



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para el  
ensayo de aguas residuales mediante pruebas de  
sedimentación de la asignatura Hidrosanitaria de la  
Universidad del Azuay.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Autores:**

**SANTIAGO ISRAEL ARIAS ABAD  
RENATO XAVIER GUARTATANGA LOYOLA**

**Director:**

**JOSUÉ BERNARDO LARRIVA VASQUEZ**

**CUENCA, ECUADOR**

**2019**

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico primero a Dios, por darme las fuerzas en los momentos difíciles, la sabiduría para poderlos encarar de la mejor manera y guiarme por el camino de bien, después a todas las personas que estuvieron en este camino universitario por guiarme, aconsejarme, ayudarme y sobre todo apoyarme en cada momento duro de mi vida, no hay palabras para expresar lo que siento por cada uno de ustedes.

A mis padres, Leonardo y Marlene, por el apoyo incondicional que siempre me brindan cada día, por los valores que me supieron enseñar a lo largo de mi vida, por todos los consejos que supieron brindarme en los buenos momentos y aún más en los malos momentos, espero buscar la manera de pagarles algún día.

A mi abuela Susana, que es mi fuerza cada mañana para salir adelante cada día, por ser un ejemplo de ser humano y persona de bien y sobre todo por estar ahí cuando más lo necesitaba.

A mi hermano Andrés y mis tíos, gracias por el apoyo que me brinda cada día por sus anécdotas y experiencia que me ayudan a ser mejor cada día.

A mis amigos, gracias por compartir todos los momentos llenos de alegrías, anécdotas, recuerdos bonitos y amargos de la vida, sé que seremos grandes profesionales y sobre todo personas de bien.

Santiago Israel Arias Abad

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis, a Dios en primer lugar por estar presente en mi vida guiándome, dándome fuerza para enfrentar las dificultades del día a día en mis sueños y metas.

A mis padres, Giovanni y Ruth, quienes con su amor y apoyo incondicional han sabido guiarme por el buen camino de la rectitud, gracias por todos sus consejos, su ayuda en cada etapa de mi vida, por su comprensión antes mis posibles errores y fracasos, gracias por entregarme todo su cariño.

A mis hermanos, por siempre estar dispuestos a ayudarme sin importar las circunstancias ni la distancia.

A mi enamorada María Belén quién ha estado presente en cada momento de alegría y tristeza, quien tuvo paciencia y entrega hacia mí apoyándome en cada decisión que he tomado a lo largo de este camino y de la misma manera yo seré recíproco con ella.

Renato Xavier Guartatanga Loyola

## **AGRADECIMIENTOS.**

Primero queremos agradecer a la Universidad del Azuay por brindarnos la oportunidad de cumplir nuestros sueños y metas, además de darnos tantas alegrías y experiencias a lo largo de nuestra carrera universitaria.

Queremos agradecerle de manera muy especial a nuestro director de tesis Ing. PhD. Josué Larriva por ayudarnos en cada momento que necesitamos y regalarnos su tiempo para el presente trabajo de tesis y sobre todo por confiar en nosotros y guiarnos a la culminación de nuestras carreras universitarias.

Queremos agradecerle a nuestro tribunal que conforma el Ing. Javier Fernández de Córdova y la Ing. Belén Arévalo por tomarse el tiempo en la revisión del presente trabajo.

Santiago Israel Arias Abad

Renato Xavier Guartatanga Loyola

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
PRELIMINARES.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	2
PROBLEMÁTICA.....	2
JUSTIFICACIÓN .....	2
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
ALCANCES Y RESULTADOS.....	3
CAPITULO I. ....	4
1. MARCO TEORICO .....	4
1.1.SEDIMENTACIÓN O DECANTACIÓN.....	4
1.2.HIDROSANITARIA .....	5
1.3.DEFINICIÓN DE SEDIMENTACIÓN .....	5
1.3.1. TIPOS DE SEDIMENTACIÓN.....	7
1.3.2. CRITERIOS DE DISEÑO .....	8

1.4.ELABORACIÓN DE GUÍA METODOLÓGICA.....	14
1.4.1. DEFINICIÓN DE GUÍA METODOLÓGICA.....	14
1.4.2. CONSIDERACIONES GENERALES.....	15
1.4.3. FICHA DE RESULTADOS.....	15
CAPITULO II.....	16
2.1. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO FÍSICO.....	16
2.1.1. DIMENSIONAMIENTO.....	16
2.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO.....	26
2.3. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO.....	38
2.4.VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	44
CAPITULO III.....	48
3. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY	48
3.1 ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN.....	48
3.1.1. OBJETIVO.....	48
3.1.2. ALCANCE.....	48
3.1.3. DEFINICIONES.....	48
3.1.4. INSTRUMENTOS.....	49
3.1.5. METODOLOGÍA.....	52
3.1.6. CÁLCULOS DE LABORATORIO.....	54
3.2. ELABORACIÓN DE LA GUIA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS....	60
CONCLUSIONES.....	69
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPITULO I.

Figura 1.1. Decantador primario tipo.....	5
Figura 1.2. Corte sedimentador circular.....	6
Figura 1.3. Sedimentador rectangular.....	6
Figura 1.4. Clasificación de los regímenes de sedimentación.....	8
Figura 1.5. Eliminación de sólidos suspendidos para tiempo de retención. ....	12
Figura 1.6. Eliminación de DBO5 para tiempo de retención. ....	12

### CAPITULO II.

Figura 2.1. Modelo físico (Vista frontal). ....	17
Figura 2.2. Tanque de entrada. ....	19
Figura 2.3. Caja rectangular. ....	21
Figura 2.4. Prisma rectangular.....	22
Figura 2.5. Prisma piramidal. ....	23
Figura 2.6. Tanque de almacenamiento de agua clarificada. ....	24
Figura 2.7. Tanque de almacenamiento de sedimentos y agua sucia. ....	26
Figura 2.8 Secciones de acrílico del modelo físico prototipo. ....	27
Figura 2.9. Secciones de acrílico para la forma del modelo físico prototipo. ....	28
Figura 2.10. Físico prototipo. ....	28
Figura 2.11. Secciones del tanque de entrada. ....	29
Figura 2.12. Secciones del tanque de almacenamiento de sedimentos.....	30
Figura 2.13. Secciones del tanque de almacenamiento de agua clarificada.....	31
Figura 2.14. Secciones de la base del tanque sedimentador.....	32
Figura 2.15. Secciones de la parte superior del sedimentador. ....	33
Figura 2.16. Estructura de soporte del modelo físico. ....	34
Figura 2.17. Vista isométrica del modelo físico.....	35
Figura 2.18. Vista frontal del modelo físico.....	36
Figura 2.19. Vistas laterales. ....	37
Figura 2.20. Vistas en planta. ....	37
Figura 2.21. Acrílico.....	38
Figura 2.22. Cinta aislante.....	38
Figura 2.23. Vidrio. ....	39

Figura 2.24. Silicona. ....	39
Figura 2.25. Marco de aluminio. ....	40
Figura 2.26. Adaptador para tanque.....	40
Figura 2.27. Válvula esférica. ....	41
Figura 2.28. Codo cachimba roscable.....	41
Figura 2.29. Neplo polipropileno. ....	42
Figura 2.30. Unión hembra roscable.....	42
Figura 2.31. Reductor buje roscable. ....	42
Figura 2.32. Neplo PVC inyectado.....	43
Figura 2.33. Teflón. ....	43
Figura 2.34. Tubos de aluminio.....	44
Figura 2.35. Garrucha industrial con y sin freno.....	44

CAPITULO III.

Figura 3.1. Sedimentador. ....	49
Figura 3.2. Esquema del modelo físico.....	50
Figura 3.3. Modelo físico. ....	51
Figura 3.4. Recipiente de 75 litros.....	51
Figura 3.5. Cronómetro.....	52
Figura 3.6. Cinta métrica.....	52
Figura 3.7. Prototipo inicial.....	54
Figura 3.8. Pruebas con agua con arena.....	56
Figura 3.9. Pruebas con agua con caolín.....	58
Figura 3.10. Esquema del modelo físico.....	61
Figura 3.11. Modelo físico. ....	62
Figura 3.12. Componentes del agua sintéticas. ....	63
Figura 3.13. Tanque de entrada con el agua sintética. ....	63
Figura 3.14. Sedimentador. ....	64
Figura 3.15. Sedimentador después de 12 horas de tiempo de retención. ....	65
Figura 3.16. Tanque de salida agua clarificada. ....	65
Figura 3.17. Salida de sedimentos y agua sucia. ....	66
Figura 3.18. Modelo físico proceso final. ....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO I.

Tabla 1.1. Velocidad ascensional a caudal medio. ....	9
Tabla 1.2. Velocidad ascensional a caudal máximo. ....	9
Tabla 1.3. Tiempo de retención. ....	10
Tabla 1.4. Valores carga de vertedero. ....	11
Tabla 1.5. Relación entre el tiempo de retención y eliminación de contaminantes. ....	11
Tabla 1.6. Concentración de fangos primarios. ....	13
Tabla 1.7. Tiempo de retención en pocetas de decantadores. ....	13

### CAPITULO II.

Tabla 2.1. Dimensiones del modelo físico. ....	45
Tabla 2.2. Accesorios de la red de distribución. ....	46
Tabla 2.3. Primera prueba con el modelo físico prototipo inicial. ....	46
Tabla 2.4. Primera prueba con el modelo físico final. ....	47
Tabla 2.5. Segunda prueba con el modelo físico final. ....	47

### CAPITULO III.

Tabla 3.1. Tiempo de retención según su abertura. ....	67
--	----

**ÍNDICE DE ANEXOS.**

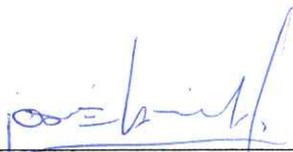
Anexo 1. Ficha de resultados. ....72

**“ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y LA GUÍA METODOLÓGICA  
PARA EL ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA  
HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY”**

**RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza el modelo físico y la guía metodológica para la práctica de sedimentación de la asignatura de Hidrosanitaria. En el documento se detalla el fundamento teórico, cálculos, proceso de construcción y validación de datos del modelo físico que será utilizado para la práctica de laboratorio. Finalmente se desarrolla la guía metodológica a utilizarse para el desarrollo de la práctica, en la misma que se especifican los pasos a seguir y los resultados a obtenerse, a partir de los cuales, los estudiantes adquirirán las destrezas necesarias para la comprensión del funcionamiento de un sedimentador.

**Palabras clave:** sanitaria, sedimentador, modelo físico, guía metodológica.



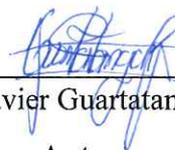
Ing. Josué Bernardo Larriva V. PhD  
**Director del Trabajo de Titulación**



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc  
**Director de la Escuela**



Santiago Israel Arias Abad  
**Autor**



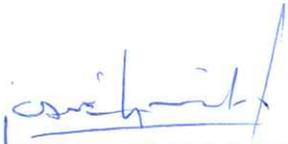
Renato Xavier Guartatanga Loyola  
**Autor**

**“ELABORATION OF THE PHYSICAL MODEL AND THE  
METHODOLOGICAL GUIDE FOR THE SEDIMENTATION TEST OF THE  
HYDROSANITARY SUBJECT OF THE UNIVERSITY OF AZUAY”**

**ABSTRACT**

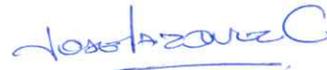
In this work, the physical model and the methodological guide for the sedimentation practice of the Hydrosanitary subject were developed. The document details the theoretical basis, calculations, construction process and data validation of the physical model that will be used for this laboratory practice. Finally, the methodological guide for the development of the practice was elaborated. This specified the steps to follow and the results to be obtained by the students in order to acquire the necessary skills to understand the operation of a settler.

**Keywords:** sanitary, settler, physical model, methodological guide.



Ing. Josué Bernardo Larriva V. PhD

**Thesis Director**



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc

**Faculty Director**



Santiago Israel Arias Abad

**Author**



Renato Xavier Guartatanga Loyola

**Author**

**ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y LA GUÍA METODOLÓGICA  
PARA EL ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE PRUEBAS DE  
SEDIMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA HIDROSANITARIA DE LA  
UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**PRELIMINARES**

**INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto pretende dar a conocer el proceso de diseño, construcción y una guía metodológica de un modelo físico mediante el diseño de un sedimentador de aguas sintéticas para la Universidad del Azuay, en donde se deben cumplir los criterios mínimos de diseño con el propósito de seleccionar la alternativa que asegure el funcionamiento y la durabilidad con el mínimo costo del proyecto.

Los sedimentadores son los encargados de remover las partículas del agua con la finalidad de limpiar, purificar, clarificar, etc. Este proceso cuenta con un sin número de etapas para lograr el cumplimiento de una serie de estándares de calidad, las dos más importantes y que están relacionadas son la sedimentación y la filtración. La sedimentación cumple con la función de remover las partículas que tienen mayor peso específico que al agua y la segunda es la filtración que es la encargada de remover las partículas que tienen un peso específico muy parecido al agua.

Debido a los problemas que nacen a la hora de interpretar y de estudiar los temas relacionados con el tratamiento de aguas residuales, surge la opción de implementar prácticas de laboratorio que ayuden al estudiante a comprender de mejor manera el comportamiento de esta etapa, por medio de un modelo físico y una guía metodológica que facilitará el entendimiento y comportamiento del tratamiento de aguas residuales mediante pruebas de sedimentación.

## **ANTECEDENTES**

La Universidad del Azuay actualmente no cuenta con un laboratorio de Hidráulica para realizar prácticas de laboratorio de las asignaturas Mecánica de Fluidos e Hidrosanitaria, por lo que este proyecto ayudará a la implementación de un laboratorio para los ensayos correspondientes de estas asignaturas y así ayudar en el crecimiento de los estudiantes en materias relacionadas con el tratamiento, manejo y conducción del agua.

## **PROBLEMÁTICA**

Para el estudio hidrosanitario en aguas residuales mediante sedimentadores, no basta solo los conocimientos teóricos ya que son parámetros difíciles de entender, sino también se debe complementar con la parte práctica la cual permita obtener un fácil entendimiento de este, en donde se deberían realizar pruebas de laboratorio las cuales ayuden a comprender el proceso de mejor manera.

La parte más complicada es el entendimiento físico debido a que actualmente no se cuenta con un modelo didáctico y mucho menos con manuales y guías metodológicas de estos procesos. Por otra parte, al momento de realizar las prácticas de laboratorio se presentan algunas dificultades, por el hecho que las mismas deben ser realizadas en primera instancia por el docente asignado, quien indique la forma correcta de cómo realizar la práctica y las normas necesarias para obtener resultados confiables.

## **JUSTIFICACIÓN**

Contar con una guía metodológica para la práctica de laboratorio que estará detallada paso por paso, que ayudará a realizar e interpretar de mejor manera el funcionamiento del modelo, además de simplificar el proceso permitiendo un correcto desarrollo y garantizando ejecutar el trabajo en menor tiempo y de manera más eficiente.

Para complementar la práctica se contará con un modelo físico del sistema con su respectivo manual, en el cual, el estudiante podrá leer de forma secuencial la manera de cómo se debe poner en funcionamiento el equipo. Además, podrá ver todos los elementos que componen el sistema y observar el comportamiento. De esta manera, se asegura que los estudiantes puedan realizar de manera eficiente y ordenada cada una de las prácticas para que los resultados obtenidos sean fáciles de entender e interpretar.

### **OBJETIVO GENERAL**

➤ Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para la práctica de laboratorio mediante pruebas de sedimentación.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir conceptos básicos sobre la guía metodológica y la sedimentación.
- Construir un modelo físico que indique el funcionamiento del sistema en cuestión.
- Elaborar una guía metodológica de la práctica de laboratorio mediante pruebas de sedimentación de aguas sintéticas.

### **ALCANCES Y RESULTADOS**

El presente trabajo de titulación contendrá una descripción detallada, además de los cálculos de cada uno de los parámetros de diseño y la elaboración de una maqueta con su respectiva guía metodológica para la práctica de laboratorio, cuyos resultados se presentarán en una ficha técnica.

## **CAPITULO I.**

### **1. MARCO TEORICO**

#### **1.1. SEDIMENTACIÓN O DECANTACIÓN**

En el proceso de sedimentación lo que se realiza es el asentamiento de los sólidos suspendidos en el fluido, aprovechando la acción que genera la gravedad en todos los cuerpos que posean masa, con lo que se logra que se depositen en el fondo del contenedor donde se encuentre el agua (Pérez, 1981).

En el tratamiento de potabilización del agua intervienen varias facetas para lograr el cumplimiento de una serie de estándares de calidad como: sedimentación, filtración o la combinación de ambos métodos que por general es lo que se realiza con frecuencia. Por tal motivo se aconseja que se considere tanto a la sedimentación como a la filtración como procesos complementarios pues la sedimentación es la que se encarga de separar las partículas más densas que el agua y que posean una velocidad de sedimentación tal, que permita que toquen el fondo en el lapso de un tiempo económicamente aceptable; mientras que la filtración por otro lado es la encargada de separar a aquellas partículas que posean una densidad muy semejante a la del agua y con una velocidad muy baja de sedimentación o que son re suspendidas por cualquier factor que las altere y por lo tanto es imposible su remoción durante la sedimentación (Pérez, 1981).

