

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PROTOTIPO DESPLAZABLE
PARA EXTRAER SÓLIDOS FLOTANTES EN LAS UNIDADES DE TANQUES
IMHOFF DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
TOTORA – AYACUCHO**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

Bach: Juan Antonio SULCA SUCA

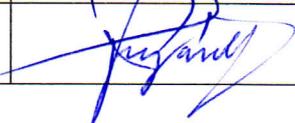
Asesor: Ing. Cipriano MENDOZA ROJAS

AYACUCHO - PERÚ

2022

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros del jurado para el acto público de sustentación del informe de trabajo profesional titulado "CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PROTOTIPO DESPLAZABLE PARA EXTRAER SÓLIDOS FLOTANTES EN LAS UNIDADES DE TANQUES IMHOFF DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA - AYACUCHO" presentado por el bachiller en Ingeniería Química Juan Antonio SULCA SUCA, el cual fue expuesto el día 24 de enero de 2022, en mérito a la resolución decanal N°004-2022-UNSCH-FIQM/D, damos la conformidad al trabajo y declaramos el documento apto para que pueda iniciar sus gestiones administrativas que conduzca a la expedición y entrega del título profesional en Ingeniería Química.

MIEMBROS DEL JURADO	DNI	FIRMA
Mg. Edgar Gregorio Arones Medina	28223985	
Mg. Pedro Inga Zárate	28263568	

Ayacucho, julio del 2022



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y
METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA QUÍMICA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°121-2022 UNSCH-FIQM/EPIQ

El que suscribe, Director de la **Escuela Profesional de Ingeniería Química** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, emite la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Que, habiendo recibido el requerimiento de Constancia de Originalidad, se procedió a la evaluación de originalidad del archivo adjunto con el **TURNITIN - UNSCH**, de acuerdo a los criterios establecidos en el **Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH**, aprobado con Resolución del Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU; cuyos resultados son:

Tesis: CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PROTOTIPO DESPLAZABLE PARA EXTRAER SÓLIDOS FLOTANTES EN LAS UNIDADES DE TANQUES IMHOFF DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TOTORA – AYACUCHO

Autor Bach. : Juan Antonio SULCA SUCA

Se expide la presente constancia de originalidad, con reporte del **21 (Veintiuno) % de ÍNDICE DE SIMILITUD** realizado con **Depósito de trabajos estándar**, a fin de proseguir con los trámites pertinentes; cabe señalar que, los documentos del procedimiento se archivan en el repositorio documental de la Escuela.

Adjunto la documentación de referencia

Ayacucho, 12 de septiembre de 2022.

Atentamente

Ing. Cipriano Mendoza Rojas

Director EPIQ (e)

Adjunto **Reporte de Índice de Similitud**
cc. archivo

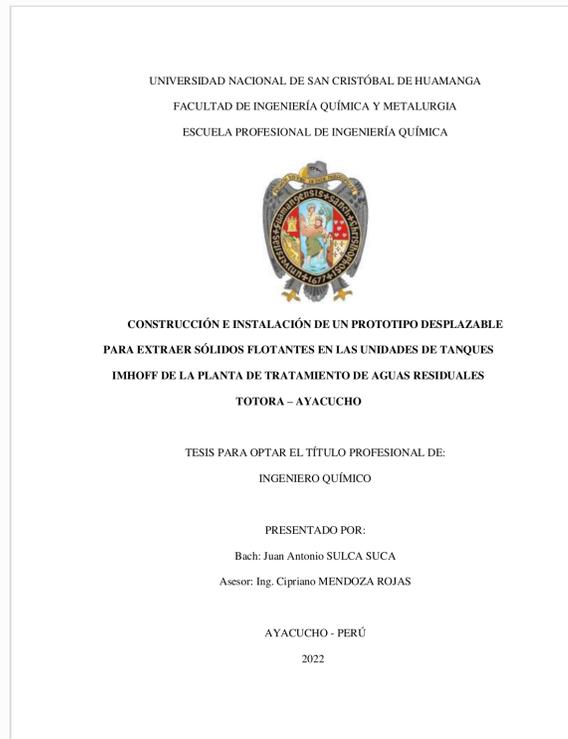


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Juan Antonio Sulca Suca
Título del ejercicio: Tesis
Título de la entrega: Tesis: Construcción e instalación de un prototipo desplazabl...
Nombre del archivo: TesisJuanSulcaSucaTurnitin.pdf
Tamaño del archivo: 2.77M
Total páginas: 117
Total de palabras: 17,244
Total de caracteres: 80,105
Fecha de entrega: 10-sept.-2022 03:36p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre... 1896617454



Tesis: Construcción e instalación de un prototipo desplazable para extraer sólidos flotantes en las unidades de tanques Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá - Ayacucho

Fecha de entrega: 10-sep-2022 03:36 p.m. (UTC-0500)
por Juan Antonio Sulca Suca

Identificador de la entrega: 1896617454

Nombre del archivo: TesisJuanSulcaSucaTurnitin.pdf (2.77M)

Total de palabras: 17244

Total de caracteres: 80105

Tesis: Construcción e instalación de un prototipo desplazable para extraer sólidos flotantes en las unidades de tanques Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá – Ayacucho

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

21 %

FUENTES DE INTERNET

3 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	9 %
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	3 %
3	docplayer.es Fuente de Internet	2 %
4	www.gedar.com Fuente de Internet	2 %
5	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	Repositorio.Unh.Edu.Pe Fuente de Internet	1 %
7	acacia.red Fuente de Internet	<1 %
8	vsip.info Fuente de Internet	<1 %

9	pdfcoffee.com Fuente de Internet	<1 %
10	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	minciencia.gob.cl Fuente de Internet	<1 %
12	www.sedaayacucho.pe Fuente de Internet	<1 %
13	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
17	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
18	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
19	theibfr.com Fuente de Internet	<1 %
20	ciateq.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo

A mi maravillosa familia, por su amor, guía y apoyo en todos los momentos de mi vida. Especialmente a mi madre: Patricia Suca Escriba y mi padre Moisés Sulca Chauca, que desde el cielo me ilumina y de quienes me siento orgulloso de las enseñanzas y valores que me dieron.

A mis hermanos: Abelardo, Zósimo, Samuel, Elena, Elizabeth, Sandy y Mirian, quienes me apoyaron y me dieron motivos para seguir adelante y nunca rendirme ante las adversidades de la vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso por guiar mi camino, en los malos y buenos momentos testigo de este trabajo. A mi querida familia, que ha destinado tiempo para enseñarme nuevas cosas, para brindarme aportes invaluableles que servirán para toda mi vida, por ser mi fortaleza en todo momento. Gracias por darme a conocer que el tesoro más grandioso que tiene el ser humano es la familia, de igual manera a mis docentes de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga especialmente a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, que contribuyeron en mi formación profesional durante mis cinco años de estudios. Al Ing. Cipriano Mendoza Rojas, asesor de este trabajo de investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua de la misma, sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de la ejecución de este trabajo de investigación. De igual forma al Ing. Alejandro Tineo Morote por apoyo y aportes en el trabajo durante el periodo de construcción del prototipo, al Ing. Aquiles López Serna por darme instrucciones del manejo de equipos y herramientas; así mismo, al Taller electromecánico “Holger K Hansen” y a mi compañero de estudios Eleazar Limaco Carpio, por su apoyo incondicional durante las pruebas de evaluación de esta investigación.

RESUMEN

La investigación está orientada a la extracción de sólidos flotantes de los tanques Imhoff, usando un sistema mecánico denominado prototipo flotante desplazable y tamiz estático que se instaló en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá, en el periodo 2019 a 2021.

Los componentes del prototipo flotante desplazable y tamiz estático se construyeron en el taller electromecánico Holger K. Hansen. El prototipo flotante está compuesto de cuatro componentes: dos flotadores de PVC de forma cilíndrica de 70 L de capacidad y 25 mm de espesor; un recolector de sólidos de PVC de forma trapezoidal de 21,6 L de capacidad y 25 mm de espesor, una base de electrobomba construido de tubo de PVC de 6 pulgadas de 3,5 L de capacidad y 25 mm de espesor y una electrobomba sumergible de 0,85 HP y el tamiz estático se construyó de una plancha de fierro galvanizado de 1,2 mm de espesor, con las siguientes dimensiones: altura máxima 110,5 cm, ancho mínimo 50 cm y ancho máximo 120 cm, posteriormente acoplada a una malla metálica de 50 x 70 cm, en el rebose del agua.

Los sólidos flotantes que llegan a acumularse en los canales de ventilación son de 148,92 toneladas al año, en un área de 556,64 m², en las cámaras de sedimentación llega a acumularse 72,45 toneladas al año, en un área de 1700,8 m², es decir, en los seis Tanques Imhoff, un promedio de generación de sólidos flotantes de 221,37 toneladas al año, en un área total de 2257,4 m². Se extraen los sólidos flotantes a un caudal promedio de 6,12 L/s de la cámara de sedimentación y canal de ventilación de tanques Imhoff 1 y 3, con el prototipo flotante desplazable y separado en tamiz estático con un rendimiento de 90%.

Palabras claves: Sólido, sólido flotante, tanque Imhoff y prototipo flotante desplazable

ABSTRACT

The research is oriented to the extraction of floating solids from the Imhoff tanks, using a mechanical system called a movable floating prototype and a static sieve that was installed at the Totorá Wastewater Treatment Plant, in the period 2019 to 2021.

The static sieve and displaceable floating prototype components were built in the Holger K electromechanical workshop. Hansen. The floating prototype is made up of four components: two cylindrical PVC floats with a capacity of 70 L and a thickness of 25 mm; a trapezoidal PVC solid collector with a capacity of 21,6 L and a thickness of 25 mm, an electric pump base made of 6-inch PVC pipe with a capacity of 3,5 L and a thickness of 25 mm, and a submersible electric pump of 0,85 HP and The static sieve was made of a 1,2 mm thick galvanized iron plate, with the following dimensions: maximum height 110,5 cm, minimum width 50 cm and maximum width 120 cm, later coupled to a 50 x 70 cm, at the water overflow.

The floating solids that accumulate in the ventilation channels are 148,92 tons per year, in an area of 556,64 m², in the sedimentation chambers they accumulate 72,45 tons per year, in an area of 1700,8 m², that is, in the six Imhoff Tanks, an average generation of floating solids of 221,37 tons per year, in a total area of 2257,4 m². The floating solids are extracted at an average flow rate of 6,12 L/s from the sedimentation chamber and ventilation channel of Imhoff tanks 1 and 3, with the floating prototype moving and separated in a static sieve with a yield of 90%.

Keywords: Solid, floating solid, Imhoff tank and displaceable floating prototype.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
SIMBOLOGÍA	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I	19
1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	19
1.1. Descripción del problema.....	19
1.1.1. Antecedentes.....	20
1.1.2. Delimitación del problema	22
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos	24
1.3.1. Objetivo principal.....	24
1.3.2. Objetivos específicos.....	24
1.4. Hipótesis.....	24
1.4.1. Hipótesis general	24
1.4.2. Hipótesis específicas.....	24
1.5. Justificación.....	25

1.5.1. Tecnológica	25
1.5.2. Económica	25
1.6. Variables.....	26
CAPÍTULO II.....	27
2. MARCO TEÓRICO.....	27
2.1. Sólido	27
2.1.1. La flotabilidad.....	27
2.1.2. Sólido flotante.....	27
2.2. Marco Legal	28
2.3. Aguas residuales.....	29
2.3.1. Tratamiento de aguas residuales.....	30
2.3.2. Tanques Imhoff.....	30
2.3.3. Características del agua residual.....	31
2.4. PTAR de Totorá	32
2.4.1. Proceso de tratamiento de aguas residuales.....	33
2.4.2. Tanques Imhoff.....	35
2.4.3. Parámetros de operación.....	35
2.5. Definición del prototipo	36
2.6. Tamiz estático	39
2.6.1. Componentes	40
CAPÍTULO III.....	42
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	42
3.1. Aspectos metodológicos.....	42

3.1.1.	Recopilación de información.....	43
3.1.2.	Ubicación geográfica de la investigación.....	44
3.1.3.	Lugar y periodo del desarrollo de la investigación.....	45
3.1.4.	Muestra y universo	45
3.1.5.	Identificación de actividad programada	46
3.1.6.	Evaluación de sólidos en el pretratamiento.	48
3.1.7.	Diagnóstico de tanques Imhoff.....	55
3.2.	Criterios de diseño del prototipo flotante desplazable	58
3.2.1.	Flotador.....	59
3.2.2.	Recolector.....	61
3.2.3.	Base de electrobomba.....	63
3.3.	Criterios de diseño del Tamiz estático	63
3.3.1.	Abertura de la malla	66
CAPÍTULO IV.....		69
4.	CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y TAMIZ ESTÁTICO.....	69
4.1.	Construcción del prototipo flotante.....	69
4.1.1.	Flotador.....	70
4.1.2.	Recolector.....	72
4.1.3.	Base de la electrobomba.....	74
4.1.4.	Electrobomba.....	74
4.1.5.	Unión de componentes del Prototipo flotante	75
4.2.	Construcción del tamiz estático.....	76
4.3.	Electrobomba sumergible.....	79

CAPÍTULO V.....	81
5. PUESTA EN MARCHA Y EVALUACIÓN	81
5.1. PTAR de Totorá	81
5.1.1. pH	85
5.1.2. Temperatura.....	85
5.1.3. Caudal del afluente de la PTAR Totorá.....	86
5.1.4. Degradación de materia orgánica	89
5.2. Parámetros de tanques Imhoff.....	90
5.2.1. Biodegradación de materia orgánica	90
5.2.2. Variación de la DBO ₅	91
5.2.3. Porcentaje de remoción de DBO ₅	92
5.3. Sólidos flotantes a nivel de tanques Imhoff	94
5.4. Puesta en marcha.....	96
5.4.1. Medición de caudal.....	98
5.4.2. Remoción de sólidos con el prototipo flotante	100
5.4.3. Remoción de sólidos de tanque Imhoff 1	105
5.4.4. Separación de sólidos del agua residual por el tamiz estático	107
5.4.5. Balance de sólidos	109
5.4.6. Porcentaje de humedad.....	113
CAPÍTULO VI:	116
6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	116
6.1. Diagnóstico de sólidos	116
6.1.1. Pretratamiento.....	116

