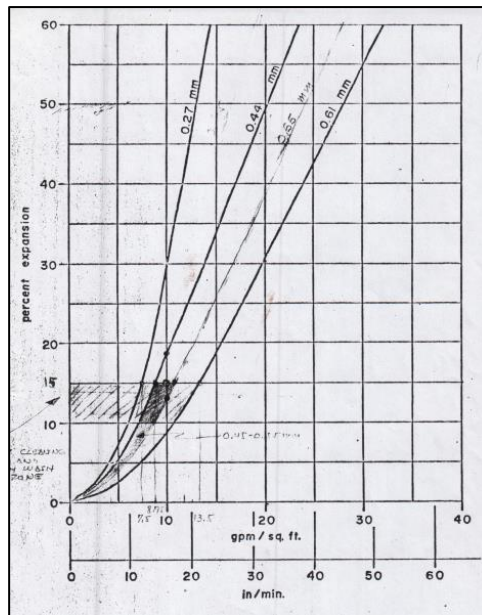
$$L_{f_{min}} = 1.04 \text{ m}$$

Donde:

$L_{f_{min}}$ : Longitud mínima del filtro [m]

$L_l$ : Longitud del lecho filtrante [m]

**Figura 8.** Expansión del medio dependiendo de la tasa de retrolavado y el tamaño específico del medio.



**Fuente:** Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica, 2017.

Para el tamaño final del filtro se consideró distintos elementos y aspectos para aumentar su tamaño. Por un lado, tenemos el tamaño de sujeción del tubo de acrílico a las bridas metálicas; adicionalmente, la capa de material granular grueso de 20 cm en la parte inferior del lecho como soporte. Finalmente, dado que el sistema de filtración servirá para futuras investigaciones con distintos materiales filtrantes, es prudente aumentar el tamaño para que materiales menos densos que la arena, puedan alcanzar la altura de fluidización sin llegar al límite del filtro y operar de manera correcta. Por lo tanto:

$$L_f = 1.50 \text{ m}$$

Donde:

**L<sub>f</sub>:** Longitud final del filtro [m]

La longitud final del filtro se determinó en base a la facilidad constructiva y acorde a lo que establece [9], en donde dicha medida ofrece más espacio para el proceso de fluidización.

### 3.3.2. Diámetro del filtro

Para el diámetro de la columna, es necesario considerar un diámetro comercial; así como también su relación directa con las tasas de filtración establecidas. Ya que la columna se construirá de acrílico transparente y por su facilidad de construcción y disponibilidad en el mercado como se indica en [9], se tendrá:

$$\phi_f = 4 \text{ in}$$

$$\phi_f = 101.6 \text{ mm}$$

Donde:

$\phi_f$ : Diámetro del filtro [in]

Una vez establecido el diámetro, podemos hallar el área transversal del filtro:

$$A_f = \pi \frac{\phi_f^2}{4}$$

**Ecuación 4**

$$A_f = \pi \frac{(4 \text{ in})^2}{4}$$

$$A_f = 12.56 \text{ in}^2$$

$$A_f = 81 \text{ cm}^2$$

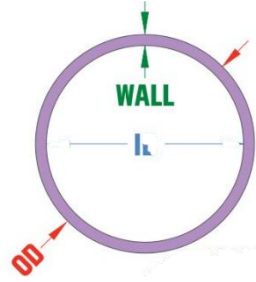
Donde:

$A_f$ : Área transversal del filtro [ $\text{m}^2$ ]



### 3.3.3. Espesor del filtro

Para el espesor del filtro, se selecciona un tubo de acrílico de diámetro 101.6 mm o superior; por lo que se tiene un tubo de diámetro exterior de 110 mm y diámetro interno de 104 mm



$$e = \frac{OD-ID}{2}$$

**Ecuación 5**

$$e = \frac{110mm - 104mm}{2}$$

$$e = 3mm$$

Donde:

**e** = espeso (mm)

**OD** = diámetro exterior (mm)

**ID** = diámetro interior (mm)

### 3.4. Caudal de funcionamiento

Una vez establecidos los límites de la tasa de filtración, se obtienen los valores de caudales mínimo y máximo de funcionamiento mediante la siguiente relación:

$$Tf = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$Q = Tf * A \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

**Tf:** Tasa de filtración [m/h]

**Q:** Caudal [m<sup>3</sup>/s]

**A:** Área de la sección transversal del filtro [m<sup>2</sup>]

Para hallar el caudal mínimo, se calcula con la tasa mínima de filtración para un filtro rápido y el área transversal del filtro:

$$Q_{\min} = \left(4.17 \frac{m}{h}\right) \times (0.05067 \text{ m}^2)$$

$$Q_{\min} = 0.2112939 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{\min} = 3.522 \frac{l}{\min}$$

Donde:

**Q<sub>min</sub>:** Caudal mínimo [l/min]

Así mismo, para hallar el caudal máximo de funcionamiento, se calcula con la tasa máxima de filtración y el área transversal del filtro:

$$Q_{\max} = \left(19.8 \frac{m}{h}\right) \times (0.05067 \text{ m}^2)$$

$$Q_{\max} = 1.0033 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{\max} = 16.72 \frac{l}{\min}$$

Donde:

**Q<sub>max</sub>**: Caudal máximo [l/min]

### 3.5. Pérdida de carga

La selección del sistema de bombeo se realiza para poder satisfacer las necesidades del stand de pruebas en columna tanto en cantidad y presión requerida. Las condiciones mínimas y máximas de operación están en relación con los caudales mínimo y máximo y las fuerzas que deben superar para atravesar el lecho filtrante.

Para hallar la pérdida de carga del medio filtrante, se determinará mediante la siguiente expresión:

$$\frac{h_L}{L_l} = \frac{150\mu}{\rho \cdot g} * \frac{(1-e)^2}{e^3} * \frac{T_f}{(\psi \cdot \phi_p)^2} + k \frac{(1-e)}{e^3} * \frac{T_f^2}{\psi \cdot \phi_p \cdot g} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

**h<sub>L</sub>**: Pérdida de carga

**L<sub>l</sub>**: Longitud del lecho filtrante [m]

**μ**: Viscosidad del fluido [Pa\*s]

**ρ**: Densidad del fluido [kg/m<sup>3</sup>]

**e**: Porosidad

**ψ**: Esfericidad

**T<sub>f</sub>**: Tasa de filtración [m/h]

**Ø<sub>p</sub>**: Diámetro de partícula [mm]

**g**: Aceleración de la gravedad [m/s<sup>2</sup>]

Los valores de porosidad y esfericidad se tomarán de la Tabla 7 acorde a la forma de la arena fina, en donde:

$$e = 0.4 \quad \wedge \quad \psi = 0.82$$

Se usará la tasa de filtración máxima con la cual obtenemos la pérdida de carga máxima del sistema de filtración, donde:

$$h_L = \left( \frac{150\mu}{\rho \cdot g} * \frac{(1-e)^2}{e^3} * \frac{T_f}{(\psi \cdot \phi_p)^2} + k \frac{(1-e)}{e^3} * \frac{T_f^2}{\psi \cdot \phi_p \cdot g} \right) * L_l$$

$$h_L = \left( \frac{150(0.001Pa \cdot s)}{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2}} * \frac{(1-0.4)^2}{0.4^3} * \frac{19.8 \frac{m}{h}}{(0.82 * 3.5E - 4m)^2} + 0.25 * \frac{(1-0.4)}{0.4^3} * \frac{(19.8 \frac{m}{h})^2}{0.82 * 3.5E - 4m * 9.81 \frac{m}{s^2}} \right) * 0.8m$$

$$h_L = 2770.01 m$$

Con en valor de pérdida de carga, se puede establecer para el sistema a una bomba peristáltica de 109 W de potencia, con un caudal máximo de 20 lpm y una altura de presión de 10 mca. Considerando la gran pérdida de carga del medio filtrante, las pérdidas de carga por accesorios como tuberías y válvulas de paso son mínimas para ser consideradas dentro del sistema.

### **3.6. Detalles de los componentes**

#### **3.6.1. Columna filtrante**

La longitud y diámetro de la columna fueron determinados anteriormente, y en base a dichos valores y a la disponibilidad del mercado, el espesor de la columna de acrílico es de 3 mm. En la base del filtro se colocará una capa de 20 cm de material de soporte con un diámetro de 0.65 mm o superior, acorde al material filtrante a estudiar. Posteriormente se realizarán 4 perforaciones verticales cada 20 cm a partir de la capa de soporte, con un diámetro de ½” y servirán para evaluar las pérdidas de carga en condiciones dinámicas en los 4 niveles durante el proceso de filtración, mostrado en los Anexos B-3 y B-4.

#### **3.6.2. Bridas del sistema de filtración.**

Las bridas de sujeción del sistema son de acero inoxidable, cuyas medidas y especificaciones se encuentran en el Anexo C-1. Adicionalmente, en la sujeción inferior de las bridas se encuentra una base perforada en base al Anexo B-2, que servirá de soporte para colocar una malla de acero inoxidable con una apertura de 0.254 mm; que retendrán las partículas del medio filtrante, pero permitiendo el paso de los contaminantes.

#### **3.6.3. Tubería, acoples y reducciones**

Para la tubería principal del sistema se usará tubos de PVC de ½” acordes a los caudales mínimos y máximos. Para la sujeción de la brida a la tubería se usará un acople tipo hembra 110x903" o equivalente (Anexo C-3). Posteriormente se usará un adaptador encolar hembra y rosca hembra BSP o equivalente (Anexo C-4), seguido de una rosca macho 2 ½” x rosca macho 1 ¼” (Anexo C-5). A continuación, se usa un encolar hembra- rosca hembra BSP 75x 2 ½ “(Anexo C-6) conjuntamente con una reducción roscada macho 1 ¼ x rosca macho ½ (Anexo C-7).

Se usarán Te 90° roscadas hembra (Anexo C-8) o codos 90° roscados hembra (Anexo C-9) según se requiera para unirse a la tubería principal y válvulas de bola especificado en el Anexo B-1, para su funcionamiento normal y posterior retrolavado.

### 3.6.4. Herramienta de control de caudal

Para controlar el caudal de entrada al sistema de filtración, se colocará un rotámetro o caudalímetro acorde a lo especificado en el Anexo B-1 con sus respectivos adaptadores, permitiendo variar la medida del caudal acorde al tipo de medio filtrante a usarse en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

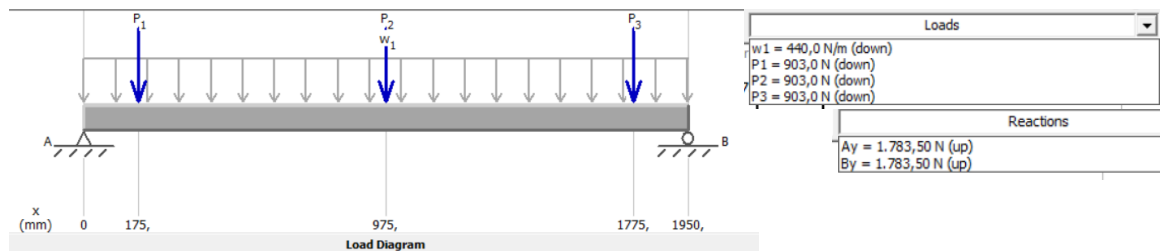
### 3.6.5. Sistema de bombeo

Se requiere de una bomba peristáltica con una potencia de 109 W, con un caudal máximo de 20 lpm y una presión de 10 mca.

### 3.6.6. Estructura de soporte del sistema

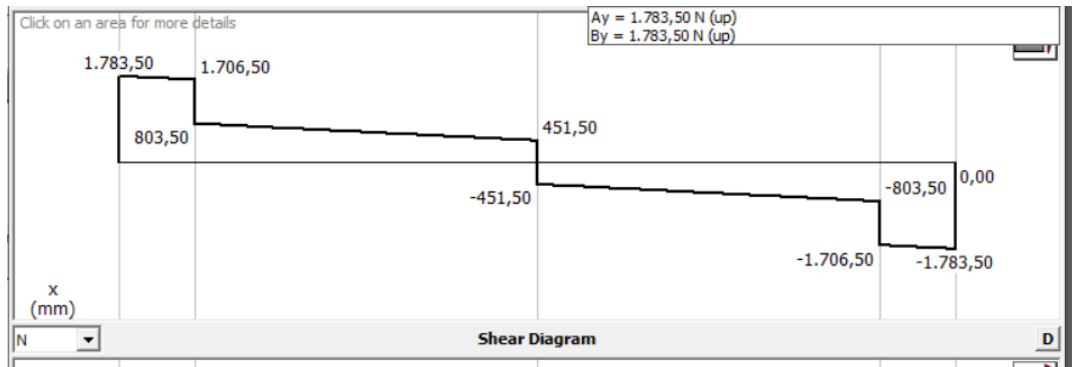
Inicialmente se asume una carga distribuida de 44 N/m que corresponde al perfil de tubo cuadrado de 50x50x3.

**Figura 9.** Diagrama inicial de fuerzas



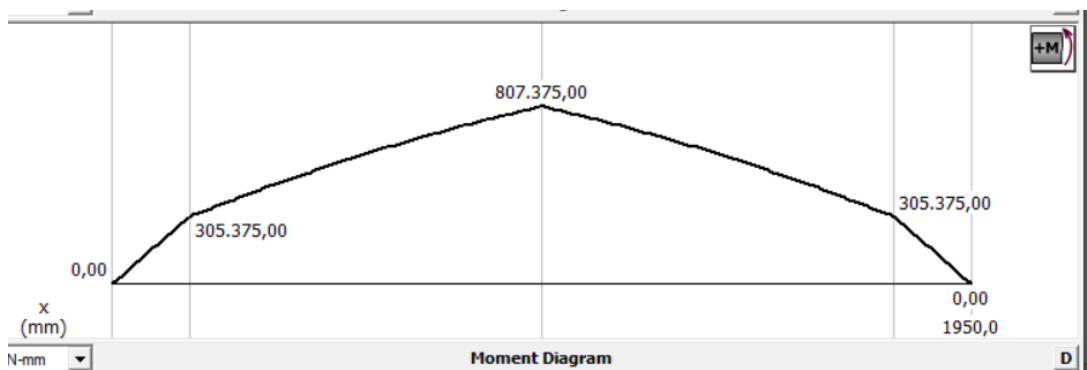
**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

**Figura 10.** Diagrama inicial de fuerza cortante



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

**Figura 11.** Diagrama inicial de momento flector



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

Calculado el momento flector máximo, se calcula el módulo resistente para seleccionar un perfil comercial de catálogo.

$$W = \frac{M}{\sigma}$$

**Ecuación 9**

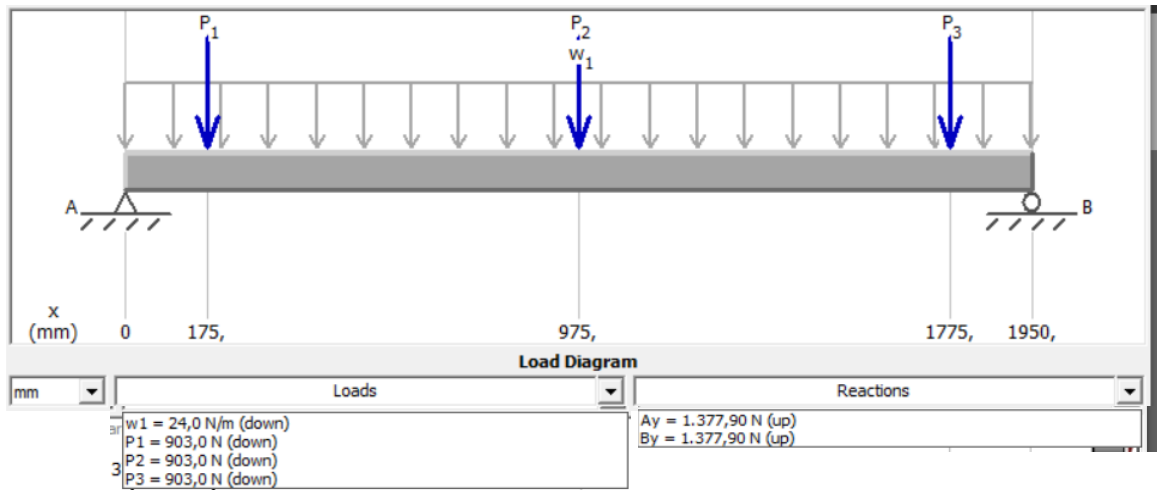
$$W = \frac{807375 \text{ N} \cdot \text{mm}}{250 \text{ MPa}}$$

$$W = 3229,5 \text{ mm}^3$$

$$W = 3,23 \text{ cm}^3$$

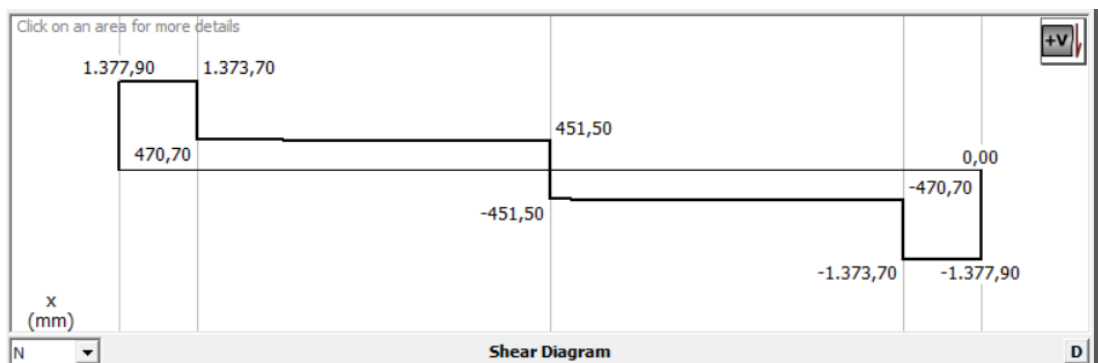
Del catálogo se selecciona el perfil de 40x40x2 que tiene un valor de  $W = 3,46$ . Posteriormente se vuelve a calcular cambiando el valor de la carga distribuida que corresponde a 24 N/m considerando un esfuerzo permisible de 250 MPa del acero ASTM A36. (Anexo C-11)

**Figura 12.** Diagrama final de distribución de cargas



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

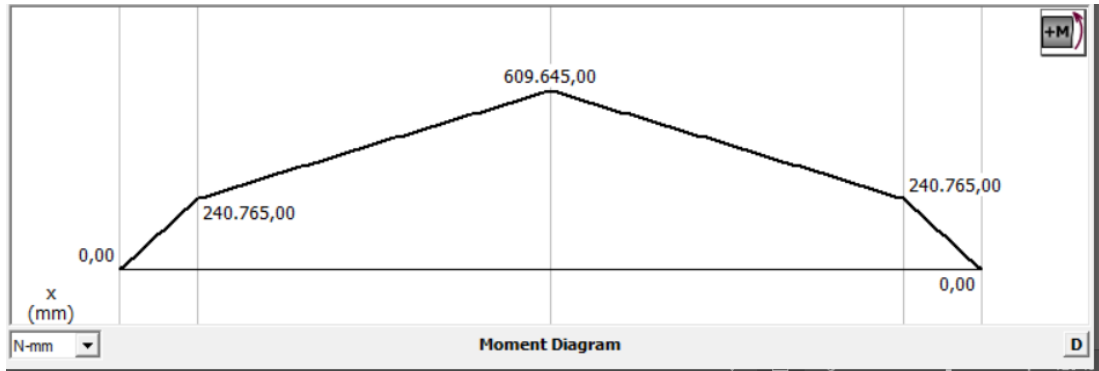
**Figura 13.** Diagrama final de fuerza cortante



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez



**Figura 14.** Diagrama final de momento flector



**Realizado por:** Karen Brito y Steve Núñez

Se tiene:

$$W = \frac{M}{\sigma} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$W = \frac{609645 \text{ N. mm}}{250 \text{ MPa}}$$

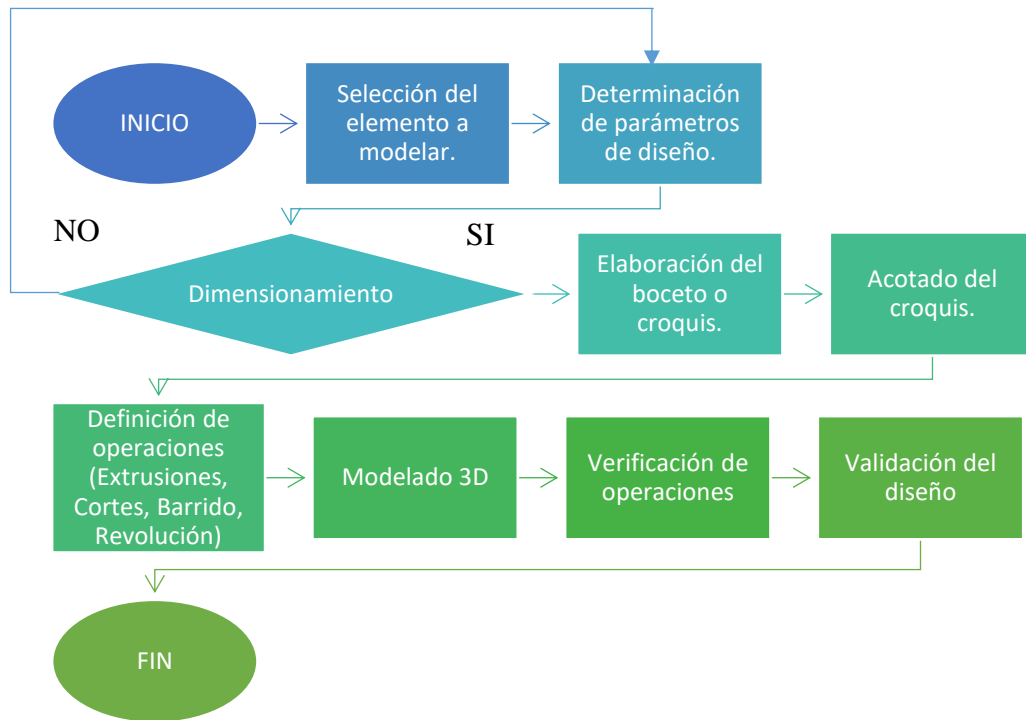
$$W = 2438 \text{ mm}^3$$

$$W = 2,43 \text{ cm}^3$$

Por tanto, se mantiene el perfil estructural cuadrado de 40x40x2 debido a que mantiene un rango de seguridad para soportar los filtros junto con sus accesorios y la parte superior de la estructura, además, con este perfil se asegura también un buen cordón de soldadura ya que tiene un espesor fácil de manejar.