En la figura 1.1, se muestra un decantador primario tipo y sus partes en las que está compuesta.

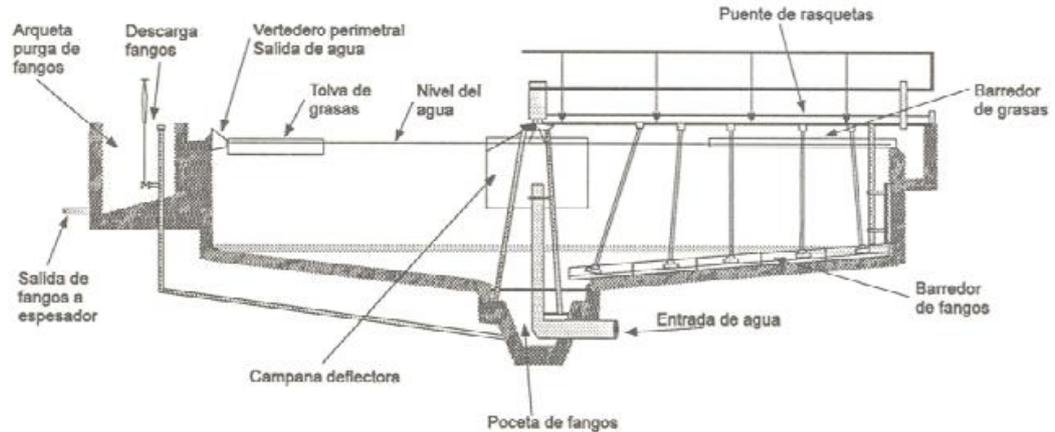


Figura 1.1. Decantador primario tipo.

Fuente: (Hernández)

## 1.2. HIDROSANITARIA

La Hidrosanitaria es la aplicación de la mecánica de fluidos en ingeniería, para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite. La hidráulica resuelve problemas como el flujo de fluidos por conductos o canales abiertos y el diseño de presas de embalse, bombas y turbinas. En otros dispositivos como boquillas, válvulas, surtidores y medidores se encarga del control y utilización de líquidos (Hidráulica Prado S.L., s.f.).

Las dos aplicaciones más importantes de la hidráulica se centran en el diseño de activadores y prensas. Su fundamento es el principio de Pascal, que establece que la presión aplicada en un punto de un fluido se transmite con la misma intensidad a cada punto del mismo (Hidráulica Prado S.L., s.f.).

## 1.3. DEFINICIÓN DE SEDIMENTACIÓN

Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por sedimentación o filtración. De allí que ambos procesos se consideren como complementarios (Yactayo, 2011, pág. 3).

De acuerdo a su diseño el sedimentador puede ser, circular (Figura 1.2) o rectangular (Figura 1.3).

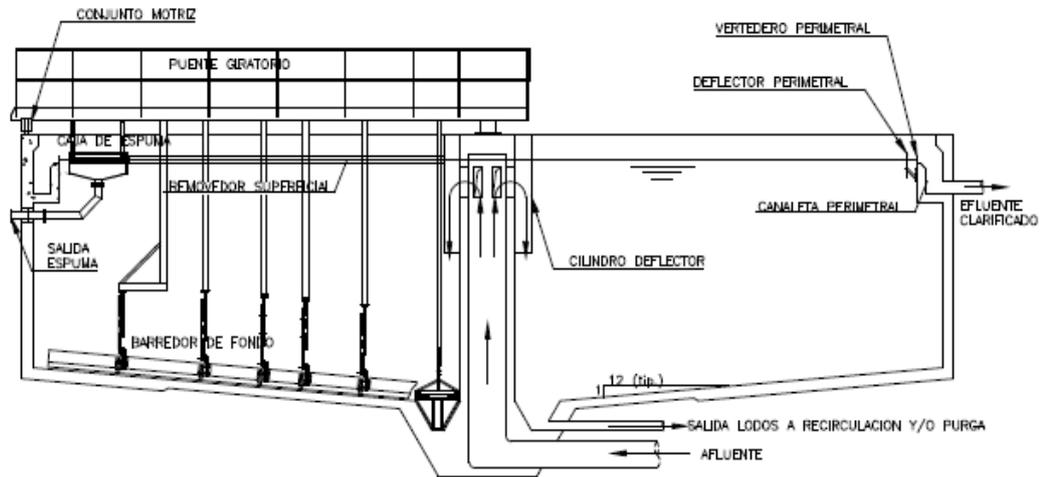


Figura 1.2. Corte sedimentador circular.

Fuente: (Naning, 2003)

La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido re suspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior. La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua (Yactayo, 2011, pág. 3).

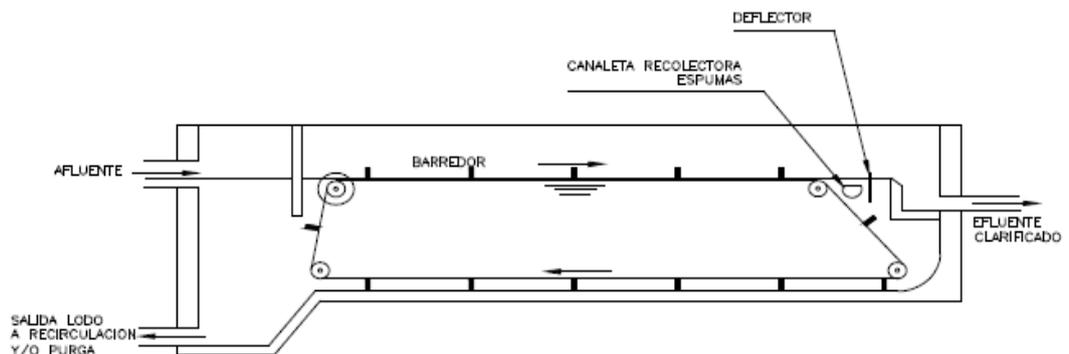


Figura 1.3. Sedimentador rectangular.

Fuente: (Naning, 2003)

### 1.3.1. TIPOS DE SEDIMENTACIÓN

#### ➤ Sedimentación tipo I (Partículas discretas)

Se llaman partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en el pre sedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida, y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta (Yactayo, 2011, pág. 4).

#### ➤ Sedimentación tipo II (Partículas floculantes)

Partículas floculantes son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas son la forma, tamaño, densidad, sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculante o decantación al proceso de depósito de partículas floculantes. Este tipo de sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación floculación y la filtración rápida (Yactayo, 2011, pág. 4).

#### ➤ Sedimentación tipo III (Zonal)

También conocida como sedimentación por zonas, corresponde a suspensiones en las que hay una concentración de sólidos elevada. En ellas, los sólidos sedimentan como una masa única produciéndose una interfase entre estos y el agua clarificada.

Los sólidos que sedimentan se distribuyen en tres zonas desde la superficie hasta el fondo: zona de sedimentación impedida, zona de transición y zona de compactación, donde las partículas se sustentan unas a otras (González A. U., 2017, pág. 12).

➤ Sedimentación tipo IV (Por compresión)

Tiene lugar en procesos de espesamiento o compresión de lodos, en los que las partículas están en contacto físico entre ellas. Este proceso de espesamiento es importante cuando se tratan suspensiones con alto contenido en sólidos como las correspondientes a la sedimentación de clase III (González, 2017, pág. 12).

“Entre los equipos más comunes que realizan la separación sólido-líquido mediante sedimentación se encuentran los desarenadores, los clarificadores o tanques de sedimentación (circulares o rectangulares) y los sedimentadores lamelares” (González A. U., 2017, pág. 13).

En la figura 1.4, se muestra un diagrama para tipos de procesos de sedimentación.

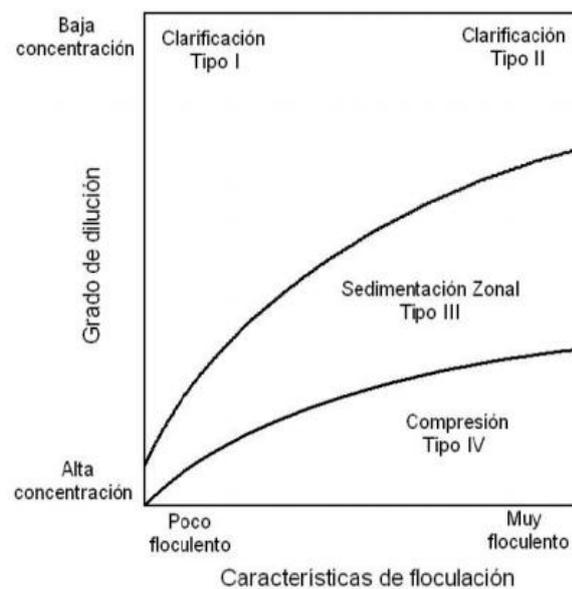


Figura 1.4. Clasificación de los regímenes de sedimentación.

Fuente: (Máster Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, 2012)

### 1.3.2. CRITERIOS DE DISEÑO

“Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tienen tendencia a depositarse, y los de menor peso específico, tienen tendencia a ascender” (Adsuar, 2013, pág. 31).

## 1. Velocidad ascensional

$$V_{asc} = \frac{Q}{S} \quad (1)$$

Donde:

Vasc = velocidad ascensional (m/h)

S = superficie de decantación (m<sup>2</sup>)

Q = caudal a tratar (m<sup>3</sup>/h)

Los valores de la velocidad ascensional dependen del caudal como se muestra en la tabla 1.1 y tabla 1.2.

Tabla 1.1. Velocidad ascensional a caudal medio.

VELOCIDADES ASCENSIONALES A CAUDAL MEDIO (m/h)			
DECANTACIÓN PRIMARIA	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
DECANTADORES CIRCULARES	1.00	1.50	2.00

Fuente: (Trapote , 2011)

Tabla 1.2. Velocidad ascensional a caudal máximo.

VELOCIDADES ASCENSIONALES A CAUDAL MÁXIMO (m/h)			
DECANTACIÓN PRIMARIA	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
DECANTADORES CIRCULARES	2.00	2.50	3.00

Fuente: (Trapote , 2011)

## 2. Tiempo de retención

$$tr = \frac{V}{Q} \quad (2)$$

Donde:

$t_r$  = Tiempo de retención (h)

$V$  = Volumen de decantación ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal a tratar ( $m^3/h$ )

Los valores usuales para el tiempo de retención se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Tiempo de retención.

TIEMPOS DE RETENCIÓN (h)			
DECANTACIÓN PRIMARIA	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
Tiempo de retención a caudal medio	1.50	2.50	3.00
Tiempo de retención a caudal máximo	1.00	1.50	2.00

Fuente: (Trapote , 2011)

### 3. Relaciones dimensionales

Valores máximos que pueden alcanzar las dimensiones físicas de los tanques de decantación o sedimentación.

$h$  = Altura del decantador o sedimentador

$$h < 3m$$

$\varnothing$  = Diámetro del decantador o sedimentador

$$\varnothing < 40m$$

### 4. Carga sobre vertedero de salida

$$C_{vert} = \frac{Q}{L} \quad (3)$$

Donde:

Q = Caudal al tratar

L= Longitud de vertedero = Perímetro

Los valores de la carga de vertedero, pueden obtenerse de la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Valores carga de vertedero.

VALORES CARGA DE VERTEDERO (m <sup>3</sup> /h/m)			
DECANTACIÓN PRIMARIA	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
DECANTADORES CIRCULARES	5.00	9.50	18.00

Fuente: (Trapote, 2011)

## 5. Producción de fangos

La cantidad de fangos producidos en la decantación primaria (F1) suele calcularse directamente multiplicando la concentración de sólidos en suspensión en el agua bruta por un coeficiente de reducción de sólidos en la decantación primaria (rendimiento). Este coeficiente oscila entre el 40 y el 60% (Adsuar, 2013, pág. 33).

$$F1 = K * \frac{kgSST}{dia\ agua\ bruta} \quad (4)$$

Para el cálculo del coeficiente K, se puede emplear la siguiente relación en función del tiempo de concentración como se muestra en la figura 1.5 y 1.6.

Tabla 1.5. Relación entre el tiempo de retención y eliminación de contaminantes.

Tr, med (horas)	% eliminación DBO5	% eliminación SS
1	27	43
2	30	55
3	40	65
4	42	66
5	42	67

Fuente: (Trapote , 2011)

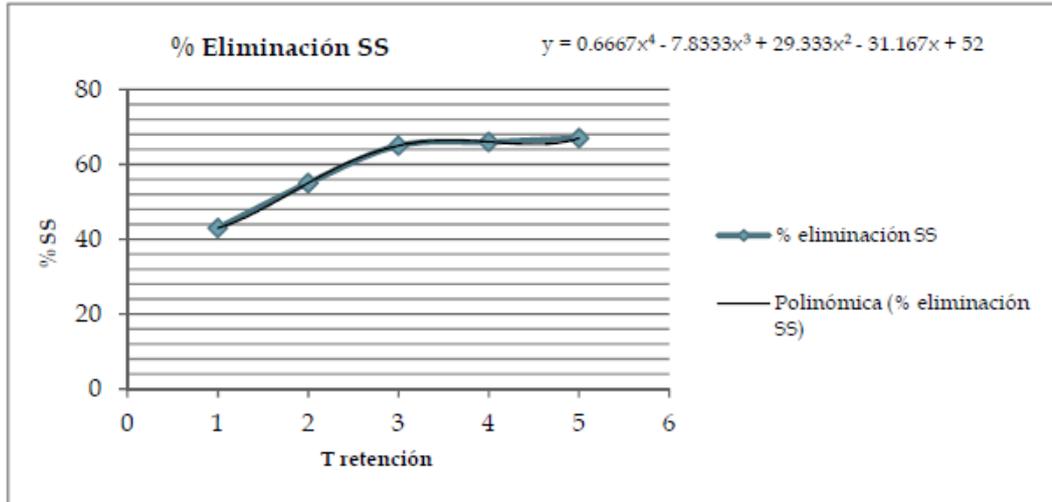


Figura 1.5. Eliminación de sólidos suspendidos para tiempo de retención.

Fuente: (Sandoval, 2011)

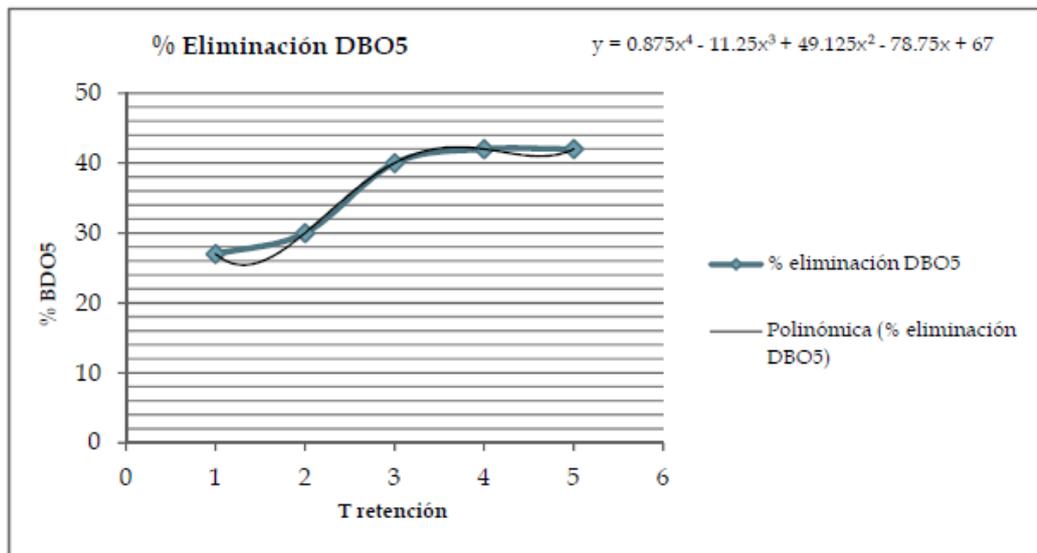


Figura 1.6. Eliminación de DBO5 para tiempo de retención.

Fuente: (Sandoval, 2011)

Los valores usuales de la concentración de fangos en la salida de la purga del decantador son los que se observan en la tabla 1.6.

Tabla 1.6. Concentración de fangos primarios.

CONCENTRACIÓN DE FANGOS PRIMARIOS (%)			
FANGOS PRIMARIOS	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
DECANTADORES DE POCETAS	3.00	5.00	6.00

Fuente: (Trapote, 2011)

## 6. Poceta de fangos

$$V = Q_f * T_r \quad (5)$$

Donde

V = Volumen de poceta o pocetas (m<sup>3</sup>)

Q<sub>f</sub> = Caudal medio de fangos producidos (m<sup>3</sup>/h)

T<sub>r</sub> = Tiempo de retención del fango en pocetas (h) se muestra en la tabla 1.7.

$$Q_f = \frac{K * C * Q}{10000 * C_1} \quad (6)$$

Donde:

K = Coeficiente de reducción SS en la decantación

C = Concentración SS en el agua bruta (p.p.m)

Q = Caudal medio de agua a tratar (m<sup>3</sup>/h)

C<sub>1</sub> = Concentración de purga de fangos (%)

Tabla 1.7. Tiempo de retención en pocetas de decantadores.