6.2.	Diagnóstico de sólidos en Tanques Imhoff.....	117
6.2.1.	Tamaño de sólidos removidos	119
6.2.2.	Caracterización de los sólidos removidos	120
6.2.3.	Tipos de sólidos removidos	121
6.3.	Remoción de sólidos con el prototipo flotante.....	121
6.4.	Cuantificación de sólidos	124
6.4.1.	Cámara de sedimentación.....	124
6.4.2.	Canal de ventilación	125
6.4.3.	Sólidos totales.....	125
6.4.4.	Diámetro hidráulico.....	126
6.4.5.	Velocidad de flujo	127
6.4.6.	Número de Reynolds	129
	CONCLUSIONES	130
	RECOMENDACIONES.....	131
	REFERENCIAS BIBLIGRÁFICAS	132
ANEXO 1.	Construcción del prototipo flotante y diagnóstico de tanques Imhoff	134
ANEXO 2	Dimensiones del tamiz estático	137
ANEXO 3	Características de la electrobomba sumergible Pedrollo.....	138
ANEXO 4	Control de caudal y residuos sólidos en la PTAR de Totorá	141
ANEXO 5	Densidad y viscosidad del agua a diferentes temperaturas	143
ANEXO 6	Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuente	144
ANEXO 7	Costos de construcción del prototipo y el tamiz estático	145
ANEXO 8	Fotografías de extracción de sólidos flotantes	146

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Límites máximos permisibles de efluentes de la PTAR.</i>	29
Tabla 2	<i>Descripción PTAR Totora</i>	33
Tabla 3	<i>Parámetros de control de calidad del efluente de la PTAR de Totora...</i>	36
Tabla 4	<i>Término prototipo</i>	37
Tabla 5	<i>Parámetros de diseño de construcción de tanques Imhoff</i>	56
Tabla 6	<i>Parámetros operativos de aguas residuales en los tanques Imhoff</i>	57
Tabla 7	<i>Parámetros de degradación de materia orgánica</i>	58
Tabla 8	<i>Parámetros variables de diseño del recolector</i>	62
Tabla 9	<i>Caudal de alimentación de tamiz estático</i>	64
Tabla 10	<i>Dimensiones del tamiz estático</i>	65
Tabla 11	<i>Determinación el tamaño de la abertura de la malla de tamiz</i>	67
Tabla 12	<i>Malla metálica del tamiz</i>	79
Tabla 13	<i>Control de calidad de aguas residuales de la PTAR de Totora</i>	84
Tabla 14	<i>Medición del caudal en la remoción de sólidos</i>	98
Tabla 15	<i>Diametro de hidráulico</i>	100
Tabla 16	<i>Determinación de caudal promedio de alimentación y retorno</i>	108
Tabla 17	<i>Determinación de flujo de sólidos en el agua residual</i>	110
Tabla 18	<i>Determinación de flujo másico de sólidos para cada caudal</i>	112
Tabla 19	<i>Características de los sólidos removidos</i>	120
Tabla 20	<i>Componentes del prototipo flotante desplazable</i>	134
Tabla 21	<i>parámetros promedios a nivel de la PTAR de Totora</i>	135
Tabla 22	<i>Extracción de sólidos flotantes con el prototipo y tamiz estático</i>	136

Tabla 23	<i>Elección de caudal a diferentes distancias</i>	138
Tabla 24	<i>Control del caudal promedio del PTAR de Totorá</i>	141
Tabla 25	<i>Control de operaciones de residuos sólidos PTAR Totorá 2018</i>	142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Flotador Schott</i>	38
Figura 2	<i>Tamiz estático</i>	40
Figura 3	<i>Mapa de la ubicación de la PTAR de Totorá</i>	44
Figura 4	<i>Estructura de la investigación</i>	46
Figura 5	<i>Reja gruesa</i>	48
Figura 6	<i>Promedio de sólidos acumulados en la reja gruesa</i>	49
Figura 7	<i>Rejas de desbaste intermedias de la planta de PTAR Totorá</i>	50
Figura 8	<i>Acumulación de residuos sólidos en rejas intermedias</i>	50
Figura 9	<i>Rejillas de limpieza automática-HUBER</i>	51
Figura 10	<i>Retención de residuos sólidos en la rejilla automática Huber</i>	52
Figura 11	<i>Canal de desarenador de la PTAR de Totorá</i>	53
Figura 12	<i>Bafle separador de aceites y grasas</i>	53
Figura 13	<i>Cámara de distribución a tanques Imhoff de PTAR Totorá</i>	54
Figura 14	<i>Acumulación de residuos sólidos en la cámara de distribución</i>	55
Figura 15	<i>Flotador del prototipo</i>	61
Figura 16	<i>Recolector de sólidos</i>	62
Figura 17	<i>Base de electrobomba</i>	63
Figura 18	<i>Diseño del Tamiz estático</i>	65
Figura 19	<i>Muestra de sólidos</i>	66
Figura 20	<i>Malla metálica y efecto coanda</i>	68
Figura 21	<i>Flotador de PVC</i>	71
Figura 22	<i>Soporte triangular de la tapa</i>	71

Figura 23	<i>Pruebas hidráulicas del flotador de PVC</i>	72
Figura 24	<i>Construcción del recolector de sólidos</i>	73
Figura 25	<i>Recolector de sólidos flotantes</i>	74
Figura 26	<i>Ensamblaje de electrobomba</i>	75
Figura 27	<i>Prototipo flotante</i>	76
Figura 28	<i>Tamiz estático</i>	77
Figura 29	<i>Tamiz estático terminado</i>	78
Figura 30	<i>Diagrama de flujo de la PTAR (SEDA-2021)</i>	82
Figura 31	<i>Diagrama de bloques de la PTAR de Totorá</i>	83
Figura 32	<i>Variación promedio del pH mensual</i>	85
Figura 33	<i>Variaciones de temperatura de las aguas residuales</i>	86
Figura 34	<i>Variación de caudal anual del afluente PTAR Totorá</i>	87
Figura 35	<i>Variación de caudal de aguas residuales</i>	88
Figura 36	<i>Variación de la DBO₅ de aguas residuales PTAR de Totorá</i>	89
Figura 37	<i>Tanque Imhoff 1 modificado</i>	90
Figura 38	<i>Variación de la DBO₅ del afluente de Imhoff 1</i>	91
Figura 39	<i>Variación del DBO₅</i>	92
Figura 40	<i>Porcentaje de remoción de DBO₅ tanque Imhoff</i>	93
Figura 41	<i>Porcentaje de remoción de DBO₅ de Imhoff 1 y 3</i>	94
Figura 42	<i>Canal de ventilación con natas acumuladas y vegetaciones</i>	95
Figura 43	<i>Volumen de natas en canales de ventilación</i>	96
Figura 44	<i>Diagrama de remoción de sólidos flotantes de Tanque Imhoff 1 y 3</i> ..	97
Figura 45	<i>Proceso de extracción de sólidos flotantes</i>	101

Figura 46	<i>Retorno de agua residual tamizada a tanque Imhoff 3</i>	102
Figura 47	<i>Remoción de sólidos flotantes de tanque Imhoff 3</i>	103
Figura 48	<i>Acumulación de sólidos en el colector java</i>	104
Figura 49	<i>Remoción de sólidos de la cámara de sedimentación</i>	104
Figura 50	<i>Remoción de sólidos de canal de ventilación</i>	105
Figura 51	<i>Remoción de sólidos flotantes de canal de ventilación</i>	106
Figura 52	<i>Extracción de sólidos flotantes del canal de ventilación de Imhoff 1</i>	106
Figura 53	<i>Acumulación de residuos sólidos en bandeja de java</i>	107
Figura 54	<i>Diagrama de remoción de sólidos</i>	109
Figura 55	<i>Representación esquemática del balance de sólidos en el tamiz</i>	110
Figura 56	<i>Balance de sólidos</i>	112
Figura 57	<i>Acumulación de residuos sólidos en el pretratamiento</i>	117
Figura 58	<i>canal de ventilación</i>	118
Figura 59	<i>Volumen de natas en los seis tanques Imhoff</i>	118
Figura 60	<i>Canal de ventilación saturado de natas y vegetaciones</i>	119
Figura 61	<i>Tamaño de sólidos removidos</i>	120
Figura 62	<i>Tipos de sólidos flotantes removidos</i>	121
Figura 63	<i>Diagrama de extracción de sólidos flotantes.</i>	122
Figura 64	<i>Remoción de sólidos con el prototipo</i>	123
Figura 65	<i>Acumulación de sólidos en la cámara de sedimentación</i>	124
Figura 66	<i>Acumulación de sólidos en canal de ventilación</i>	125
Figura 67	<i>Acumulación de sólidos flotantes por año</i>	126
Figura 68	<i>Diámetro Hidráulico</i>	127

Figura 69	<i>Velocidad de flujo</i>	128
Figura 70	<i>Número de Reynolds</i>	129
Figura 71	<i>parámetros de diseño del tamiz estático</i>	137
Figura 72	<i>Curvas de selección de caudal</i>	138
Figura 73	<i>Electrobomba sumergible de 0,85 hp</i>	140
Figura 74	<i>Prototipo flotante desplazable en la PTAR de Totorá</i>	146
Figura 75	<i>Extracción y separación de sólidos en Imhoff 3</i>	147

SIMBOLOGÍA

PTAR	: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PVC	: Policloruro de vinilo
V_{cilindro}	: Volumen del flotador
$V_{\text{recolector}}$: Volumen de recolector
F	: Alimentación
$\text{kg/m}^2\cdot\text{h}$: Kilogramos por metro cuadrado hora
L/s	: Litros por segundo
cm	: Centímetro
m^3	: Metros cúbicos
Q	: Caudal
T	: Temperatura
E	: Empuje
DBO_5	: Demanda bioquímica del oxígeno
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
LMP	: Límites Máximos Permisibles
MINAM	: Ministerio del Ambiente
OEFA	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
TRH	: Tiempo de remoción hidráulica
TI	: Tanque Imhoff
AR	: Aguas residuales
PFD	: Prototipos flotantes desplazable
HT	: Hidrotamiz
TE	: Tamiz estático

INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de aguas residuales de Totorá tiene actualmente varios problemas, uno de ellos es la acumulación de sólidos flotantes en las seis unidades de tanques Imhoff, que dificulta el mantenimiento y disminuye la eficiencia de operación, por lo que, es necesario adicionar un sistema mecánico de remoción de sólidos flotantes, que se encuentran acumulados en las cámaras de sedimentación y en los canales de ventilación, impidiendo ingreso del oxígeno del aire para la degradación de materia orgánica, a su vez impide la emanación del biogás generado en los biodigestores, obstruyendo el paso de rayos solares y generando los malos olores. Uno de los métodos para la remoción de sólidos flotantes es a través de medios mecánicos, esto reduce el esfuerzo de trabajo horas/hombre dentro de la remoción de sólidos. Es importante destacar el empleo de un prototipo flotante desplazable en las seis unidades de tanques Imhoff, que aporta en la extracción de sólidos flotantes y como segunda instancia separar el sólido del líquido usando el tamiz estático construido en el taller electromecánico Holger K. Hansen.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Entre los diversos problemas que enfrenta la PTAR de Totorá, uno de ellos es la acumulación de sólidos en las distintas rejillas de limpieza mecánica y automática, que se encuentran al ingreso de la planta. Sin embargo, no todos los sólidos son retenidos, los pasantes del pre tratamiento no permiten una buena operación en los procesos posteriores, es así que, los 6 tanques Imhoff generalmente se llenan de sólidos flotantes formando una capa sobre el agua residual que trae como consecuencia formación de natas que no permiten el ingreso del oxígeno del aire al agua residual, incluidos con las vegetaciones en crecimiento y se suma la falta del cronograma del mantenimiento periódica alargando el proceso de degradación de la materia orgánica meses incluso años, así mismo, retiene la emanación del biogás generado en los biodigestores, lo que motiva la emanación en bloque con burbujes de gran magnitud, que pone en riesgo a los trabajadores, que no tienen equipamiento de protección sobre la emanación de gases, por ello sufren mareos y

desmayos al momento de extraer, de la misma forma están en riesgo de caídas al momento de extraer donde los sólidos acumulados están al medio de la cámara de sedimentación, que dificulta alcanzar fácilmente.

A nivel del Perú todas las plantas de tratamiento de aguas residuales que tiene tanques Imhoff se encuentran colmatados de natas y la vez se generan residuos putrefactos por meses y años de acumulación que impacta en la población aledaña, por la propagación de moscas, roedores y malos olores.

Entonces, el problema es la acumulación de grandes volúmenes de sólidos flotantes en los canales de ventilación y cámara de sedimentación que ponen en riesgo a los trabajadores, dicho de otro modo, es uno de los problemas que es necesario resolver, por tal motivo, se implementa un dispositivo mecánico transportable para extraer fácilmente los sólidos flotantes de la cámara de sedimentación y canal de ventilación de los seis tanques Imhoff de la PTAR de Totorá y de ser necesario a nivel Perú.

1.1.1. Antecedentes

A nivel internacional

Un similar antecedente se encuentra en Alemania, las aspiraciones SCHOTT para lodos flotantes y de pintura que detalla Schott GmbH (2020), es resultado de un largo y probado conocimiento de desarrollo tecnológicos en beneficio del usuario de diversas industrias de Alemania.

La empresa Schott se fundó en 1978. En sus inicios desarrolló la tecnología y accesorios para piscinas, tras las solicitudes de usuarios implementó técnicamente el aspirador de lodos flotantes y de pintura, de igual manera para la planta de tratamiento de aguas residuales municipales.

El tamiz filtrante fue desarrollado en España en la empresa Andaluza GEDAR (2020) para la gestión de aguas residuales, utilizadas en las distintas industrias internacionales para dar solución económica en la separación sólido - líquido en procesos continuos sin uso de energía.

Nacional

Saravia (2017), realizó la investigación titulada “Gestión y manejo de residuos sólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina Sedapar S.A– Provincia de Arequipa” para controlar el manejo de los residuos sólidos generados en las diferentes etapas de la PTAR. La producción diaria, mensual y anual de residuos sólidos generados en las labores administrativas, operaciones y procesos unitarios de la PTAR Chilpina, son caracterizados por separado. Posteriormente, se realiza el trabajo de gabinete en donde se recopilan datos, se compila la legislación ambiental vigente; se revisa información bibliográfica relacionada con residuos provenientes de PTAR, se estudia el proceso de tratamiento de la PTAR Chilpina, se identifica las fuentes de generación de residuos sólidos y se prepara un plan de trabajo.