### 3.7. Modelamiento del sistema

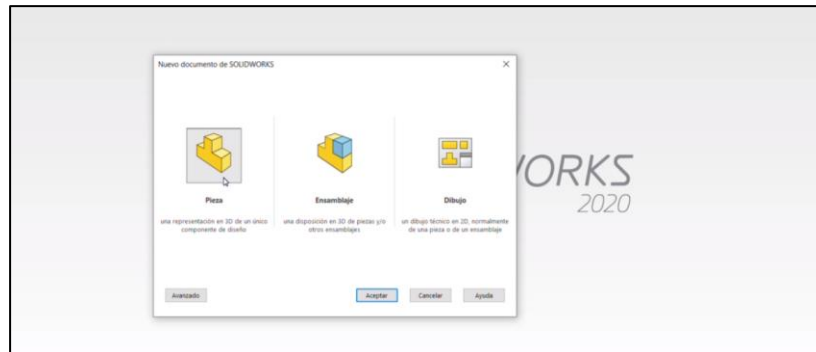
#### 3.7.1. Diagrama de flujo para modelado 3D de piezas.



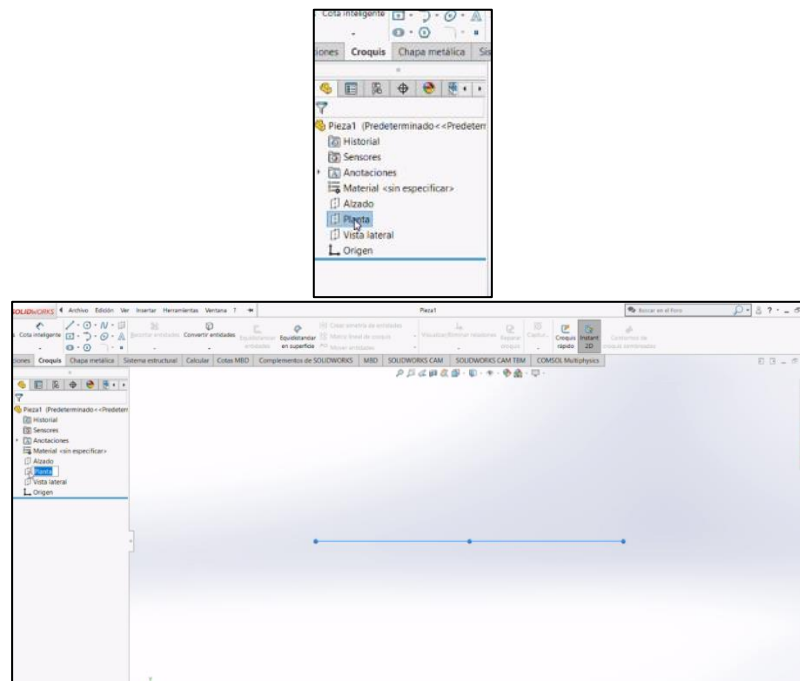
### 3.7.2. Detalle de creación de piezas

Se siguió el siguiente procedimiento para la creación del filtro de acrílico

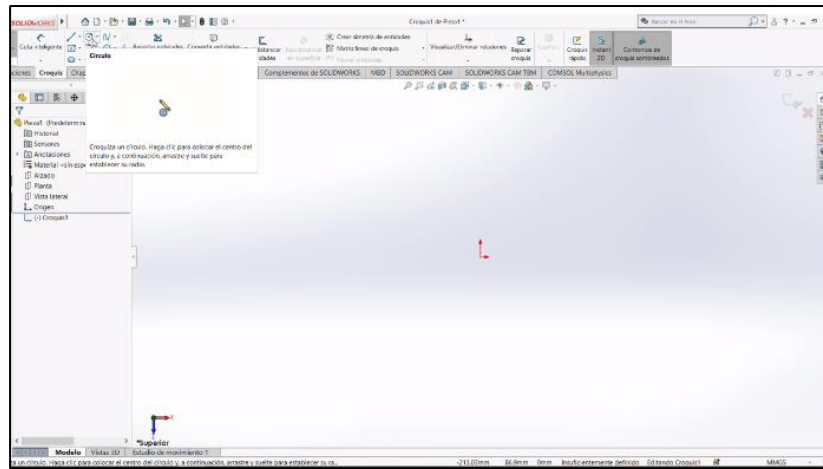
- Clic en nuevo, y seleccionar pieza



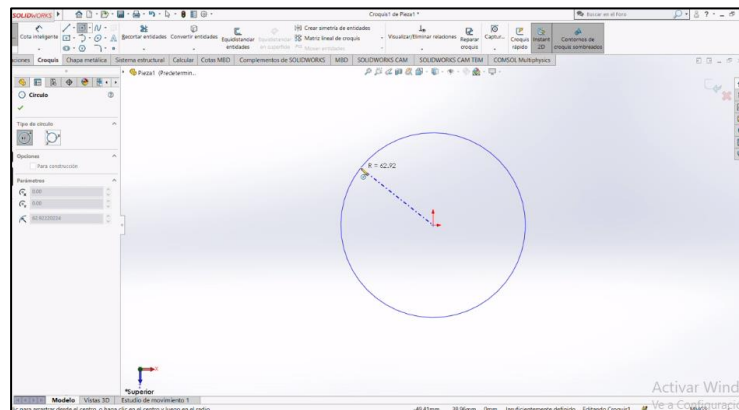
- Verificar las unidades de medida en la parte inferior derecha.
- Seleccionar croquis y vista en planta.



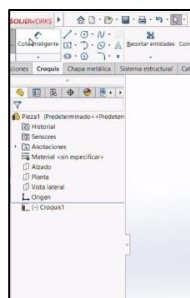
- Seleccionar croquis nuevamente y seleccionar círculo.

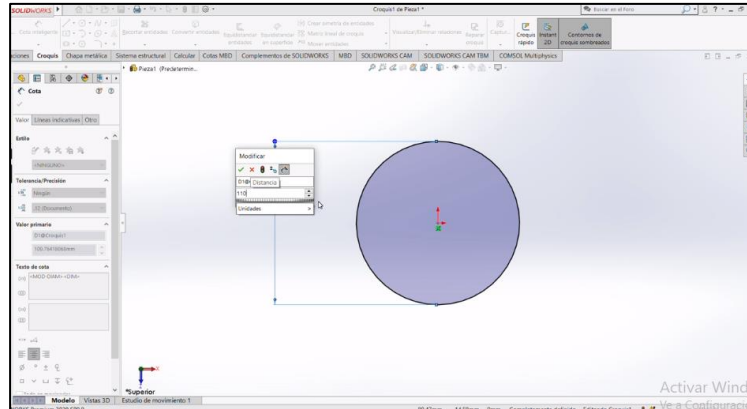


- Desde el origen marcar y soltar sin necesidad de colocar medidas.

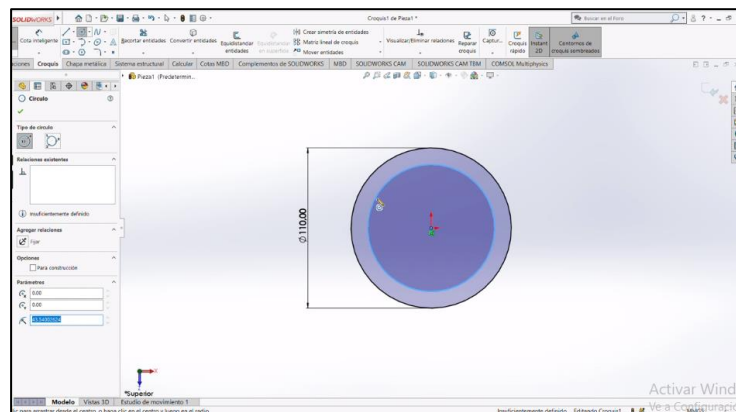


- Seleccionar la opción cota, para darle medidas a la circunferencia, clic en el círculo y colocar la medida.

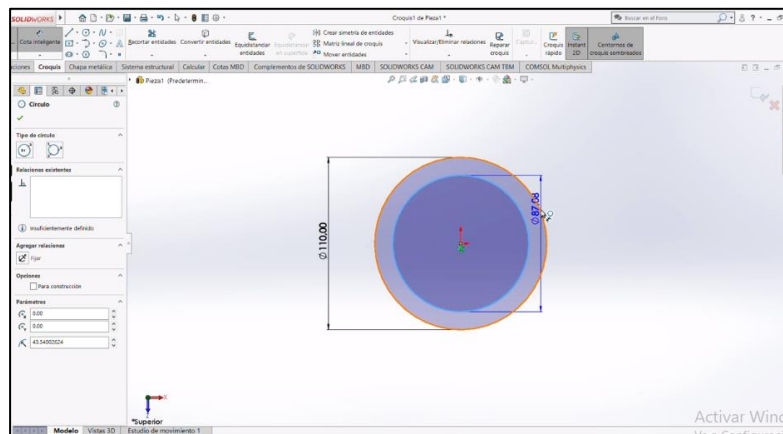




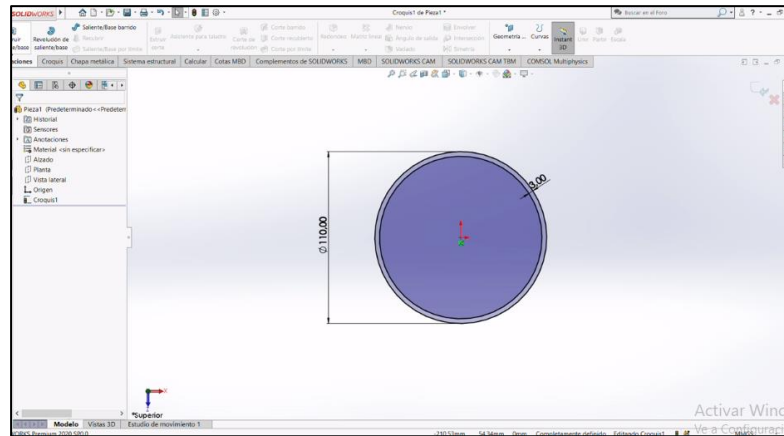
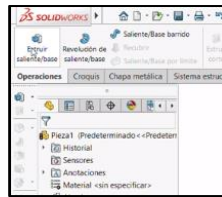
- Otra vez seleccionamos círculo y creamos dentro del anterior.



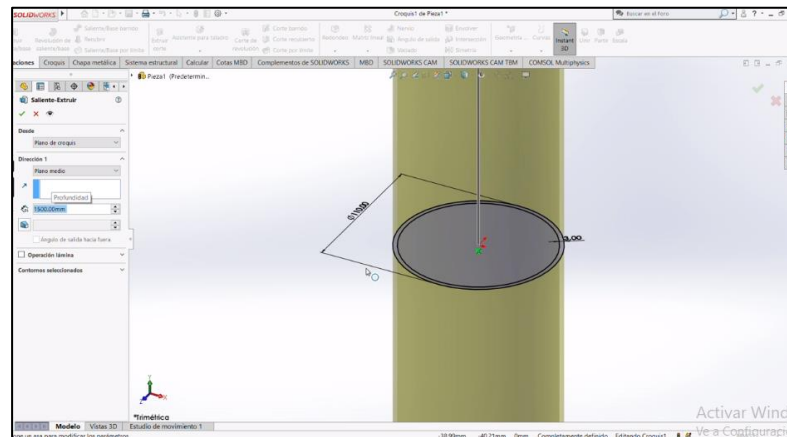
- Para colocar el espesor del tubo, damos clic en cota y seleccionamos los dos círculos



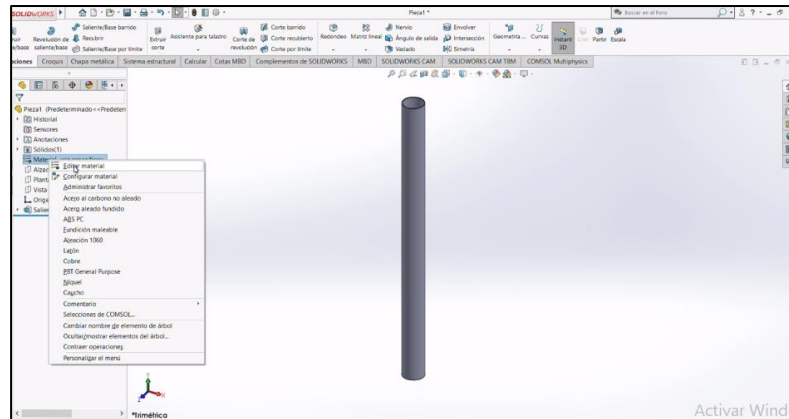
- Clic en operaciones y seleccionamos extruir saliente base.



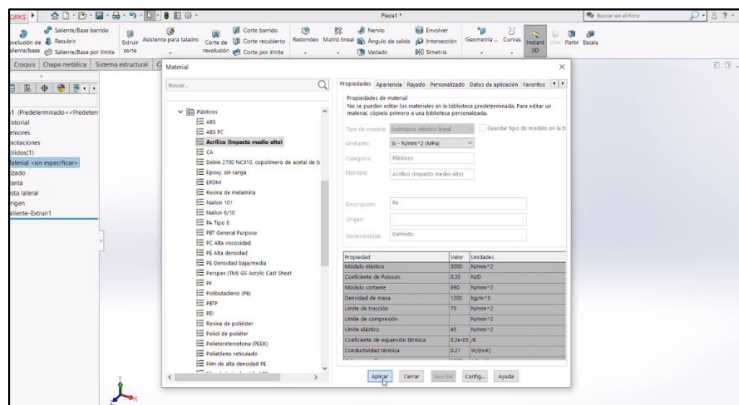
- En el lado derecho configurar la altura 1500mm de la saliente, en dirección seleccionar plano medio. Aceptar (clic en visto verde)



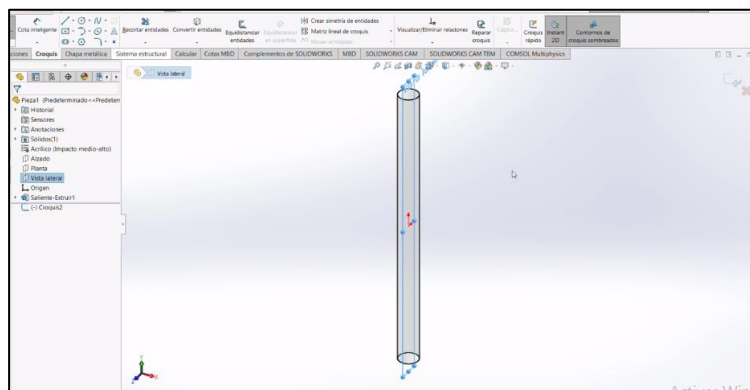
- Clic en material y seleccionar editar material



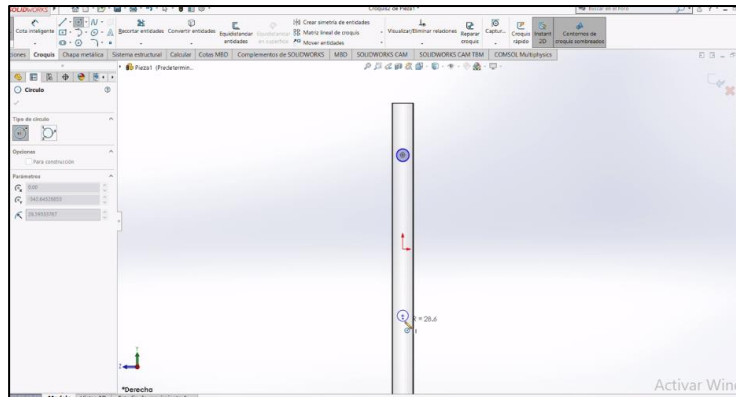
- Seleccionar > plásticos > acrílico de alto impacto > aceptar



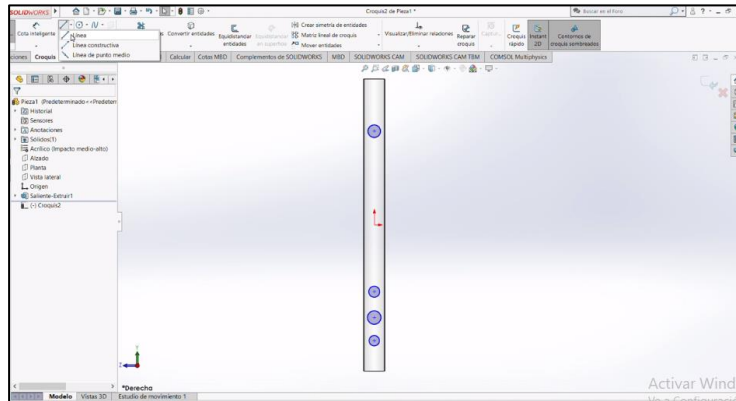
- Clic en vista lateral > croquis > croquis > ctrl+8



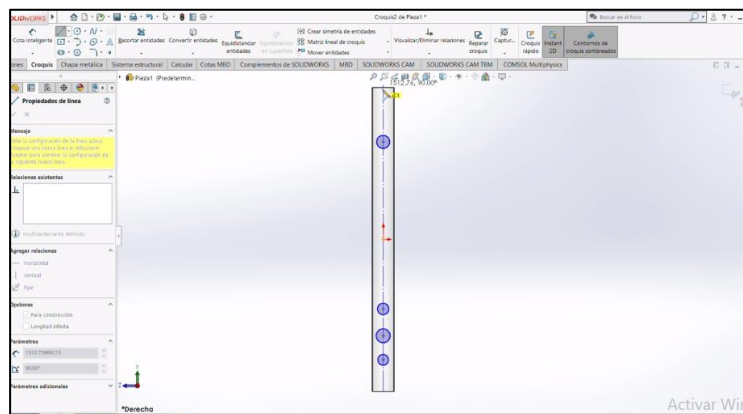
- Seleccionar círculo > insertar sobre el tubo de acrílico



- Seleccionar línea > línea constructiva

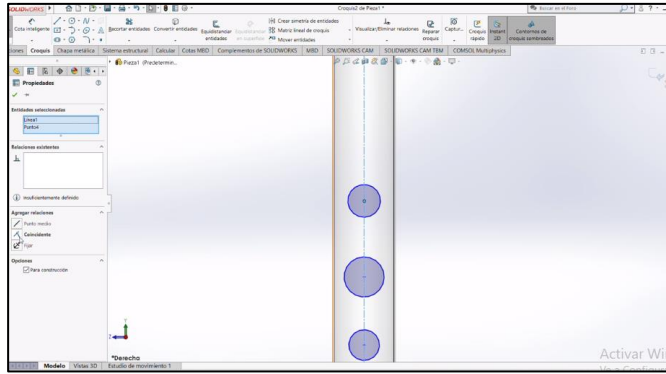


- Marcar desde el borde inferior hasta el borde superior, línea guía

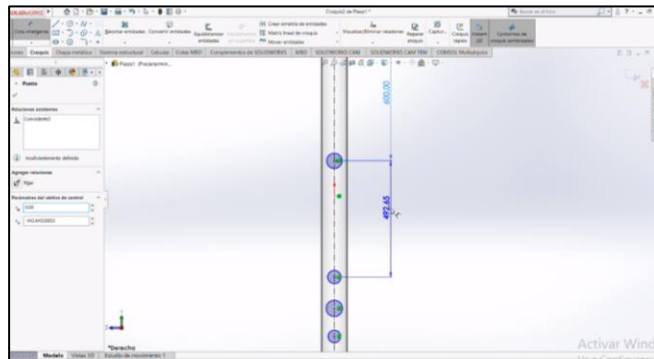


- Para alinear los huecos y la línea seleccionar a línea y un círculo seleccionar coincidente.