TIEMPO DE RETENCIÓN EN POCETAS DE DECANTADORES (h)			
DECANTACIÓN PRIMARIA	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
DECANTADORES CIRCULARES	0.50	2.00	5.00

Fuente: (Trapote, 2011)

#### 1.4. ELABORACIÓN DE GUÍA METODOLÓGICA

La elaboración de la guía metodología para las prácticas de laboratorio debe responder varias interrogantes, las cuales deben estar íntimamente relacionadas con el programa de estudio por la cual se convierta en una ayuda para el docente en la guía de las clases prácticas, y además ayudar al aprendizaje del alumno mejorando su entendimiento teórico con el práctico.

Las clases prácticas permiten que el estudiante realice actividades controladas en las que debe aplicar a situaciones concretas los conocimientos adquiridos en teoría y, de este modo, afianzarlos y adquirir otros. El alumno pone así en práctica una serie de habilidades básicas y procedimentales relacionadas con la materia objeto de estudio que no sería posible desarrollar en otras modalidades de aprendizaje. Por otra parte, y en función de su tipología y del planteamiento concreto que adopten, pueden promover tanto el trabajo autónomo como el trabajo en grupo (Aguzzi Montagna, y otros, 2016).

##### 1.4.1. DEFINICIÓN DE GUÍA METODOLÓGICA

La guía metodológica es el documento que favorece el entendimiento de las prácticas realizadas en el laboratorio; en la guía se deben redactar los pasos a seguir para realizar un ensayo, facilitando el desarrollo de esta, con la elaboración de esta guía se busca que los estudiantes sin experiencia sean capaces de abordar de mejor manera los conceptos dados en clases y aplicarlos en dichas prácticas (González, 2004).

Para González (2004), los objetivos de la guía metodológica para elaborar la evaluación sobre los conocimientos adquiridos en clases son:

- Disponer de un conjunto de orientaciones que favorezcan a garantizar la transparencia, validez y credibilidad de los resultados que se obtengan en las prácticas de laboratorio.

- Facilitar la realización de prácticas de laboratorio a los estudiantes para reforzar y aclarar los temas adquiridos en clases.

#### 1.4.2. CONSIDERACIONES GENERALES

Como lo indica González (2004), en la guía metodológica se busca solventar cualquier inquietud que puede surgir al momento de desarrollar los ensayos de laboratorio correspondiente a la asignatura de hidrosanitaria, para la elaboración de esta guía se sigue el siguiente proceso:

- Revisión bibliográfica de la asignatura antes mencionada.
- Tener conocimiento de los conceptos básicos, criterios de diseño y proceso de cálculo del elemento hidráulico a realizar el ensayo.
- Realización de una propuesta inicial de pasos a seguir en la ejecución de la práctica aplicada al tema a estudiar.
- Redacción de una primera aproximación a la guía metodológica.
- Revisión de la guía metodológica por expertos en temas de hidráulica.
- Corrección de la propuesta a partir de los señalamientos realizados.
- Revisión final de la guía metodológica propuesta.

#### 1.4.3. FICHA DE RESULTADOS

Al finalizar una investigación o un ensayo de laboratorio, es necesario presentar los resultados obtenidos. Por ello los practicantes o estudiantes deben realizar una ficha de resultados la cuál contenga todos los datos conseguidos en la práctica de laboratorio. Dichos resultados se deben presentar en el contexto académico, donde serán entregados al profesor encargado de la materia para que realice su respectiva revisión, con la cual podrá evaluar el desempeño de los estudiantes al momento de realizar las prácticas de laboratorio (Fernández, 2005).

## **CAPITULO II.**

### **2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUETA DINÁMICA**

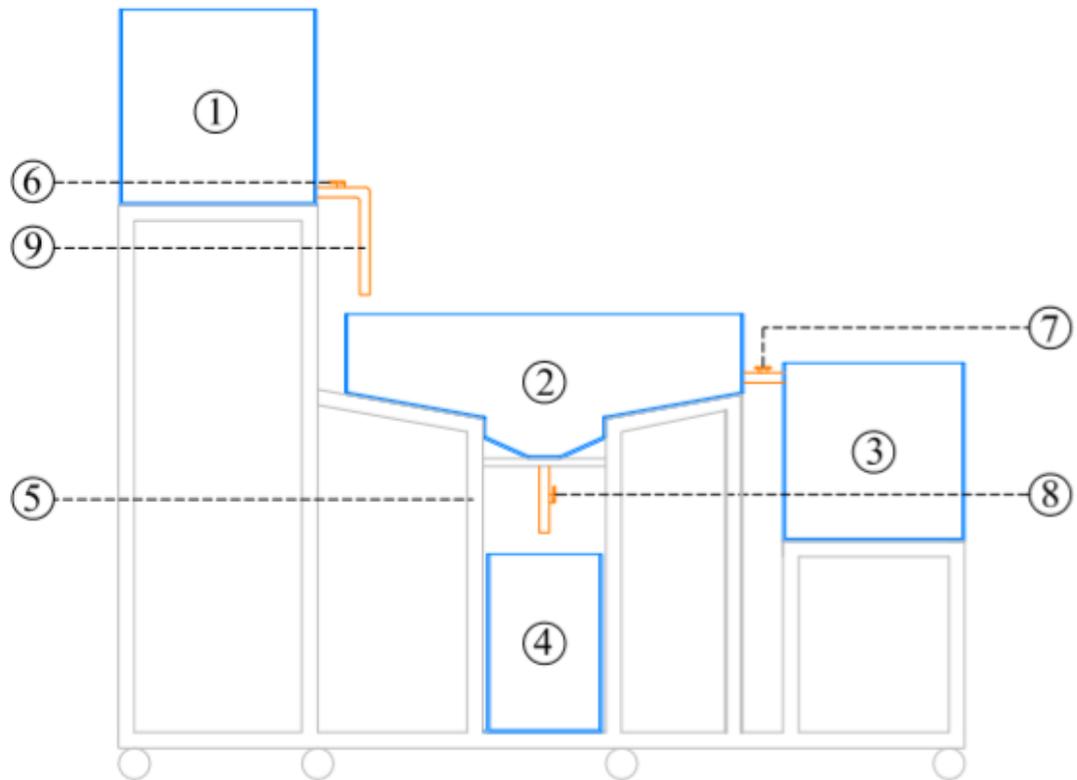
#### **2.1. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO FÍSICO**

La función principal del modelo físico es la de enseñar a los estudiantes las particularidades que presenta un tanque sedimentador con la ayuda de ensayos y pruebas de laboratorio, para ello el manejo del equipo a utilizar debe ser segura y sencilla de manejar para los estudiantes y profesor encargado de la asignatura, evitando de esta forma problemas al utilizar el equipo.

El sedimentador rectangular al igual que el sedimentador circular tienen como objetivo que los sólidos en suspensión de peso específico superior al líquido en el que se encuentran tengan tendencia a depositarse en el fondo del tanque en un tiempo determinado y los de menor peso específico tengan tendencia a ascender.

##### **2.1.1. DIMENSIONAMIENTO**

El modelo va a constar de 4 partes; tanque de entrada, sedimentador, tanque de almacenamiento de agua clarificada y tanque de sedimentos, estos tanques cuentan con sus respectivas tuberías y llaves de paso de  $\frac{3}{4}$  de pulgadas para así hacer circular el líquido con el sedimento correctamente. Se puede observar en la figura 2.1 la distribución que tendrá el tratamiento.



1. Tanque Entrada
2. Sedimentador
3. Tanque de Salida Agua Clarificada
4. Salida de Sedimentos y Agua Sucia
5. Estructura
6. Llave de paso A
7. Llave de paso B
8. Llave de paso C
9. Tubería D

Figura 2.1. Modelo físico (Vista frontal).

Fuente: Elaboración propia.

En el sedimentador debe existir un tiempo de retención que variará conforme al caudal de líquido con sedimento que pase por el mismo. Para proceder al dimensionamiento de los tanques se debe partir de un caudal conocido, teniendo en cuenta una sección rectangular del tanque de 100x30cm. Del prototipo se obtuvo tanto un caudal máximo y mínimo, con la ayuda de una tubería PVC de 110mm y llave de cuarto de vuelta dio un flujo máximo de 0.1167 lt/seg y un flujo mínimo de 0.0056 lt/seg. A esto se le debe agregar que el fondo del tanque debe tener cierta pendiente entre un rango de 2% al 20% de forma que ayuden a que los sedimentos se dirijan de mejor manera a la caja del fondo que existe en el centro del sedimentador.

### Tanque de Entrada

Para empezar con el dimensionamiento del modelo físico se escogió el volumen de agua con el que se iba a trabajar en el laboratorio, siendo este de 70 litros, con una altura de tanque de 50cm y una sección rectangular de 50cmx30cm, tomando en cuenta que puede ocurrir un desborde de agua la altura real del líquido que utilizaremos es de 47cm (Figura 2.2).

$$VT = A * H \quad (7)$$

Donde:

VT = Volumen total del tanque cm<sup>3</sup>.

A = Área de la sección transversal del tanque cm<sup>2</sup>.

H = Altura real máxima del tanque en cm.

$$70000 \text{ cm}^3 = A * 50 \text{ cm}$$

$$70000 \text{ cm}^3 = A * 50 \text{ cm}$$

$$A = 1400 \text{ cm}^2$$

Imponiendo b=30cm podemos obtener el otro lado de la sección rectangular.

$$A = a * b \quad (8)$$

De modo que:

A = Área de la sección transversal del tanque cm<sup>2</sup>.

a = Lado de la sección transversal del tanque cm.

b = Lado de la sección transversal del tanque cm.

entonces:

$$1400 \text{ cm}^2 = a * b$$

$$1400 \text{ cm}^2 = a * 30 \text{ cm}$$

$$a = 46.667 \text{ cm}$$

Por motivos de construcción del tanque tomaremos  $a=50\text{cm}$ .

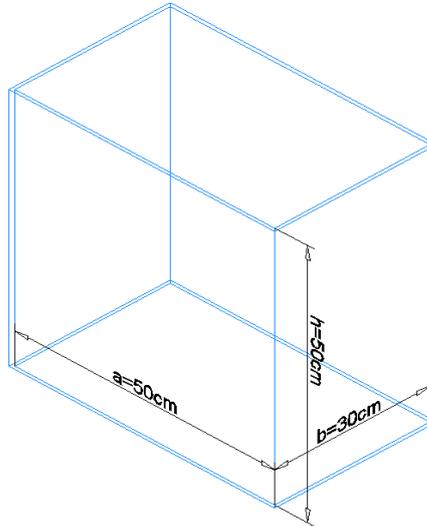


Figura 2.2. Tanque de entrada.

Fuente: Elaboración propia.

### Diseño del Sedimentador

Sabiendo que el sedimentador debe tener una capacidad de almacenamiento de líquido y sedimento de 70 litros se procedió de la siguiente forma.

#### ➤ Caja Rectangular

Se debe tener claro que la principal función del sedimentador es de clarificar la mayor cantidad posible de agua, para ello se procedió a diseñar una caja que contenga el mayor porcentaje de líquido posible que venga del tanque de entrada, pretendiendo clarificar más del 50% del volumen de líquido por ello la caja rectangular tendrá la siguiente sección como se muestra en la figura 2.3.

Utilizando de igual forma un  $b=30\text{cm}$  por razones constructivas e imponiendo un largo  $a=$  de  $100\text{cm}$  debido a que el largo debe ser proporcionalmente mayor al ancho podemos obtener el otro el área de la sección rectangular.

$$A = a * b \quad (9)$$

De modo que:

$A = \text{Área de la sección transversal del tanque cm}^2$ .

$a = \text{Lado de la sección transversal del tanque cm}$ .

$b = \text{Lado de la sección transversal del tanque cm}$ .

entonces:

$$A = 100 \text{ cm} * 30 \text{ cm}$$

$$A = 3000 \text{ cm}^2$$

Proponiendo una profundidad de 20 cm, se calcula el volumen de la caja:

$$Vc = A * H \quad ( 10 )$$

Donde:

$Vc = \text{Volumen total de la caja cm}^3$ .

$A = \text{Área de la sección transversal del tanque cm}^2$ .

$H = \text{Altura real máxima del tanque en cm}$ .

$$Vc = 3000 \text{ cm}^2 * 20 \text{ cm}$$

$$Vc = 60000 \text{ cm}^3$$

Este volumen equivale el 80% de los 75 litros del tanque de entrada, con ello podemos afirmar que una gran cantidad de líquido se va a clarificar.

Seguido un porcentaje del fondo de la caja debe tener una pendiente entre el 2 al 20% para que el proceso de sedimentación sea más eficiente, sabiendo se impuso una pendiente del 10% con ello se asegura que la mayor parte de los sedimentos circulen hacia el fondo del tanque. La sección que corresponde a las inclinaciones tendrá una sección rectangular como se muestra en la figura 2.3.

Sección rectangular de  $c=35\text{cm}$  (largo) y  $d=30\text{cm}$  (ancho). Las dos pendientes van a tener la misma sección debido a que la caja es simétrica.

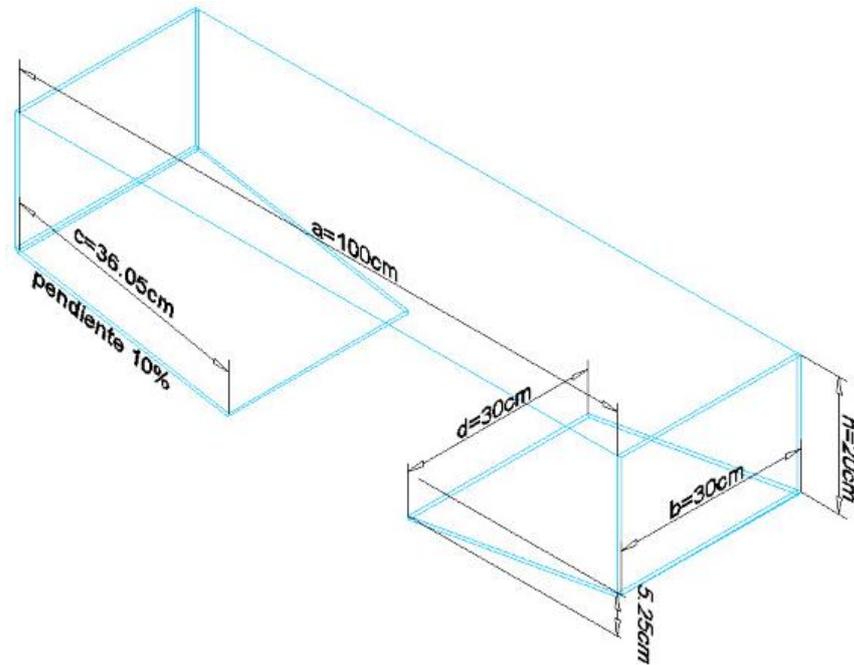


Figura 2.3. Caja rectangular.

Fuente: Elaboración propia.

Volumen de las pendientes =  $V_s$

$$V_s = \frac{2 * (5.25\text{cm} * 35\text{cm})}{2} * 30\text{cm} + (30\text{cm} * 30\text{cm} * 5.25\text{cm})$$

$$V_s = 5512.5\text{cm}^3 + 4725\text{cm}^3$$

$$V_s = 10237.5\text{cm}^3 = 10.237 \text{ litros}$$

Seguido de la caja se colocará en el fondo un prisma rectangular, esto ayudará a que la construcción del tanque sea más sencilla. La sección del prisma rectangular será de largo de  $30\text{cm}$  y ancho de  $30\text{cm}$  con una profundidad de  $5\text{cm}$  como se muestra en la figura 2.4.

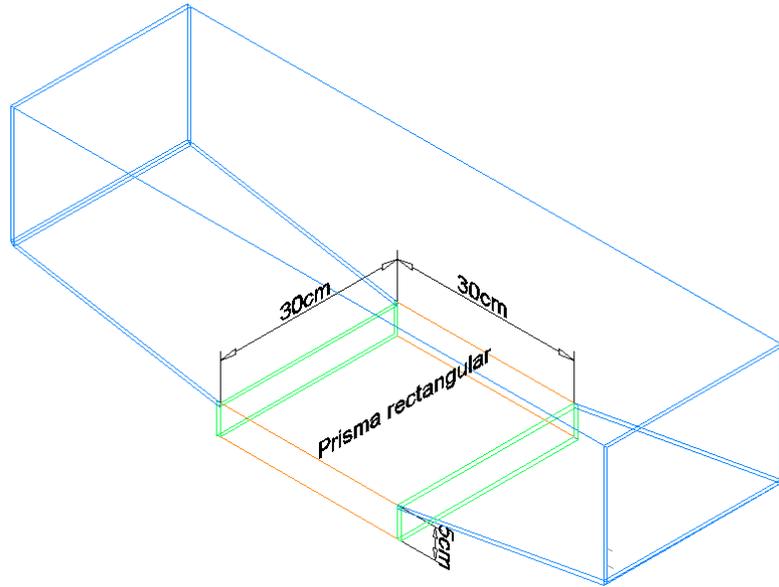


Figura 2.4. Prisma rectangular.