Escalante & Ruiz (2016), realizaron la investigación titulada “*la evaluación de la infraestructura, operación y mantenimiento de tanques Imhoff de la provincia de Cajamarca, 2016*” para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, de la Universidad Privada del Norte. El propósito de la investigación consistió en conocer el estado actual de los tanques Imhoff de la provincia de Cajamarca. Se realizaron tres formatos, el primer formato referido a la evaluación del tanque Imhoff con respecto a la infraestructura, operación y mantenimiento, el segundo formato referido a la encuesta de evaluación al

operador del tanque Imhoff y el tercer formato referido a la encuesta de percepción de la población.

Local

Arias (2018), realizó la investigación titulada “*Gestión de la calidad del aire por aprovechamiento energético del metano generado en los biodigestores Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales totora – Ayacucho, 2015*” para optar el grado académico de doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible en la Universidad Nacional Federico Villarreal. Tuvo como objetivo el estudio de la descarga de gases de efecto invernadero a la atmósfera que constituyen un serio problema ambiental que va incrementando el calentamiento global y el cambio climático en diversas regiones; razón por la cual, se ha evaluado la emisión del gas metano generado por biodigestión anaeróbica en los seis tanques Imhoff, instalados en la PTAR de Totorá en la ciudad de Ayacucho.

1.1.2. Delimitación del problema

Este proyecto de tesis, construcción del prototipo flotante desplazable para extraer los sólidos flotantes, se realiza en aguas residuales que contienen sólidos flotantes en las unidades de tanques Imhoff, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá.

La construcción del sistema de remoción de sólidos flotantes y tamiz estático se realizó en el taller electromecánico Holger K. Hansen, ya que cuenta con una infraestructura de maquinarias, herramientas de trabajo y personal profesional capacitado.

Limitaciones

Una primera limitación sobre el tema que se aborda es que el sistema mecánico flotante no tiene suficientes fuentes bibliográficas de información, por lo tanto, carece de parámetros de diseño, gran parte de la información se va obtener en el trabajo de campo a través de las técnicas de extracción de sólidos flotantes y criterios de diseño y construcción que se aplica en la investigación.

Como segunda limitación está el factor económico, éste también influye en el tipo de materiales a usar en la construcción del prototipo que tiene altos costos en el mercado nacional, por lo tanto, se adopta una tecnología ecológica con materiales reciclables del mercado local.

Como tercera limitación es la propagación de covid-19 a nivel mundial que afectó directamente a la investigación propuesta, acortando el plazo de ejecución como consecuencia de varios meses de cuarentenas que decretó el gobierno nacional.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿De qué manera se construí y se instala el prototipo desplazable para extraer sólidos flotantes de las unidades de tanques Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá – Ayacucho?

Problemas específicos

1. ¿De qué manera se analiza el funcionamiento de tanques Imhoff y los sólidos flotantes?

2. ¿De qué manera se determina la acumulación de sólidos flotantes con el prototipo flotante desplazable de las unidades de tanques Imhoff?
3. ¿De qué manera se evalúa el rendimiento del prototipo desplazable en la remoción de sólidos flotantes de los tanques Imhoff?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo principal

Construir e instalar el prototipo desplazable para extraer sólidos flotantes de las unidades de tanques Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá – Ayacucho

1.3.2. Objetivos específicos

- 1) Estudiar el funcionamiento de tanques Imhoff y los sólidos flotantes
- 2) Resolver la acumulación de sólidos flotantes con el prototipo flotante desplazable de las unidades de tanques Imhoff
- 3) Determinar el rendimiento del prototipo desplazable en la remoción de sólidos flotantes de los tanques Imhoff

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La construcción e instalación del prototipo flotante desplazable extrae los sólidos flotantes mejorando la operación y mantenimiento de las unidades de tanques Imhoff de la PTAR de Totorá - Ayacucho

1.4.2. Hipótesis específicas

1. El control de sólidos flotante garantiza una operación eficiente del funcionamiento de tanques Imhoff.

2. La extracción de sólidos flotantes acumulados de las unidades de tanques Imhoff aporta los beneficios de mantenimiento y eficiencia de operatividad de tanques Imhoff.
3. El rendimiento del prototipo flotante permite la remoción de sólidos flotantes de los tanques Imhoff.

1.5. Justificación

1.5.1. Tecnológica

A nivel de los países desarrollados como Alemania, que tiene una tecnología avanzada, se pretende adoptar esta tecnología, que consiste en un sistema mecánico flotante desplazable que tiene importancia en la industria y fue desarrollado hace más de 30 años. Actualmente utilizan para extraer medios flotantes que se encuentran en un líquido como: aceites, grasas y sólidos flotantes. Por otro lado, también se tiene uno de los equipos aliados para separar los sólidos del líquido residual, con una tecnología ya existente en muchas industrias, es el tamiz estático o Tamiz estático, un equipo que no requiere fuentes energéticas para su funcionamiento, tiene la importancia de separar los sólidos del líquido por rebose a través de una malla metálica pendiente ovalada conocida como efecto coanda, donde el líquido es filtrado mientras los sólidos son retenidos en la malla metálica; finalmente, los sólidos caen a un recipiente por gravedad y son destinados al relleno sanitario.

1.5.2. Económica

La construcción del prototipo flotante y tamiz estático se realizó usando materiales reciclados del mercado local como: tubos, planchas de PVC y planchas de

fierro galvanizado, la mayor parte, recolectados de los desperdicios de las obras públicas, en el caso de tuberías.

1.6. Variables

Como el trabajo de investigación tiene como título “construcción e instalación de un prototipo desplazable para extraer sólidos flotantes de las unidades de tanques Imhoff de la planta de tratamiento de aguas residuales de Totorá-Ayacucho”, a partir de él se identifica la variable independiente (causa) y la variable dependiente (efecto).

Variable independiente

X = SÓLIDOS FLOTANTES GENERADOS EN LAS UNIDADES DE TANQUES
IMHOFF

Indicadores

X₁ = Diagnóstico de sólidos en los tanques Imhoff

X₁ = Evaluación de sólidos generados en los tanques Imhoff

X₁ = Cuantificación de sólidos generados en los tanques Imhoff

Variable dependiente

Y1 = EXTRACCIÓN DE SÓLIDOS FLOTANTES ACUMULADOS CON EL
SISTEMA MECÁNICO (*prototipo flotante desplazable*)

Indicadores

Y₁ = Construcción del sistema mecánico (prototipo flotante desplazable e Tamiz estático)

Y₂ = Extracción de sólidos con el prototipo flotante

Y₃ = Separación de sólidos de aguas residuales

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Sólido

Segun Garcia & Cobacho (2012) Sólido es un estado de agregación de materia, que mantiene masa, volumen y forma contantes y que tiene resistencia a deformarse.

2.1.1. La flotabilidad

Según *Melo, Sánchez & Martínez* (2016) que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso de fluido desalojado.

2.1.2. Sólido flotante

Segun *Pylypenko* (2021) se denomina “*sólido flotante*” a toda aquella materia que se encuentra en un líquido, pero cuando se encuentra fuera de ella se denomina residuos sólidos.

Se caracteriza a sólido flotante, como la fuerza ascendente causada por la densidad del líquido, tiene que ser mayor a la fuerza gravitacional sobre las partículas hidrofóbicas, como aceites, grasas y las que tiene una densidad menor a la del agua, son elevadas hasta la superficie del tanque mediante la flotación. Por otro lado, algunas

partículas también son llevadas a la superficie por las burbujas que resultan de la digestión anaeróbica. Esta capa que se acumula encima del agua residual es llamada nata, reduce el volumen efectivo del tanque, es considerable y no debe ser pasado por alto, acumulado sobre el agua almacenada en el tanque Imhoff, está compuesta por residuos grasos y otro tipo de desechos orgánicos e inorgánicos flotantes que siempre están presentes en afluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales, la mayor parte son removidos en las etapas de pretratamiento por diferentes tipos de rejillas de desbaste (Campos, 2020).

2.2. Marco Legal

Según el Minam (2010), establece la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. D.L. N°. G-1278, se define como Residuo sólido a *“cualquier objeto, material, sustancia o elemento resultante del consumo o uso de un bien o servicio, del cual sea su poseedor, se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse”*, para ser manejados priorizando la valorización de los residuos sólidos.

Según R.M N°.128-2017-VIVIENDA, Aprueban Condiciones Mínimas de Manejo de Lodos y las Instalaciones para su Disposición Final. La presente norma tiene por objeto regular las condiciones mínimas para el manejo de los lodos generados en las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y los provenientes de los servicios de disposición sanitaria de excretas y biosólidos. Incluye la regulación de las instalaciones donde se realiza la disposición final de lodos y sólidos de pretratamiento (Minam, 2010).

Límite Máximo Permisible (LMP). Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a

una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (Minam, 2010).

Tabla 1

Límites máximos permisibles de efluentes de la PTAR.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termo totales	NMP/100mL	10
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6,5-8,5
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: (Minam, 2010)

2.3. Aguas residuales

Son aquellas aguas de origen doméstico, industriales, uso agrícola y pluviales, cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas adquiriendo algunos componentes indeseables, convirtiéndola en agua residual relativamente inservibles para su uso directo, que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas o vertidas a un cuerpo natural y se clasifican en aguas blandas o pluviales, aguas negras, aguas grises (OEFA, 2015)

2.3.1. Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales reciben sales inorgánicas, detergentes, jabones, materia orgánica de preparación de alimentos y del metabolismo humano, algunos de los cuales pueden ser transformados en aguas servidas, por la acción de microorganismos, por reacciones bioquímicas y químicas, teniendo una disposición final que puede estar determinado por algunas leyes y reglamentos de los recursos hídricos y las autorizaciones de vertido, para poder reutilizar en riego de parques y jardines, recarga de acuíferos, vertidos y dilución a ríos para su reutilización, en riegos de plantaciones, etc. Teniendo presente la normatividad de límites máximos permisibles (LMP) (Condor, 2015).

El proceso de tratamiento de aguas residuales se divide en cuatro etapas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

2.3.2. Tanques Imhoff

Pertenecen a los reactores de la primera generación, desarrollado por el Ing. Karl Imhoff en Alemania alrededor de los años 1905, caracterizados por ser grandes cámaras con paso cónico, en la cual se desarrolla la biodegradación anaeróbica, con tiempos de retención hidráulica (TRH) muy altos y un contacto inadecuado entre la biomasa celular activa y sustratos para la biodegradación; sin embargo, son de operación simple sin requerimiento de partes mecánicas (Arias, 2018)

Cámara de sedimentación

Llamada también de decantación, situada en la parte superior del depósito donde se remueven gran parte de los sólidos flotantes, en la cual están sedimentando las partículas pesadas a través de las paredes inclinadas, por gravedad hacia al fondo cónico,

ingresando a la siguiente cámara de digestión por la apertura de traslape. Este primer compartimiento tiene el fondo en V (Arias, 2018).

Cámara de digestión de lodos

Es la parte inferior del tanque, con mayor dimensión, donde se realiza la digestión anaeróbica de los lodos, por acción de una gran variedad de microorganismos a través de reacciones múltiples y complejas. El biogás generado no interfiere con sólidos flotantes y sedimentados que ingresan por el traslape.

Espesamiento

Son las partículas que se acumulan en el fondo del tanque, se comprimen mediante un proceso llamado espesamiento, el cual funciona debido al peso de las partículas que se encuentran encima tras otro, ya que dicho peso exprime el agua e incrementa la concentración de sólidos. Es un resultado de la gravedad y se presenta cuando la concentración de sólidos es alta y las fuerzas entre las partículas impiden su movimiento individual (Strande, Ronteltap, & Brdjanovic, 2014)

Canal de ventilación

Llamada también cámara de natas, es el compartimiento lateral del depósito de tanques Imhoff, en cuya superficie líquida se irán acumulando las grasas y residuos de menor densidad, a la vez que burbujan y se liberan permanentemente el biogás generado en la digestión anaeróbica, que se descarga a la atmósfera en grandes volúmenes (Arias, 2018)

2.3.3. Características del agua residual

Demanda bioquímica de oxígeno- DBO_5 es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una

muestra líquida, disuelta en suspensión y la demanda química de oxígeno, es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidada por los medios químicos que hay disueltos o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos por litro (mg/L).

pH

Es importante el monitoreo del pH en agua residual, varía de 3.5 a 7 según la estacionalidad, toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que depende del grado de disociación de iones H^+

La temperatura

Es el nivel térmico de un cuerpo o sustancia, desempeña un papel importante en el tratamiento de aguas residuales, para la proliferación de los microorganismos.

Coliformes fecales

Según Arias, (2018) son bacterias indicadoras de contaminación del agua y los alimentos. Los coliformes fecales se introducen en gran número al medio ambiente por las heces humanas y animales.

2.4. PTAR de Totorá

El emplazamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Totorá, se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Ayacucho, ha sido construida en el año 1974 para una población de sesenta mil habitantes aproximadamente, el incremento del caudal y población para el horizonte 2020 se observa en la Tabla 2. para diciembre del 2004 se amplía y se mejora dicha planta estimada para una población de 208 000 habitantes (SEDA, 2021)

Tabla 2*Descripción PTAR Totorá*

Descripción	Horizonte 2010	Horizonte 2020
Población total (hab.)	208,282	278,215
Cobertura (%)	75	80
Población servida (Hab.)	156,212	222,572
Caudal diario (lps)	443	618
caudal medio horario (lps)	537	697
Caudal pico (lps)	769	989
Caudal mínimo (lps)	274	435

Fuente: (Arias, 2018)

Según Resolución Viceministerial N° 005-2019-PCM/DVGT, (2019) La provincia de Huamanga presenta la mayor cantidad de población, siendo esta de 282,194 habitantes, con tasa de crecimiento anual 2.2 %

2.4.1. Proceso de tratamiento de aguas residuales

Según Arias (2018) la PTAR de Totorá trata un caudal promedio de 353,5 L/s con una tasa de incremento del 9,2% y con respecto al procesamiento de aguas servidas se recuperan cerca del 92% de líquido para el año 2015

El proceso de tratamiento inicia desde el canal de ingreso, constituido por distintas unidades de tratamiento, finalizando con el vertido al río Alameda, como se enumera a continuación:

01 canal de Ingreso

- 01 Cámara de materiales gruesos.
- 01 Rejillas manuales de 2" de espaciamiento.
- 01 Lecho de grava.
- 01 Desarenador de 03 canales.
- 02 Rejillas automáticas finas de 6 mm.
- 01 Tornillo transportador de basura
- 01 Lecho de arena.
- 01 Medidor ultrasónico de caudales.
- 06 Tanques Imhoff.
- 03 Lechos de secado.
- 04 Filtros Percoladores.
- 04 Sedimentadores integrados
- 02 Lagunas facultativas.
- 03 Lagunas de maduración.
- 01 Laguna de Cloración.
- 01 Estación de cloración. Misceláneos equipos de bombeo y otros

Tratamiento preliminar también conocido como pretratamiento, consiste en la remoción de sólidos antes de ingresar a tanques Imhoff de PTAR Totorá.