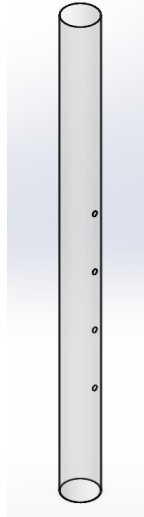
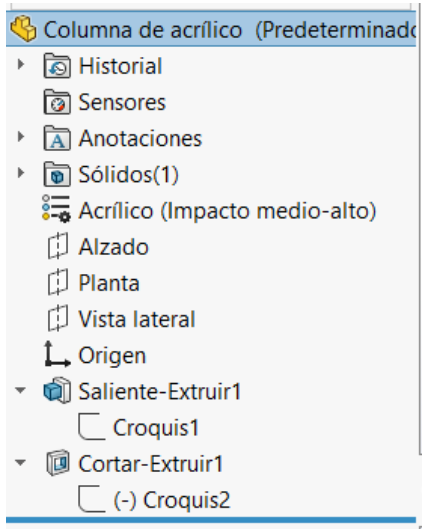


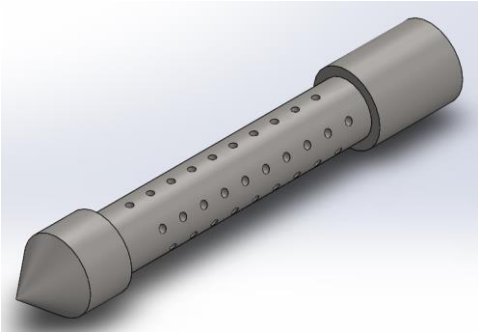
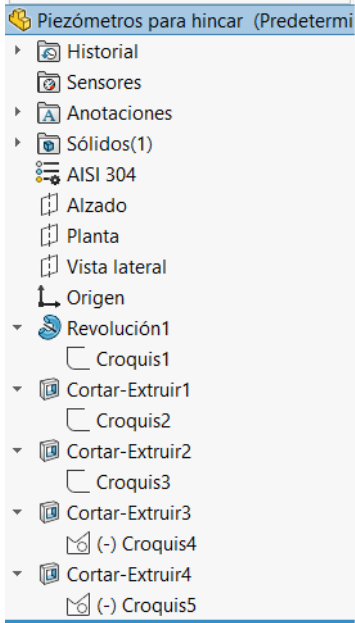


- Colocar las distancias entre huecos, seleccionar cota > seleccionar desde la mitad entre huecos y colocar las medidas 200mm > Guardar el elemento.



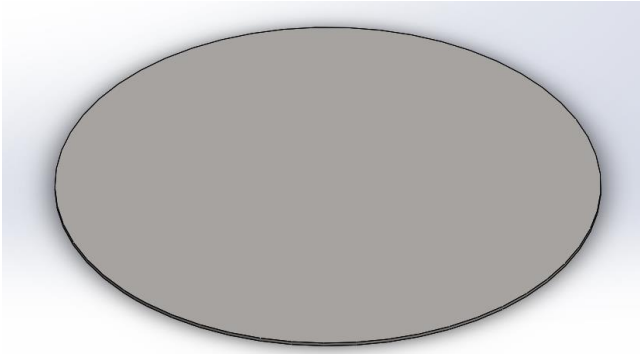
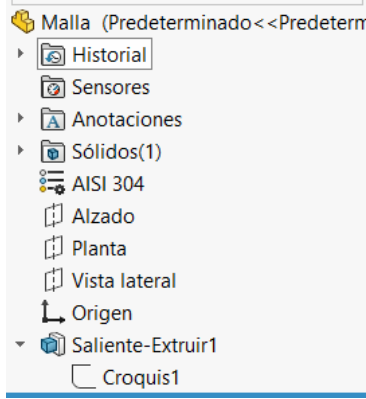
### 3.7.3. Modelado de elementos

Columna de acrílico	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	
Material	Acrílico de alto impacto
<p>Elemento de catálogo con modificación de los agujeros para el ingreso de piezómetros</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión del cilindro y perforaciones del diámetro del piezómetro</p>	

Piezómetro para hincar	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Blindado 615C
Material	Acero inoxidable AISI 304
<p>Elemento de catálogo</p> <p>Operaciones del dibujo: elemento de revolución completa del sólido y extrusión de cortes en diferentes planos</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="https://www.solinst.com/espanol/productos/equipos-de-direct-push/615-piezometros-para-hincar/datasheet/02-muestreo-de-agua-subterranea.php">https://www.solinst.com/espanol/productos/equipos-de-direct-push/615-piezometros-para-hincar/datasheet/02-muestreo-de-agua-subterranea.php</a></p>	

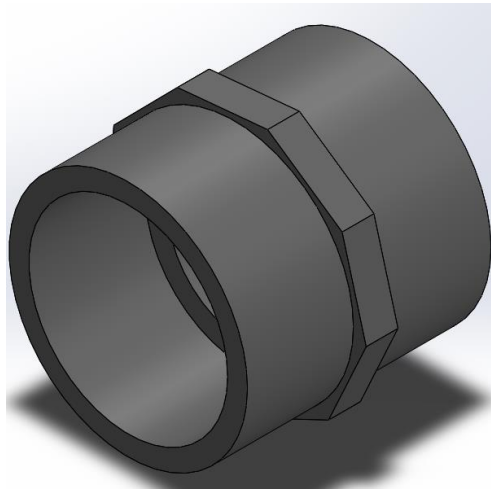
Plato base perforada	
	
<p>Lista de operaciones</p>	
<p>Especificaciones</p>	
<p>Material</p>	<p>Acero inoxidable AISI 304</p>
<p>Elemento de fabricación a la medida</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión del croquis</p> <p>Detalles del croquis: Matriz circular de los agujeros</p>	

Brida	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Kit de bridas fijas
Material	PVC Rígido
<p>Elemento de catálogo</p> <p>Operaciones del dibujo: Elemento de revolución con extrusión de corte con el diámetro de los agujeros para los pernos</p> <p>Detalles del croquis: Matriz circular de los agujeros</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf">https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf</a></p>	

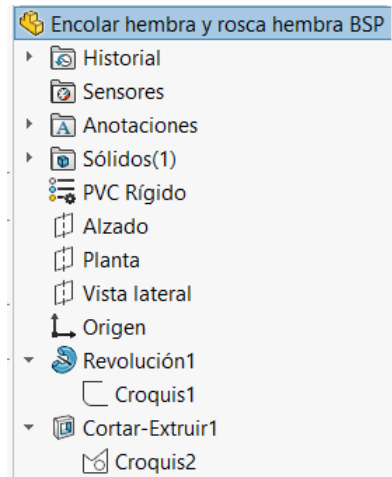
Malla	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	
Material	Acero inoxidable AISI 304
<p>Elemento de catálogo</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión de la circunferencia, por el tamaño del mallado muy fino se toma en cuenta únicamente el espesor de la malla y no se dibujan los agujeros.</p>	
Catálogo:	

Encolar / Reducción cónica	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Reducción cónica Macho x hembra
Material	PVC Rígido
Elemento de catálogo	
Operaciones del dibujo: Elemento de revolución	
Catálogo: <a href="https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf">https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf</a>	

## Encolar hembra y rosca hembra BSP



Lista de operaciones



Especificaciones

Manguito de unión rígido

Material

PVC Rígido

Elemento de catálogo

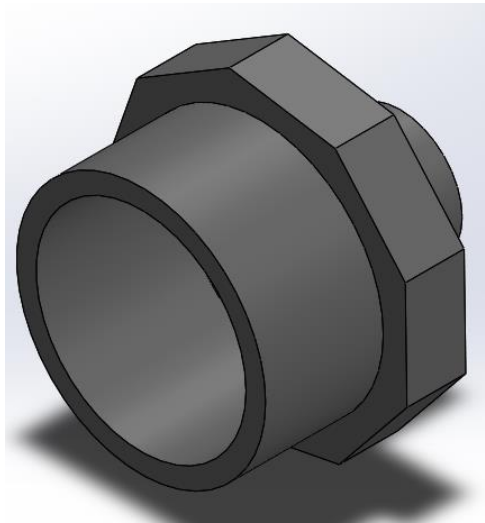
Operaciones del dibujo: Elemento de revolución con extrusión de corte

Catálogo:

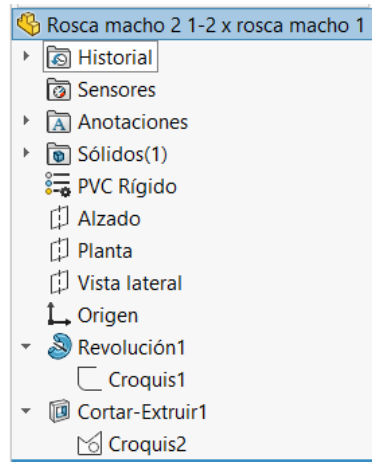
<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>



Rosca macho 2 1-2 x rosca macho 1 1- 4



Lista de operaciones



Especificaciones

Rosca macho x macho BSP

Material

PVC Rígido

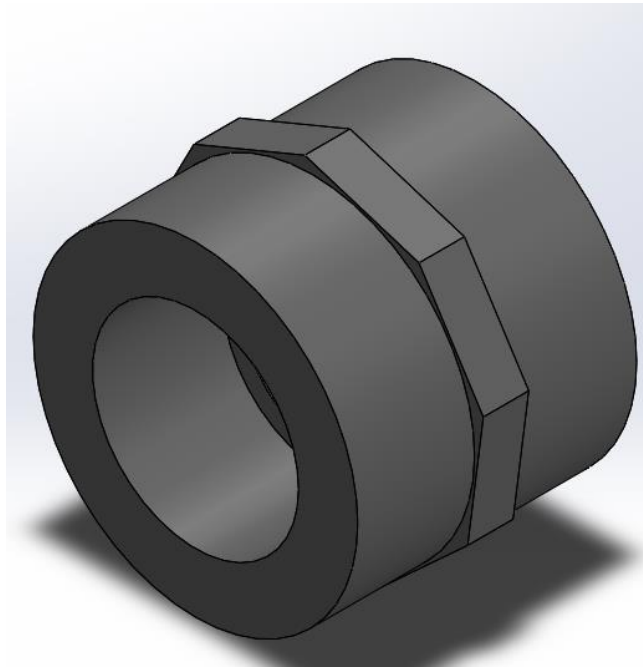
Elemento de catálogo

Operaciones del dibujo: Elemento de revolución con extrusión de corte

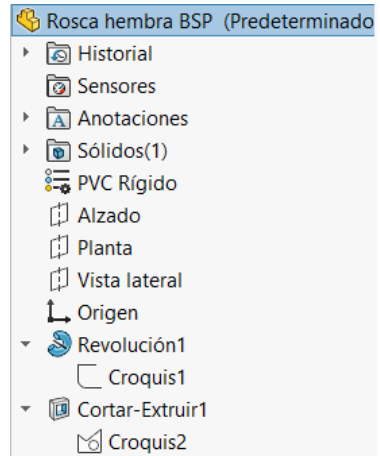
Catálogo:

<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>

Rosca hembra BSP



Lista de operaciones



Especificaciones

Encolar hembra - rosca hembra BSP 75x 2 1/2"

Material

PVC Rígido

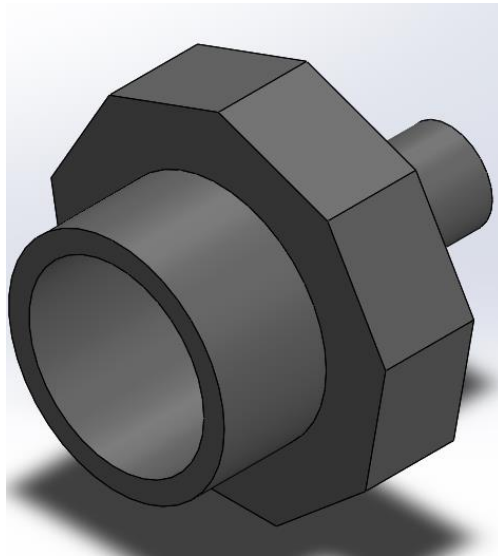
Elemento de catálogo

Operaciones del dibujo: Elemento de revolución con extrusión de corte

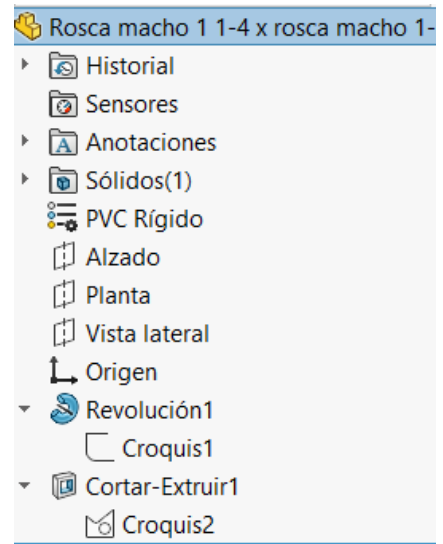
Catálogo:

<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>

Rosca macho 1 1-4 x rosca macho 1-2



Lista de operaciones



Especificaciones

Rosca macho x macho BSP

Material

PVC Rígido

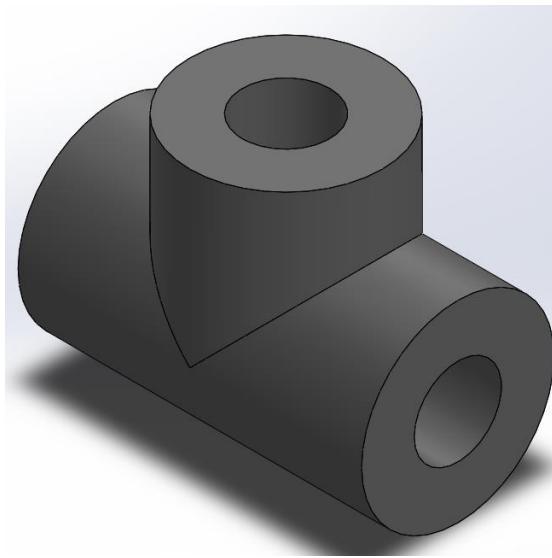
Elemento de catálogo

Operaciones del dibujo: Elemento de revolución con extrusión de corte

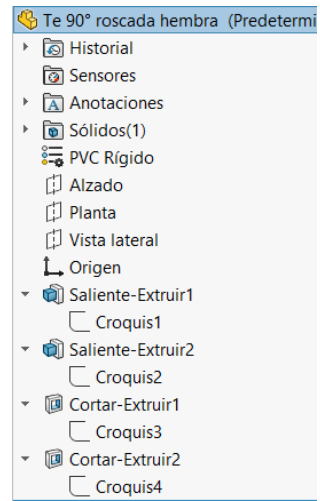
Catálogo:

<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>

Te 90° roscada hembra



Lista de operaciones



Especificaciones

Rosca BSP

Material

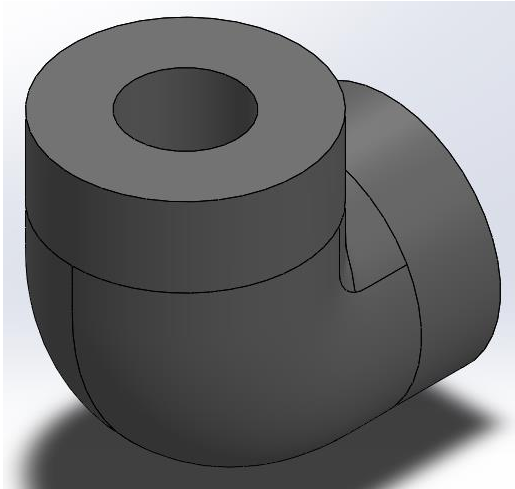
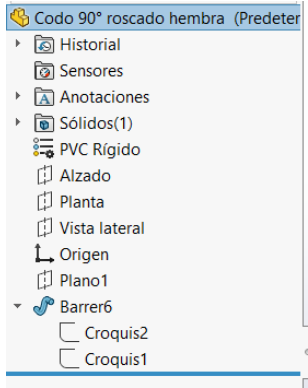
PVC Rígido

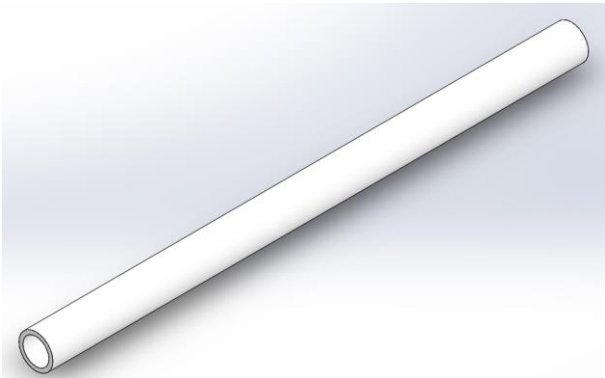
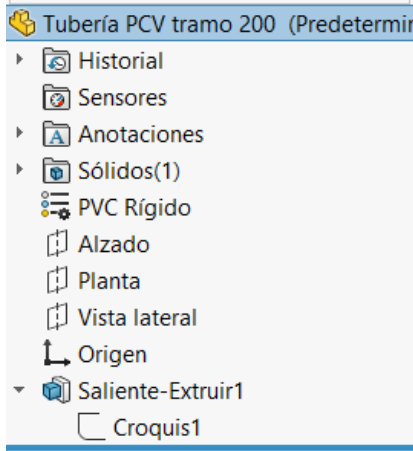
Elemento de catálogo

Operaciones del dibujo: Elemento extruido en saliente con extrusión de corte

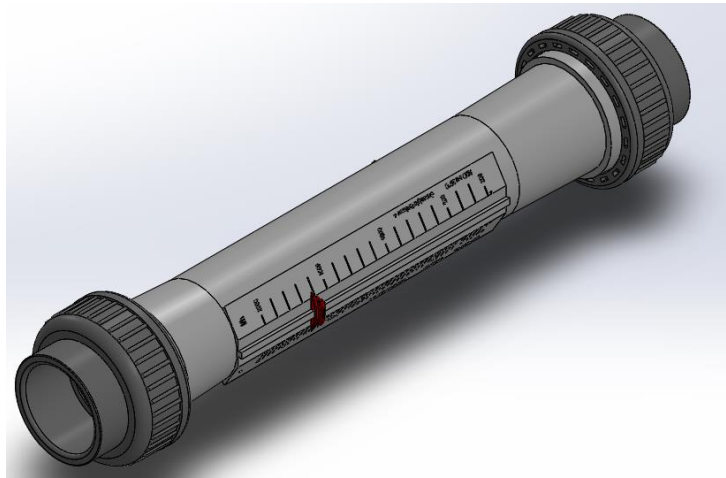
Catálogo:

<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>

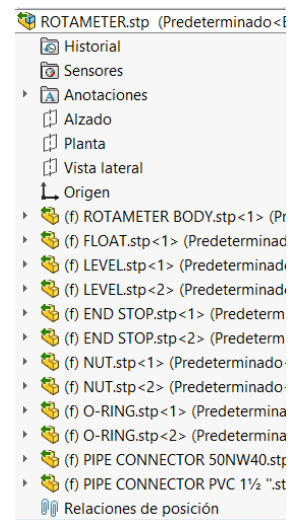
Codo 90° roscado hembra	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Doble rosca BSP
Material	PVC Rígido
Elemento de catálogo	
Operaciones del dibujo: Elemento extrusión de saliente base/barrido	
Catálogo: <a href="https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf">https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf</a>	

Tramos de tubería	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Tubería ½"
Material	PVC Rígido
Elemento de catálogo	
Operaciones del dibujo: Elemento extrusión de cilindro	
Catálogo: <a href="https://plastigamawavin.com/wp-content/uploads/2020/02/HT_PVC_Roscable_2019.pdf">https://plastigamawavin.com/wp-content/uploads/2020/02/HT_PVC_Roscable_2019.pdf</a>	