Fuente: Elaboración propia.

Volumen de Prisma rectangular =  $V_{pr}$

$$V_{pr} = 30\text{cm} * 30\text{cm} * 5\text{cm}$$

$$V_{pr} = 4500\text{ cm}^3$$

➤ Caja de Retención de Sedimentos

Se debe tomar en cuenta que al fondo del sedimentador la caja será de forma de tronco de pirámide invertido, con una altura de 5cm y teniendo en la parte más baja una sección de 8x8cm, esto ayudará a que todos los sedimentos se asienten en el fondo del tanque, dicho esto se procedió a calcular el volumen de la pirámide.

$$V_p = \frac{h * (a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 * a_2})}{3} \quad (11)$$

Donde:

$V_p$  = Volumen del prisma piramidal  $\text{cm}^3$ .

$h$  = Altura vertical del prisma piramidal  $\text{cm}$ .

$a_1$  = Área inferior del prisma piramidal  $\text{cm}^2$ .

$a_2 =$  Área superior del prisma piramidal  $\text{cm}^2$ .

$$V_p = \frac{5\text{cm} * (64\text{ cm}^2 + 900\text{ cm}^2 + \sqrt{64\text{ cm}^2 * 900\text{ cm}^2})}{3} = 2006.67\text{ cm}^3$$

$$V_p = 2006.67\text{ cm}^3 = 2.007\text{ litros}$$

En la siguiente figura 2.5 se muestra la forma que posee el prisma piramidal del fondo del tanque sedimentador teniendo una altura de 5cm.

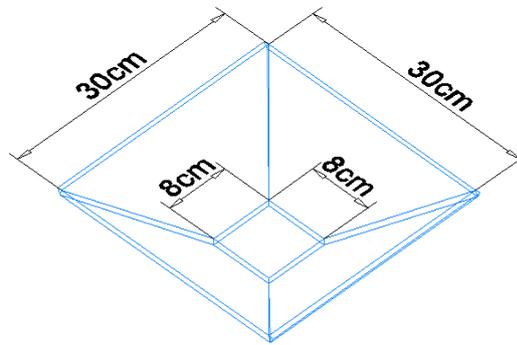


Figura 2.5. Prisma piramidal.

Fuente: Elaboración propia.

### **Tanque de Almacenamiento de Agua Clarificada**

Para el dimensionamiento de este tanque se debe tomar en cuenta el volumen que contiene toda la caja rectangular de la figura 2.3 que es de 60 litros, por ello la sección rectangular que tendrá el tanque de almacenamiento será de 45x30cm como se muestra en la figura 2.6.

$$A = 45\text{cm} * 30\text{cm}$$

$$A = 1350\text{ cm}^2$$

Se estableció una profundidad de 45 cm para que almacene aproximadamente los 60 litros, se calcula el volumen de la caja:

$$V_{ta} = A * H \quad (12)$$

Donde:

$V_{ta}$  = Volumen total del tanque de almacenamiento  $\text{cm}^3$ .

$A$  = Área de la sección transversal del tanque de almacenamiento  $\text{cm}^2$ .

$H$  = altura real máxima del tanque en cm.

$$V_{ta} = 1350 \text{ cm}^2 * 45 \text{ cm}$$

$$V_{ta} = 60750 \text{ cm}^3 = 60.75 \text{ litros}$$

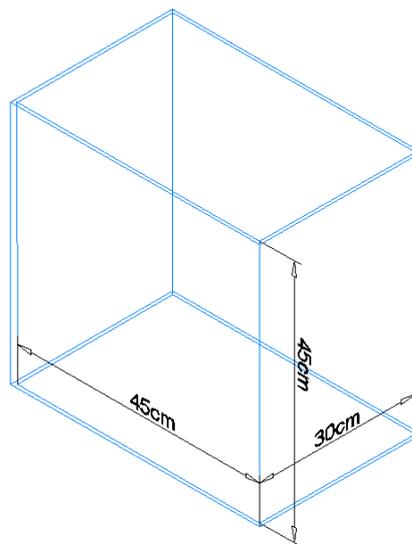


Figura 2.6. Tanque de almacenamiento de agua clarificada.

Fuente: Elaboración propia.

### **Tanque de Sedimentos**

El tanque debe tener capacidad para almacenar los sedimentos y el agua sucia de las inclinaciones, prisma rectangular y piramidal del tanque sedimentador, para ello el tanque debe almacenar aproximadamente un volumen de agua de 30 litros, con esto se procedió a dimensionar el tanque como se muestra en la figura 2.7.

Volumen a contener es:

$$V_{co} = V_s + V_p + V_{pr} + V_{sc}$$

$$V_{co} = 10237 \text{ cm}^3 + 2007 \text{ cm}^3 + 4500 \text{ cm}^3 + (30\text{cm} * 100\text{cm} * 4\text{cm})$$

$$V_{co} = 28744\text{cm}^3 = 28.74 \text{ litros}$$

Donde:

$V_s$  = Volumen de las secciones de pendientes de la caja de sedimentador.

$V_p$  = Volumen del prisma piramidal.

$V_{pr}$  = Volumen del prisma rectangular.

$V_{sc}$  = Porcentaje del volumen de la caja de sedimentador.

Se estableció una sección rectangular por motivos de construcción de 28x30cm.

$$A = 28 \text{ cm} * 30 \text{ cm}$$

$$A = 840 \text{ cm}^2$$

Se estableció una profundidad de 45 cm para que almacene aproximadamente los 30 litros, se calcula el volumen de la caja:

$$V_{ts} = A * H \tag{13}$$

Donde:

$V_{ts}$  = Volumen total del tanque de sedimentos  $\text{cm}^3$ .

$A$  = Área de la sección transversal del tanque de sedimentos  $\text{cm}^2$ .

$H$  = altura real máxima del tanque en cm.

$$V_{ta} = 840 * 45 \text{ cm}$$

$$V_{ta} = 37800 \text{ cm}^3 = 37,8 \text{ litros}$$

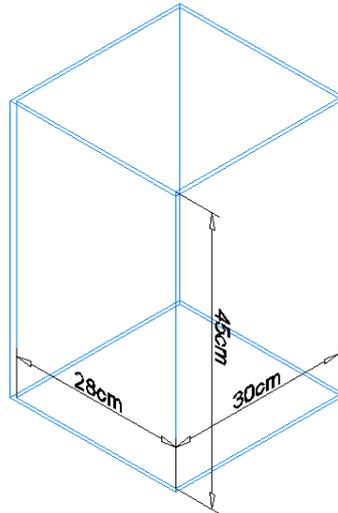


Figura 2.7. Tanque de almacenamiento de sedimentos y agua sucia.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO

Primero se procedió a realizar un modelo físico prototipo de acrílico para verificar medidas calculadas, dicho modelo tendrá una longitud de 1m para elaborar las pruebas.

Para su construcción se utilizó una plancha de acrílico con un espesor de 4mm y se le corto en diferentes secciones ilustradas en la siguiente figura 2.8.

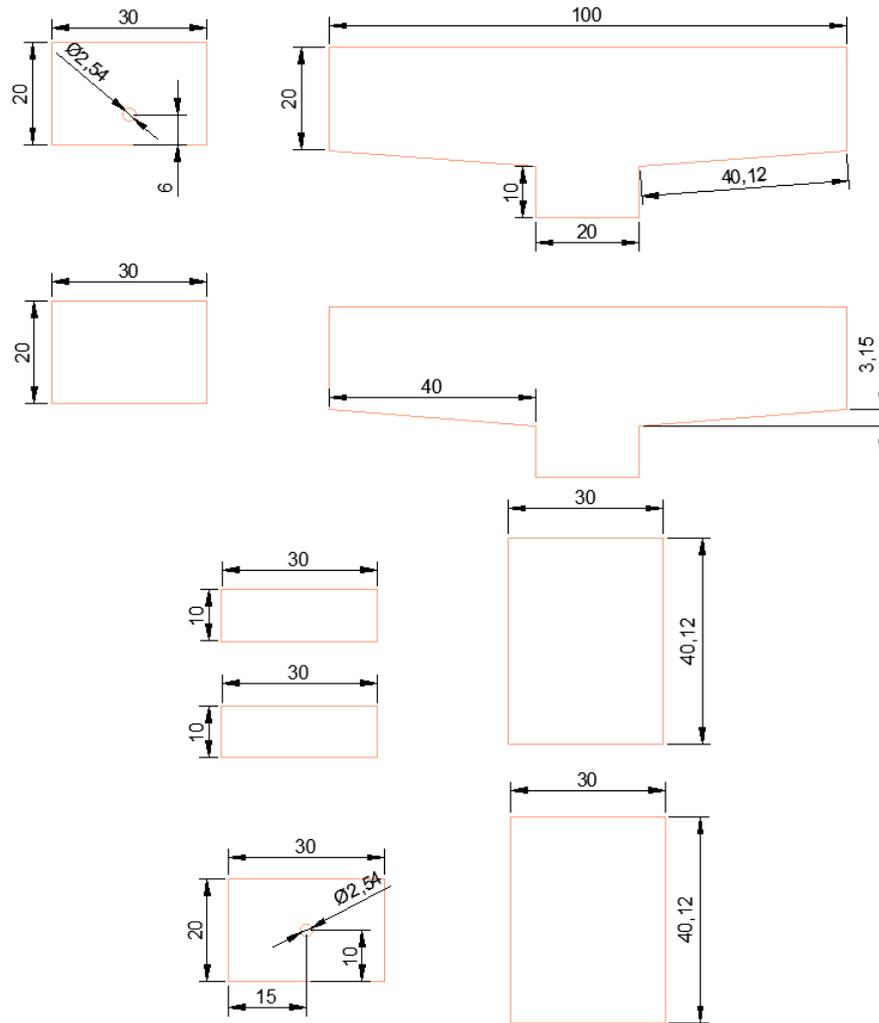


Figura 2.8 Secciones de acrílico del modelo físico prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

Se armó el prototipo pegando con silicona cada sección luego reforzando los filos con cinta aislante para que no exista filtraciones como se muestra en la figura 2.9 y 2.10.

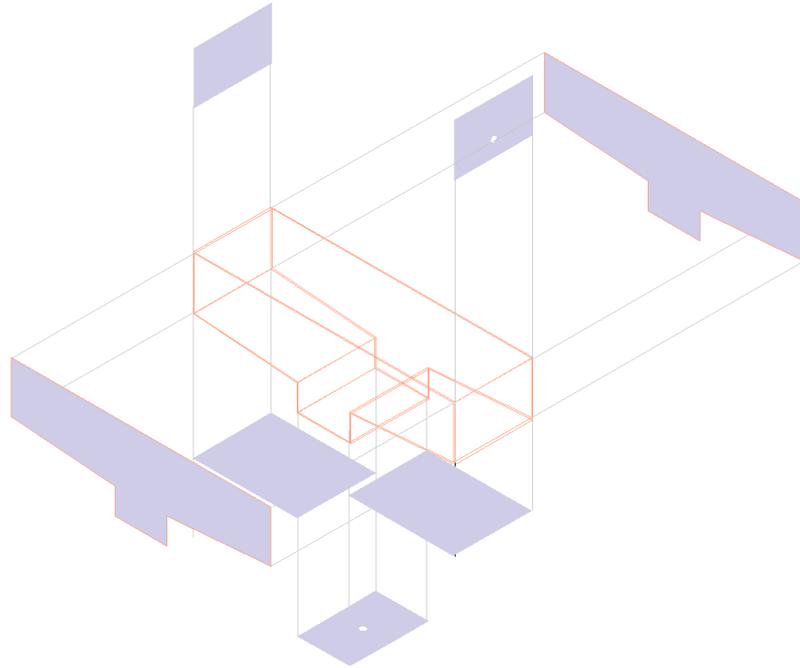


Figura 2.9. Secciones de acrílico para la forma del modelo físico prototipo.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 2.10. Físico prototipo.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizadas las pruebas en el modelo prototipo y diseñado el modelo físico final se procedió a la construcción del mismo, el cual fue construido con vidrio con un espesor de 6mm y la estructura de contención fue hecho con aluminio, apoyándose en

ruedas de goma en su parte inferior, la red de distribución se la realizó con tubería de  $\frac{3}{4}$  pulgadas de PVC esta red está compuesta por nudos para facilitar su desmontaje al momento de hacer su limpieza.

Se procedió de la siguiente forma para construir el modelo, primero se construyó el tanque de entrada con una sección de 50x30cm con una altura de 50cm, este es el encargado de almacenar el agua sintética que se va a tratar, este tanque posee un orificio para una tubería de  $\frac{3}{4}$  pulgadas, la perforación está ubicada a una altura de 3.27cm de la base del tanque, seguido se coloca la red de distribución con una llave de paso de cuarto de vuelta para hacer circular el agua residual al tanque sedimentador, en la figura 2.11 se detallan las dimensiones que deben tener cada cara del tanque para cumplir con la sección interna de 50x30cm.

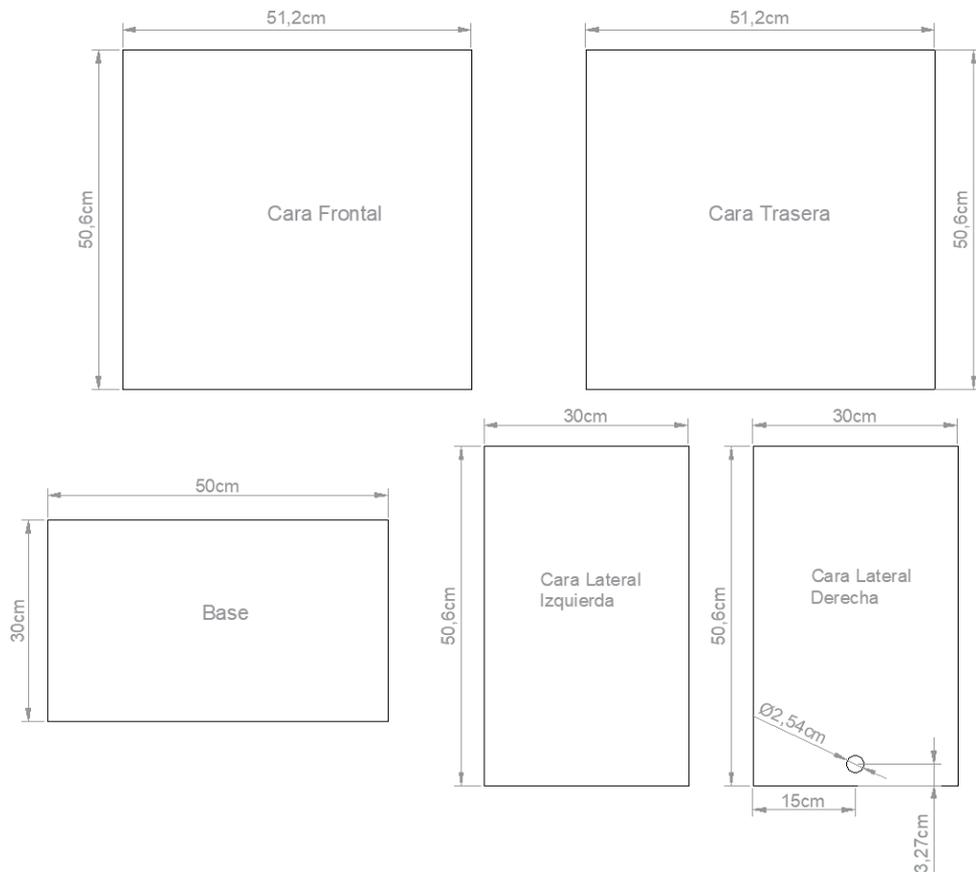


Figura 2.11. Secciones del tanque de entrada.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se construyó el tanque de salida tanto de almacenamiento de sedimentos y el otro de almacenamiento de agua clarificada, el tanque de sedimentos tendrá una

sección de 28x30cm con una altura de 45cm como se muestra en la figura 2.12, el sedimento se transportará en caída libre por una tubería de  $\frac{3}{4}$  de pulgada hacia este tanque, el otro tanque de agua clarificada constará de una sección de 45x30cm con una profundidad de 45cm, se hará un orificio de  $\frac{3}{4}$  de pulgada ubicado en la cara lateral izquierda a 3.77cm de la parte superior del tanque como se indica en la figura 2.13, el mismo será ubicado a una altura de 60 cm del suelo para que el orificio del tanque conecte en línea recta con el tanque sedimentador.



Figura 2.12. Secciones del tanque de almacenamiento de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia.