Sistema de rejas está ubicado al ingreso de aguas residuales Conformado por rejas gruesas, intermedias y dos rejillas automáticas (HUBER) que permiten extraer el material grueso. mayores de 6 mm. (Piedras, plásticos, ramas, animales muertos, trapos, vísceras, etc.)

Desarenadores Conformado por dos unidades tipo canal y uno reserva, encargados de remover el material sólido sedimentable, los mismos que se descargan al lecho de grava.

2.4.2. Tanques Imhoff

La PTAR de Totora está constituido por seis unidades de tanques Imhoff, de forma rectangular y de fondo cónico, ubicados por pares consecutivos, Imhoff 1 y 2 son antiguos y los otros 4 son nuevos, con las mismas dimensiones que permiten separar el material sedimentable, sólidos flotantes y los lodos estabilizados son descargados a los lechos de secado. Todos ellos trabajan de forma paralela, con caudal de ingreso distribuidos de manera igualitaria, con un volumen de tratamiento de unos 4500 m³ (Arias, 2018)

2.4.3. Parámetros de operación

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es importante para el desarrollo sostenible de cada proyecto y explotación de las infraestructuras desde el ingreso de tratamiento y evaluación de las aguas residuales, así como de la gestión de la calidad ambiental. Por ello, para el tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales es importante el conocimiento de las características fisicoquímicas y microbiológicas.

Características fisicoquímicas

Según Arias, (2018) Son parámetros importantes como: pH, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO₅), sólidos totales en suspensión, coliformes fecales, aceites y grasas, tal como se observa en la Tabla 3, que definen la biodegradación de actividades y velocidades microbianas, importante para el tratamiento de aguas residuales de PTAR de Totora.

Tabla 3*Parámetros de control de calidad del efluente de la PTAR de Totorá*

Parámetros	Unidad	Valor promedio	
		Afluente	Efluente
pH	unidad	7,7	7,9
temperatura	°C	19,9	20,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	409,2	39,0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	849,2	141,2
sólidos totales en suspensión	mg/L	319,0	59,7
aceites y grasas	mg/L	64,9	12,4
coliformes termotolerantes	NMP/100mL	4,74E+10	7201,0

Fuente: (Arias, 2018)

2.5. Definición del prototipo

Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica. Existen diferentes tipos de prototipos los cuales se pueden evaluar de acuerdo con su estado de desarrollo. Por ejemplo, existen prototipos denominados de inspiración, los cuales constituyen el primer bosquejo de desarrollo de una idea, dichos prototipos no están muy bien elaborados, es decir no son muy sofisticados, ni muy desarrollados; la finalidad del prototipo de inspiración es construir nuevas ideas que permitan desarrollar nuevas innovaciones (Agudelo, Torres, & Del Pilar, 2021)

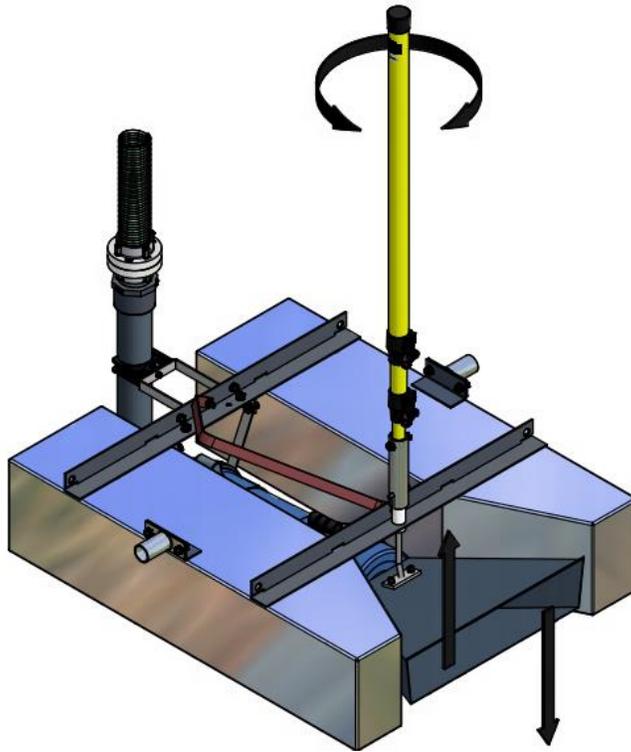
Para esta investigación, son procesos de innovación, la construcción de un prototipo con el sistema mecánico que se convierte en una pieza fundamental para lograr extraer sólidos flotantes y minimizar los riesgos de Tanques Imhoff.

Tabla 4

Término prototipo

Diccionario	Término	Significado
Real Academia Española (1992)	Prototipo prototípico	1. Ejemplar original o primer molde en que se fabrica una figura u otra cosa. 2. El más perfecto ejemplar y modelo de una virtud, vicio o cualidad. 3. adj. Perteneciente o relativo al prototipo.
Uso del español (Moliner,1996)	Prototipo	5. Ejemplo o modelo. Primer ejemplar de una cosa que sirve de modelo para hacer otras iguales. 6. Ser que reúne en sí en el más alto grado las características de cierto tipo de cosas y puede representarlas. “Es el prototipo del egoísta.”

Según Schott (2020) se describe la tecnología a adoptar que se tiene un modelo “*aspirador flotante*” con la capacidad de extraer sólidos flotantes con una tecnología alemana como se muestra en la Figura 1.

Figura 1*Flotador Schott*

Está constituido de dos flotadores, un recolector de sólidos y una electrobomba, tiene la función de extraer los medios flotantes del líquido, es decir los sólidos flotantes, aceites y grasas, espumas, etc.; que son alimentados directamente desde la boca de succión, a un equipo encargado de separar los sólidos del líquido.

Componentes del prototipo flotante

Como se afirma en el párrafo anterior, está constituido por lo siguiente: dos flotadores, una electrobomba y un recolector de sólidos.

- Flotador de PVC: resistente al agua residual

- Bomba sumergible con protección de acero inoxidable, motor eléctrico y que puede succionar fácilmente una amplia variedad de medios sólidos.
- Boca de aspiración: hecho de acero inoxidable, ancho 45 cm, altura ajustable.
- Graduador de altura: situado en la boca de succión, ajustable al medio flotante que va extraer.

Ventajas

Uso móvil, no requiere instalación fija. Por ejemplo, para poner en flote a una piscina primero se conecta los acoplamientos de la manguera espiral y la electrobomba, enganchar las cuerdas de sujeción y está listo para usar. El costo de ensamblaje es bajo. De la misma forma, la altura y la profundidad de inmersión de la boca de succión es fácil de ajustar para la extracción de sólidos flotantes (Schott, 2020). Por otro lado, los sólidos extraídos son separados individualmente en un equipo denominado hidrotamiz o tamiz estático.

2.6. Tamiz estático

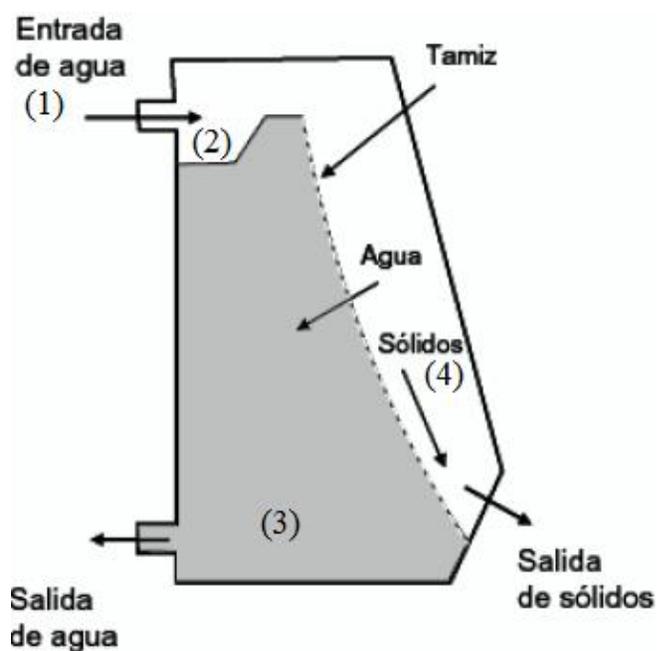
Según Granados (2020) *el tamiz estático o hidrotamiz es un equipo para tamizar en régimen laminar y de alta eficacia, está diseñado para realizar la separación de sólidos de un líquido, en aguas potables, industriales y residuales.*

La separación de sólidos de un líquido, por ejemplo, “*Los sólidos mayores a 1 mm, son separados en el Tamiz estático*” este equipo se basa en el efecto Coanda, es decir, cuando un fluido se desliza sobre una superficie curva tiende a adherirse mientras que un sólido en la misma superficie tiende a ser expulsado, como se observa en la Figura 2 y anexo 2.

El líquido a filtrar entra en el tamiz a través de la tubería situada en la parte trasera o lateral del equipo. Por consiguiente, el líquido se va acumulando en el cajón de alimentación junto con los sólidos extraídos, mientras el nivel de agua aumenta llegando al desbordamiento, fluye una lámina de agua homogénea por la superficie de la malla del tamiz estático, esta lámina de agua se filtra a través de la malla que tiene un efecto Coanda, donde se produce la separación de sólidos del líquido (Granados, 2020)

Figura 2

Tamiz estático



2.6.1. Componentes

Chasis; diseñado para alojar los componentes para una eficaz filtración sin necesidad de energía, ya que no posee partes móviles, comúnmente son de acero inoxidable AISI-304 o AISI-316, por su capacidad anticorrosiva frente a aguas

contaminadas y agentes ambientales. También cabe la posibilidad de fabricación con otros materiales como los polímeros (Granados, 2020).

Cajón de recepción

Es el encargado de recibir el afluente y distribuirlo uniformemente por toda la superficie del tamiz, a la vez que evita las turbulencias ocasionadas a la entrada de la tubería. El cajón de recepción puede ser diseñado de varias formas según las necesidades del fluido a tratar, al igual que las bridas de entrada, se pueden alojar en varias posiciones bien en la parte trasera o lateralmente a distintas alturas (Gedar, 2020).

Cajón de recogida

Según (Granados, 2020) Es el encargado de recibir el líquido filtrado y de evacuar hacia la salida de malla, la cual puede estar montada en la parte inferior o lateral del tamiz.

Malla filtrante

Es de acero inoxidable y puede fabricarse en distintas calidades, dependiendo de la agresividad del fluido a tamizar. Está constituida por unos perfiles longitudinales por los cuales va deslizando el fluido a tamizar, esta se puede hacer de diferentes pasos de luz, según exigencias (Gedar, 2020).

Sistema de limpieza; En estos equipos encontramos varios sistemas de limpieza, para poder tener acceso al interior y efectuar la limpieza. Por otro lado, tenemos los sistemas de limpieza continuos que son las rampas de inyección de agua a presión que bien pueden ir instaladas en el interior o en el exterior o ambas posiciones, las cuales van pulverizando agua sobre la malla filtrante y limpiando posibles residuos depositados evitando en gran parte la colmatación (Granados, 2020).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

Los sólidos materia del estudio se encuentran desde el pretratamiento hasta los tanques Imhoff, sin embargo, el tema se centra en la cámara de sedimentación y canal de ventilación de tanque Imhoff 1 y 3, que se encuentran colmatados de sólidos flotantes.

3.1. Aspectos metodológicos

El tipo de investigación

Aplicativo: Aplica la extracción de sólidos flotantes de las unidades de tanques Imhoff de PTAR de Totorá, con la tecnología adaptada denominada prototipo flotante desplazable.

El nivel de investigación

Experimental: Evalúa y verifica la remoción de sólidos flotantes con el prototipo flotante desplazable y tamiz estático de tanques Imhoff 1 y 3.

3.1.1. Recopilación de información

El trabajo va dirigido a la construcción de un sistema de remoción de sólidos flotantes, tecnología adoptada similar de Alemania; en esta investigación tiene el nombre de “prototipo flotante desplazable”. Según Schott (2016) “*consta de una electrobomba sumergible de impulsor de flujo libre que flota horizontalmente sobre la superficie del agua, con dos flotantes laterales y una boca de colector de sólidos flotantes*”, sin embargo, no se tiene información de los parámetros de diseño, por lo tanto, se adopta los criterios de diseño a manera de un prototipo, es decir, la construcción del prototipo con tecnología propia a través de la cual se optimiza el efecto de remoción de sólidos flotantes de un líquido. Pero, la información que se tiene sobre la extracción de sólidos flotantes con medios mecánicos sistematizados de tanques Imhoff, son escasas.

Los medios flotantes comunes:

- Aceites y grasas
- Sólidos de depuradora
- Espuma de pintura
- Sólidos flotantes de tanques Imhoff

Las principales áreas de aplicación:

- Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales.
- Saneamiento.
- Ingeniería Ambiental.
- Industria de alimentos.
- Curtidurías.