## Rotámetro



### Lista de operaciones



### Especificaciones

Caudalímetro con rosca hembra BSP

### Material

Metacrilato

### Elemento de catálogo

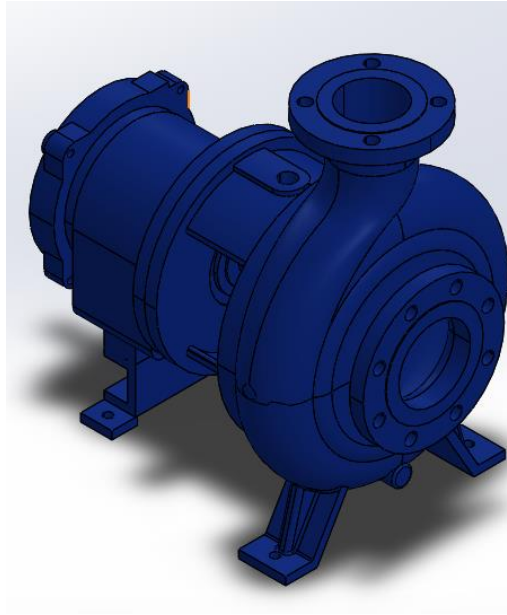
Operaciones del dibujo: Conjunto de elementos de ensamblaje importados

Fuente: Grabcad.com

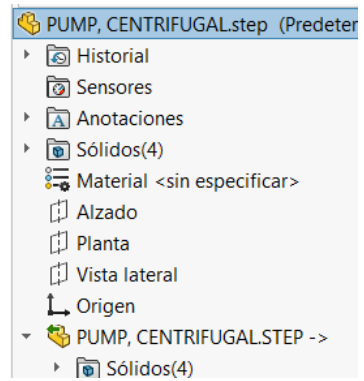
### Catálogo:

<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>

## Bomba cetrífuga



Lista de operaciones



Especificaciones

109 W -20 lpm - 10 mca

Material

Varios

Elemento de catálogo

Operaciones del dibujo: Conjunto de elementos de ensamblaje importados

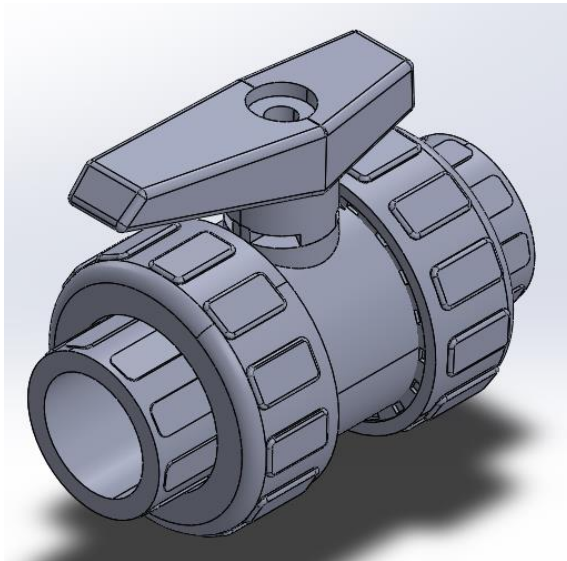
Fuente: Grabcad.com

Catálogo:

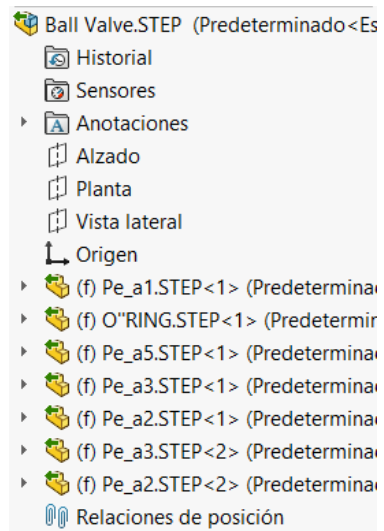
<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>



Válvula de bola



Lista de operaciones



Especificaciones

D16 3/8" Roscada

Material

Varios

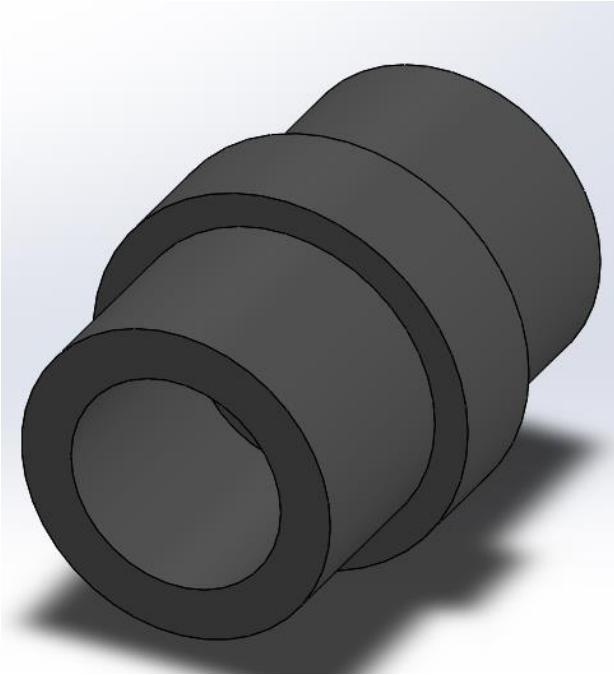
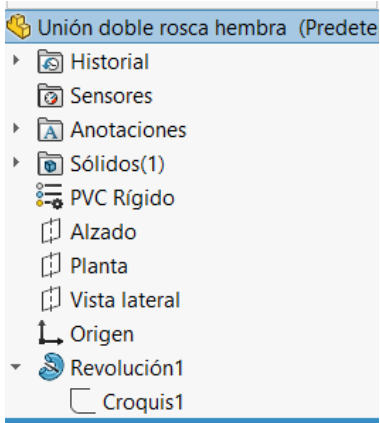
Elemento de catálogo

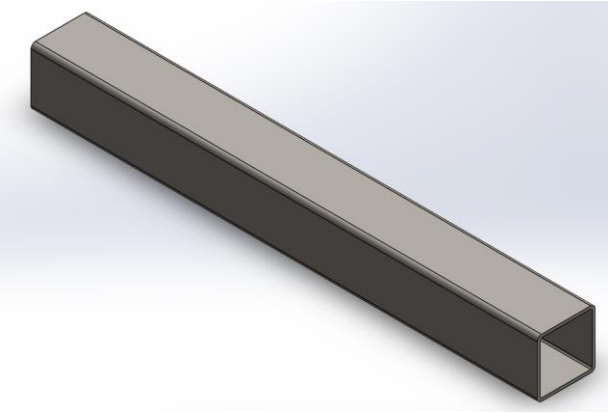
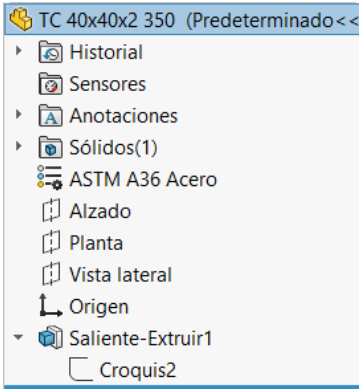
Operaciones del dibujo: Conjunto de elementos de ensamblaje importados

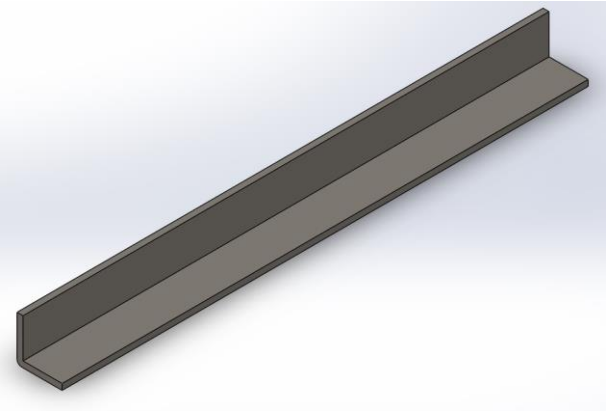
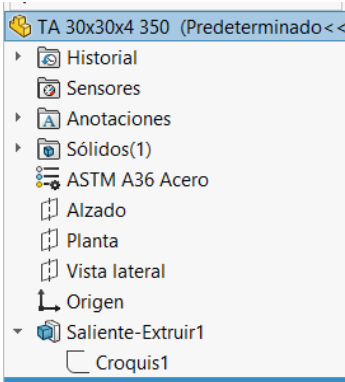
Fuente: Grabcad.com

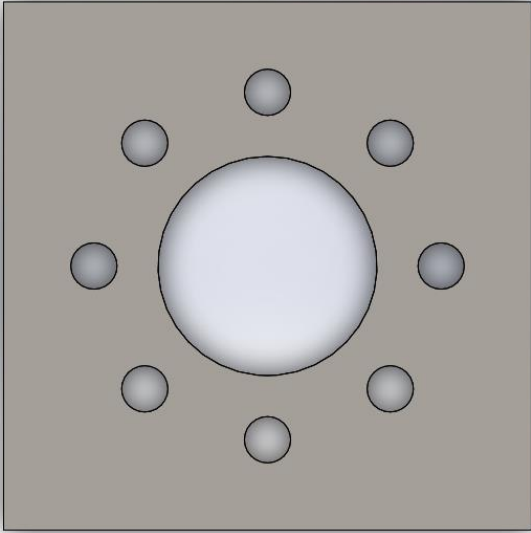
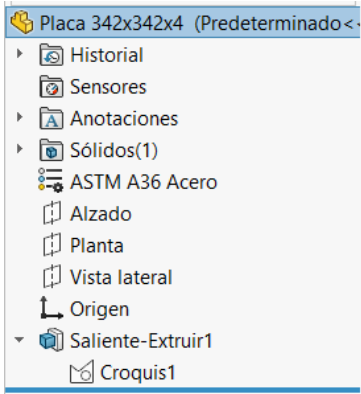
Catálogo:


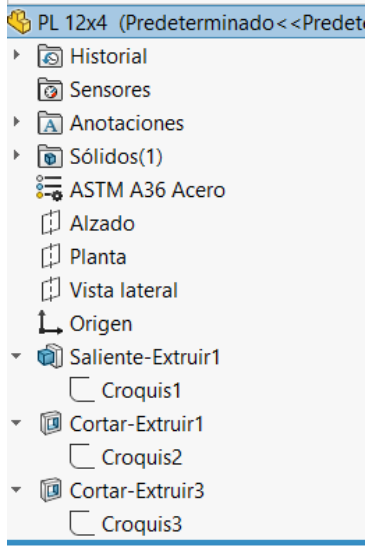
<https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf>

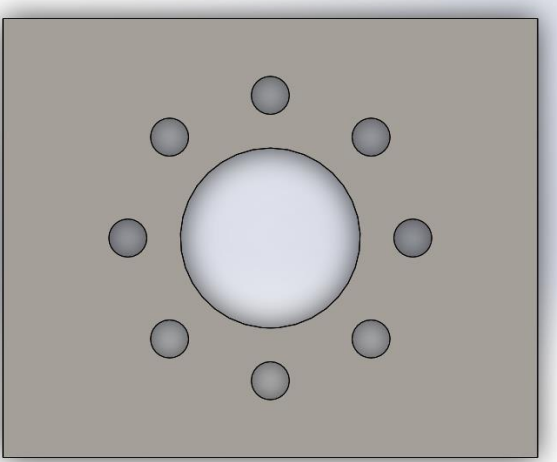
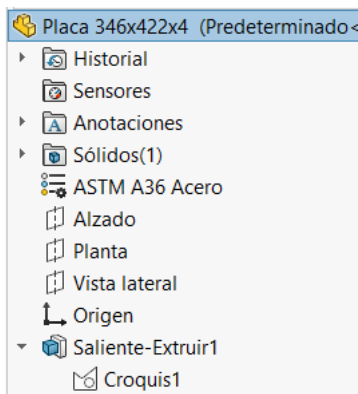
Unión doble rosca hembra	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Manguito de unión doble rosca BSP 1/4"
Material	PVC Rígido
<p>Elemento de catálogo</p> <p>Operaciones del dibujo: Elemento de revolución</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf">https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-cepex/Catalogo-Tecnico-PVC-PP-Cepex.pdf</a></p>	

TC 40x40x2	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Tramos de tubo cuadrado de 40x40x2
Material	ASTM A36
<p>Elemento estructural de catálogo con modificaciones en la longitud</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión de croquis con geometría cuadrada</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales">http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales</a></p>	

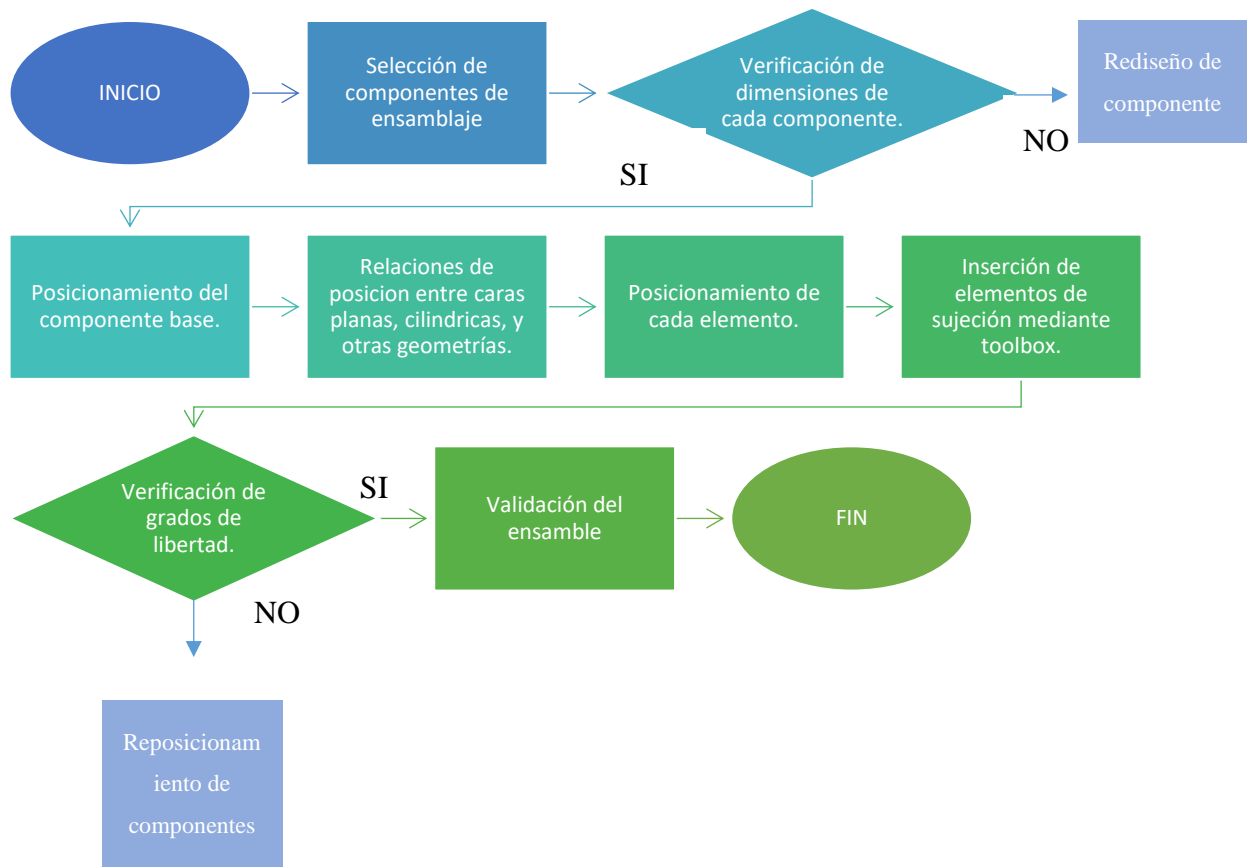
TA 30X30X4	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Tramos de ángulo de 30x30x4
Material	ASTM A36
<p>Elemento estructural de catálogo con modificaciones en la longitud</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión de croquis</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales">http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales</a></p>	

Placa 342x342x4	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Plancha de acero estructural con corte plasma
Material	ASTM A36
<p>Elemento estructural de catálogo con modificaciones en la longitud</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión de croquis</p> <p>Detalles del croquis: matriz circular de agujeros</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales">http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales</a></p>	

Platina 12X4	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Platina de 12x4 con corte angular para refuerzos
Material	ASTM A36
<p>Elemento estructural de catálogo con modificaciones en la longitud</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión de croquis y extrusión de corte</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales">http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales</a></p>	

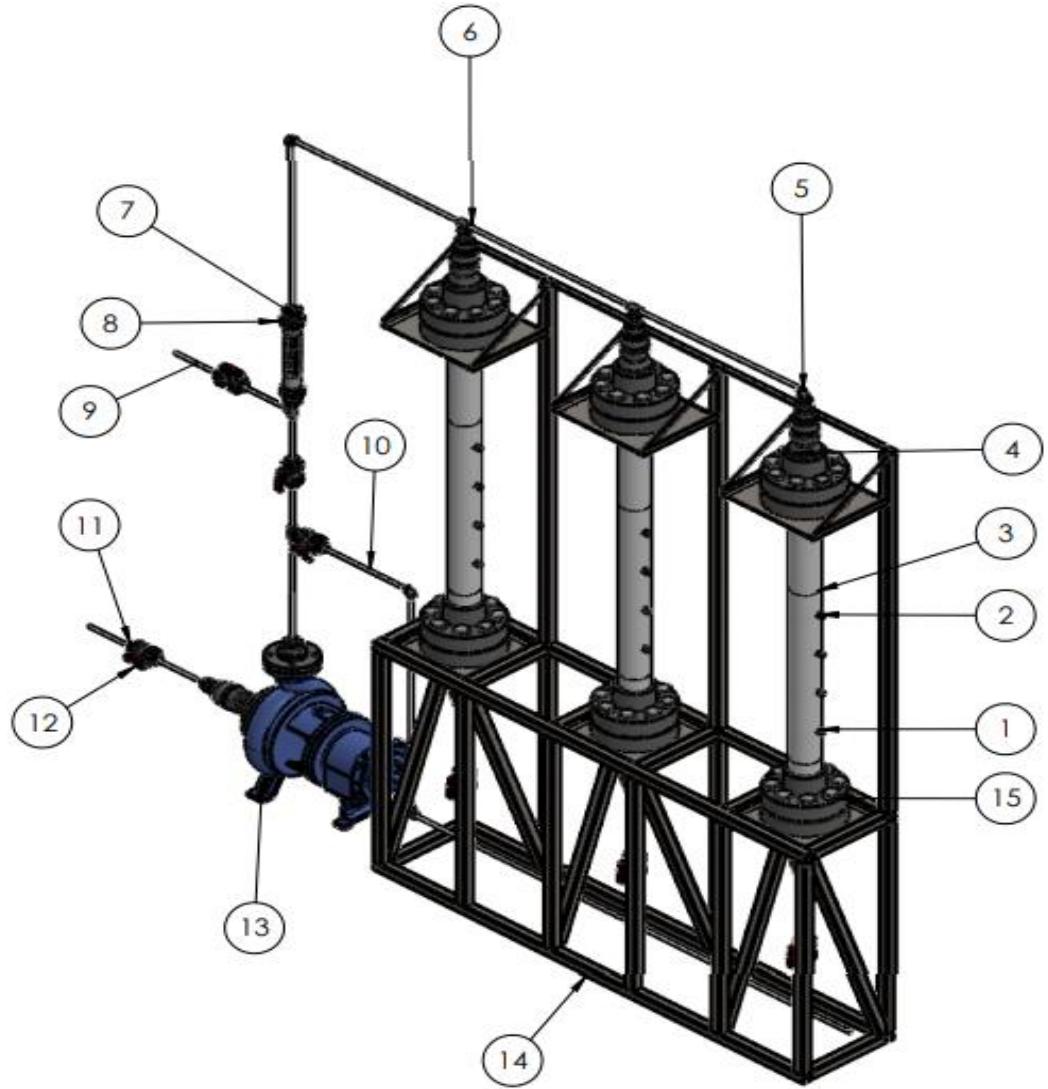
Placa 346x422x4	
	
Lista de operaciones	
Especificaciones	Plancha de acero estructural con corte plasma
Material	ASTM A36
<p>Elemento estructural de catálogo con modificaciones en la longitud</p> <p>Operaciones del dibujo: Extrusión de croquis</p> <p>Detalles del croquis: matriz circular de agujeros</p>	
<p>Catálogo:</p> <p><a href="http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales">http://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales</a></p>	