Para el paso de líquido del tanque sedimentador al tanque de almacenamiento de agua clarificada la red de distribución contará con una llave de  $\frac{3}{4}$  de pulgada la cual permite restringir el paso del agua al tanque de almacenamiento hasta que se cumpla el proceso de sedimentación.

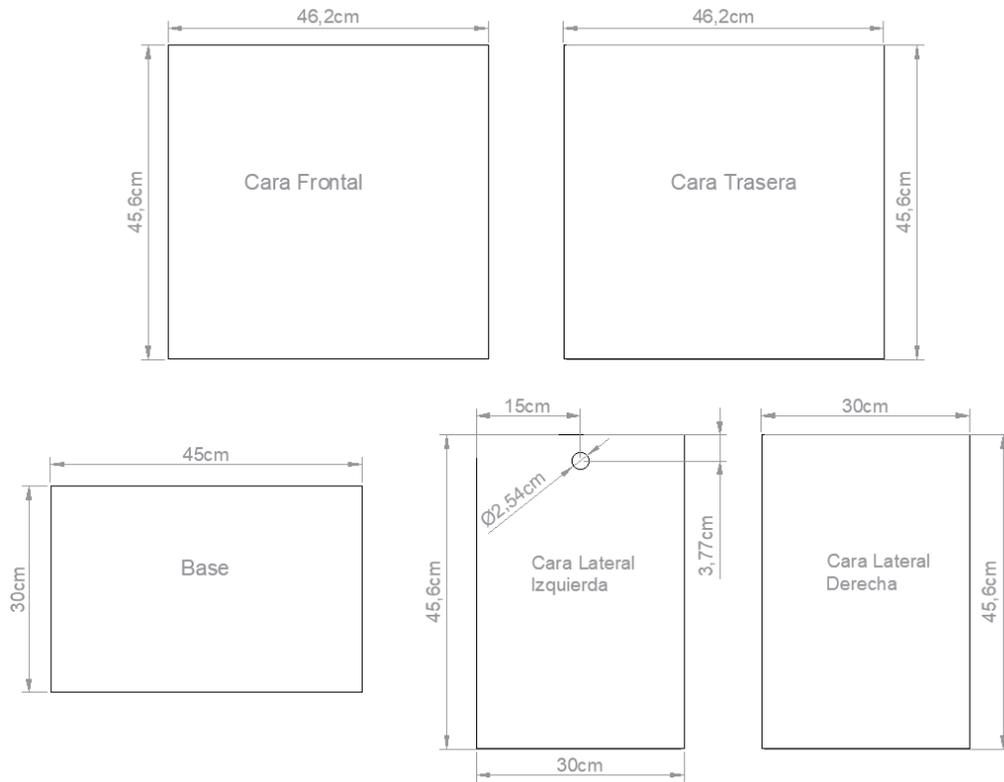


Figura 2.13. Secciones del tanque de almacenamiento de agua clarificada.

Fuente: Elaboración propia.

El tanque sedimentador fue previamente diseñado con cada una de sus partes y dimensiones, en la parte lateral izquierda el agua cae hacia el tanque sedimentador en caída libre por una tubería que está conectada al tanque de entrada, en la parte central del fondo el prisma de salida de sedimentos está compuesto por una sección de 30x30cm en la parte superior y en la parte inferior por una sección de 8x8cm como se muestra en la figura 2.14, esta sección cuenta con un orificio de 3/4 de pulgada para conectar una red de distribución que haga circular el sedimento y agua sucia hacia el tanque de almacenamiento, se debe aclarar que dicha red cuenta con una llave de paso que se mantiene cerrada mientras se cumple el proceso de sedimentación.

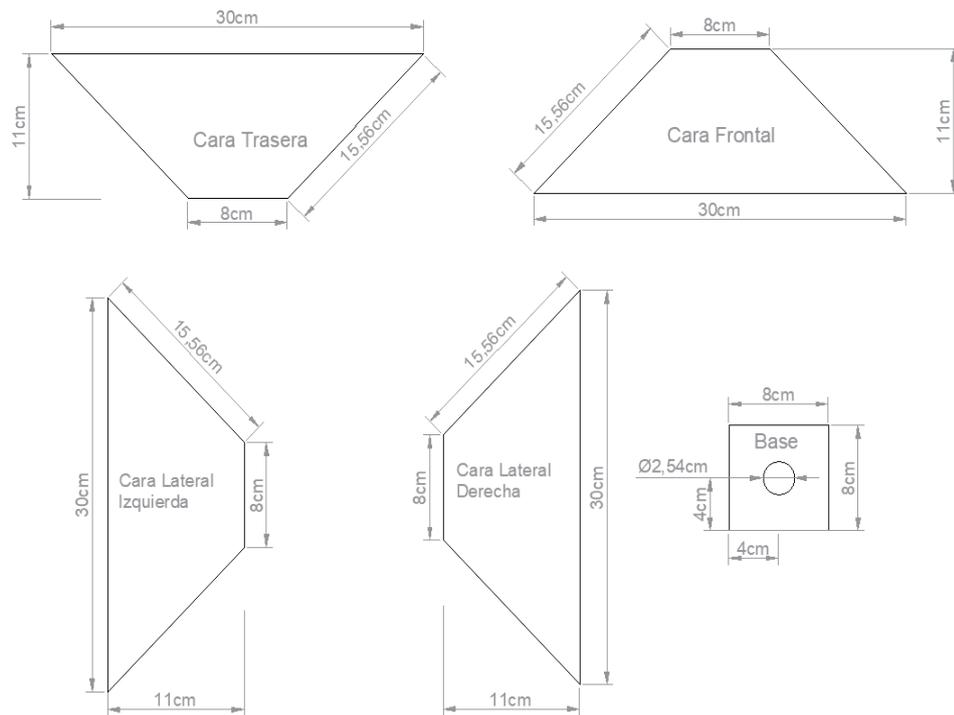


Figura 2.14. Secciones de la base del tanque sedimentador.

Fuente: Elaboración propia.

En la parte lateral izquierda el tanque sedimentador posee un orificio para una tubería de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, en el orificio se colocó un accesorio con empaques que impide fugas, seguido de una tubería que conecta con el tanque de almacenamiento de agua clarificada, de igual forma cuenta con una llave de paso que se mantiene cerrada prohibiendo el paso de líquido hasta que se cumpla el proceso de sedimentación. A continuación, en la figura 2.15 se muestra el resto de las secciones del tanque sedimentador.

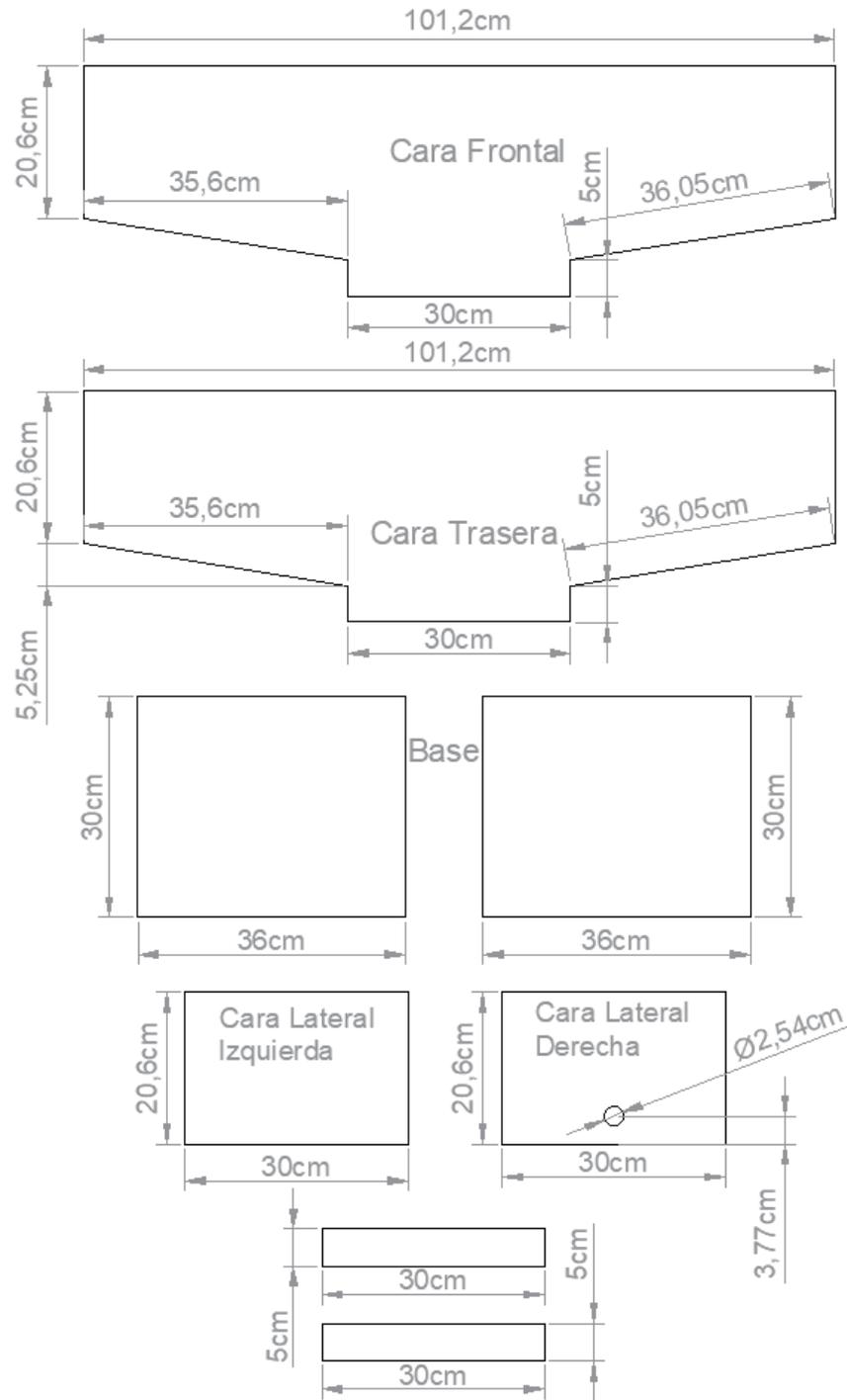


Figura 2.15. Secciones de la parte superior del sedimentador.

Fuente: Elaboración propia.

Finalizado la construcción del modelo físico se procedió a construir la estructura de soporte, la cual está hecha de aluminio con una sección de 4x4cm, en su parte inferior está asentada sobre 4 ruedas con freno de pie estático y 2 sin el mismo, los pilares que sostienen al tanque de entrada tienen una altura de 140cm desde el suelo, en la parte

media el tanque está ubicado a una altura de 93cm sostenido por 6 pilares y dos barras inclinadas que se anclan a los pilares del tanque de entrada y con dos vigas en la base inferior del prisma que ayudan a mantenerla estable debido al peso que va tener el tanque, debajo de este tanque se encuentra el tanque de almacenamiento de sedimentos a una altura de 7cm desde el suelo y en la parte derecha de la estructura se colocaron 4 barras con una altura de 53cm que sostiene al tanque de almacenamiento de agua clarificada. Toda la estructura fue construida con los tubos de aluminio con la sección de 4x4cm a excepción de las dos vigas que sostiene la base en el prisma piramidal del tanque sedimentador que tiene una sección de 2x4cm, como se muestra en la figura 2.16.

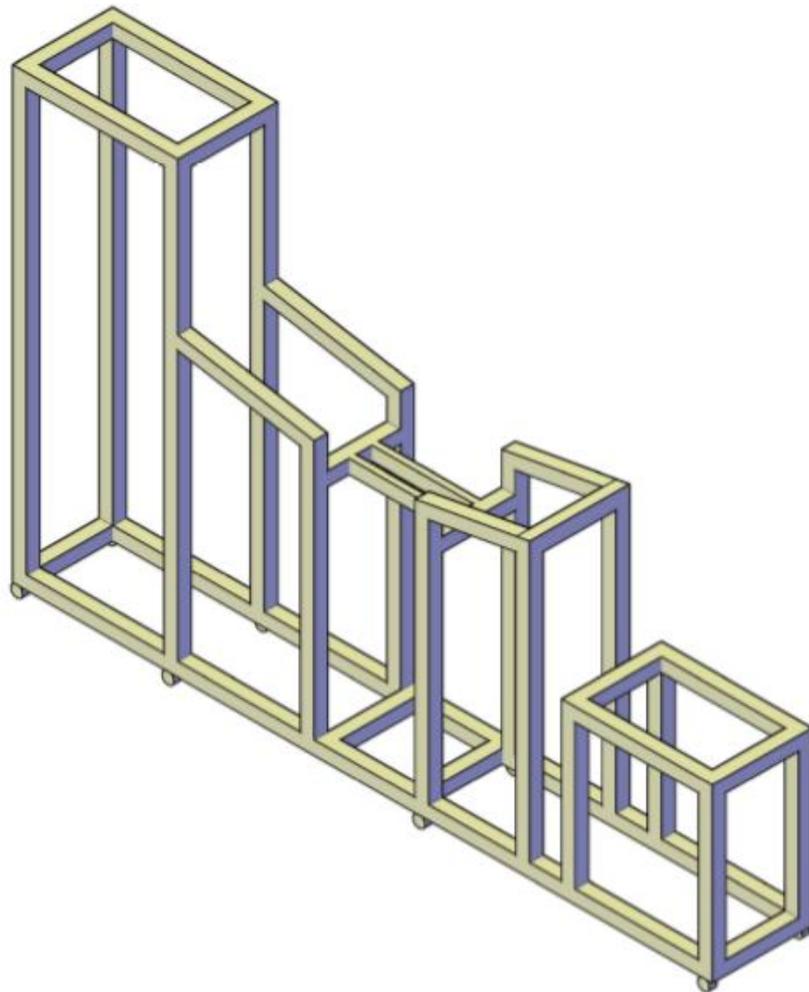


Figura 2.16. Estructura de soporte del modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

**Vistas del Modelo Físico.**

➤ **Isometría, Figura 2.17.**

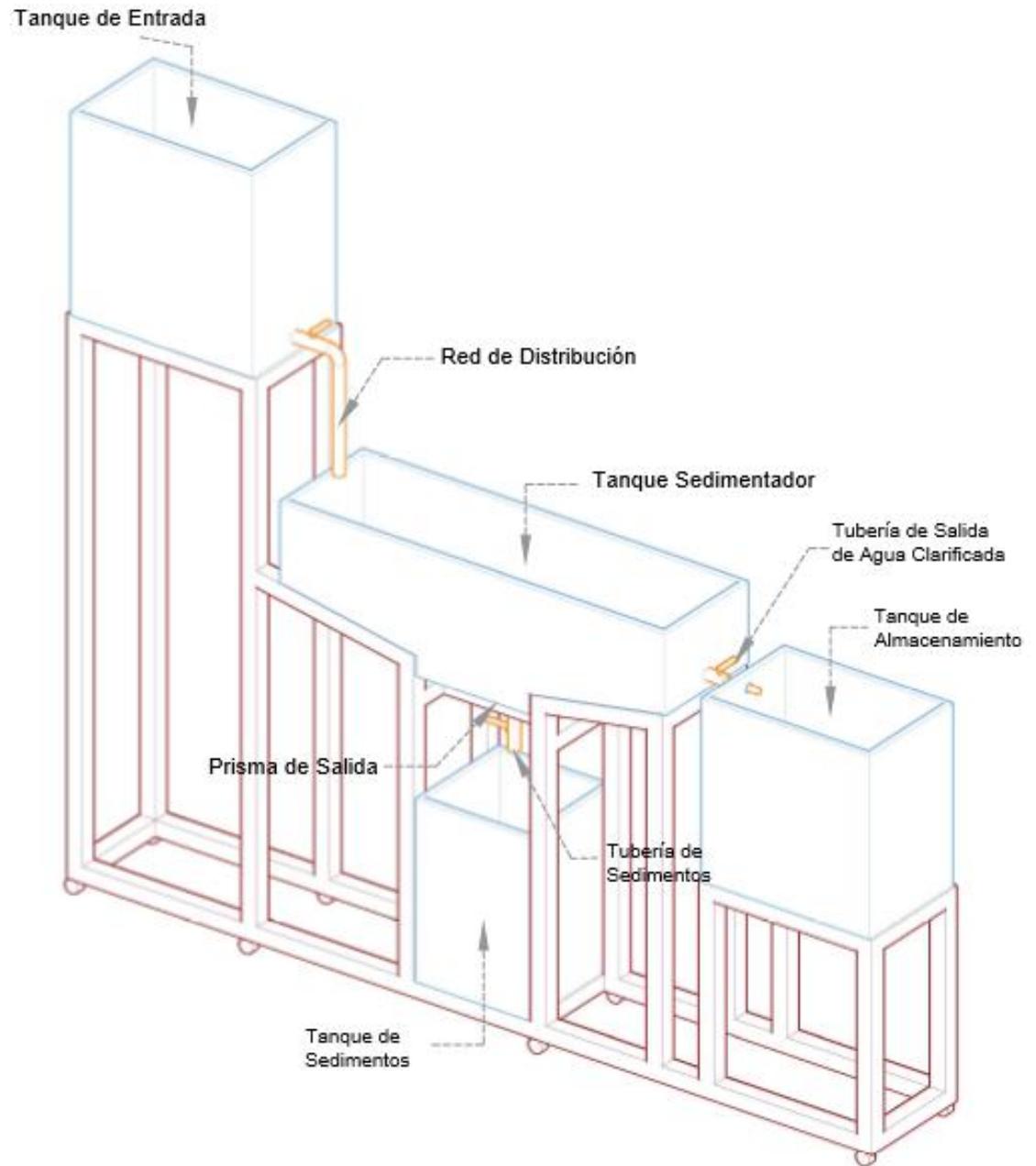


Figura 2.17. Vista isométrica del modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Vista Frontal, Figura 2.18.**