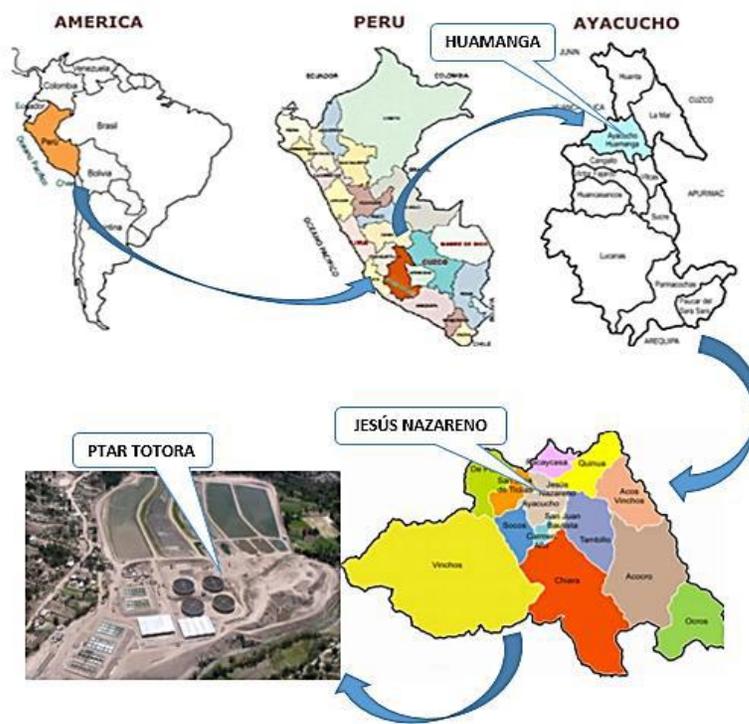
- Industria química.
- Industria del papel y celulosa.
- Centrales eléctricas (cuencas de agua de refrigeración).
- Industria automotriz y de vehículos comerciales (talleres de pintura).

3.1.2. Ubicación geográfica de la investigación

El presente trabajo de investigación se realiza en la planta de tratamiento de aguas residuales de Totora administrada por la empresa SEDA AYACUCHO, ubicada en la Localidad Totorilla, Distrito Jesús Nazareno, Provincia Huamanga, Región Ayacucho, Situada a una altura de 2746 msnm, Como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Mapa de la ubicación de la PTAR de Totora



3.1.3. Lugar y periodo del desarrollo de la investigación

El trabajo de investigación se inicia en septiembre del año 2019, meses después se posterga la ejecución con la llegada de la pandemia a nivel mundial, sin embargo, se retoma enero del 2021 y culminando en julio del 2021.

La presente investigación se desarrolló en 5 etapas:

- Etapa de diagnóstico de sólidos flotantes en el pretratamiento y tanques Imhoff
- Etapa de diseño, construcción e implementación del prototipo flotante y tamiz estático.
- Etapa de arranque y puesta en operación del prototipo flotante y tamiz estático.
- Etapa de extracción de sólidos flotantes de los tanques Imhoff 1 y 3
- Etapa de procesamiento de información.

3.1.4. Muestra y universo

Los sólidos, desde el ingreso a la PTAR de Totorá, en el transcurso son retenidos por distintas rejillas en el pretratamiento, mientras los sólidos menores de 10 a 6 mm pasan a las siguientes unidades específicamente a los 6 tanques Imhoff, donde llegan a acumularse con un caudal promedio anual de 353,7 L/s de afluente a nivel de la planta.

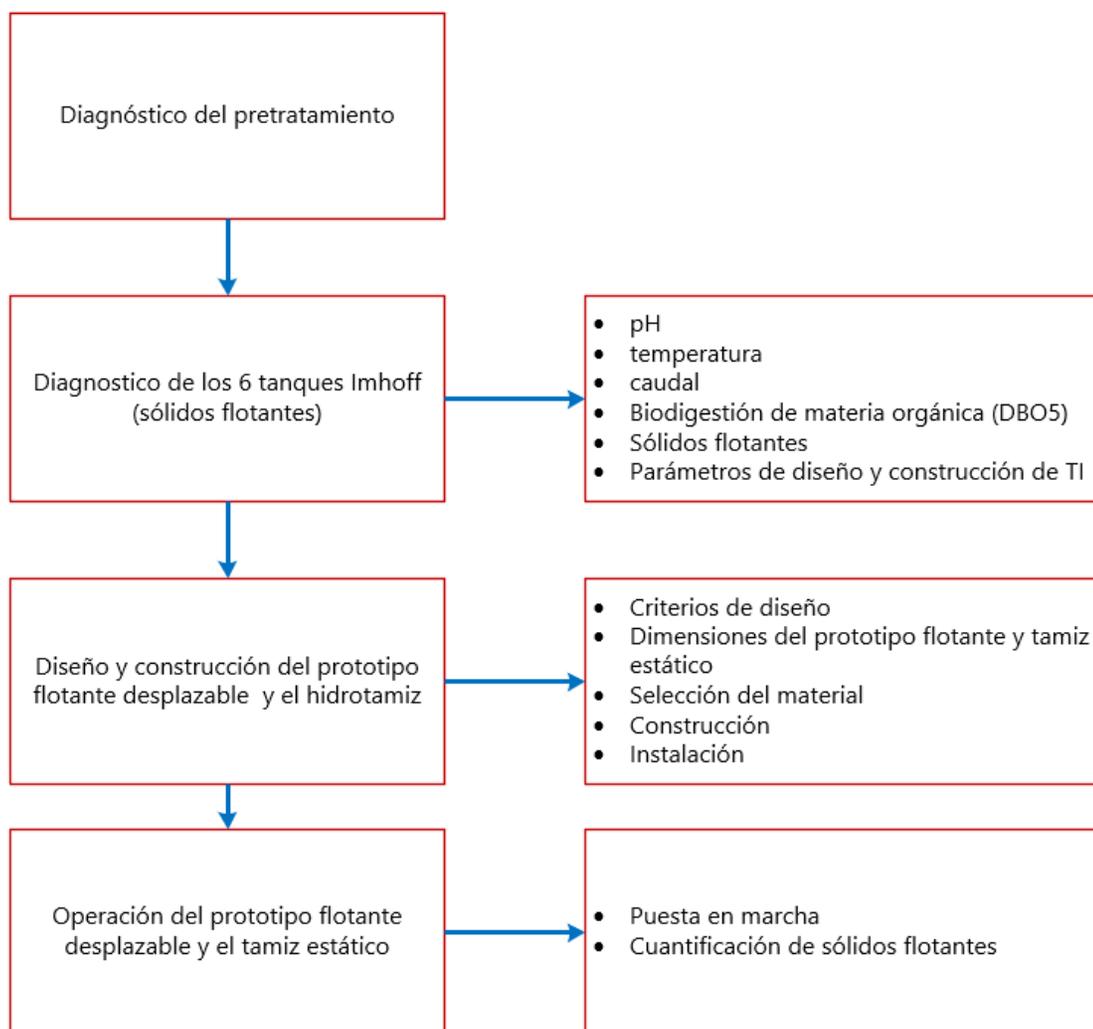
Los sólidos pasantes terminan formando natas en las unidades de tanques Imhoff dificultando la eficiencia de operatividad, por ello la investigación se centra en la extracción de sólidos flotantes con el prototipo flotante desplazable en las unidades de tanques Imhoff 1 y 3.

3.1.5. Identificación de actividad programada

En este aspecto, se determina los pasos a seguir y técnicas que se utilizarán durante el desarrollo metodológico de la investigación sobre criterios de diseño y construcción de un prototipo flotante desplazable y el tamiz estático para la remoción de sólidos flotantes. Comprende los siguientes pasos como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Estructura de la investigación



- Diagnóstico de sólidos en pretratamiento y tanques Imhoff
- Evaluación de los parámetros de operación de los 6 tanques Imhoff
 - pH
 - Temperatura
 - Caudal
 - DBO₅
 - Sólidos flotantes
- Criterios de diseño y construcción del prototipo flotante y el tamiz estático
 - Selección de materiales.
 - Cortes, doblado y sellado.
 - Soldado y acabado del tamiz estático.
 - Esmaltado de los componentes del prototipo.
 - Pruebas hidráulicas.
- Unión de los componentes del prototipo.
- Instalación de accesorios del prototipo hacia el tamiz estático.
- Instalación de electrobomba.
- Instalación del sistema energético.
- Determinación de puntos de extracción de sólidos.
- Toma de muestras de sólidos.
- Colocación del prototipo flotante y tamiz estático a tanques Imhoff 1 y 3.
- Puesta en marcha.
- Técnicas y manejo del sistema en la extracción de sólidos.
- Extracción de sólidos flotantes en la cámara de sedimentación.

- Extracción de sólidos flotantes en el canal de ventilación.
- Resultados de la evaluación.
- Análisis y discusión de resultados.
- Ejecución de la investigación.

3.1.6. Evaluación de sólidos en el pretratamiento.

Cámara de recepción

Es la parte de descarga de aguas residuales a través de una tubería de concreto de 32 pulgadas, recolectadas de la Ciudad de Ayacucho por tuberías de diferentes tamaños, que conllevan afluente a la PTAR de Totorá, para su debido tratamiento antes de ser vertido a un cuerpo de agua.

Cámara de rejas gruesas

Figura 5

Reja gruesa

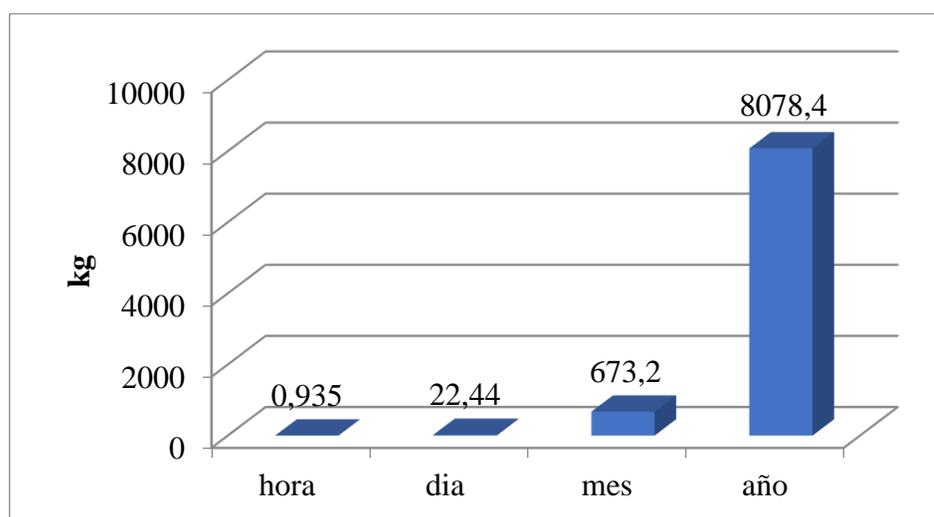


Se encuentra metros más abajo de la cámara de recepción, tiene instaladas dos parrillas metálicas verticales gruesas con un ángulo de inclinación 45°, las aguas

residuales fluyen por la abertura de rejillas de $2\frac{1}{2}$ pulg. en las que se retienen sólidos mayores de 7 cm, como botellas, plásticos, ramas, troncos, tecnopor, trapos, visceras, juguetes, pelotas, ropas, etc. Como se observa en la Figura 5 y que son removidas manualmente por el operador.

Figura 6

Promedio de sólidos acumulados en la reja gruesa



Los sólidos mayores de $2\frac{1}{2}$ pulgadas son retenidos en la reja gruesa, donde llegan a acumularse un promedio de 22,44 Kg de sólidos al día, como se observa en la Figura 6 y destinados al relleno sanitario de la planta.

Cámara de rejillas intermedias

Metros más allá se encuentra una cámara de concreto cuadrangular de 16 m^2 en la cual están instaladas dos rejillas metálicas de 1,4 m de ancho, con una ligera inclinación hacia la corriente del agua residual y 2 pulgadas de abertura, donde se retienen los sólidos intermedios tales como, plásticos, telas, botellas, palos medianos, etc. los cuales son

retirados de forma manual de acuerdo al grado de acumulación como se observa en la Figura 7

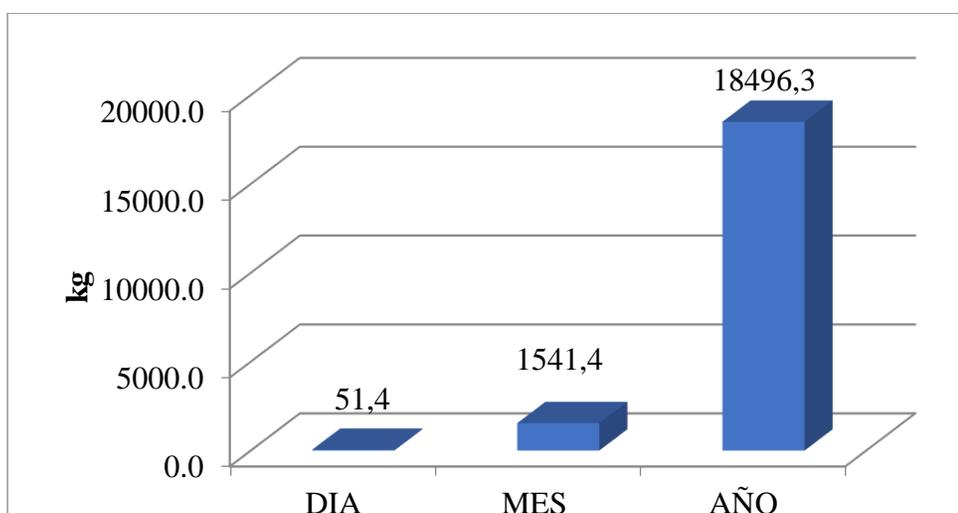
Figura 7

Rejas de desbaste intermedias de la planta de PTAR Totorá



Figura 8

Acumulación de residuos sólidos en rejas intermedias



Los sólidos retenidos en las rejillas intermedias llegan a un promedio de 51,4 kg al día, casi el doble de lo acumulado en la reja gruesa, como se observa en la Figura 8, por lo tanto, son removidos por los operarios destinados al relleno sanitario de la planta.

Rejillas de limpieza automática

Fundamentalmente, la estructura consta de tres canales, actualmente dos están operativos, donde están instaladas las dos máquinas de HUBER, con el objetivo de extraer los sólidos retenidos, se acumulan un promedio de 67, 8 kg al día, como se observa en la Figura 10 y al año, estaría llegando a acumularse 24 toneladas.