### 3.7.4. Diagrama de flujo ensamblaje.



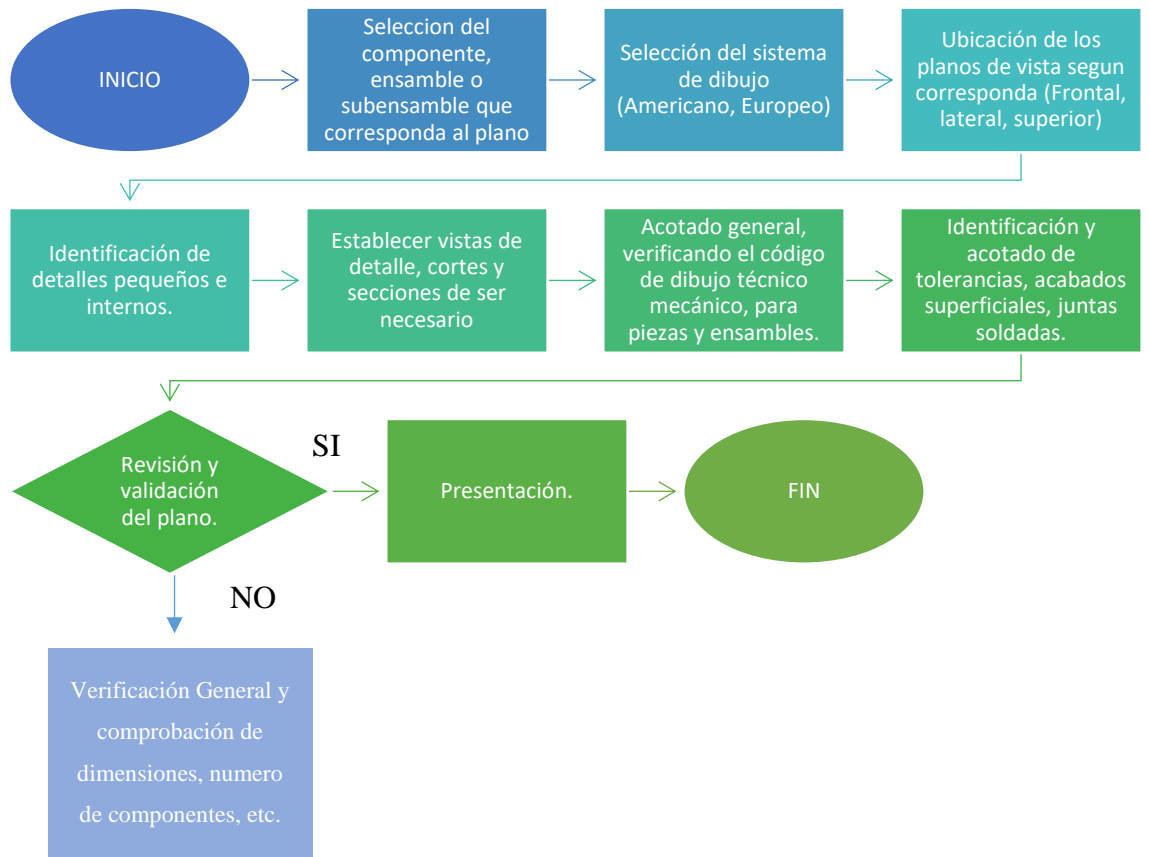


### 3.7.4.1. Partes del sistema de filtración en columnas



<b>No.</b>	<b>PIEZA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>FUNCIÓN</b>
1	Columna de acrílico	Columna de acrílico de alto impacto para contener materiales en estado líquido, sólido o gaseoso.	La función en el sistema es mantener el medio filtrante a una altura determinada mientras una cantidad de agua contaminada circula a través de las columnas, con el fin de mantener herméticamente sellado el proceso de filtración.
2	Piezómetro para hincar	Accesorio utilizado para toma de muestras de líquidos.	Son utilizados para tomar muestras de agua en ciertos puntos de del medio filtrante, para posterior análisis.
3	Medio filtrante	Es un mecanismo de remoción encargado de adsorber las partículas presentes en aguas contaminadas.	Es el material que detiene el paso de partículas presentes en el agua residual.
4	Reductores	Es el componente encargado de reducir el tamaño de la tubería de un diámetro más grande a otro más pequeño.	Se utiliza reductores de PVC para tener una continuidad después de colocar la columna de acrílico desde 4" a 1/2"
5	Codo 90° PVC	Accesorios utilizados para redirigir el lineamiento de un sistema de columnas.	La función de los codos de 90° de PVC en el sistema es mantener un sistema continuo.
6	TEE PVC	Accesorios utilizados para redirigir el lineamiento de un sistema de columnas.	Accesorio que une a tres tuberías de 1/2".
7	Rosca PVC	Accesorio de PVC útil en el sistema de continuidad de un sistema de tuberías.	Su función es unir un reductor, unión, el sistema de columnas al sistema de tubería de 1/2" de PVC.
8	Rotámetro	También conocido como caudalímetro, se usa medir el caudal de líquidos y o gases.	Se utiliza para seleccionar la cantidad de caudal que se desea filtrar en el sistema de columnas.
9	Tubería de 1/2" Pvc	Es un tubo de plástico rígido que se utiliza en la línea de hidrosanitarias	Esta tubería tiene la función de llevar el agua a tratarse a cada sistema de columnas.
10	Tubería de 1/2" Pvc	Es un tubo de plástico rígido que se utiliza en la línea de hidrosanitarias	Tubería para retrolavado , encargada de conectar a la bomba centrífuga con cada punto de cada columna de acrílico.
11	Tubería de 1/2" Pvc	Es un tubo de plástico rígido que se utiliza en la línea de hidrosanitarias	Es la tubería que parte desde la toma de agua residual hasta el sistema de bombeo.
12	Válvula de bola	Es un aparato mecánico con el cual se puede iniciar o detener el paso de líquidos, mediante una pieza móvil que abre, cierra u obstruye los orificios o conductos. Tiene una excelente estanqueidad y cuando están abiertas tienen una pérdida de carga reducida.  Su función es controlar el paso del fluido hacia la tubería de pvc y evitar que se mezcle agua potable para el retrolavado con el fluido contaminado a tratar.	La función en el sistema es restringir o permitir el paso de agua residual o agua tratada, con el fin de evitar que se mezclen, a su vez durante el retrolavado se puede elegir cual sistema de columna es el que se va a realizar el proceso de limpieza.
13	Bomba centrífuga	Utilizado para bombear fluidos	Tiene la función de bombear agua al sistema de columnas y a su vez cuando se necesite realizar el proceso de retrolavado.
14	Soporte de estructura metálica	Son estructuras unidas entre si para formar un sistema estructural capaz de soportar una carga.	Es necesario para que el sistema de tres columnas se pueda mantener estable durante el proceso de filtración y retrolavado.
15	Brida	Es un elemento conformado por dos componentes, se utiliza para unir un sistema de tubería.	Es utilizado para unir la columna de acrílico con el sistema de tuberías.

### 3.7.5. Diagrama de flujo elaboración de planos.



## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Los parámetros de diseño calculados para las sustancias reactivas son: el diámetro de partícula para la arena fina que es de 0.35mm y la longitud del medio filtrante con una altura de 80 cm, características críticas establecidas que permitirán la pruebas con partículas de mayor tamaño en condiciones dinámicas como la filtración rápida en el sistema.
- El filtro tiene una longitud de 1.50 m, un diámetro de 10” y un espesor de 3 mm, con caudales de funcionamiento entre 3.52 l/min y 16.72 l/min y una pérdida de carga de 2770.01 m; con lo que se obtuvo las características de una bomba de 109 W, con un caudal máximo de 20 lpm y una presión de 10 mca para el sistema de bombeo.
- La modelación del sistema permitió establecer las longitudes de tubería especificadas tanto para el sistema de filtración (tuberías ascendentes y superiores), como para el sistema de retrolavado (tuberías inferiores); permitiendo plasmar los detalles de cada pieza para su construcción.
- Para el sistema experimental se estableció la tasa de filtración entre 4.17 m/h a 19.8 m/h, lo que nos ofrece un rango de operación para las pruebas experimentales de filtración en dichas condiciones dinámicas, variando acorde al tamaño de la partícula del medio filtrante.
- Para la operación de retrolavado, se obtuvo una velocidad de fluidización de 22 m/h para un tamaño de partícula de 0.65 mm, permitiendo una expansión del lecho acorde a lo recomendado para tamaño de partículas menores a las consideradas.
- Se calculó y diseño un sistema de soporte metálico que permitirá soportar las cargas producidas por el sistema de columnas durante su operación, utilizando perfiles y placas metálicas.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda no sobrepasar la profundidad del lecho filtrante establecido, ya que su eficiencia en la remoción de contaminantes no aumentará, considerando también el costo de las sustancias reactivas.
- Se recomienda no utilizar partículas menores al tamaño crítico establecido, ya que no funcionaría como filtro rápido y durante el proceso de retrolavado las partículas podrían entrar en la tubería principal y causar problemas en su funcionamiento.
- Se recomienda establecer la propiedades físicas y mecánicas de las sustancias reactivas que se usarán en el sistema de pruebas en columna, para determinar las pérdidas de carga de la columna, así como el caudal de funcionamiento para las pruebas de filtración.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### Bibliografía

- [1] P. Méndez *et al.*, “Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales En America Latina: Realidad y Potencial,” *Caos Concienc.*, vol. 1, no. figura 1, pp. 51–58, 2003.
- [2] Á. A. Ruiz, “La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua,” *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 1, no. 2, pp. 61–66, 2004.
- [3] P. Alma and Y. López, “Proceso de adsorción con carbón activado para la remoción de compuestos orgánicos de agua clarificada tratada para consumo humano.”
- [4] L. O. Rueda Usme and D. L. Romero González, “Desarrollo De Modelo Didáctico De Columnas Filtrantes a Partir De Los Requerimientos Técnicos De Los Laboratorios Del Área De Geotecnia E Hidráulica,” 2017, no. 6, p. 44, 2017.
- [5] L. V. H and A. R. Q, “Diseño de un Sistema de Filtración Continua Arena - Carbón Activado como herramienta Didáctica en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.”
- [6] J. C. Crittenden, R. R. Trussell, D. W. Hand, K. J. Howe, and G. Tchobanoglous, *MWH’s water treatment: principles and design*. John Wiley & Sons, 2012.
- [7] M. G. Healy, M. Rodgers, and J. Mulqueen, “Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters,” *Bioresour. Technol.*, vol. 98, no. 12, pp. 2268–2281, 2007.
- [8] J. Li, X. Han, B. W. Brandt, Q. Zhou, L. Ciric, and L. C. Campos, “Physico-chemical and biological aspects of a serially connected lab-scale constructed wetland-stabilization tank-GAC slow sand filtration system during removal of selected PPCPs,” *Chem. Eng. J.*, vol. 369, pp. 1109–1118, 2019.

- [9] A. F. Torres Puentes and others, “Evaluación de parámetros en la filtración rápida como tratamiento de agua gris doméstica,” Uniandes, 2017.
- [10] D. E. Calle Padilla and M. del C. Romero Zambrano, “Elaboración del modelo físico y la guía metodológica de una columna de filtración de arena, antracita y carbón activado para la asignatura de Hidrosanitaria de la Universidad del Azuay,” Universidad del Azuay, 2019.
- [11] R. Ramírez, A. Véliz, G. Juan, L. Moreno, G. Herrera, and M. Salvatierra, “Reducción de trazas de materia orgánica en agua potable mediante la adsorción con Zeolita Reduction of organic matter traces in drinking water through adsorption with zeolite,” vol. 12, no. 29, pp. 51–62, 2019.
- [12] L. G. Tello and A. A. Sánchez, “La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador.,” *Cienc. Soc. y Económicas*, vol. 3, no. 1, pp. 110–169, 2019.
- [13] R. G. Sanchez Proaño, “Tratamiento De Efluentes De Lubricadoras Y Lavadoras De Autos Mediante Un Sistema De Lodos Activados De Lechos Suspendido A Escala De Laboratorio.,” 2019.
- [14] S. Jiménez, “Estudio teórico para el control de la contaminación por grasas y aceites generada por la actividad industrial, doméstica y de servicios,” *Esc. Super. Ing. química e Ind. Extr.*, 2012.
- [15] A. R. Clemente, E. L. Chica Arrieta, and G. A. Peñuela Mesa, “Procesos de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes,” *Rev. Ambient. Água*, vol. 8, no. 3, pp. 93–103, 2013.
- [16] T. M. Kelley, “Using Rapid Small Scale Column Testing to Evaluate Granular Activated Carbon Adsorption of Cyanotoxins from Drinking Water,” University of Cincinnati, 2017.
- [17] R. Usme, L. Oswaldo, and D. L. Romero González, “Desarrollo de modelo didáctico de columnas filtrantes a partir de los requerimientos técnicos de los laboratorios del área de geotecnia e hidráulica,” 2017.

- [18] J. Melgarejo and P. Fernández-Aracil, “Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad,” 2019.
- [19] Comisión Nacional del Agua, *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales*. Tlalpan, México, 2019.
- [20] M. A. E. N. CENTROAMÉRICA, “Manual de depuración de aguas residuales urbanas,” 2008.
- [21] A. Rodríguez Fernández-Alba, P. Letón García, R. Rosal García, M. Dorado Valiño, S. Villar Fernández, and J. M. Sanz García, “Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales,” *Citme*, pp. 6,8. 13, 30, 34, 2006, doi: M-30985-2006.
- [22] F. L. Burton *et al.*, *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Metcalf & Eddy, 1995.
- [23] S. D. Suárez Hidalgo, “Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de las descargas de un centro comercial de la ciudad de Quito mediante procesos de electrocoagulación y adsorción en carbón activado,” Quito, 2014., 2014.
- [24] RODRIGO MARCELO AYALA FANOLA GREBY GONZALES MARQUEZ, “Apoyo Didactico En La Enseñanza – Aprendizaje De La Asignatura De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales,” p. 345, 2008.
- [25] M. D. Guevara Morales, “Análisis del manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Coatepec, Veracruz,” 2013.
- [26] K. S. E. Landin and D. A. N. Tovar, “ELABORACIÓN DE UN FILTRO DE AGUA A PARTIR DE RESIDUOS DÓMESTICOS,” *JÓVENES EN LA Cienc.*, vol. 3, no. 2, pp. 802–806, 2017.
- [27] W. S. Vásquez, W. F. Vásquez, C. E. Hernández, and Z. M. Niño, “Diseño de un sistema de filtración para soluciones de amina usadas en lavado de CO<sub>2</sub> en plantas de amoníaco,” *Rev. Ing. UC*, vol. 23, no. 3, pp. 327–340, 2016.



- [28] C. A. Torres-Parra, C. A. García-Ubaque, J. C. García-Ubaque, M. C. García-Vaca, and R. Pacheco-García, “Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración,” *Rev. Salud Pública*, vol. 19, pp. 453–459, 2017.
- [29] M. F. Arévalo, “Filtración,” *Recuper. el*, vol. 24, 2009.
- [30] N. Otero Calviño and others, *Filtración de aguas residuales para reutilización*. Universidad de La Laguna, Servicio de Publicaciones, 2009.
- [31] R. L. Droste and R. L. Gehr, *Theory and practice of water and wastewater treatment*. John Wiley & Sons, 2018.
- [32] M. F. Vásquez-Aburto, “Evaluación y predicción de la expansión del medio granular durante el retrolavado en filtros rápidos,” 2019.
- [33] L. F. Loayza Jaramillo, “Diseño y construcción de una columna con piedra caliza para reducción de hierro y cobre en agua de drenaje ácido de mina,” Quito: Universidad de las Américas, 2018, 2018.