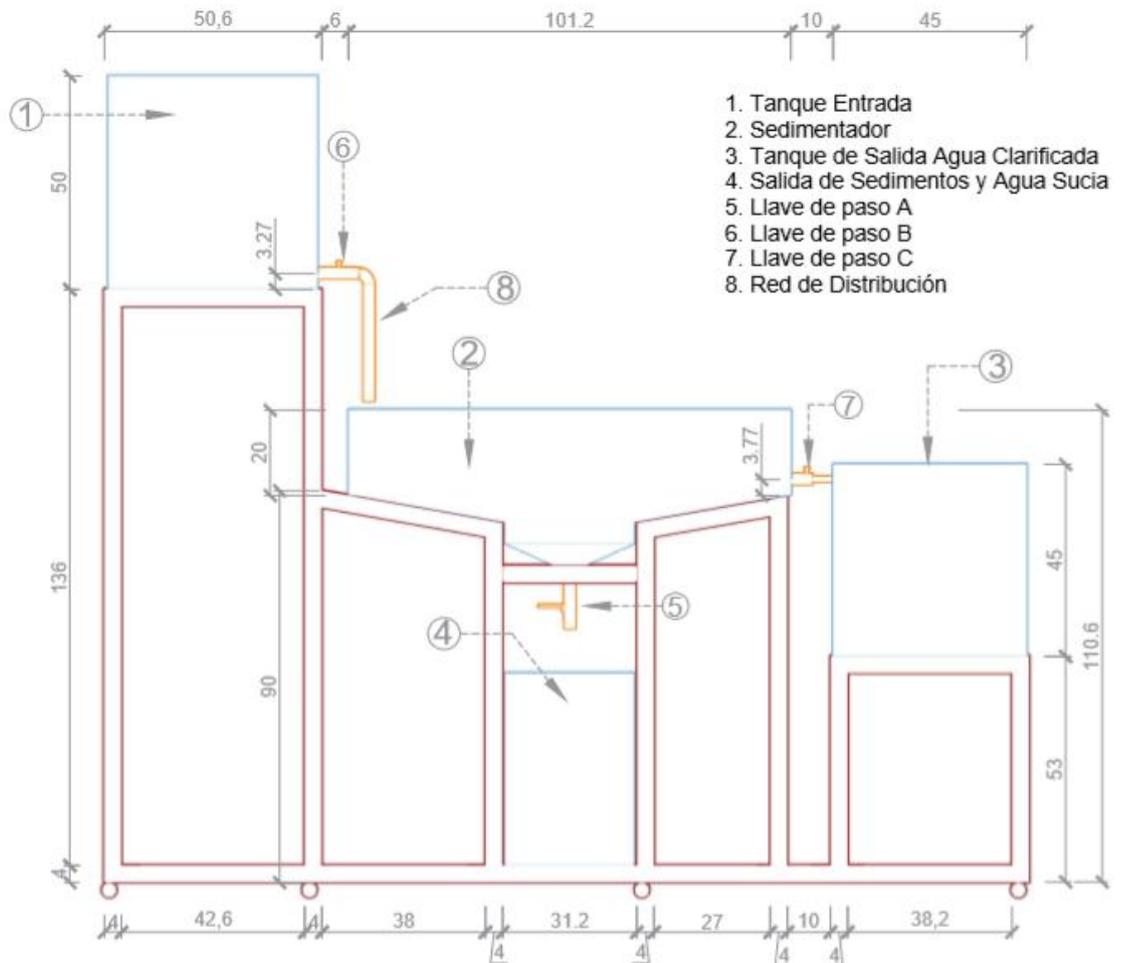


Figura 2.18. Vista frontal del modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Vista lateral izquierda y derecha.**

En la siguiente figura 2.19 se muestra la vista lateral izquierda y lateral derecha.

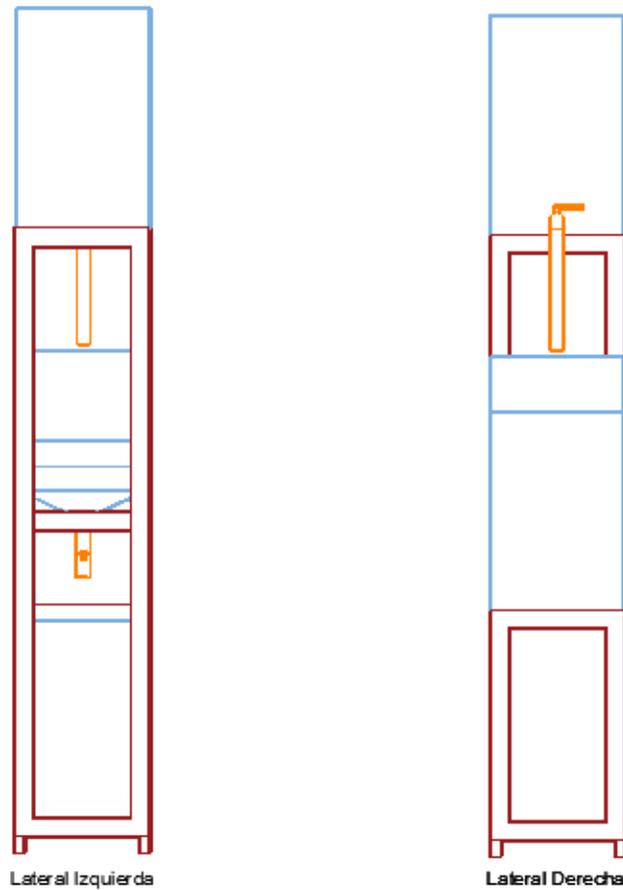


Figura 2.19. Vistas laterales.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Vista superior, Figura 2.20.**

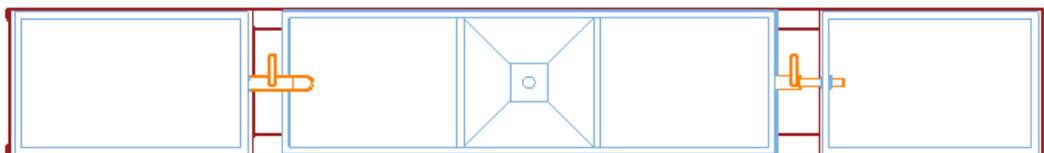


Figura 2.20. Vistas en planta.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.3. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO

Para la construcción del modelo físico tanto prototipo como final se tuvo que contar con varios elementos indispensables que ayudarán a que el funcionamiento del proceso sea correcto.

#### **Materiales del modelo físico prototipo**

**1. Acrílico.** – Se usaron planchas de acrílico de espesor de 3mm para el tanque sedimentador prototipo, para así de esta manera soporte toda el agua que va a contener.

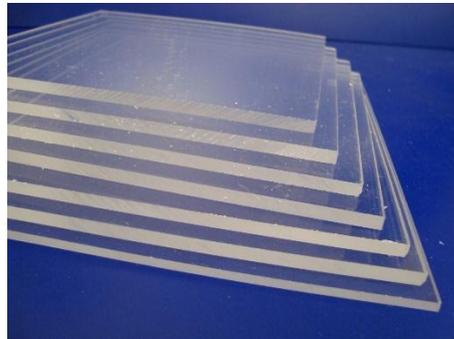


Figura 2.21. Acrílico.

Fuente: <https://www.abingraf.cl>

**2. Cinta aislante.** – Se usó la cinta para poder unir de mejor manera cada sección del tanque y así reforzar los filos para que no existan filtraciones.



Figura 2.22. Cinta aislante.

Fuente: <https://porter.com.py>

### Materiales del modelo físico final

**1. Vidrio.** – El vidrio tiene un espesor de 6mm y se utilizó para cada sección de los diferentes tanques de modelo como es el tanque de entrada, tanque sedimentador, tanque de almacenamiento de agua clarificada y tanque de almacenamiento de sedimentos, se utilizó el vidrio con este espesor debido a que los diferentes tanques deben soportar un gran volumen de agua.

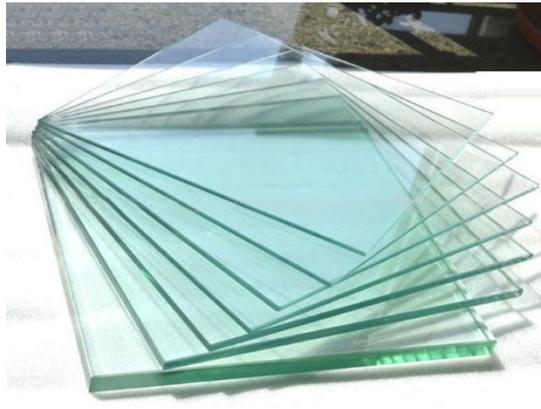


Figura 2.23. Vidrio.

Fuente: <https://construex.com.ec>

**2. Silicona.** – Este tipo de pegamento se utilizó para unir tanto las secciones del modelo prototipo y modelo físico final cumpliendo la función de impermeabilizar al modelo que no exista fugas de agua en ninguno de los filis.

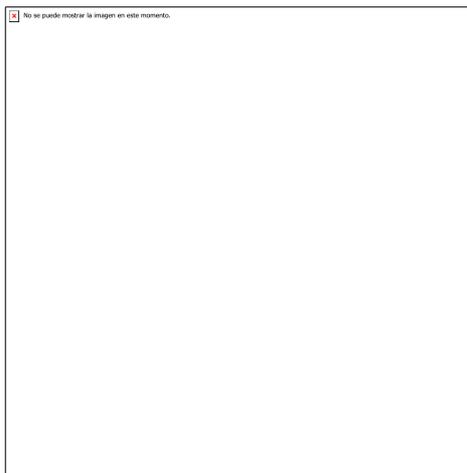


Figura 2.24. Silicona.

Fuente: <https://www.disensa.com.ec>

**3. Marcos de aluminio negro.** – Se usaron estos tipos de marco para las uniones de las secciones de vidrio laterales de los diferentes tanques para que de esta manera fortalecer dichas uniones.



Figura 2.25. Marco de aluminio.

Fuente: <http://www.bricoferreteria.net>

### **Materiales para la circulación del agua con sedimento**

**1. Adaptador de ¾ de pulgada para tanque con junta.** – Se usó este implemento para colocarlo en cada uno de los orificios de los diferentes tanques para hacer circular el agua por la red de distribución.



Figura 2.26. Adaptador para tanque.

Fuente: <http://plastigama.com>

**2. Válvula esférica estándar tipo (H-H) de ¾ de pulgada.** – Se usó para regular el caudal que va a los diferentes tanques del modelo físico.



Figura 2.27. Válvula esférica.

Fuente: <https://www.fvandina.com>

**3. Codo cachimba roscable de ¾ de pulgada.** – Se usó para la salida de agua del tanque de entrada para que la misma caiga directamente al tanque sedimentador en caída libre.



Figura 2.28. Codo cachimba roscable.

Fuente: <http://plastigama.com>

**4. Neplo polipropileno de 15cm (¾ de pulgada).** – Este elemento va seguido del codo roscable para ayudar que el agua no caiga bruscamente al tanque sedimentador.



Figura 2.29. Neplo polipropileno.

Fuente: <http://plastigama.com>

**5. Unión hembra roscable de 3/4 de pulgada.** – Este elemento se usó para unir dos neplo de polipropileno de 15cm que van en la red de distribución del tanque de entrada al tanque sedimentador. Este elemento nos ayuda a que sea más fácil el desmontaje de la red para su limpieza.



Figura 2.30. Unión hembra roscable.

Fuente: <http://plastigama.com>

**6. Reductor buje roscable de 3/4 de pulgada a 1/2 pulgada.** – Se usó en la salida de agua del tanque sedimentador al tanque de almacenamiento de agua clarificada para ayudar a que el agua no salga bruscamente hacia este tanque.



Figura 2.31. Reductor buje roscable.

Fuente: <http://plastigama.com>

**7. Neplo PVC inyectado de ½ pulgada.** – Se usó este elemento seguido del reductor buje para la salida de agua hacia el tanque de almacenamiento de agua clarificada.



Figura 2.32. Neplo PVC inyectado.

Fuente: <http://plastigama.com>

**8. Teflón.** – Este elemento se usó para impermeabilizar los accesorios para evitar fugas en la circulación del agua en el modelo físico.



Figura 2.33. Teflón.

Fuente: <https://www.vidri.com.sv/producto/teflón>

### **Materiales de la estructura de contención**

**1. Tubos de aluminio de sección cuadrada de 4x4cm.** – Varios de estos elementos se usaron para sostener el modelo físico y así evitar accidentes. Cada uno de ellos fueron unidos con pernos para que se mantengan firmes.

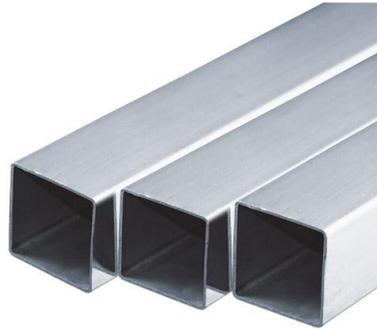


Figura 2.34. Tubos de aluminio.

Fuente: <http://www.dipacmanta.com>

**2. Garrucha industrial con y sin freno.** – Estos elementos se usaron en la parte inferior de la estructura de contención para facilitar la movilización del modelo, se colocaron 4 ruedas con freno repartidas a los extremos y 4 ruedas sin freno repartidas en la parte central de la estructura de contención.

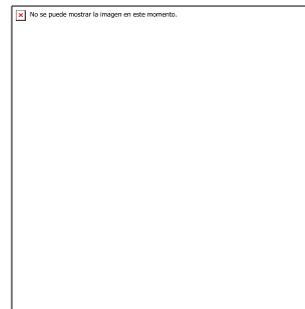


Figura 2.35. Garrucha industrial con y sin freno.

Fuente: <https://www.promart.pe>

## 2.4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Al haber realizado el prediseño y las pruebas correspondientes en el modelo prototipo, se calcularon las medidas del modelo físico necesarias para la práctica de laboratorio, las cuales se describen en la tabla 2.1, teniendo en cuenta que las medidas presentadas son las medidas reales internas de cada tanque y el espesor del vidrio de todos los tanques es de 6mm.

Tabla 2.1. Dimensiones del modelo físico.

<b>Modelo físico</b>		
<b>Tanque de entrada</b>		
Ancho	Largo	Altura
(cm)	(cm)	(cm)
30	50	50
<b>Sedimentador - Caja rectangular</b>		
Ancho	Largo	Altura
(cm)	(cm)	(cm)
30	100	20
<b>Sedimentador - Inclinaciones</b>		
Ancho	Largo	Pendiente
(cm)	(cm)	
30	36,05	10%
<b>Sedimentador - Prisma rectangular</b>		
Ancho	Largo	Altura
(cm)	(cm)	(cm)
30	30	5
<b>Sedimentador - Prisma de salida</b>		
Base	Base	Altura
Mayor (cm)	Menor (cm)	(cm)
30	8	5
<b>Tanque de salida de agua clarificada</b>		
Ancho	Largo	Altura
(cm)	(cm)	(cm)
45	30	45
<b>Tanque de salida de agua y sedimento</b>		
Ancho	Largo	Altura
(cm)	(cm)	(cm)
28	30	45

Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema de circulación se utilizaron los accesorios descritos en la tabla 2.2

Tabla 2.2. Accesorios de la red de distribución.

<b>Accesorios</b>		
Tipo	Material	Cantidad
Adaptador	PVC	3
Llave de paso	Fv	3
Codo	PVC	1
Neplo	PVC	2
Unión	PVC	1
Reductor	PVC	1
30	50	50
Neplo inyectado	PVC	1

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de los diferentes tipos de pruebas realizadas; la del modelo físico prototipo inicial en el cual se pudo observar que para un mejor reciclaje del sedimento se aumentó la pendiente y una sección de forma piramidal para evitar retención de material, a partir de ahí se realizaron las siguientes pruebas con materiales sintéticos y con el modelo físico final, en el cual se recomienda utilizar arena ya que se diferencia de gran forma el proceso de sedimentación con sus diferentes aberturas de llave.

Tabla 2.3. Primera prueba con el modelo físico prototipo inicial.

<b>Prueba con el prototipo inicial</b>			
Abertura	Q(lt/s)	tiempo de retención (minutos)	tiempo de reposo (horas)
15	0,0056	210	3,5
45	0,0307	38	8
90	0,1167	10	12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.4. Primera prueba con el modelo físico final.