Figura 9

Rejillas de limpieza automática-HUBER

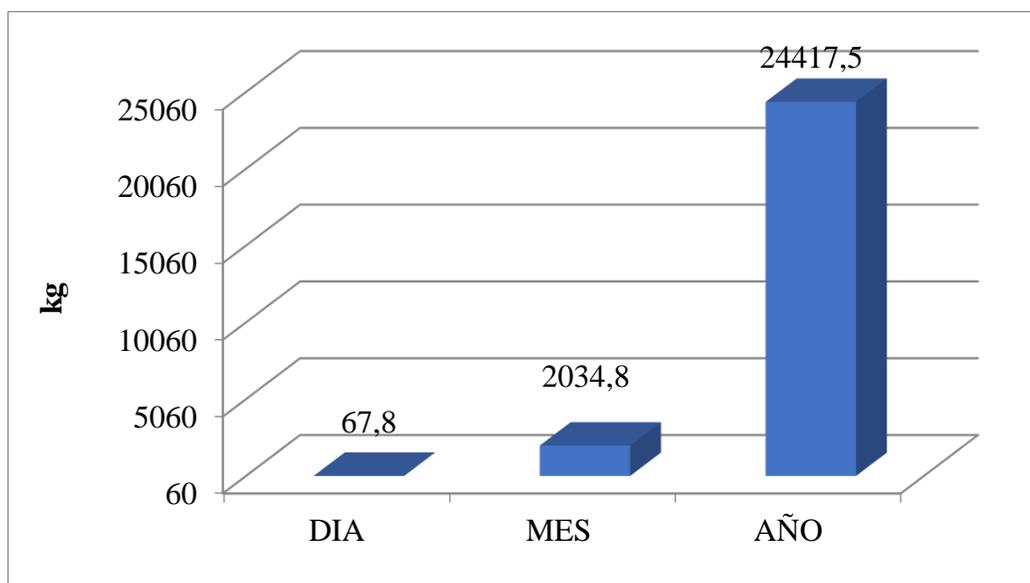


Consiste en una rejilla escalonada seguida por un tornillo transportador automático, en efecto, es mucho más fina a diferencia de las rejillas gruesa e intermedia, con una abertura de unos seis milímetros que retiene los materiales particulares menores como: tapas de botellas, chapas, pett, etc y animales muertos, ratones ratas, etc y

hojarascas, cáscaras de frutas y verduras, etc. que al ir obstruyendo gradualmente el paso del líquido provoca un incremento de nivel del canal, por lo que, se activa automáticamente la rejilla para retirar los sólidos de forma ascendente hacia un transportador de tornillo ubicado en la parte superior, mientras es presionado al término del transportador para exprimir agua que acompaña a los sólidos, finalmente, son empujados a la descarga de los sólidos a un contenedor metálico como se observa en la Figura 9

Figura 10

Retención de residuos sólidos en la rejilla automática Huber



Desarenadores

Se tienen tres canales de desarenadores de flujo horizontal construidas en concreto y cuyas dimensiones son 1.20 de ancho y 30 m de longitud, cada una. como se muestra en la Figura 11. Las aguas residuales fluyen lentamente a lo largo del canal, los sólidos de

alta densidad como gravas, arenas, metales, demás partículas arrastradas por las aguas servidas van sedimentando hacia el fondo del canal.

Figura 11

Canal de desarenador de la PTAR de Totorá



Separador de aceites, grasas y ceras

Figura 12

Bafle separador de aceites y grasas



Se ubica al final del canal del desarenador, tiene instalada un baffle de corte superficial, sumergido sobre el nivel del líquido en la cual se obstruye el paso de material flotante conformado especialmente de aceites, grasas y ceras como se observa en la Figura 12.

Cámara de distribución

Se encuentra después de la medición de caudal, las aguas residuales pasan por la tubería subterránea al eje central de la cámara de distribución, de concreto cuadrangular de 6 m x 6 m, desde la cual se distribuye por rebose, las aguas servidas hacia a los seis tanques Imhoff, donde se observa la acumulación de sólidos flotantes en la Figura 13.

Figura 13

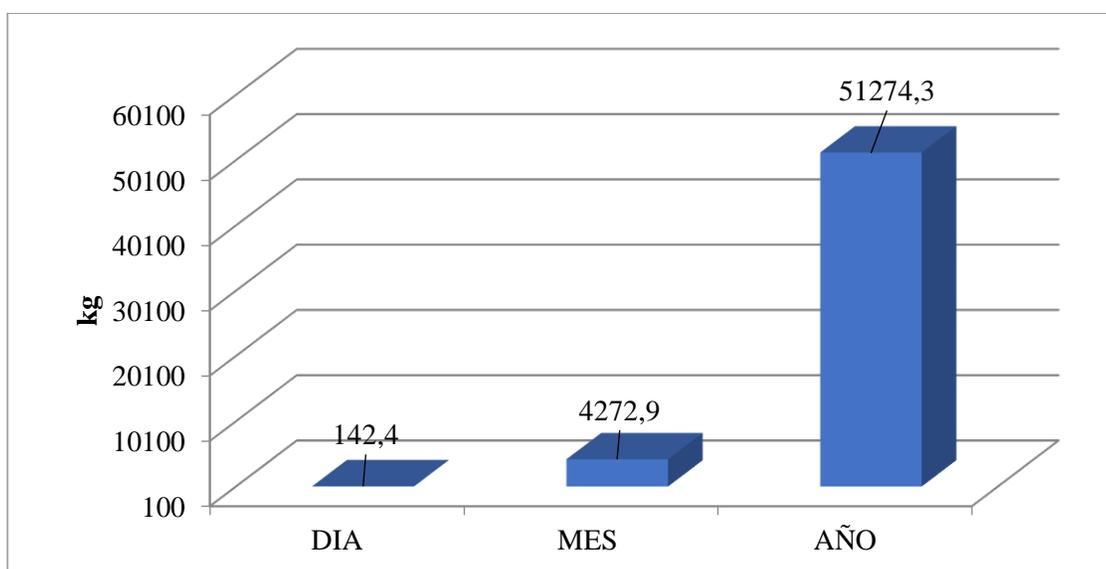
Cámara de distribución a tanques Imhoff de PTAR Totorá



Es importante destacar esta cámara de distribución, donde hay mayor acumulación de residuos sólidos flotantes que pasan las rejillas de Huber, llegando a acumularse un promedio de 51 toneladas al año como se observa en la Figura 14

Figura 14

Acumulación de residuos sólidos en la cámara de distribución



3.1.7. Diagnóstico de tanques Imhoff

Los seis tanques Imhoff están en funcionamiento, sin embargo, el tanque Imhoff 1 ha sido modificado severamente a RAFA en el año 2018 sin afectar las medidas de la estructura.

Dimensiones de tanques Imhoff

Es importante destacar los parámetros de diseño de la construcción de Tanques Imhoff, para determinar el área de acumulación de sólidos flotantes de aguas residuales básicamente relacionadas a la cámara de sedimentación y canal de ventilación, datos importantes para esta investigación, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5*Parámetros de diseño de construcción de tanques Imhoff*

CARACTERÍSTICAS	IMHOFF	
	ANTIGUA	NUEVOS
Número de tanques instaladas	2	4
Condición de los tanques	IMHO1, IMHO2	IMHO3, IMHO4 IMHO5 y IMHO6
Caudal de operación máxima	66 L/s	101 L/s
Dimensiones generales (c/tanque)	13 x 31 m Profundidad \approx 9 m	18,7 x 33, 2 m Profundidad = 11,50 m
Número de cámara de sedimentación	2	3
Número de cámara de ventilación	3	8
Número de pirámides invertidas (en la cámara de digestión fondo)	2	2
Dimensiones de canal de alimentación o entrada	0,4 m x 10 m	0,6 m x 18,2 m
Dimensiones de canal de descarga o salida	0,4 m x 10 m	0,6 m x 18,2 m
Dimensiones de cada cámara de sedimentación	4 m x 29,5 m	4 m x 30,5 m
Altura efectiva de sedimentación	1 m	1,5 m
Área superficial (espejo de agua) de las cámaras de sedimentación de tanque ($A_{\text{sedim.}}$)	236 m ²	366 m ²
Volumen efectivo del sedimentador ($V_{\text{sedim.}}$)	236,8 m ³	549,0 m ³
Tiempo de retención ($TR = V_{\text{sed}}/Q_{\text{max}}$)	1,0 h	1,5 h
Dimensiones de cada cámara de ventilación o canales de natas	(2) 0,7 m x 26 8 m (1) 1,4 m x 26.8 m	1m x 15,05 m
Áreas superficiales (espejo de agua de las cámaras de ventilación (natas acumuladas)	75,04 m ²	120,4 m ²
Porcentaje de superficie libre de ventilación	24,10%	24,80%
Dimensiones de cada tolva o cámara de digestión anaeróbica (pirámide truncada invertida: A_s = área superior, A_i = área interior, h_t = tolva, h_{st} = altura sobre la	A_s = 12 m x 14,8 m A_i = 3,75 m x 1 m h_t = 2,6 m	A_s = 15,05 m x 17,8 m A_i = 1,30 m x 0,3 m h_t = 4,0 m

tolva)	hst= 1,2 m	hst= 1,5 m
Volumen total de digestión ($V_{\text{dig}} = V_{\text{at}} \times V_{\text{t}}$)	785,3 m ³	1546,3 m ³
Remoción prevista de carga orgánica (para un TR de 1 a 1,5 h)	25%	25%
Remoción prevista de coliformes termo tolerantes	60%	60%

Fuente: (Arias, 2018)

Los Parámetros operativos de tanques Imhoff también es importante, como se muestra en la Tabla 6. Indica las características de los tanques que van trabajar con el prototipo flotante.

Tabla 6

Parámetros operativos de aguas residuales en los tanques Imhoff

características	Imhoff 1	Imhoff 3
	antiguos	nuevos
Número de tanques instalados	2	4
Caudal de operación máxima	66 L/s	101 L/s
Caudal de operación actual	50 L/s	65 L/s
Temperatura promedio anual de afluente	19,6 °C	19,7 °C
Temperatura promedio anual de efluente	20,67 °C	°C
pH promedio anual del afluente	7,5	7,5
pH promedio anual del efluente	7,17	6,9

La Biodegradación de materia orgánica está registrado en el laboratorio de la PTAR de Totorá, pero de acuerdo a la política de la empresa, no se obtuvo el dato exacto por lo que, fue necesario recurrir a una fuente como se observa en la Tabla 7

Tabla 7

Parámetros de degradación de materia orgánica

PARÁMETROS	ESTIMACIÓN PARA PROYECTO	PROMEDIOS (2014-2016)
DQO (mg/L), afluente	408	624+-239
DBO ₅ (mg/L) afluente	204	328+-102
DBO ₅ /DQO afluente	0,5	054+-0,18

Fuente (Arias, 2018)

3.2. Criterios de diseño del prototipo flotante desplazable

Para la construcción del prototipo flotante desplazable se evalúan los parámetros de TI y las condiciones de la operatividad de sólidos, caso contrario, debe ser ajustado para lograr la extracción de sólidos flotantes de una forma fácil.

El prototipo se construye de un material resistente al agua residual, de un tamaño aceptable y adecuado a los canales de tanques Imhoff, de acuerdo al parámetro de diseño de construcción de tanques Imhoff de la Tabla 5.

3.2.1. Flotador

El flotador es uno de los componentes importantes del prototipo flotante, permite mantener a flote la electrobomba, recolector de sólidos y demás accesorios, por lo que, se determina el volumen del cilindro y se construye de tubos de PVC, sellarlos al vacío por ambos lados para tener esa flotabilidad en el agua residual. El diámetro y altura del tubo es importante para la construcción como se muestra en la Figura 15 y la Ecuación 1

Ecuación 1

Las variables de diseño del flotador son altura y diámetro

$$V_{\text{Cilindro}} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{\text{Cilindro}} = \pi * \left(\frac{0,313\text{m}}{2}\right)^2 * 0,865\text{m}$$

$$V_{\text{Cilindro}} = 0,0666\text{m}^3 \approx 0,07\text{m}^3 = 70\text{L}$$

$$\text{cilindro 1} + \text{cilindro 2} = 0,14\text{m}^3 = 140\text{L}$$

Cada flotador tiene un volumen de 70 L y el espesor del material es 25 mm, como se muestra en la Figura 15, de la misma forma se determina el peso que va soportar el flotador, a partir de la densidad de la tabla de Rivas, Mijares (1978), (Huallpa, 2019) se observa en el anexo 5 de Tratamientos de aguas residuales a una temperatura de 20° C la densidad es de 998,23 kg/m³ remplazamos en la siguiente ecuación.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho \times V = \left(998,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times 0,14 \text{ m}^3 = 139,7 \text{ kg}$$

El flotador soporta un peso máximo de 136 kg de lo cual solo se va usar el 50% para sumergir, el resto se mantiene en flote para visualizar la electrobomba y graduar la boca de recolección de sólidos.

Determinación del empuje para 50% del flotador sumergido en agua residual:

Donde:

$$E = \rho \times V \times g$$

g : Gravedad (981 cm/s^2) = $9,81 \text{ m/s}^2$

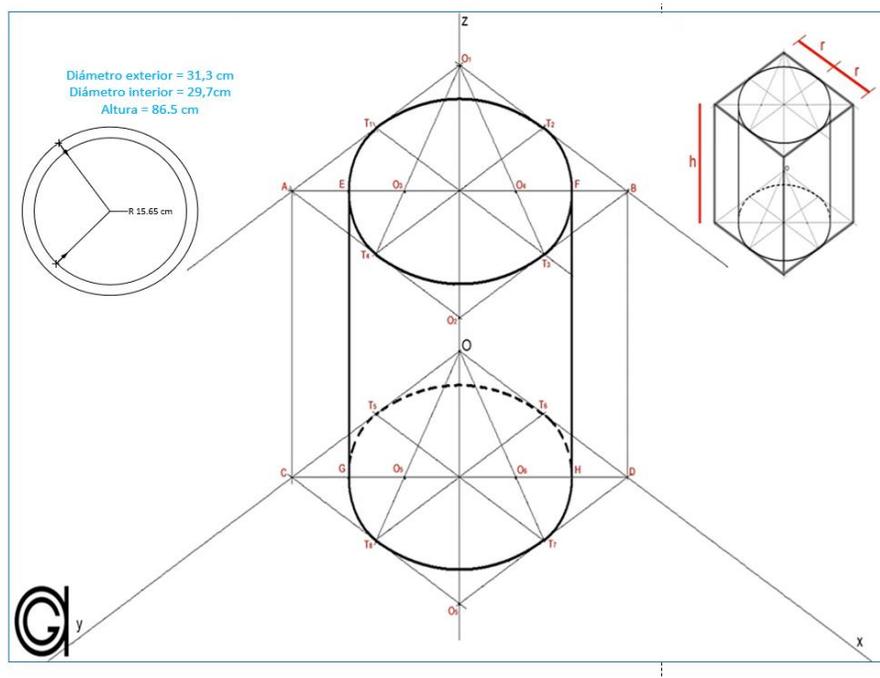
ρ : Densidad del agua a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0,9982 \text{ g/cm}^3$)

V : $69,9 \text{ L} = 70 \text{ L} = 0,07 \text{ m}^3$

$$E = 998,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0,07 \text{ m}^3 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$E = 685,48 \text{ N}$$

En las ecuaciones anteriores determinamos el volumen de 140 L, de ello, solo se usar 50% de su volumen para soportar un peso de 50 kg como mínimo y máximo 70 kg, en otras palabras, nos indica que, el 50% del flotador está sumergido al agua residual y en el resto flotante va la estructura unida a la electrobomba y recolector de sólidos, anclas, maguera, etc.