**ANEXO A**

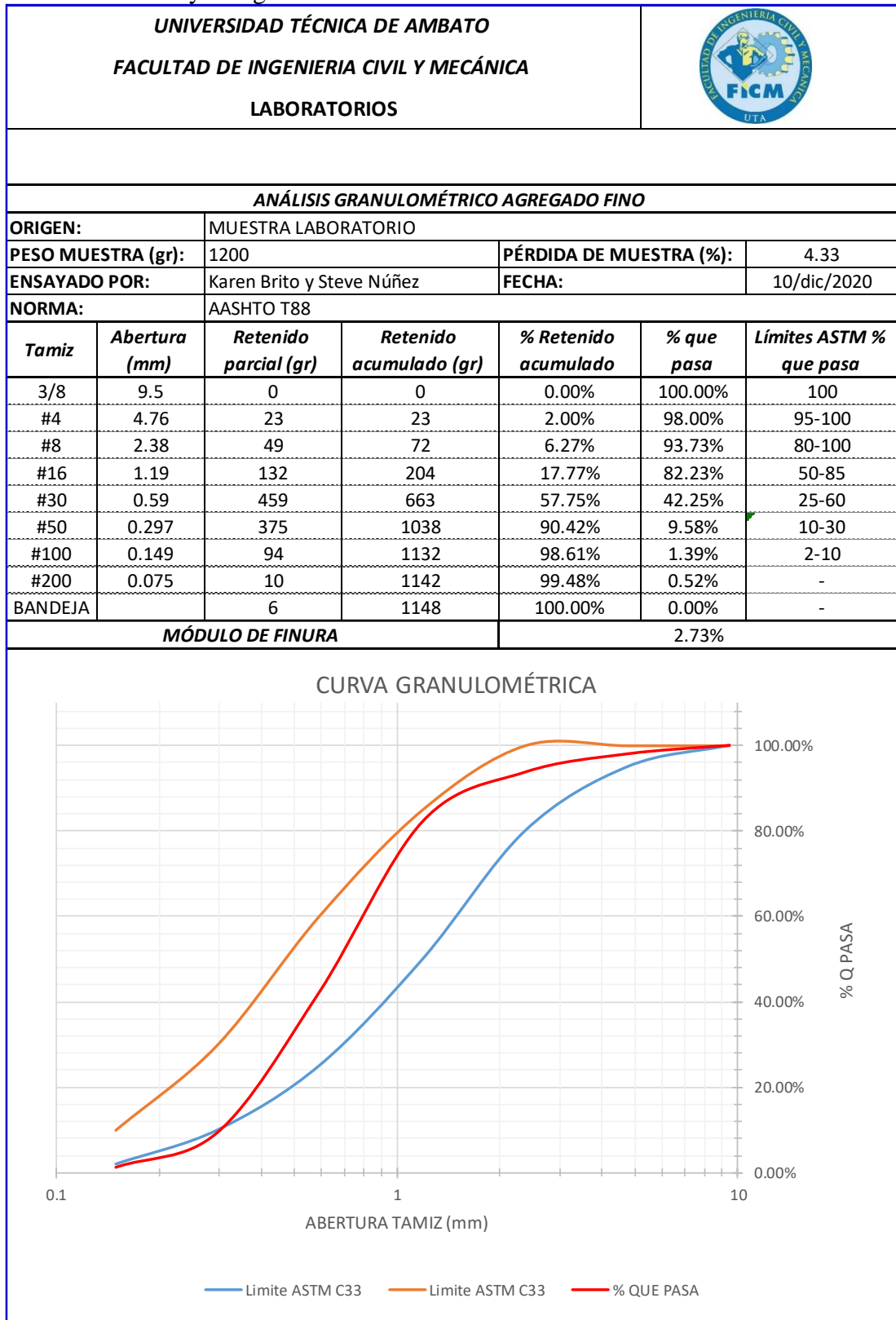
**TABLAS**

**RESUMEN DE**

**LOS ENSAYOS**

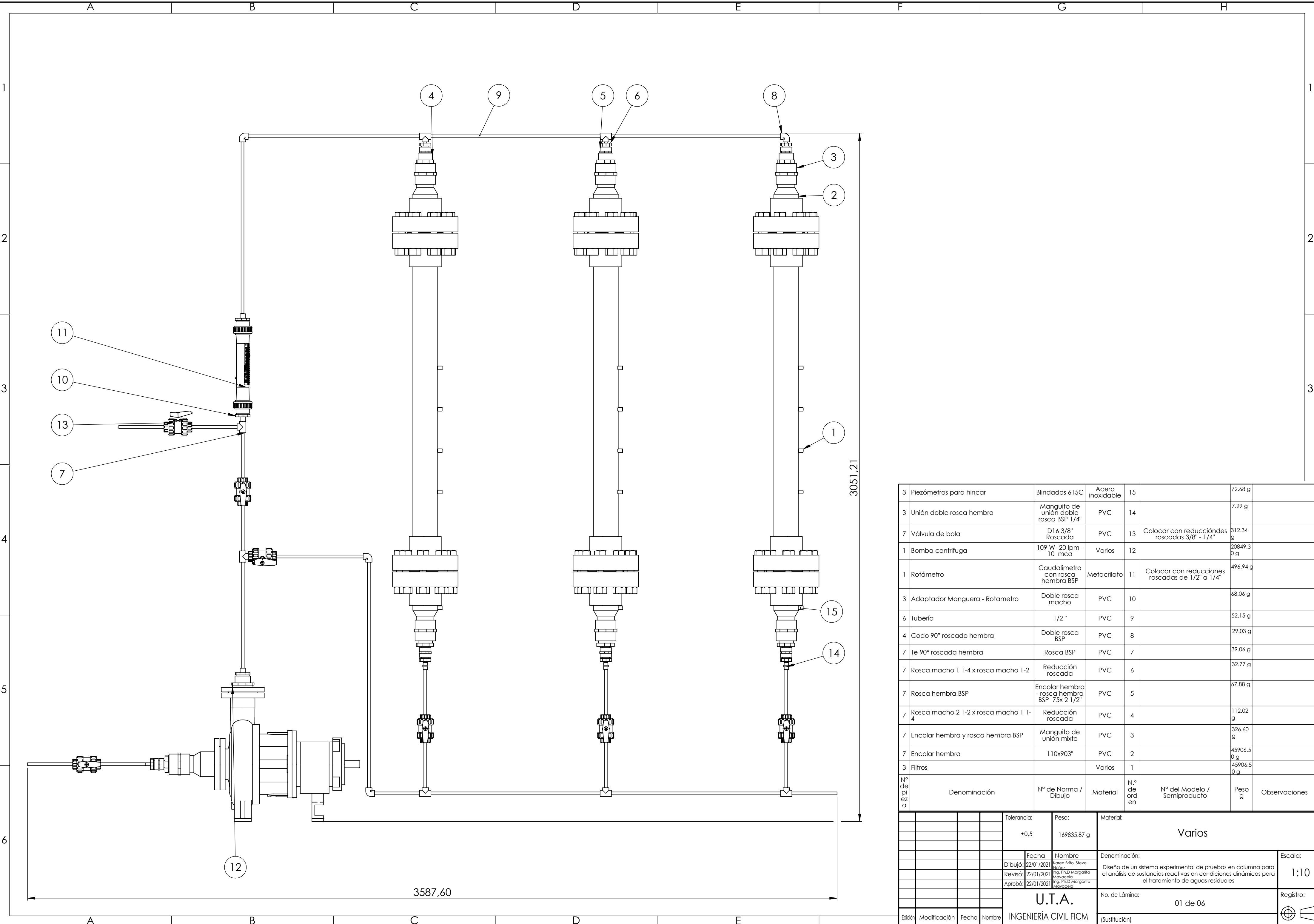
**REALIZADOS**

**Anexo A-1: Ensayo de granulometría**



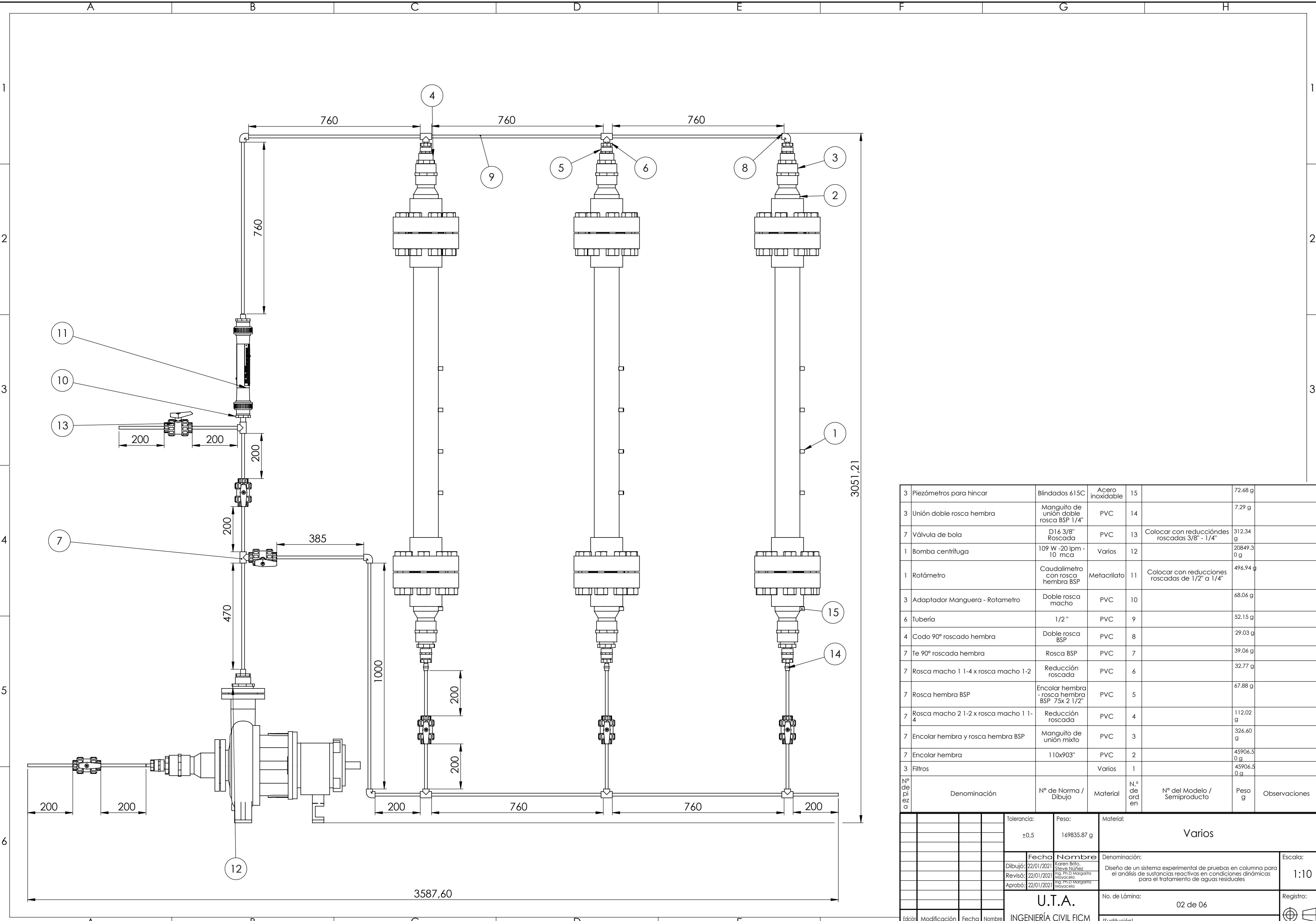
**ANEXO B**

**PLANOS**



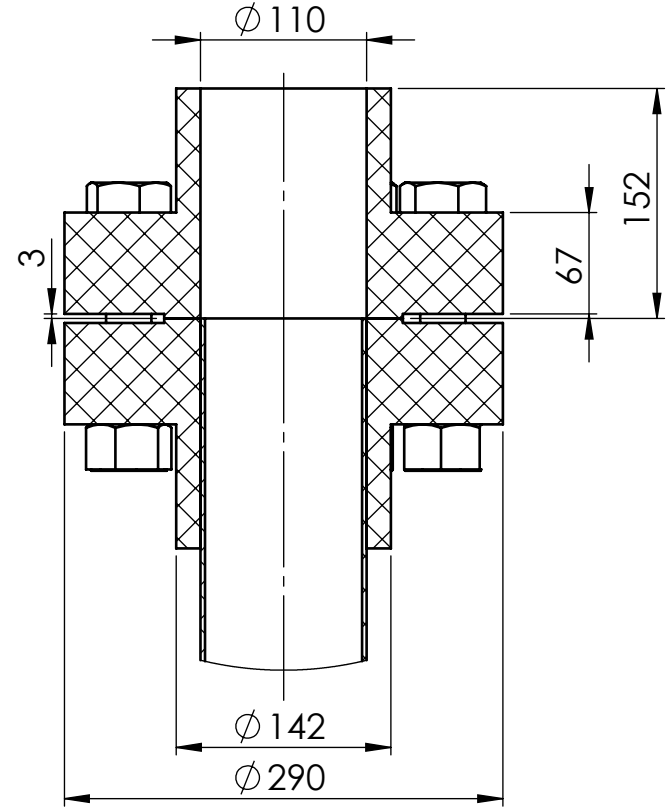
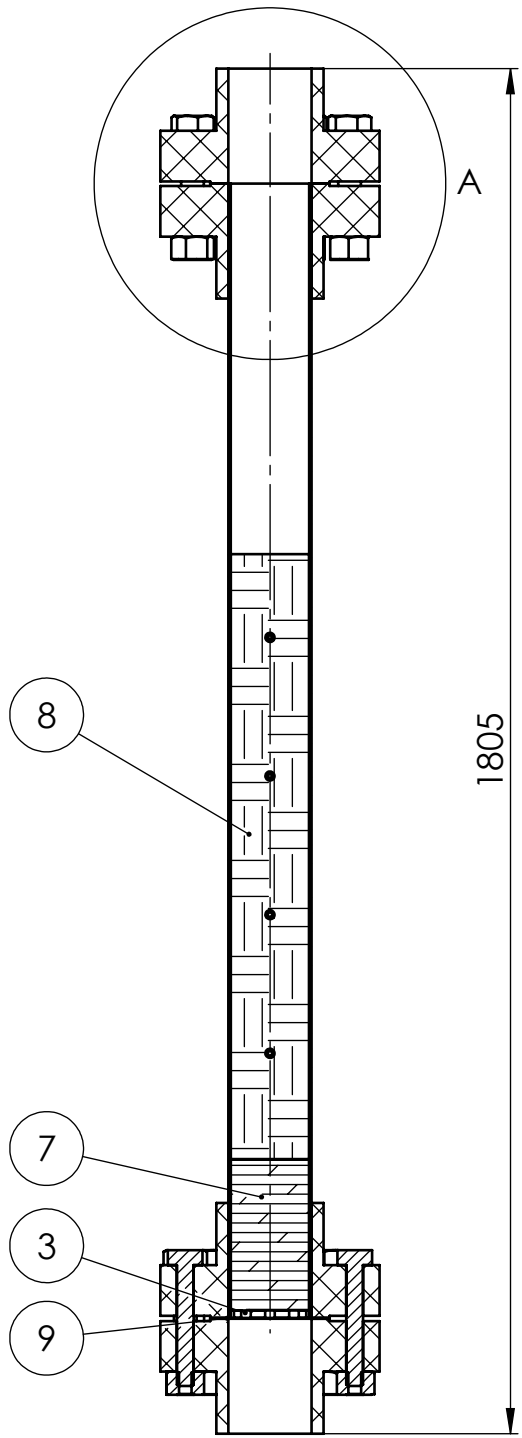
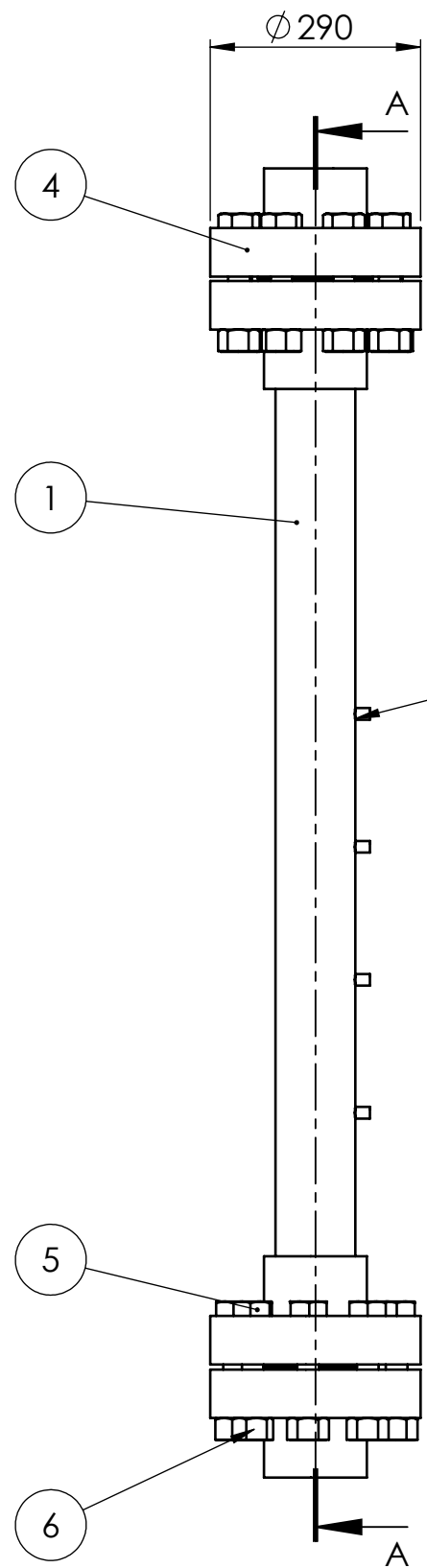
3	Piezómetros para hincar	Blindados 615C	Acero inoxidable	15		72.68 g	
3	Unión doble rosca hembra	Manguito de unión doble rosca BSP 1/4"	PVC	14		7.29 g	
7	Válvula de bola	D16 3/8" Roscada	PVC	13	Colocar con reducciones roscadas 3/8" - 1/4"	312.34 g	
1	Bomba centrífuga	109 W -20 lpm - 10 mca	Varios	12		20849.30 g	
1	Rotámetro	Caudalímetro con rosca hembra BSP	Metacrilato	11	Colocar con reducciones roscadas de 1/2" a 1/4"	496.94 g	
3	Adaptador Manguera - Rotámetro	Doble rosca macho	PVC	10		68.06 g	
6	Tubería	1/2"	PVC	9		52.15 g	
4	Codo 90° roscado hembra	Doble rosca BSP	PVC	8		29.03 g	
7	Te 90° roscado hembra	Rosca BSP	PVC	7		39.06 g	
7	Rosca macho 1 1-4 x rosca macho 1-2	Reducción roscada	PVC	6		32.77 g	
7	Rosca hembra BSP	Encolar hembra - rosca hembra BSP 75x 2 1/2"	PVC	5		67.88 g	
7	Rosca macho 2 1-2 x rosca macho 1 1-4	Reducción roscada	PVC	4		112.02 g	
7	Encolar hembra y rosca hembra BSP	Manguito de unión mixto	PVC	3		326.60 g	
7	Encolar hembra	110x903"	PVC	2		45906.50 g	
3	Filtros		Varios	1		45906.50 g	
Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / Semiproducto	Peso g	Observaciones

Tolerancia:	Peso:	Material:		
±0.5	169835.87 g	Varios		
Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:	
22/01/2021	Karen Brito, Steve Bluz	Diseño de un sistema experimental de pruebas en columna para el análisis de sustancias reactivas en condiciones dinámicas para el tratamiento de aguas residuales	1:10	
Revisó:	Apróbo:	No. de Lámina:	Registro:	
22/01/2021	22/01/2021	01 de 06	INGENIERÍA CIVIL FICM	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)



3	Piezómetros para hincar	Blindados 615C	Acero inoxidable	15		72.68 g	
3	Unión doble rosca hembra	Manguito de unión doble rosca BSP 1/4"	PVC	14		7.29 g	
7	Válvula de bola	D16 3/8" Roscada	PVC	13	Colocar con reducciones roscadas 3/8" - 1/4"	312.34 g	
1	Bomba centrífuga	109 W -20 lpm - 10 mca	Varios	12		20849.30 g	
1	Rotámetro	Caudalímetro con rosca hembra BSP	Metacrilato	11	Colocar con reducciones roscadas de 1/2" a 1/4"	496.94 g	
3	Adaptador Manguera - Rotámetro	Doble rosca macho	PVC	10		68.06 g	
6	Tubería	1/2"	PVC	9		52.15 g	
4	Codo 90° roscado hembra	Doble rosca BSP	PVC	8		29.03 g	
7	Te 90° roscada hembra	Rosca BSP	PVC	7		39.06 g	
7	Rosca macho 1 1-4 x rosca macho 1-2	Reducción roscada	PVC	6		32.77 g	
7	Rosca hembra BSP	Encolar hembra - rosca hembra BSP 75x 2 1/2"	PVC	5		67.88 g	
7	Rosca macho 2 1-2 x rosca macho 1 1-4	Reducción roscada	PVC	4		112.02 g	
7	Encolar hembra y rosca hembra BSP	Manguito de unión mixto	PVC	3		326.60 g	
7	Encolar hembra	110x903"	PVC	2		45906.50 g	
3	Filtros		Varios	1		45906.50 g	
	Denominación	N° de Norma / Dibujo	Material	N° de orden	N° del Modelo / Semiproducto	Peso g	Observaciones

Tolerancia:	Peso:	Material:	
±0,5	169835.87 g	Varios	
Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
22/01/2021	Karen Brito, Steve Núñez, Mag. Pato Magariño, Mayacela	Diseño de un sistema experimental de pruebas en columna para el análisis de sustancias reactivas en condiciones dinámicas para el tratamiento de aguas residuales	1:10
Revisó:	Aprobó:	No. de Lámina:	Registro:
22/01/2021	22/01/2021	02 de 06	
U.T.A. INGENIERÍA CIVIL FICM		(Sustitución)	