Prueba agua con arena			
Abertura	Q(lt/s)	tiempo de retención (minutos)	tiempo de reposo (horas)
15	0,0065	180	4
45	0,0333	35	6
90	0,1167	10	13

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.5. Segunda prueba con el modelo físico final.

Prueba agua con caolín			
Abertura	Q(lt/s)	tiempo de retención (minutos)	tiempo de reposo (horas)
15	0,0049	236	3,5
45	0,0233	50	5
90	0,1061	11	12

Fuente: Elaboración propia.

### CAPITULO III.

## 3. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN DE LA ASIGNATURA HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY

### 3.1 ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN

Para la realización del ensayo de aguas sintéticas se utilizará el modelo físico, que está detallado en el capítulo anterior, que al entrar en funcionamiento ayudará a entender de una manera más clara y concreta de cómo trabaja el tratamiento de aguas residuales mediante pruebas de sedimentación.

#### 3.1.1. OBJETIVO

Elaboración de la guía metodológica para las prácticas de laboratorio mediante ensayos de sedimentación de la asignatura de hidrosanitaria de la Universidad del Azuay.

#### 3.1.2. ALCANCE

Esta práctica de laboratorio contendrá una descripción detallada, concisa y didáctica que ayudará a comprender de una mejor manera el ensayo de sedimentación en aguas sintéticas, además de poder observar el comportamiento del modelo físico, así como también cuenta con la posibilidad de disminuir su caudal para que se asienten las partículas de una excelente forma y así poder observar un mejor comportamiento del tratamiento de aguas sintéticas.

#### 3.1.3. DEFINICIONES

**Sedimentador.** – Son mecanismos empleados para la clarificación y depuración del agua por medio de caída libre, en donde las partículas más densas son removidas por el efecto de la gravedad.

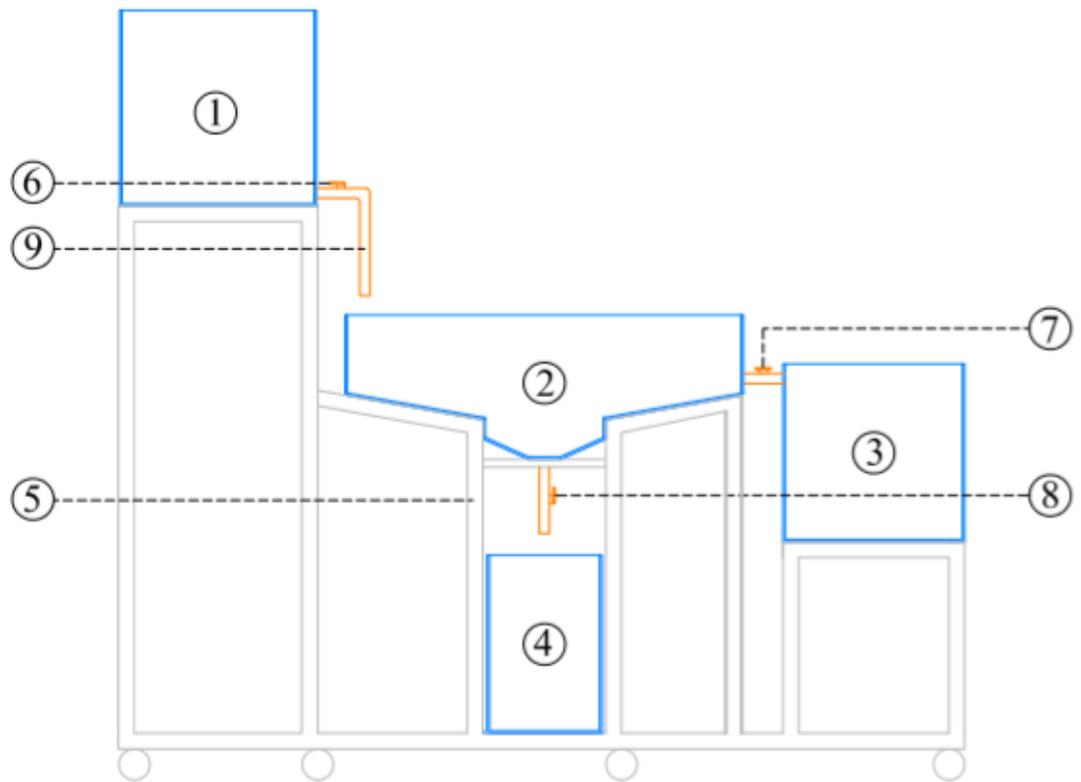


Figura 3.1. Sedimentador.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.1.4. INSTRUMENTOS

**Modelo físico.** – El modelo cuenta con 4 tanques; tanque de entrada, sedimentador, tanque de almacenamiento de agua clarificada y tanque de sedimentos, en donde el primer tanque tiene una capacidad máxima de 75 litros en el cual se depositará el agua sintéticas para el ensayo, en el segundo tanque con capacidad máxima de 75 litros se realizará el proceso de sedimentación, el tercer tanque que tiene un volumen máximo de 60.750 litros se utilizará para el reciclaje del agua clarificada y el cuarto tanque con un volumen máximo de 38 litros ayudará a depositar los sedimentos y el agua sucia del tratamiento hecho, además cabe recalcar que la práctica de laboratorio se realizará con 70 litros de agua sintética debido que existe un volumen de agua muerto de 2,25 litros.



1. Tanque Entrada
2. Sedimentador
3. Tanque de Salida Agua Clarificada
4. Salida de Sedimentos y Agua Sucia
5. Estructura
6. Llave de paso A
7. Llave de paso B
8. Llave de paso C
9. Tubería D

Figura 3.2. Esquema del modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

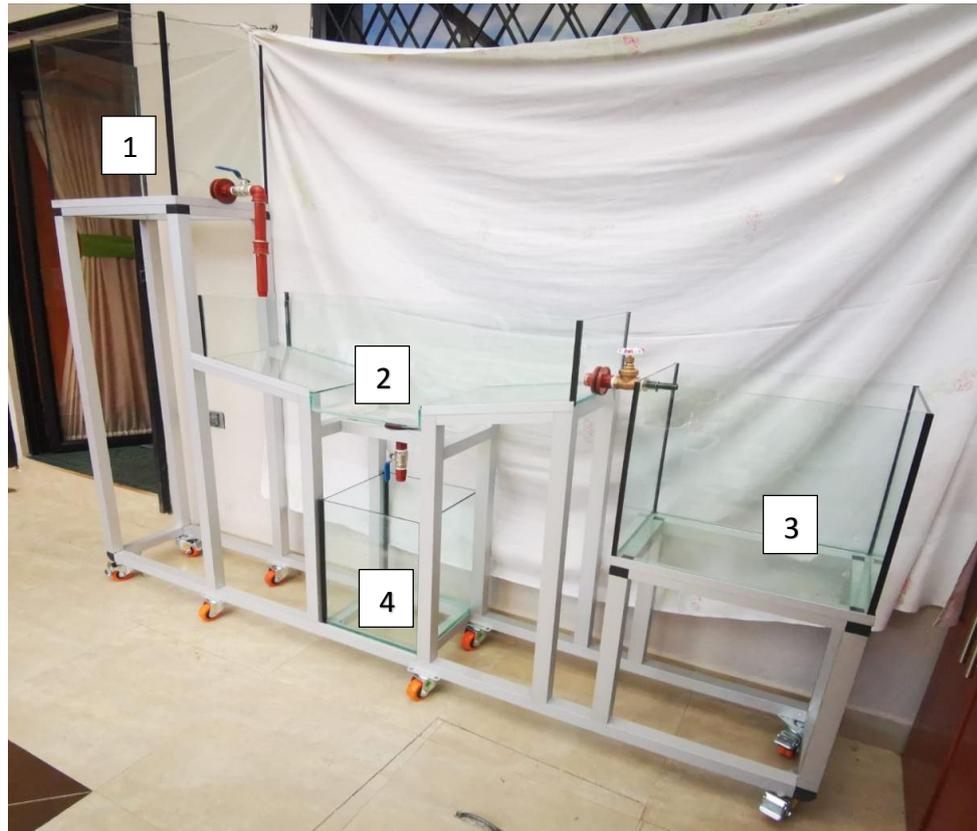


Figura 3.3. Modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

**Recipiente de volumen conocido.** – El recipiente tendrá un volumen de 75 litros, el cual servirá para la mezcla del agua sintética que puede ser de agua con caolín o agua con arena.



Figura 3.4. Recipiente de 75 litros.

Fuente: <https://bazarrosemblit.com.ar/productos/utensilios-de-cocina/recipiente-residuos-plastico-x-100-litros-colombraro/>

**Cronómetro.** – Para medir el tiempo en el que se llena el recipiente.



Figura 3.5. Cronómetro.

Fuente:[https://www.google.com/search?q=cronometro&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjTsY3vjjAhXGjVkkKHQt7CDAQ\\_AUIESgB&biw=1366&bih=608#imgrc=JB8E2eOMffe\\_vM](https://www.google.com/search?q=cronometro&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjTsY3vjjAhXGjVkkKHQt7CDAQ_AUIESgB&biw=1366&bih=608#imgrc=JB8E2eOMffe_vM)  
:

**Cinta métrica.** – Para medir las diferentes alturas de los recipientes.



Figura 3.6. Cinta métrica.

Fuente:[https://www.google.com/search?q=cinta+metrica&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwilqJ7g4PjjAhVwoFkKHVRoCygQ\\_AUIESgB&biw=1366&bih=608#imgrc=nL5IohJGw9IEiM](https://www.google.com/search?q=cinta+metrica&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwilqJ7g4PjjAhVwoFkKHVRoCygQ_AUIESgB&biw=1366&bih=608#imgrc=nL5IohJGw9IEiM)

### 3.1.5. METODOLOGÍA

Esta práctica de laboratorio se basa en el ensayo de aguas sintéticas mediante pruebas de sedimentación en un modelo físico probado con anterioridad, en la cual se realizaron varias pruebas con la mezcla de agua con arena.

1. Llenar de agua sintéticas el tanque número 1 (Figura 3.3), hasta la marca de 70 litros. Se recomienda utilizar arena o tierra, por que ayudará al proceso de sedimentación de mejor manera con el asentamiento de los sedimentos

2. Abrir la llave de paso A del tanque número 1 (Figura 3.2) hasta las diferentes marcas que se encuentra ubicadas en la llave de paso A, dependiendo de la abertura de la llave el caudal va a tener un flujo mayor o menor. Para que el proceso sea más rápido y el tiempo de retención sea menor se recomienda abrir la llave hasta la abertura de 90°.

3. Calcular el caudal mediante la siguiente formula.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (14)$$

Donde:

V = Es el volumen del recipiente (70 litros).

t = Es el tiempo que se demora en llenar el recipiente número 2 (Figura 3.3).

4. Esperar que se llene el tanque número 2 (Figura 3.3) con los 70 litros de agua sintética.

5. Esperar que las partículas sedimentarias se asienten, esto depende de varios parámetros como: el diámetro de la partícula y el caudal de salida del tanque número 1 (Figura 3.3). El tiempo aproximado de reposo es de 6 a 12 horas.

6. Abrir la llave de paso B del tanque número 2 (Figura 3.2) para que el agua clarificada circule hacia el tanque número 3 (Figura 3.3).

7. Abrir la llave de paso C del tanque número 2 (Figura 3.2), para que el agua sintética pase al tanque número 4 (Figura 3.3).

8. Repetir el mismo proceso cambiando la abertura de la llave, ya sea aumentando o disminuyendo.

### 3.1.6. CÁLCULOS DE LABORATORIO

#### **Prueba de laboratorio con el prototipo inicial con material sintético.**

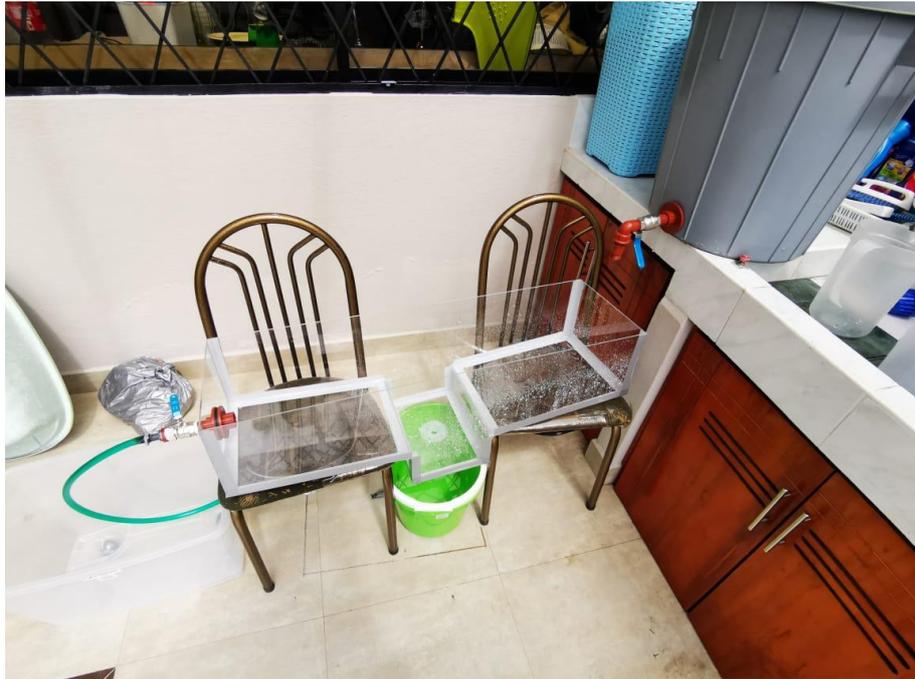


Figura 3.7. Prototipo inicial.

Fuente: Elaboración propia.

➤ Para la abertura de la llave de paso (Figura 3.7) a 15°.

1. Con el recipiente lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque del sedimentador, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 210 \text{ minutos}$$

2. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{210 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 5,556\text{E-}06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Para la abertura de la llave de paso (Figura 3.7) a 45°.

3. Con el recipiente lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque del sedimentador, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 38 \text{ minutos}$$

4. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{38 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 3,07018\text{E-}05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Para la abertura de la llave de paso (Figura 3.7) a 90°.

5. Con el recipiente lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque del sedimentador, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 10 \text{ minutos}$$

6. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{10 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0,000117 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

**Prueba de laboratorio con el material sintético de agua con arena.**



Figura 3.8. Pruebas con agua con arena.

Fuente: Elaboración propia.

➤ Para la abertura de la llave de paso D (Figura 3.2) a 15°.

1. Con el tanque número 1 (Figura 3.3) lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque número 2, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 180 \text{ minutos}$$

2. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{180 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 6,48148\text{E-}06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Para la abertura de la llave de paso D (Figura 3.2) a 45°.

3. Con el tanque número 1 (Figura 3.3) lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque número 2, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 35 \text{ minutos}$$

4. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{35 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 3,33333\text{E-}05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Para la abertura de la llave de paso D (Figura 3.2) a 90°.

5. Con el tanque número 1 (Figura 3.3) lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque número 2, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 10 \text{ minutos}$$

6. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{10 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0,000116 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

**Prueba de laboratorio con el material sintético de agua con caolín.**



Figura 3.9. Pruebas con agua con caolín.

Fuente: Elaboración propia.

➤ Para la abertura de la llave de paso D (Figura 3.2) a 15°.

1. Con el tanque número 1 (Figura 3.3) lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque número 2, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 236 \text{ minutos}$$

2. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{236 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 4,9435\text{E-}06 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Para la abertura de la llave de paso D (Figura 3.2) a 45°.

3. Con el tanque número 1 (Figura 3.3) lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque número 2, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 50 \text{ minutos}$$

4. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{50 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 2,33333\text{E-}05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Para la abertura de la llave de paso D (Figura 3.2) a 90°.

5. Con el tanque número 1 (Figura 3.3) lleno hasta la marca de 70 litros, se deberá tomar el tiempo con ayuda del cronómetro hasta llenar el tanque número 2, obteniendo los siguientes valores.

$$t_1 = 11 \text{ minutos}$$

6. Calcular el caudal con la ecuación (14).

$$Q = \frac{70 \text{ litros}}{11 \text{ minutos}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ litros}} * \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} = 0,000106 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3.2. ELABORACIÓN DE LA GUIA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS.

#### **ENSAYO DE AGUAS SINTÉTICAS MEDIANTE PRUEBAS DE SEDIMENTACIÓN**

##### **OBJETIVO GENERAL**

➤ Realizar las prácticas de laboratorio mediante ensayos de sedimentación con el modelo físico, con la finalidad de aplicar los conocimientos impartidos por el docente.

##### **OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Comprender y analizar el comportamiento del modelo físico mediante ensayos de sedimentación.
- Comparar los resultados obtenidos en el laboratorio frente a las fórmulas teóricas.