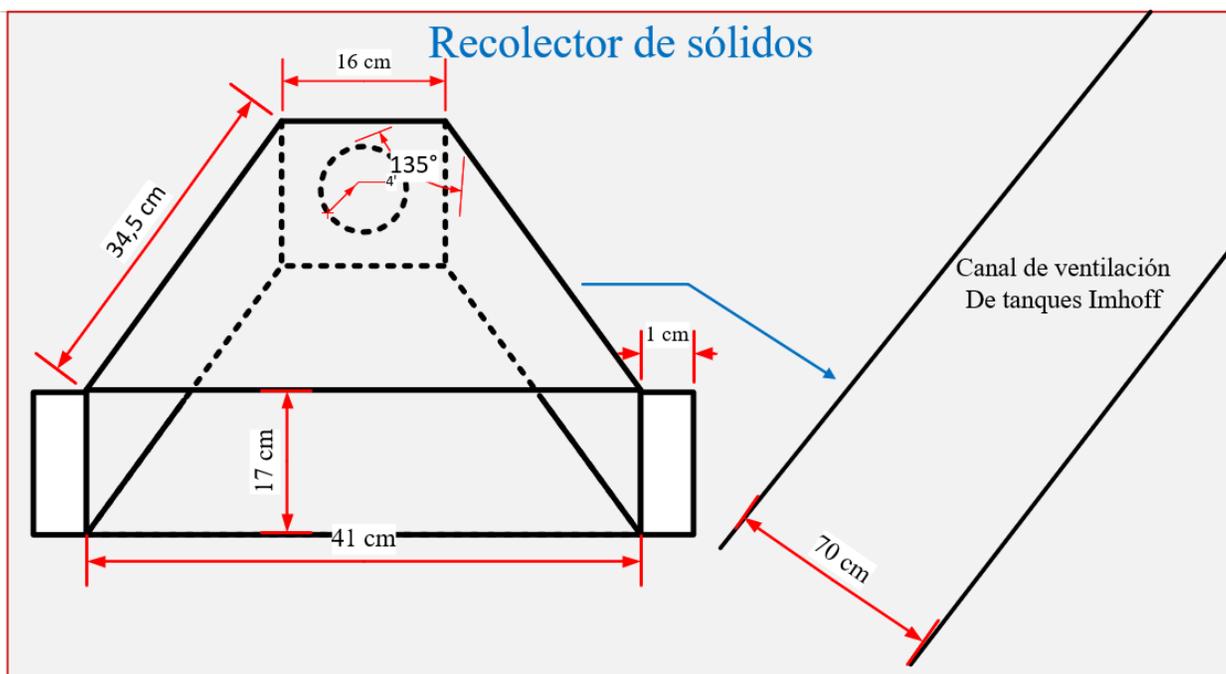
Figura 15*Flotador del prototipo***3.2.2. Recolector**

Se tiene un criterio de diseño propio para recolectar los sólidos flotantes que se encuentran a flote en las aguas residuales de tanques Imhoff 1 y 3.

El diseño es de tipo trapezoidal, de un material resistente al agua residual, con las siguientes dimensiones, altura (17 cm) y ancho (41 cm), a través del cual, ingresará el agua residual recolectado a la taza de electrobomba, quien se encarga de llevarlo hasta el tamiz estático. cómo se observa en la Tabla 8 y Figura 16.

Tabla 8*Parámetros variables de diseño del recolector*

Altura	Ancho	Área
cm	cm	cm ²
10	30	300
15	35	525
17	40	680
20	60	1300

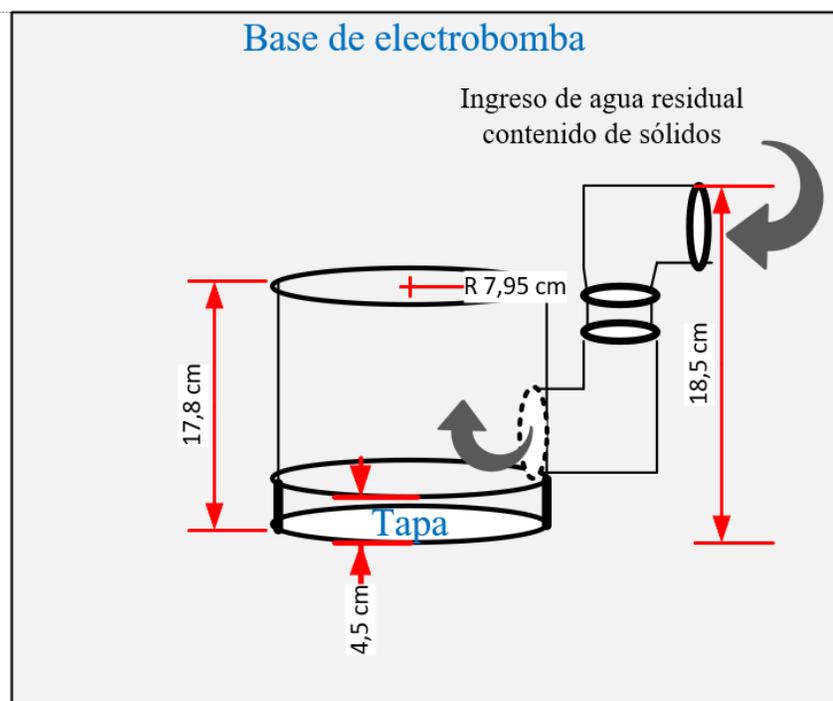
Figura 16*Recolector de sólidos*

3.2.3. Base de electrobomba

Se ha diseñado para que la electrobomba impulse el agua residual a medida que ingresa junto con los sólidos del recolector, como se observa en la Figura 17.

Figura 17

Base de electrobomba



3.3. Criterios de diseño del Tamiz estático

El tamiz estático se construirá de hierro galvanizado para un caudal entre 6 - 9 L/s, en el taller electromecánico Holger K, Hansen, como se observa en la Figura 18.

Es importante tomar la referencia de diseño del tamiz estático Granados (2020), para caudales de diseño de 6 - 9 L/s, por lo tanto, el tamiz se diseña de acuerdo al caudal de electrobomba, como se observa en la Tabla 9.

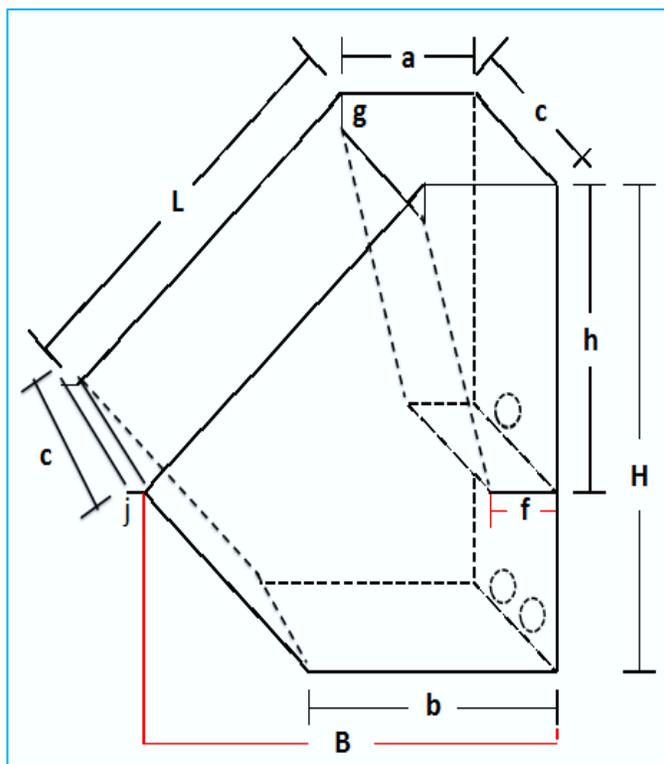
Tabla 9*Caudal de alimentación de tamiz estático*

TE	10-300	10-500	12-500
J 1,5	15	25	31
J 1	13	21	26
J 0,75	11	18	23
J 0,5	9	15	19
J 0,25	6	11	13

Fuente (Gedar, 2020)

Diseño del tamiz

1. Lado lateral de caja alimentación (a) : 30 cm
2. Lateral, frontal y atrás (c) y (b) : 50 cm
3. Altura de rebose (g) : 7,5 cm
4. Altura de caja alimentación (h) : 65 cm
5. Base de alimentación (f) : 15 cm
6. La canaleta diagonal (L) : 81 cm
7. Ancho de descarga (c) : 50 cm
8. Alero descarga de sólidos (j) : 5 cm
9. Altura total (H) : 110,5 cm
10. Ancho total (B) : 70 cm

Figura 18*Diseño del Tamiz estático***Tabla 10***Dimensiones del tamiz estático*

Modelo	Altura	Ancho útil	Ancho total	Fondo	Peso
Tamiz E.	mm	mm	Mm	mm	mm
TE 10-300	940	300	365	752	64
TE 10-500	940	500	565	752	80
TE 12-500	1200	500	565	960	90

Fuente: (Gedar, 2020)

Teniendo el modelo de TE 10-300 se toma las dimensiones de la Tabla 9.

3.3.1. Abertura de la malla

Para determinar la abertura de la malla, se extraen los sólidos flotantes de los tanques Imhoff 1 y 3, de cámara de sedimentación y canal de ventilación, como se observa en la Figura 19

Figura 19

Muestra de sólidos



- Se extrae la muestra (sólidos flotantes).
- Se realiza respectivo cuarteo para obtener una muestra.
- Se deja secar en estufa a 100 °C, hasta tener un peso constante.
- Se realiza la caracterización física.

Determinación de la abertura de la malla

Se determina el tamaño de sólidos flotantes, de una muestra de 520 g de residuos sólidos flotantes extraídos de Tanques Imhoff 1 y 3, se lava con HCl (1:1) y se seca la

muestra a una temperatura de 100°C hasta obtener peso constante de 501,2g, realizando el tamizado a diferentes aberturas de la malla, como se observa en la Tabla 11

Tabla 11

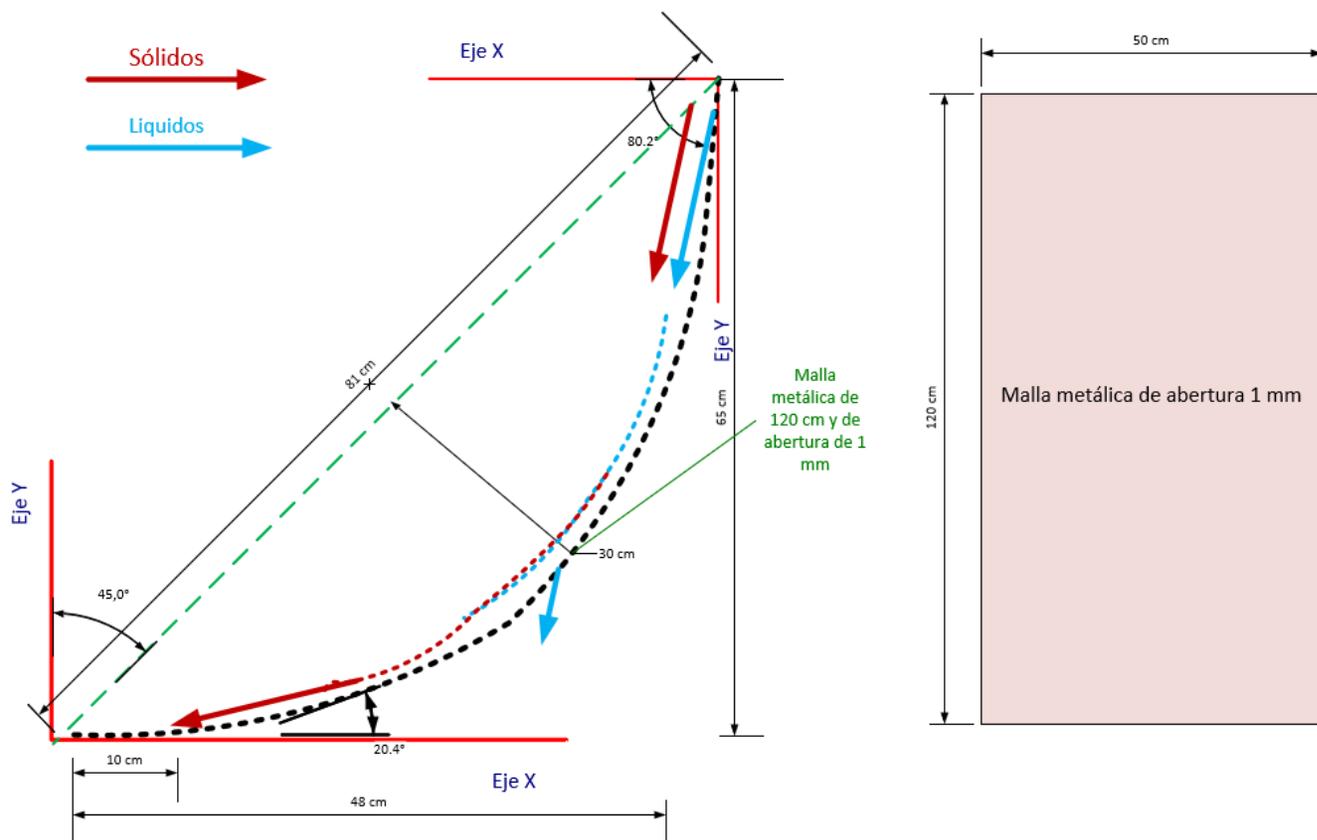
Determinación el tamaño de la abertura de la malla de tamiz

N° de malla	Abertura (mm)	Abertura (cm)	Peso	% Retenido	% Acumulado	% Acumulado
			Retenido (g)	(%)	Retenido (%)	pasante (%)
2"	50	0	0	0	0	100
1 1/2"	37,5	3,75	3,22	0,64	0,64	99,35
1"	25	2,5	5,4	1,08	1,73	98,27
3/4"	19	1,9	10,21	2,04	3,77	96,22
3/8"	9,5	0,95	35	7,01	10,78	89,22
1/4"	6,3	0,63	58	11,61	22,39	77,61
N°. 3-1/2	5,6	0,56	63,4	12,69	35,09	64,91
N° 4	4,75	0,475	89,9	18,00	53,09	46,91
N° 5	4	0,4	125,9	25,21	78,30	21,69
N° 6	3,35	0,335	82,4	16,50	94,80	5,19
N° 10	2	0,2	20,65	4,14	98,94	1,06
N° 16	1,18	0,118	4,1	0,82	99,76	0,24
	Fondo		1,2	0,24	100	0
	Muestra		499,38			

Se determina la abertura de la malla 1 mm a 2mm, para ello, se dispone de una malla metálica de acero inoxidable de 1 mm de abertura, de acuerdo al diseño, Figura 20.