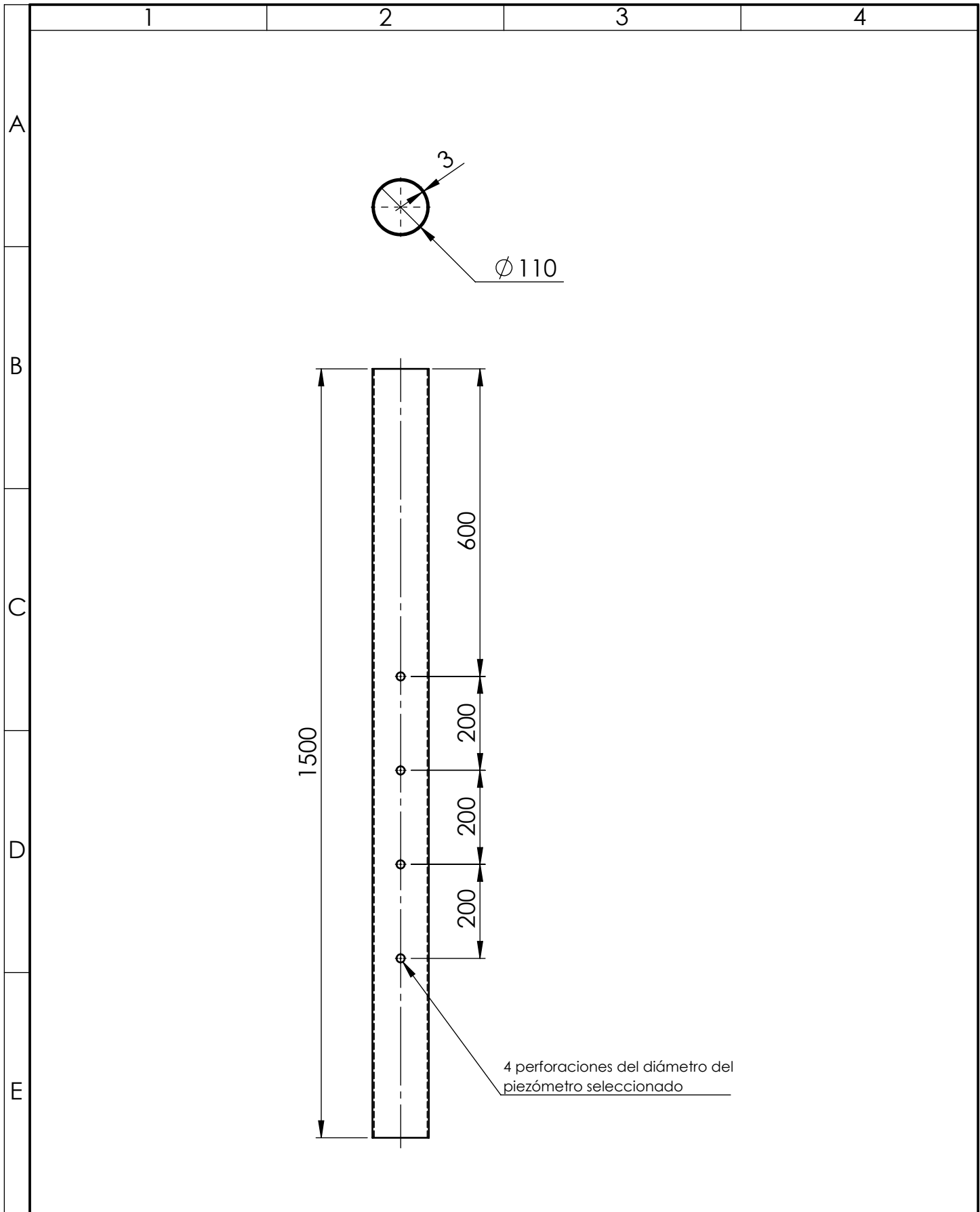


DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 10

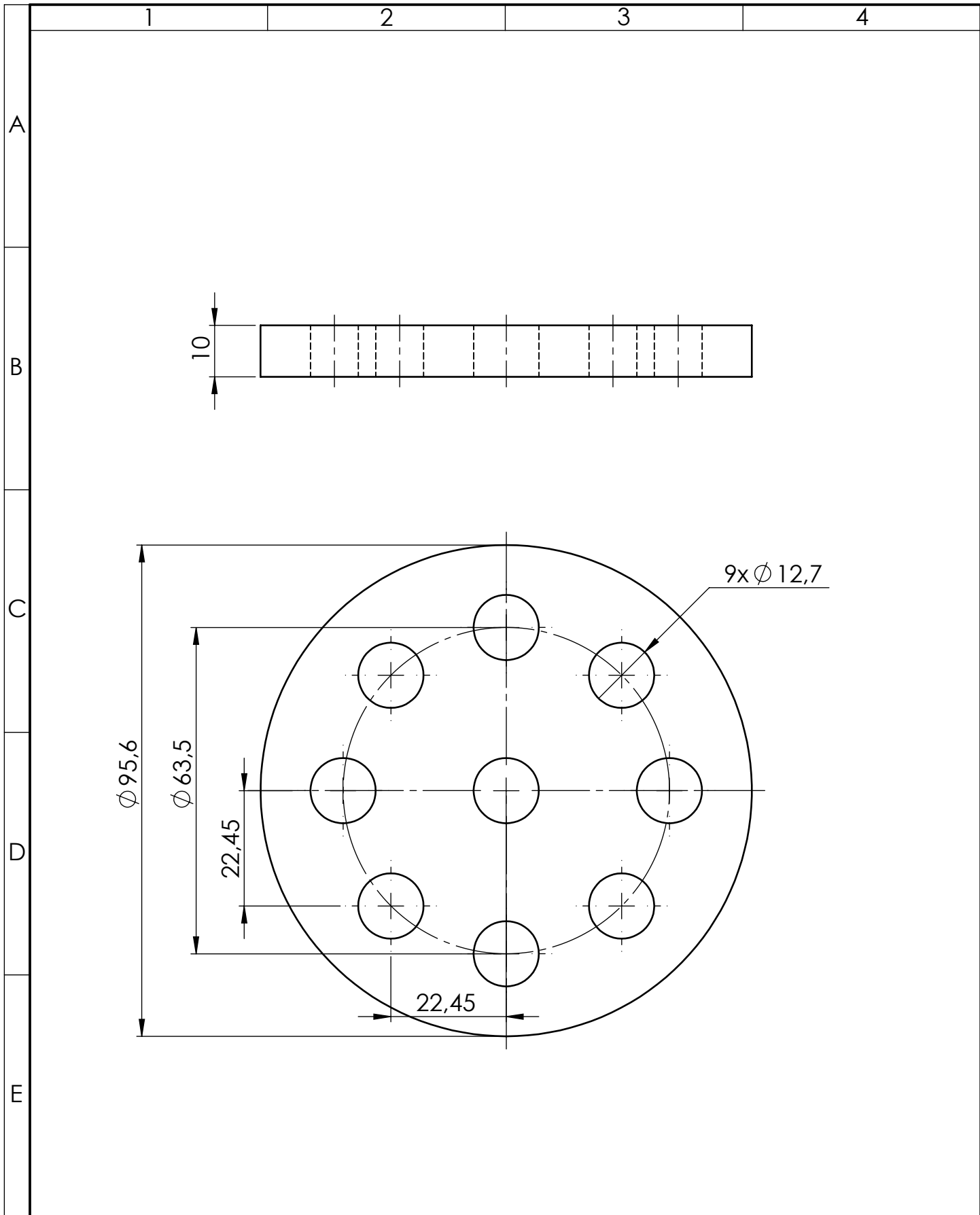
1	Malla	Estructural Ø orif =0,254 mm	Inox	9	1000x1000 orificios/pulg2	156.85 g	
1	Lecho filtrante		Arena	8	80 cm de alto	15222.8 0 g	
1	Material soporte		Ripio	7	20 cm de alto	4077.5 4 g	
16	Tuercas	M30	Acero Galvanizado	6		49.05 g	
16	Pernos	M30 x180	Acero Galvanizado	5	Hexagolanes	155.56 g	
2	Brida	Kit bridas fijas	PVC	4		10294.8 g	
1	Plato - base perforada	05/06	Acero inoxidable	3		483.04 g	
4	Piezómetros para hincar	Blindados 615C	Acero inoxidable	2		72.68 g	
1	Columna de acrílico	04/06	Acrílico	1		1812.31 g	
Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma/ Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / Semiproducto	Peso g	Observaciones

Tolerancia:		Peso:		Material:			
±0,5		45906.50 g		Varios			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 22/01/2021		Karen Brito, Steve Núñez		Filtro			1:10
Revisó: 22/01/2021		Ing. Ph.D Margarita Mayacela					
Aprobó: 22/01/2021		Ing. Ph.D Margarita Mayacela					
U.T.A. INGENIERÍA CIVIL FICM				No. de lámina:		Registro:	
				03 de 06		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

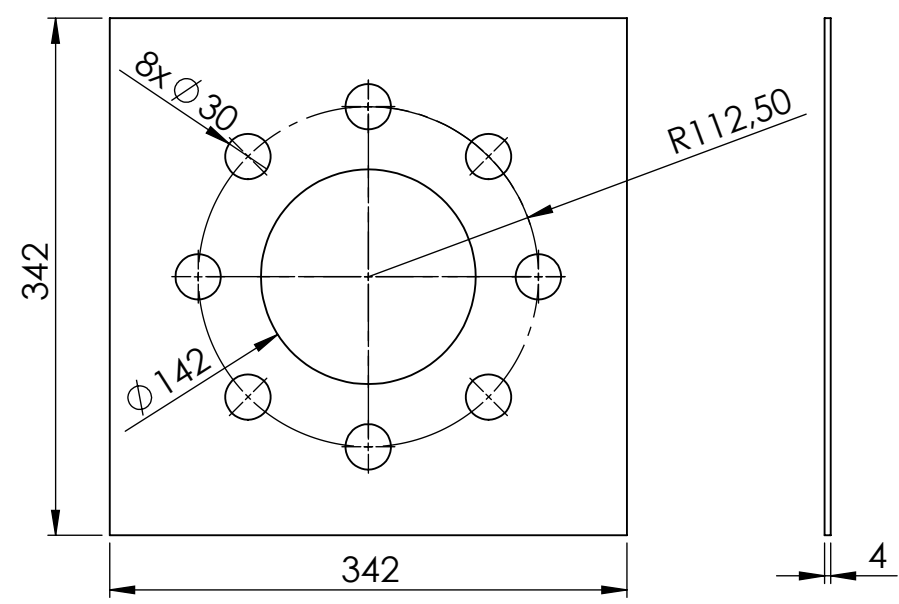
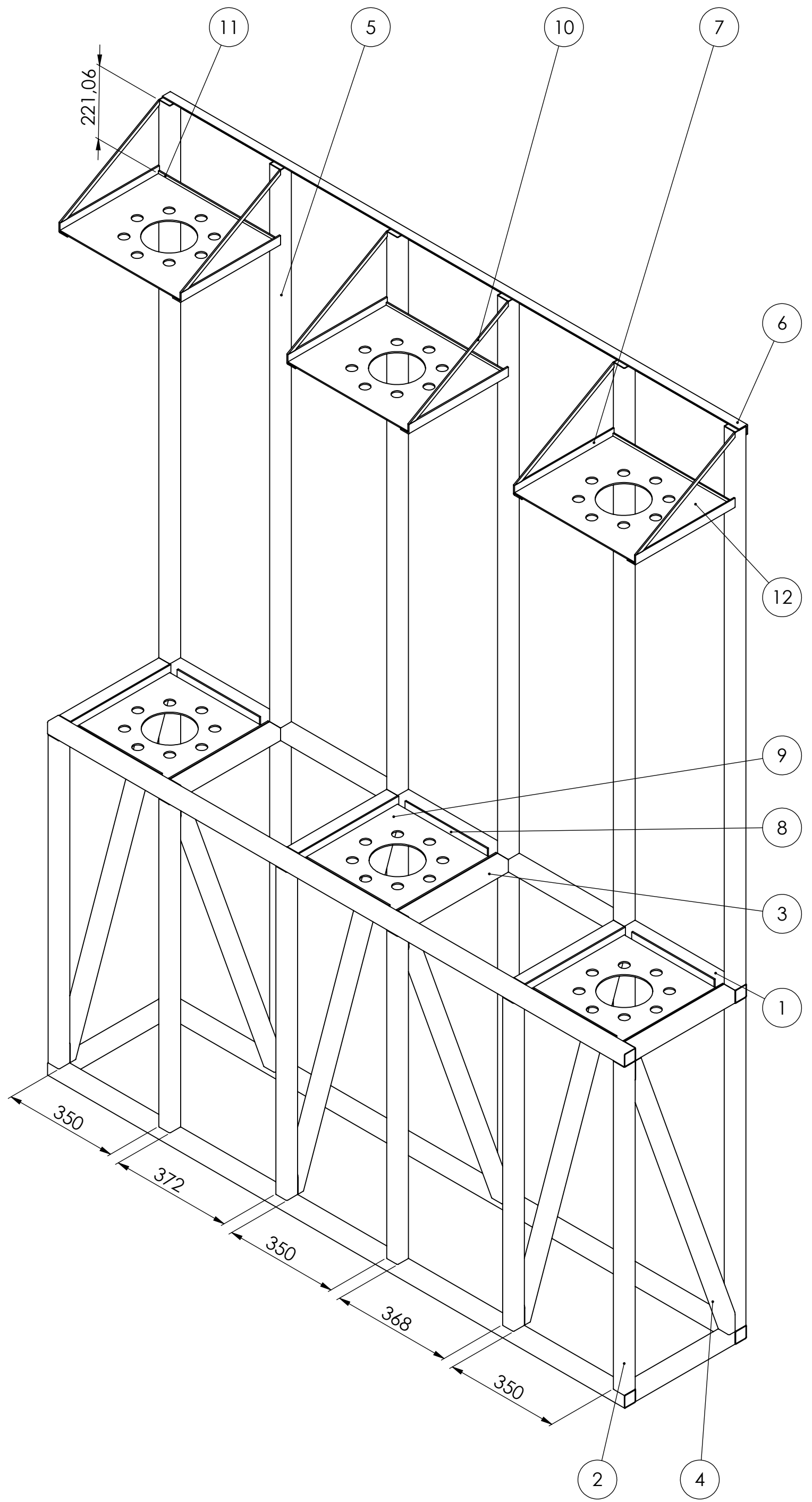


				Tolerancia: ±0,3	Peso: 1812.31 g	Material: Acrílico transparente	
				Fecha	Nombre	Denominación: Columna de acrílico	Escala: 1:10
				Dibujó: 22/01/2021	Karen Brito, Steve Núñez		
				Revisó: 22/01/2021	Ing. Ph.D Margarita Mayacela		
				Aprobó: 22/01/2021	Ing. Ph.D Margarita Mayacela	No. de lámina: 04 de 06	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>U.T.A.</b> INGENIERÍA CIVIL FICM		(Sustitución)	

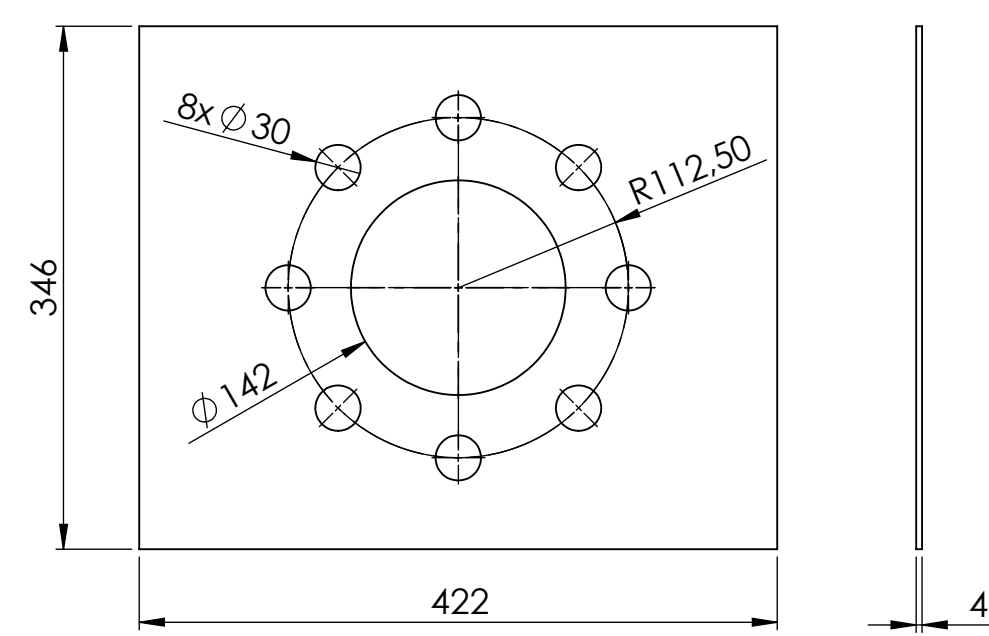




				Tolerancia: ±0,1	Peso: 483.04 g	Material: Acero AISI 304 (Inoxidable)	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/01/2021	Karen Brito, Steve Núñez	Plato - Base perforada	1:1
				Revisó: 22/01/2021	Ing. Ph.D Margarita Mayacela		
				Aprobó: 22/01/2021	Ing. Ph.D Margarita Mayacela		
				<b>U.T.A.</b> INGENIERÍA CIVIL FICM		No. de lámina: 05 de 06	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



Vista de detalle del elemento 9  
Escala 1:5



Vista de detalle del elemento 12  
Escala 1:5

3	Placa 346x422x4	Plancha	12	3909.94 g			
3	Platina 12x4 442	Platina	11	159.01 g			
6	Platina 12x4 402	Platina	10	146.47 g			
3	Placa 342x342x4	Plancha	9	2997.83 g			
6	TA 30X30X4 290	Ángulo	8	505.54 g			
12	TA 30X30X4 350	Ángulo	7	610.13 g			
1	TA 30X30X4 2030	Ángulo	6	3538.77 g			
6	TC 40X40X2 1700	Tubo estructural cuadrado	5	3965.24 g			
6	TC 40X40X2 1059	Tubo estructural cuadrado	4	2365.47 g			
8	TC 40X40X2 350	Tubo estructural cuadrado	3	816.37 g			
12	TC 40X40X2 1000	Tubo estructural cuadrado	2	2332.49 g			
4	TC 40x40x2 2030	Tubo estructural cuadrado	1	4734.96 g			
Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma / Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo / Semiproducto	Peso g	Observaciones

Tolerancia:	Peso:	Material:	
±0.5	127417.74 g	Acero estructural ASTM A36	
Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
22/01/2021	Karen Billo, Steve Núñez	Estructura para el sistema de filtrado	1:10
Dibujó:	Revisó:	No. de Lámina:	Registro:
22/01/2021	Ing. Ph.D Margarita Mayacela	06 de 06	
22/01/2021	Ing. Ph.D Margarita Mayacela		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre
			INGENIERÍA CIVIL FICM
			[Sustitución]

# **ANEXO C**

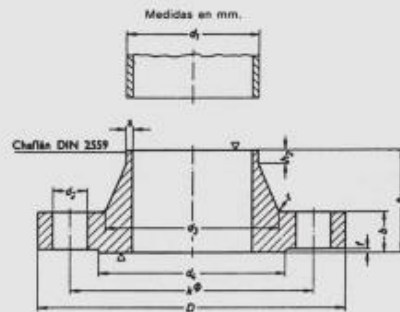
# **COMPONENTES**

## Anexo C-1: Catálogo de Brida DIN 2627

### BRIDAS CON CUELLO PARA SOLDAR

**DIN 2627**

Presión nominal 400



TUBO	BRIDA					CUELLO				RESALTO DE JUNTA		TORNILLOS		Peso de una brida (7,85 kg/dm <sup>3</sup> )	
DN	d <sub>1</sub>	D	b	k	h <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	s <sup>1)</sup>	r	h <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	d <sub>3</sub>	f	Cantidad	Rosca	d <sub>4</sub>	kg
10	17,2	125	28	85	65	48	3,6	4	8	40	2	4	M16	18	2,52
15	26,9	145	30	100	68	56	5	4	8	45	2	4	M20	22	3,59
25	42,4	180	38	130	90	82	7,1	4	10	68	2	4	M24	26	7,43
40	60,3	220	48	165	110	106	10	6	12	88	3	4	M27	30	14,0
50	76,1	235	52	180	120	120	12,5	6	15	102	3	8	M27	30	16,7
65	101,6	290	64	225	135	158	16	6	18	122	3	8	M30	33	31,6
80	114,3	305	68	240	150	174	17,5	8	20	138	3	8	M30	33	38,4
100	139,7	370	80	295	175	216	22,2	8	25	162	3	8	M36	39	67,3
125	193,7	415	92	340	200	258	30 <sup>2)</sup>	8	30	188	3	12	M36	39	96,0
150	219,1	475	105	390	225	302	35 <sup>2)</sup>	10	35	218	3	12	M39	42	146
200	273	585	130	490	280	388	40 <sup>2)</sup>	10	40	285	3	16	M45	48	296

**Material: C22 según DIN 17100**

- > Los diámetros nominales entre paréntesis deben evitarse.
- > Los tamaños de roscas entre paréntesis no sirven para nuevas construcciones.
- > Cara de junta DIN 2526 (a especificar en pedido).
- > Indica d<sub>4</sub> en el pedido, según se use tubo DIN o ISO.

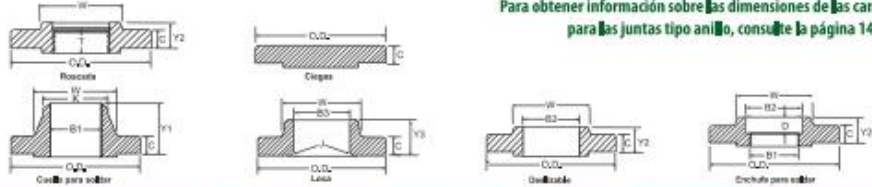
NOTA: Los espesores indicados en las bridas a partir de DN-500, son orientativos, ya que la norma no indica el espesor concreto.

74

## Anexo C-2: Catálogo de Brida de acero Clase 150

TEL: 708/594-1700  
 FAX: 708/458-0106  
 www.weldbend.com

### BRIDAS DE ACERO CLASE 150



Para obtener información sobre las dimensiones de las caras para las juntas tipo anillo, consulte la página 148.

Tamaño del tubo	Diámetro exterior de la brida	Espesor de la brida (Mín.)	Espesor de la junta de soldaje (Mín.)	Diámetro del centro	Diámetro del cuello para soldar	Longitud a lo largo del centro	Diámetro interior	Profundidad del enchufe
NPS	O.D.	C	C	W	K	Y2 Y3 Y1	T B2 B3 B1	J

#### ASME B16.5

1/2	90	9.6	11.2	30	21.3	14	16	46	16	22.2	22.9	15.8	3	10
3/4	100	11.2	12.7	38	26.7	14	16	51	16	27.7	28.2	20.9	3	11
1	110	12.7	14.3	49	33.4	16	17	54	17	34.5	34.9	26.6	3	13
1 1/4	115	14.3	15.9	59	42.2	19	21	56	21	43.2	43.7	35.1	5	14
1 1/2	125	15.9	17.5	65	48.3	21	22	60	22	49.5	50.0	40.9	6	16
2	150	17.5	19.1	78	60.3	24	25	62	25	61.9	62.5	52.5	8	17
2 1/2	180	20.7	22.3	90	73.0	27	29	68	29	74.6	75.4	62.7	8	19
3	190	22.3	23.9	108	88.9	29	30	68	30	90.7	91.4	77.9	10	21
3 1/2	215	22.3	23.9	122	101.6	30	32	70	32	103.4	104.1	90.1	10	
4	230	22.3	23.9	135	114.3	32	33	75	33	116.1	116.8	102.3	11	
5	255	22.3	23.9	164	141.3	35	36	87	36	143.8	144.4	128.2	11	
6	280	23.9	25.4	192	168.3	38	40	87	40	170.7	171.4	154.1	13	
8	345	27.0	28.6	246	219.1	43	44	100	44	221.5	222.2	202.7	13	
10	405	28.6	30.2	305	273.0	48	49	100	49	276.2	277.4	254.6	13	
12	485	30.2	31.8	365	323.8	54	56	113	56	327.0	328.2	304.8	13	
14	535	33.4	35.0	400	355.6	56	79	125	57	359.2	360.2	*	13	
16	595	35.0	36.6	457	406.4	62	87	125	64	410.5	411.2	*	13	
18	633	38.1	39.7	505	457.0	67	97	138	68	461.8	461.8	*	13	
20	700	41.3	42.9	559	508.0	71	103	143	73	513.1	514.4	*	13	
24	815	46.1	47.7	663	610.0	81	111	151	83	616.0	616.0	*	13	

#### ASME B16.47 Serie A

	WN	BLD				
30	985	73.1	73.1	781	762.0	135
36	1170	88.9	88.9	933	914.4	156
42	1345	95.3	95.3	1092	1066.8	170
48	1510	106.4	106.4	1248	1219.2	191

#### ASME B16.47 Serie B

	WN	BLD				
30	885	43.0	49.3	787	763.5	98
36	1055	50.9	57.3	945	915.9	116
42	1225	57.3	66.8	1102	1069.8	132
48	1390	63.6	76.3	1257	1222.2	148

#### WELDBEND NOTAS

1. Cara de la brida estándar en la página 148.
2. Todas las medidas están expresadas en milímetros.
3. Cara de la brida pesada estándar en la página 99.
4. Para conocer las tolerancias dimensionales, consulte la página 144.
5. Cara de la preparación de la estanca para soldar en la página 154.