##### **DESCRIPCIÓN**

Esta práctica de laboratorio se basa en la creación de un ensayo de aguas sintéticas mediante pruebas de sedimentación, estos son mecanismos empleado para la clarificación y depuración del agua por medio de caída libre, en donde las partículas más densas son removidas por el efecto de la gravedad, además esta práctica profundizará el comportamiento del modelo físico con el fin de ayudar a un mejor aprendizaje para los estudiantes. El tiempo promedio para la realización de la práctica completa es de dos días.

##### **FÓRMULAS**

Las fórmulas a emplear en la práctica de laboratorio mediante pruebas de sedimentación son las siguientes:

Ecuación de caudal.

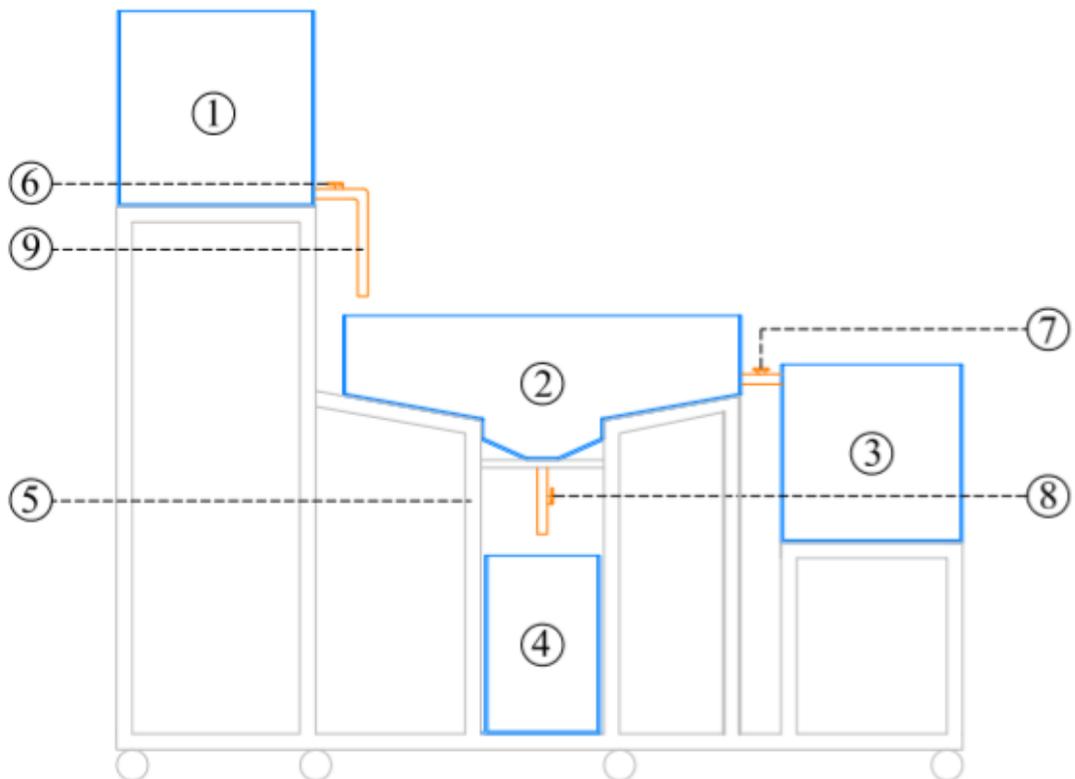
$$Q = \frac{V}{t} \quad (15)$$

Donde:

V = Es el volumen del recipiente (70 litros).

t = Es el tiempo que se demora en llenar el recipiente número 2 (Figura 3.2)

### MODELO FÍSICO



1. Tanque Entrada
2. Sedimentador
3. Tanque de Salida Agua Clarificada
4. Salida de Sedimentos y Agua Sucia
5. Estructura
6. Llave de paso A
7. Llave de paso B
8. Llave de paso C
9. Tubería D

Figura 3.10. Esquema del modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

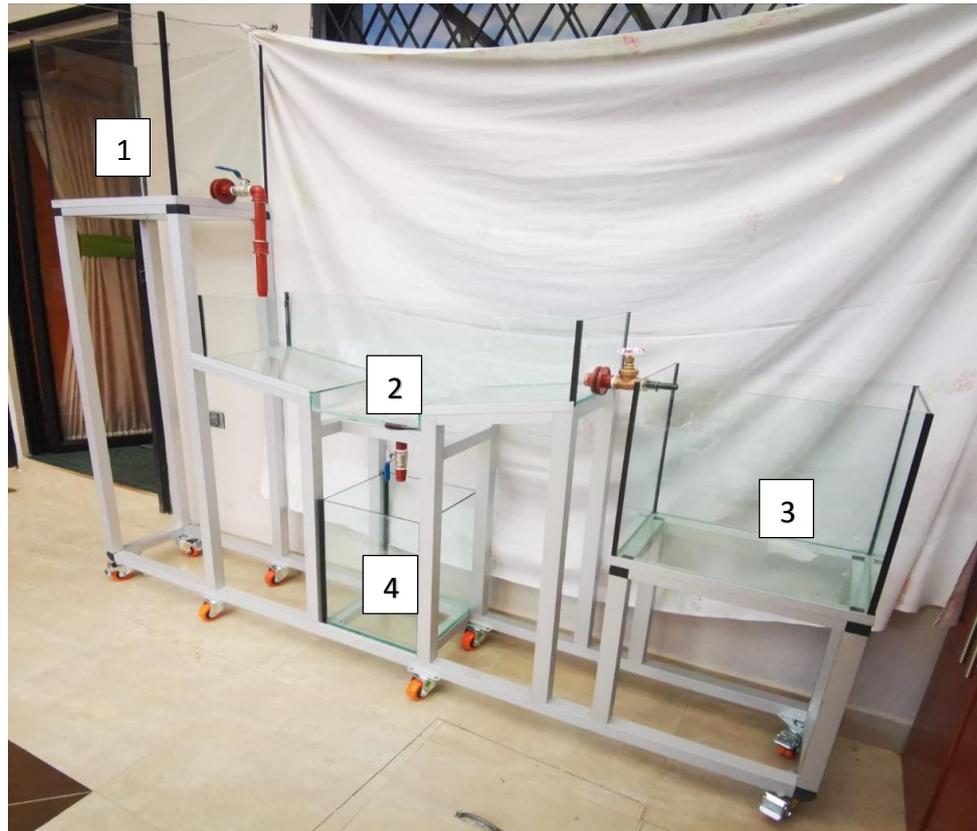


Figura 3.11. Modelo físico.

Fuente: Elaboración propia.

### **GUÍA PARA REALIZAR LA PRACTICA DE AGUAS SINTÉTICAS MEDIANTE ENSAYOS DE SEDIMENTACIÓN.**

Primero, se debe preparar el agua sintética, mezclando los materiales que puede ser de agua con arena, se deberá utilizar 70 litros de agua y 20 libras de arena.



Figura 3.12. Componentes del agua sintéticas.

Fuente: Elaboración propia.

**1.** Asegurar la estructura con los frenos de rueda, para evitar movimiento del modelo físico previo a la práctica.

**2.** A partir de ahí, se deberá llenar de agua sintética (agua con arena) el tanque número 1 como se puede apreciar en la figura 3.11, hasta la marca de 70 litros.



Figura 3.13. Tanque de entrada con el agua sintética.

Fuente: Elaboración propia.

3. Abrir la llave de paso A del tanque número 1 (Figura 3.10) hasta las diferentes marcas que se encuentra ubicadas en la llave de paso A, dependiendo de la abertura de la llave el caudal va a tener un flujo mayor o menor. Para que el proceso sea más rápido y el tiempo de retención sea menor se recomienda abrir la llave hasta la abertura de 90°.

4. Procedemos a calcular el caudal mediante la siguiente formula.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (16)$$

Donde:

V = Es el volumen de agua sintética del recipiente (70 litros).

t = Es el tiempo que se demora en llenar el recipiente número 2 (Figura 3.11).

5. Esperar que se llene el tanque número 2 como se muestra en la figura 3.14 con los 70 litros de agua sintética.

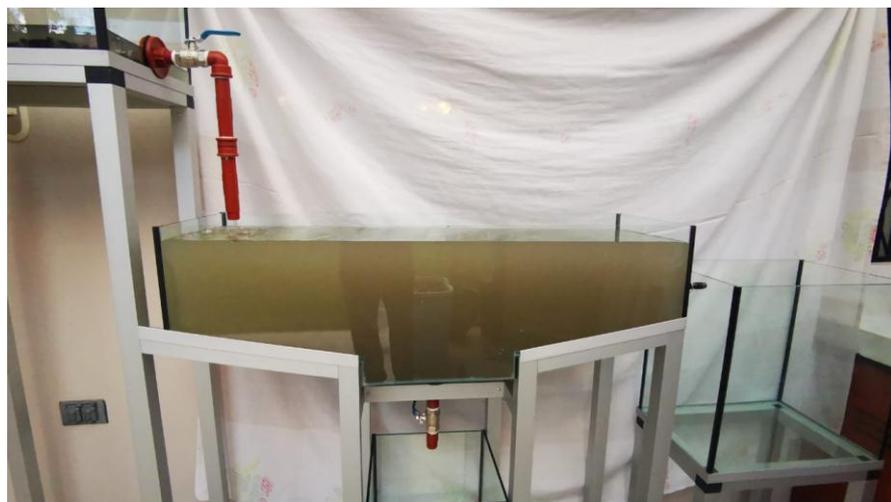


Figura 3.14. Sedimentador.

Fuente: Elaboración propia.

6. Esperar que las partículas sedimentarias se asienten, esto va depender de varios parámetros como es el diámetro de la partícula y el caudal de salida del tanque número 1, el tiempo aproximado de reposo es de 6 a 12 horas, se puede apreciar en la figura 3.15 que los sedimentos se encuentran en el fondo del tanque y la parte superior se puede ver el agua clarifica después de un tiempo de retención óptimo.



Figura 3.15. Sedimentador después de 12 horas de tiempo de retención.

Fuente: Elaboración propia.

7. Abrir la llave de paso B del tanque número 2 (Figura 3.11), para que el agua clarificada circule hacia el tanque número 3 como se muestra en la figura 3.16.



Figura 3.16. Tanque de salida agua clarificada.

Fuente: Elaboración propia.

8. Abrir la llave de paso C del tanque número 2 (Figura 3.11), para que el agua sintética pase al tanque número 4 como se muestra en la figura 3.17 se puede apreciar de mejor manera los sedimentos con el agua sucia.



Figura 3.17. Salida de sedimentos y agua sucia.

Fuente: Elaboración propia.

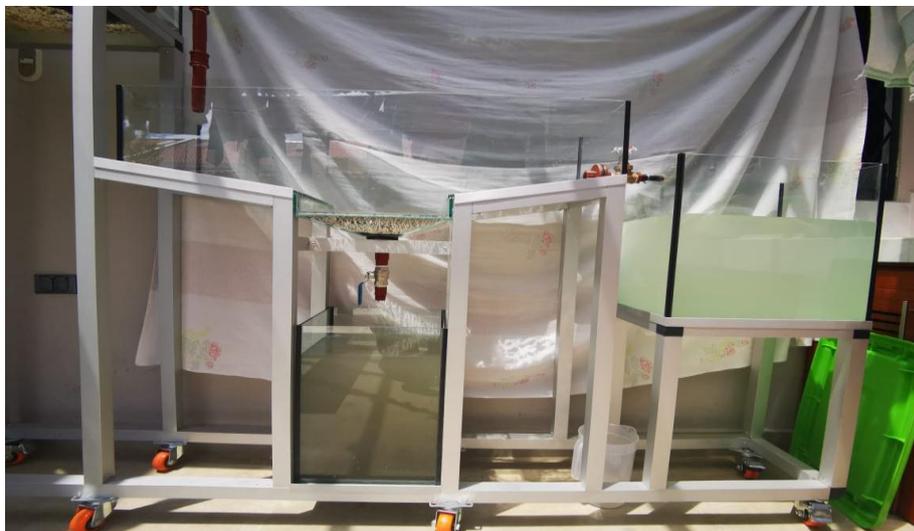


Figura 3.18. Modelo físico proceso final.

Fuente: Elaboración propia.

9. Repetir el mismo proceso cambiando la abertura de la llave, a continuación, se detalla el tiempo de retención en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tiempo de retención según su abertura.

Abertura de la llave	tiempo de retención (minutos)
15°	180
45°	35
90°	10

Fuente: Elaboración propia.

### **Limpieza**

**10.** Primero, cerrar las llaves de paso de los tanques número 1 y 2 (Figura 3.10).

**11.** Retirar con mucho cuidado los tanques números 1, 3 y 4 (Figura 3.11) de la estructura y vaciar. Se recomienda que el tanque número 2 no se retire de la estructura para evitar fracturas y proceder a limpiar.

**12.** Limpiar, con mucho cuidado los tanques. Se recomienda utilizar una manguera a presión, trapos húmedos enjabonados y un cepillo para limpiar el fondo y las paredes del tanque, también se deberá enjuagar varias veces para evitar bacterias y malos olores, y por último se procede al secado de los tanques.

**13.** Finalmente se vuelve a colocar los tanques en la estructura, teniendo mucho cuidado (Figura 3.11), el cual deberá encajar perfectamente con la estructura.

## CUESTIONARIO

Resolver las siguientes preguntas posteriormente a la práctica de laboratorio.

1. ¿Qué entiende sobre sedimentación?
2. ¿La velocidad de salida del tanque número 1 de que parámetros depende?
3. Mientras aumenta el caudal, ¿Qué ocurre con el sistema?
4. ¿Qué aplicación tienen los sedimentadores?
5. ¿Enumerar los tipos de sedimentadores que existen?
6. ¿Qué relación existe entre la partícula y el tiempo de retención?

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se construyó el modelo físico de tanque sedimentador con el cual se podrá observar de mejor manera cómo es el proceso de sedimentación, además de incluir una ficha y guía metodológica para elaborar la práctica de laboratorio.

Se definieron los conceptos necesarios para realizar las pruebas de sedimentación con aguas sintéticas, además para el dimensionamiento que debería tener un prototipo para la elaboración del modelo.

En el segundo capítulo se llevó a cabo la construcción del modelo físico, realizando pruebas en el modelo prototipo se pudo observar las falencias que se pueden originar en el proceso, con estas falencias generadas y resultados obtenidos se obtuvo el modelo prototipo final, el cual funciona para un caudal máximo de 0.1167 lt/seg y pudiendo así representar el ensayo de laboratorio.

Se elaboró una guía metodológica detallada, basada en cada proceso realizado anteriormente con las respectivas pruebas, la cual ayudará al estudiante a entender y visualizar el ensayo de una forma adecuada, además de simplificar al docente su respectiva instrucción.

## RECOMENDACIONES

Para entender mejor el proceso se debe tener un conocimiento previo de la teoría y tener claro los parámetros que intervienen en el tratamiento, para así lograr mejores resultados en la práctica de laboratorio.

Se recomienda también que cuando el modelo entre en funcionamiento en el laboratorio de hidráulica usar la abertura de llave de paso a  $45^\circ$ , ya que en las pruebas preliminares se pudo observar que también se podrá usar dicha abertura y así poder ampliar la práctica de laboratorio utilizando diferentes caudales.

Se recomienda que la limpieza del modelo físico se realice con mucho cuidado para evitar daños del modelo, además con la ayuda de la guía metodológica se deberá seguir paso a paso lo descrito para así evitar daños del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adsuar, Á. G. (2013). *Estudio de los Parámetros Físicos en el Dimensionamiento de los Tanques de Decantación Primaria*. Alicante.
- Aguzzi Montagna, C., Cerezo, P., Hernández, P., Pettinaro, G., Baschini, M., & Viseras, C. (2016). *Diseño de una guía de prácticas de laboratorio de acuerdo con las orientaciones del EEES*. Granada.
- Castro, B., & Harris, W. (2018). *Elaboración del modelo físico y la guía metodológica para el ensayo de compuertas hidráulicas de la asignatura Mecánica de Fluidos de la Universidad del Azuay*. Cuenca.
- Fernández, L. (2005). *¿Cómo elaborar un informe de investigación?* Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- González, A. (2004). *Guía metodológica de la evaluación*. La Habana, Cuba: Revista Cubana.
- González, A. U. (2017). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la depuración de efluentes procedentes de un lavadero de carbón*. Oviedo.
- Hidráulica Prado S.L. (s.f.).  
Obtenido de <http://www.hidraulicaprado.com/contacto.php>
- Pérez, J. A. (1981). *Manual de Tratamiento de Aguas*. Medellín.
- Sandoval Soriano, J. C. (2011). *Apuntes de DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES del curso de Adaptación al grado de Ingeniería Civil*. Alicante.
- Trapote Jaume, A. (2011). *Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Alicante.
- Yactayo, I. V. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Lima.

**ANEXOS**

Anexo 1. Ficha de resultados.

Abertura de la llave	Q(m <sup>3</sup> /s)	V(m <sup>3</sup> )	tiempo de retención (minutos)	tiempo de reposo (horas)	velocidad vertical (m/s)
15°					
30°					
45°					
60°					
75°					
90°					

Fuente: Elaboración propia.