6. Cara de la brida estándar de los rosos en la página 156.
7. Las bridas ciegas se pueden fabricar con o sin centros.
8. Todas las bridas cumplen con ASTM A182/ASME SA182.
9. Todas las bridas de NPS 1/2 a 24 cumplen con ASME B16.5, todas las bridas iguales o superiores a NPS 30 cumplen con ASME B16.47.

- \* En las bridas rosadas, de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  los aristas cóncavas no deben ser superiores a 7 grados.  
 ▲ Las dimensiones de las bridas para las juntas tipo anillo para soldar y de los cuellos para soldar corresponden al diámetro interior de las bridas Estándar, salvo que se requiera la especificación del comprador.

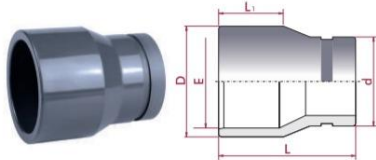
B7

## Anexo C-3: Encolar tipo hembra 110x903"

### UP. 58. SFVT - VICTAULIC SOCKET

**Victaulic® grooved flexible socket**  
 - Female solvent socket  
 - Metric series

**Enlace Victaulic®**  
 - Encolar hembra  
 - Serie métrica



D - Ex d	DN	PN	REF.	CODE
75 - 63 x 2"	2"	16	05 58 463	<b>20162</b>
110 - 90 x 3"	3"	16	05 58 490	<b>20163</b>
125 - 110 x 4"	4"	16	05 58 510	<b>20164</b>
180 - 160 x 6"	6"	10	05 58 560	<b>21444</b>

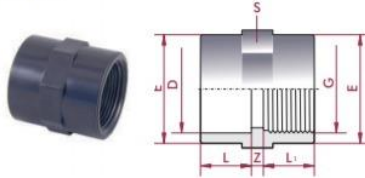
L	L <sub>1</sub>
93	44
132	63
151	71
183	90

## Anexo C-4: Encolar hembra y rosca hembra BSP

### UP. 05. SFT - SOCKET

**Adaptor socket**  
 - Female solvent socket & BSP female thread  
 - Metric series

**Manguito unión mixto**  
 - Encolar hembra y rosca hembra BSP  
 - Serie métrica



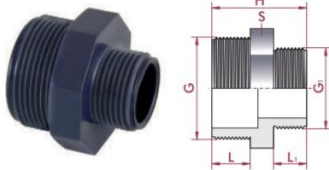
D x G	DN	PN	REF.	CODE
16 x 3/4"	12	10	05 05 416	<b>01888</b>
20 x 1/2"	15	10	05 05 420	<b>01889</b>
25 x 3/4"	20	10	05 05 425	<b>01890</b>
32 x 1"	25	10	05 05 432	<b>01891</b>
40 x 1 1/4"	32	10	05 05 440	<b>01892</b>
50 x 1 1/2"	40	10	05 05 450	<b>01893</b>
63 x 2"	50	10	05 05 463	<b>01894</b>
75 x 2 1/2"	65	10	05 05 475	<b>01895</b>
90 x 3"	80	10	05 05 490	<b>01896</b>
110 x 4"	90	10	05 05 510	<b>01897</b>

L	L <sub>1</sub>	Z	E	S
14	14	3	22	22
16	14	3	28	27
19	16	3	34	33
22	19	3	43	41
26	20	3	54	50
31	20	3	63	61
38	24	3	78	75
44	44	4	90	90
51	51	6	108	108
61	61	6	135	135

## Anexo C-5: Rosca macho 2 1/2 x rosca macho 1 1/4

**Threaded reducer**  
 - BSP male x male thread

**Reducción roscada**  
 - Roscar macho x macho BSP



G x G <sub>1</sub>	DN	PN	REF.	CODE
1/2" x 3/4"	10	10	05 33 620	<b>02303</b>
3/4" x 1/2"	15	10	05 33 625	<b>02304</b>
3/4" x 3/4"	10	10	05 33 626	<b>02305</b>
1" x 3/4"	20	10	05 33 632	<b>02306</b>
1" x 1/2"	15	10	05 33 633	<b>02307</b>
1" x 3/8"	10	10	05 33 634	<b>02308</b>
1 1/4" x 1"	25	10	05 33 640	<b>02309</b>
1 1/4" x 3/4"	20	10	05 33 641	<b>02310</b>
1 1/4" x 1/2"	15	10	05 33 642	<b>02311</b>
1 1/2" x 1 1/4"	32	10	05 33 650	<b>02312</b>
1 1/2" x 1"	25	10	05 33 651	<b>02313</b>
1 1/2" x 3/4"	20	10	05 33 652	<b>02314</b>
2" x 1 1/2"	40	10	05 33 663	<b>02315</b>
2" x 1 1/4"	32	10	05 33 664	<b>02316</b>
2" x 1"	25	10	05 33 665	<b>02317</b>
2 1/2" x 2"	50	10	05 33 675	<b>02318</b>
2 1/2" x 1 1/2"	40	10	05 33 676	<b>02319</b>
2 1/2" x 1 1/4"	32	10	05 33 677	<b>02320</b>
3" x 2 1/2"	65	10	05 33 690	<b>02321</b>
3" x 2"	50	10	05 33 691	<b>02322</b>
3" x 1 1/2"	40	10	05 33 692	<b>02323</b>
4" x 3"	80	10	05 33 710	<b>02324</b>
4" x 2 1/2"	65	10	05 33 711	<b>02325</b>
4" x 2"	50	10	05 33 712	<b>02326</b>

L	L <sub>1</sub>	H	S
15	11	36	24
16	15	43	32
16	11	39	32
19	16	48	40
19	15	47	40
19	11	43	40
21	19	53	50
21	16	50	50
21	15	49	50
21	21	56	55
21	19	54	55
21	16	51	55
25	21	61	65
25	21	61	65
25	19	58	65
30	25	70	80
30	21	66	80
30	21	66	80
33	30	78	93
33	25	73	93
33	21	69	93
38	33	86	115
38	30	83	115
38	25	78	115



## Anexo C-6: Rosca hembra BSP

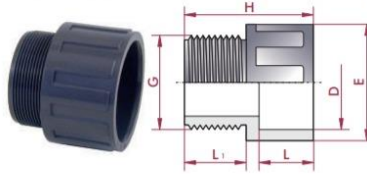
### UP. 17. SFMT. BS - ADAPTOR BUSH BS

#### Adaptor bush

- Female solvent socket x BSP male threaded
- British Standard series

#### Terminal rosca macho

- Encolar hembra x rosca macho BSP
- Serie British Standard



D x G	DN	PN	REF.	CODE	L	L <sub>1</sub>	E	H
½" x ½"	15	10	05 17 931	07246	16	14	28	38
¾" x ¾"	20	10	05 17 932	07247	19	16	34	42
1" x 1"	25	10	05 17 933	07248	22	19	41	50
1¼" x 1¼"	32	10	05 17 934	07249	26	21	51	55
1½" x 1½"	40	10	05 17 935	07250	31	30	62	65
2" x 2"	50	10	05 17 936	07251	38	30	77	75
2½" x 2½"	65	10	05 17 475 <sup>1)</sup>	02108	44	30	90	85
3" x 3"	80	10	05 17 938	07253	51	33	108	98
4" x 4"	100	10	05 17 940	07254	61	40	131	115

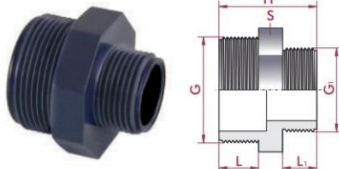
## Anexo C-7: Rosca macho 1 ¼ x rosca macho ½

#### Threaded reducer

- BSP male x male thread

#### Reducción rosca

- Roscar macho x macho BSP



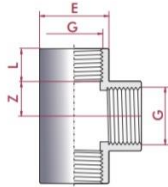
G x G <sub>1</sub>	DN	PN	REF.	CODE	L	L <sub>1</sub>	H	S
½" x ¾"	10	10	05 33 620	02303	15	11	36	24
¾" x ½"	15	10	05 33 625	02304	16	15	43	32
¾" x ¾"	10	10	05 33 626	02305	16	11	39	32
1" x ¾"	20	10	05 33 632	02306	19	16	48	40
1" x ½"	15	10	05 33 633	02307	19	15	47	40
1" x ¾"	10	10	05 33 634	02308	19	11	43	40
1¼" x 1"	25	10	05 33 640	02309	21	19	53	50
1¼" x ¾"	20	10	05 33 641	02310	21	16	50	50
1¼" x ½"	15	10	05 33 642	02311	21	15	49	50
1½" x 1¼"	32	10	05 33 650	02312	21	21	56	55
1½" x 1"	25	10	05 33 651	02313	21	19	54	55
1½" x ¾"	20	10	05 33 652	02314	21	16	51	55
2" x 1½"	40	10	05 33 663	02315	25	21	61	65
2" x 1¼"	32	10	05 33 664	02316	25	21	61	65
2" x 1"	25	10	05 33 665	02317	25	19	58	65
2½" x 2"	50	10	05 33 675	02318	30	25	70	80
2½" x 1½"	40	10	05 33 676	02319	30	21	66	80
2½" x 1¼"	32	10	05 33 677	02320	30	21	66	80
3" x 2½"	65	10	05 33 690	02321	33	30	78	93
3" x 2"	50	10	05 33 691	02322	33	25	73	93
3" x 1½"	40	10	05 33 692	02323	33	21	69	93
4" x 3"	80	10	05 33 710	02324	38	33	86	115
4" x 2½"	65	10	05 33 711	02325	38	30	83	115
4" x 2"	50	10	05 33 712	02326	38	25	78	115

## Anexo C-8: Te 90° roscada hembra

### UP. 03. FT - 90° TEE

90° tee  
• BSP female thread

Té 90°  
• Roscar hembra BSP



G	DN	PN	REF.	CODE
1/2"	15	10	05 03 620	01802
3/4"	20	10	05 03 625	01803
1"	25	10	05 03 632	01804
1 1/4"	32	10	05 03 640	01805
1 1/2"	40	10	05 03 650	01806
2"	50	10	05 03 663	01807
2 1/2"	65	10	05 03 675 *	22593
3"	80	10	05 03 690 *	22594
4"	100	10	05 03 710 *	22595

L	Z	E
14	11	28
16	14	34
19	17	43
20	21	54
20	26	63
24	33	78
30	53	89
34	65	106
40	79	129

\* Distributed product  
\* Producto comercializado

1 AFNOR  
2 KIWA  
3 AENOR

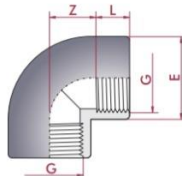
72

## Anexo C-9: Codo 90° roscado hembra

### UP. 01. FT - 90° ELBOW

90° elbow  
• BSP female thread

Codo 90°  
• Roscar hembra BSP



G	DN	PN	REF.	CODE
1/2"	15	10	05 01 620	01734
3/4"	20	10	05 01 625	01735
1"	25	10	05 01 632	01736
1 1/4"	32	10	05 01 640	01737
1 1/2"	40	10	05 01 650	01738
2"	50	10	05 01 663	01739
2 1/2"	65	10	05 01 675 *	22587
3"	80	10	05 01 690 *	22588
4"	100	10	05 01 710 *	22589

L	Z	E
14	11	28
16	14	34
19	17	43
20	21	54
20	26	63
24	33	78
30	54	89
33	66	106
39	80	129

\* Distributed product  
\* Producto comercializado

1 AFNOR  
2 KIWA  
3 AENOR

68

## Anexo C-10: Especificaciones de tubería principal

Tabla No. 1:  
Especificaciones Técnicas

Diámetro	CÓD.	Diám. exterior	Espesor	Diám. interior	Presión de trabajo		
		plg	mm	mm	psi	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
1/2	926092	21.34	3.73	13.88	420	2.90	29.5
3/4	926094	26.67	3.91	18.85	340	2.34	23.9
1	926091	33.40	4.55	24.30	320	2.21	22.5
1 1/4	926090	42.16	4.85	32.46	260	1.79	18.3
1 1/2	926089	48.26	5.08	38.10	240	1.65	16.9
2	926093	60.32	5.54	49.24	200	1.38	14.1

Para diámetros y presiones diferentes a los indicados consultar con el Departamento Comercial.

de teflón .  
Tabla No. 2:  
Especificaciones de roscas

Diámetro del Tubo	Longitud básica de rosca exterior útil	Número de hilos/plg.
plg	mm	#
1/2	13.56	14
3/4	13.86	14
1	17.34	11.5
1 1/4	17.95	11.5
1 1/2	18.38	11.5
2	19.22	11.5

La rosca debe ser tipo NPT de acuerdo a la Norma INEN 117:2013. Para el ensamble con los accesorios se utilizará cinta teflón y ajuste manual.

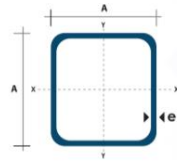
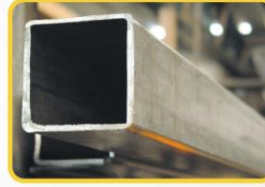


## Anexo C-11: Especificaciones de tubo estructural cuadrado

### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 2415
<b>Calidad:</b>	SAE J 403 1008
<b>Acabado:</b>	Acero negro o Galvanizado
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Dimensiones:</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesores:</b>	Desde 1.20mm a 5.00mm



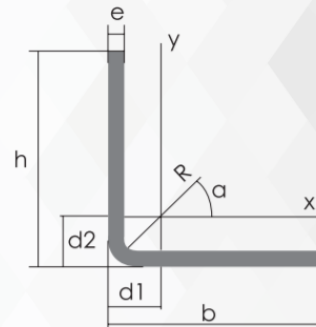
Dimensiones			Área		Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Area cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77	
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74	
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72	
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97	
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95	
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92	
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18	
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15	
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13	
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25	
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,26	
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54	
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52	
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,87	
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,84	
50	3,0	4,48	5,61	21,20	4,48	1,91	
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39	

## Anexo C-11: Especificaciones de perfiles estructurales tipo “L”

### PERFILES ESTRUCTURALES ÁNGULOS “L” DOBLADO

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 1623
<b>Calidad:</b>	ASTM A36
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Espesores:</b>	Desde 2.00mm - 12mm
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



Descripción	b mm	h mm	e mm	Masa Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	d1 cm	d2 cm	Ángulo a (°)	Ángulos de alas iguales											
									Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									Ix cm <sup>4</sup>	Wx cm <sup>3</sup>	rx cm	Iy cm <sup>4</sup>	Wy cm <sup>3</sup>	ry cm	Iu cm <sup>4</sup>	Wu cm <sup>3</sup>	ru cm	Iv cm <sup>4</sup>	Wv cm <sup>3</sup>	rv cm
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78

## Anexo C-12: Especificaciones de perfiles laminados platinas



### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Calidad:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Espesores:</b>	3mm a 20mm
<b>Acabado:</b>	Acero negro y galvanizado

Denominación	Dimensiones mm		Peso		Área
	A	e	kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15

## Anexo C-13: Especificaciones de planchas laminadas al caliente

### PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



# **ANEXO D**

# **PRESUPUESTO**

## PRESUPUESTO

**PROYECTO:** “DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS EN COLUMNA PARA EL ANÁLISIS DE SUSTANCIAS REACTIVAS EN CONDICIONES DINÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

**PROPIETARIO:** Karen Brito, Steve Núñez

**UBICACIÓN:** Ambato

RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>1</b>	<b>Construcción de un Sistema de pruebas en columna</b>			2910,00	2910,00
	<b>INCLUYE:</b>				
	Columna De Acrílico – Plexiglás	u	1		
	Encolar Hembra 110x903"	u	3		
	Encolar Hembra Y Rosca Hembra BSP	u	3		
	Reductor Rosca Macho 2 1/2" - 1 1/4"	u	3		
	Rosca Hembra BSP 75x 2 1/2"	u	3		
	Reductor Rosca Macho 1 1/4" - 1/2"	u	3		
	Unión Doble Rosca Hembra BSP 1/4"	u	3		
	Malla Acero Inoxidable Ø 0,254mm	u	1		
	Kit Bridas Fijas	u	2		
	Tuercas M30	u	8		
	Pernos M30x180	u	8		
	Plato - Base Perforada 04/04	u	1		
	Codo 90° Roscado Hembra PVC	u	2		
	Tee 90° Roscada Hembra PVC	u	3		
	Tubería PVC 1/2	m	3		
	Manguera- Rotámetro Doble Rosca Macho PVC	u	1		
	Rotámetro Metacrilato	u	1		
	Bomba Centrífuga 109W-20 Lpm 10mca	u	1		
	Válvula De Bola	u	4		
	Piezómetros Blindados 615C Acero Inoxidable	u	5		
<b>TOTAL =</b>					<b>2910,00</b>

Nota: Estos Precios Unitarios NO incluyen IVA.

**KAREN BRITO, STEVE NÚÑEZ**  
**Oferente**

### ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**NOMBRE OFERENTE:** Karen Brito, Steve Núñez

**PROYECTO :** “DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERIMENTAL DE PRUEBAS EN COLUMNA PARA EL ANÁLISIS DE SUSTANCIAS REACTIVAS EN CONDICIONES DINÁMICAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

**RUBRO:** 1.00 **UNIDAD:** u  
 Construcción de un Sistema de pruebas en columna

**DETALLE:** columna

<b>EQUIPOS</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta Manual (5% M.O)	1.00			99.00	36.04
<i>SUB TOTAL M</i>					36.04
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Plomero	1.00	3.66	3.66	99.00	362.34
Ayudante de plomero	1.00	3.62	3.62	99.00	358.38
		-	-		
		-	-		
		-	-		
<i>SUB TOTAL N</i>					720.72
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
Columna de acrílico – plexiglás	u	1.00	920.00	920.00	
Encolar hembra 110x903"	u	3.00	0.80	2.40	
Encolar hembra y rosca hembra BSP	u	3.00	0.80	2.40	
Reductor rosca macho 2 1/2" - 1 1/4"	u	3.00	1.00	3.00	
Rosca hembra BSP 75x 2 1/2"	u	3.00	1.00	3.00	
Reductor rosca macho 1 1/4" - 1/2"	u	2.00	0.80	1.60	
Unión doble rosca hembra BSP 1/4"	u	2.00	0.80	1.60	

Malla acero inoxidable $\Phi$ 0,254mm	u	1.00	400.00	400.00
Kit bridas fijas	u	2.00	32.00	64.00
Tuercas m30	u	16.00	0.10	1.57
Pernos M30x180	u	16.00	0.15	2.40
Plato - base perforada 04/04	u	2.00	25.00	50.00
Codo 1/2" x 90° PVC	u	3.00	3.50	10.50
Tee 1/2" x PVC	u	4.00	6.90	27.60
Tuberia PVC 1/2	m	3.00	2.72	8.16
Rotámetro metacrilato	u	1.00	85.01	85.01
Bomba centrífuga 109W-20 lpm 10mca	u	1.00	330.00	330.00
Válvula de bola 1/2"	u	5.00	3.00	15.00
Piezometros blindados 615C acero inoxidable	u	5.00	45.00	225.00
<i>SUB TOTAL O</i>				2153.24

**D. TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
incluido en materiales				-
			-	-
			-	-
			-	-
<i>SUB TOTAL P</i>				-

**Nota: Estos precios NO incluyen IVA.**

Ambato, 5 de marzo  
2021

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>	2910.00
<b>INDIRECTOS Y UTILIDADES %</b>	-
<b>OTROS INDIRECTOS %</b>	-
<b>COSTO TOTAL DE RUBRO</b>	2910.00
<b>VALOR OFERTADO</b>	<b>2910.00</b>