Figura 20

Malla metálica y efecto coanda



El efecto coanda consiste en que el agua residual da curva al momento de desbordar en la malla, mientras los sólidos son retenidos y el agua pasa al fondo.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO Y TAMIZ ESTÁTICO

En este capítulo se hace mención a la construcción del prototipo flotante desplazable y el tamiz estático.

4.1. Construcción del prototipo flotante

El proceso de construcción del prototipo flotante desplazable y el tamiz, se realiza teniendo en cuenta los parámetros de diseño de la construcción de tanques Imhoff y el tamaño de sólidos flotantes retenidos en los tanques Imhoff 1 y 3.

Componentes del prototipo flotante

- 1) Electrobomba 0,85 HP
- 2) Dos flotadores
- 3) Soportes de la electrobomba
- 4) Recolector de sólidos
- 5) Estructura

Materiales

- Tubo de PVC de 12 pulgadas y 25 mm de espesor
- Tubo de PVC de 6 pulgadas y 25 mm de espesor.
- Tubo de PVC de 4 pulgadas y 3,3 mm espesor
- Planchas de PVC de 25 mm de espesor.

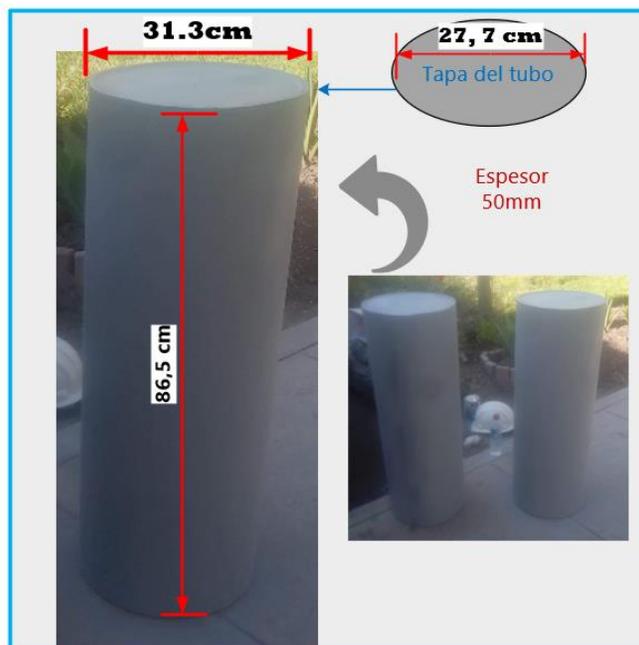
La construcción se realizó en el Taller Electromecánico Holger K. Hansen, un lugar adecuado para realizar distintos trabajos con herramientas disponibles y asesoramiento constante.

4.1.1. Flotador

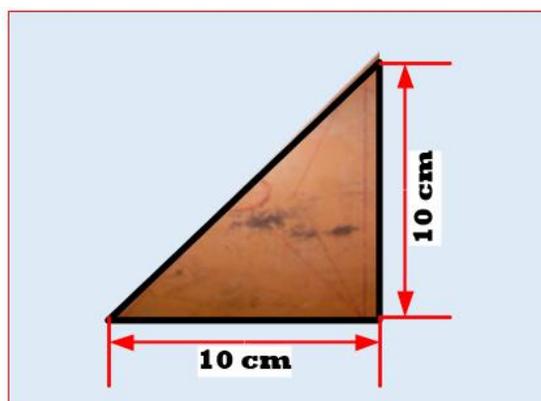
1. Se corta un Tubo de PVC con esmeril en dos partes iguales de 86,5 cm y de espesor 25 mm, luego se lija los lados cortados, los deformes y restos adheridos del mismo PVC.
2. Se corta 16 triángulos rectangulares de una plancha de PVC de 10 cm de altura y 10 cm de base de un espesor de 25 mm, luego se coloca al interior del tubo 4 triángulos a cada lateral, como se muestra en la Figura 21
3. Se marca 4 círculos de una plancha de PVC de diámetro 29,7 cm y de espesor 25 mm luego se corta los círculos para tapar los laterales del tubo dando forma al flotador.
4. Finalmente se sella a presión como se muestra en la Figura 21

Figura 21

Flotador de PVC

**Figura 22**

Soporte triangular de la tapa



En esta parte los soportes triangulares están fijados al interior del tubo soportando la tapa, luego se sella las tapas circulares al vacío. Finalmente se coloca el pitón de carro

a cada flotador, para suministrar el aire en caso sea necesario, para obtener mayor flotabilidad.

La prueba hidráulica del flotador se realizó en una piscina, para ver el volumen sumergido de cada flotador y las inconveniencias que pudieran presentar como se observa en la Figura 23.

Figura 23

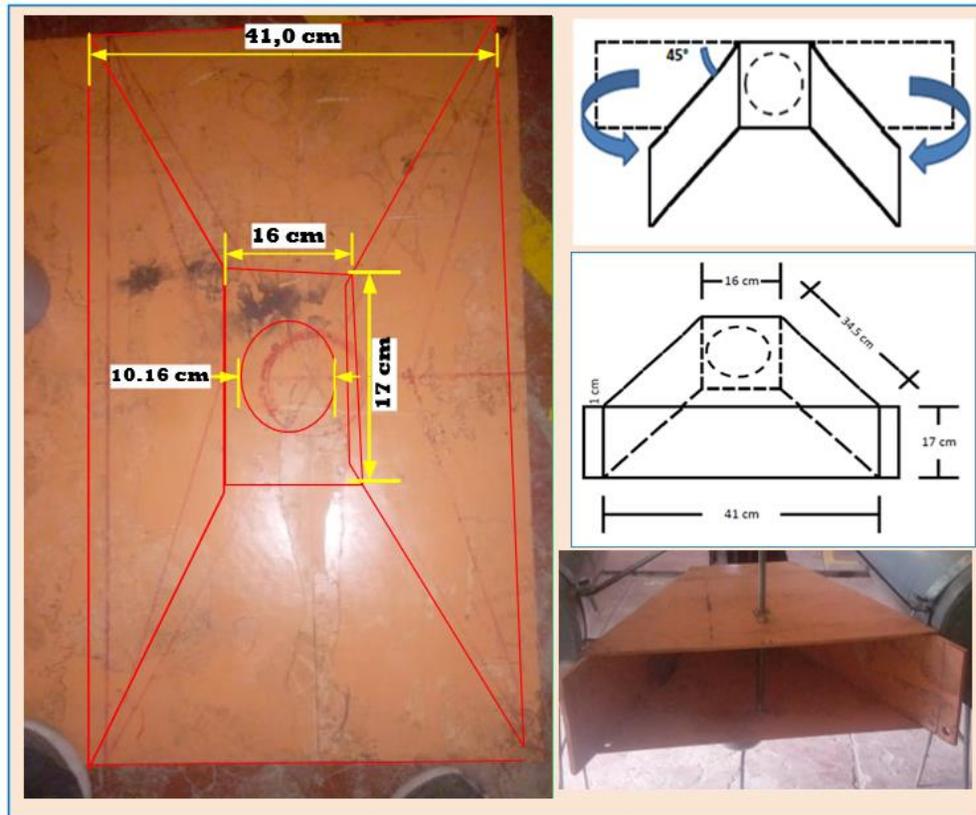
Pruebas hidráulicas del flotador de PVC



4.1.2. Recolector

Construido a partir de un tubo de PVC de 31 cm de diámetro, el cual una vez cortado por la mitad, fue convertido por calentamiento en una plancha de 25 mm de espesor. El recolector se construyó teniendo en cuenta el tamaño de los sólidos, el caudal y el diseño de los Tanques Imhoff.

1. Como primer paso, se plasma el diseño del recolector en la plancha de PVC.

Figura 24*Construcción del recolector de sólidos*

2. Como segundo paso, se dobla la plancha de PVC a un ángulo de 45° por calentamiento, como se observa en la Figura 25, de forma trapezoide y con un agujero al fondo, para acoplar el tubo de 4 pulgadas de PVC.
3. Como tercer paso, se dibuja y se corta los laterales en una plancha de PVC de 25 mm de espesor que se acopla como tapa por encima y por debajo, dando forma al recolector de sólidos.
4. Como último paso, se pegan las partes del recolector a presión dando forma al recolector como se observa en la Figura 25

Figura 25

Recolector de sólidos flotantes



4.1.3. Base de la electrobomba

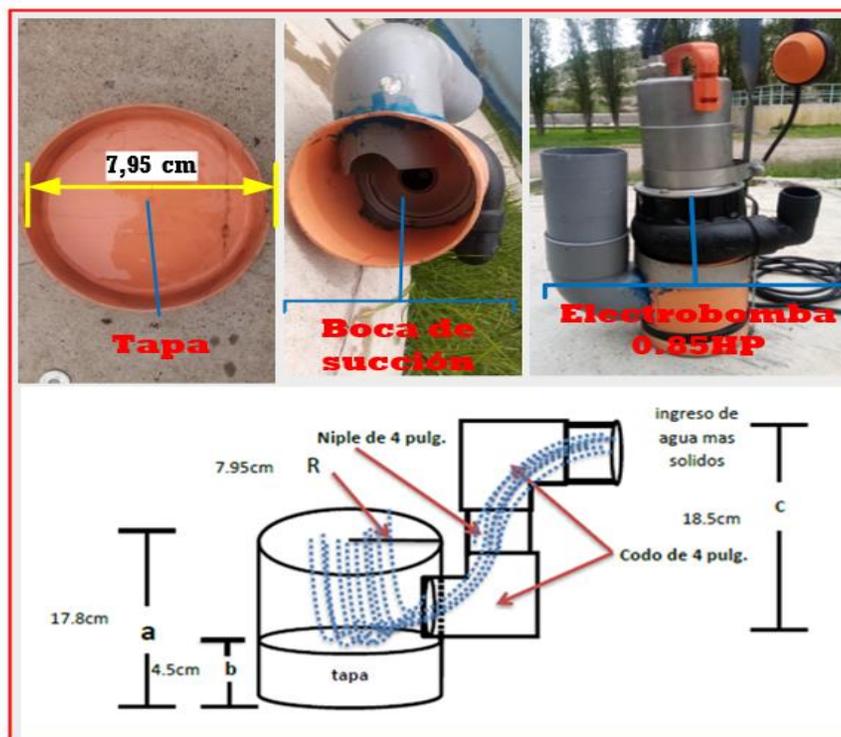
Se construye de un tubo de 6 pulgadas con una altura de 17,8 cm que coinciden con el diámetro interior y el exterior de la electrobomba.

Por otro lado, se prepara una tapa de PVC en caliente, para cerrar la otra parte del tubo de 6 pulgadas a presión, mientras la otra abertura va conectada a la parte succionadora de la electrobomba.

De la misma forma, se hace un agujero en uno de los laterales del tubo de 6 pulgadas, para unir el tubo de 4 pulgadas, dos codos y un niple de 18,5 cm de altura.

4.1.4. Electrobomba

Está hecho de material de acero inoxidable que va unido a presión a un tubo de 6 pulgadas, asegurado con lámina de acero inoxidable como se observa en la Figura 26. La base tiene la función de ser intermediario entre la electrobomba y el recolector de sólidos flotantes.

Figura 26*Ensamblaje de electrobomba***4.1.5. Unión de componentes del Prototipo flotante**

Consta de un flotador, recolector de sólidos, la base de electrobomba y electrobomba sumergible, asegurados en una estructura metálica de tres fierros cuadrados; dos de 80 cm ubicados en forma paralela y uno de 71,5 cm que une a los dos por el medio, como se observa en la Figura 27. Finalmente se realiza el corte, lijado, soldado y pintado de la estructura.

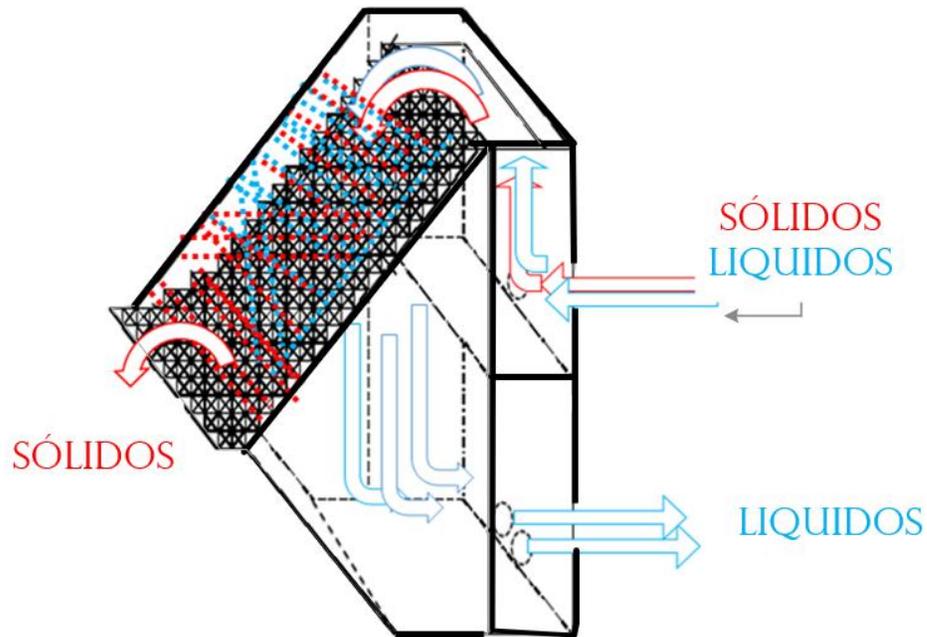
Figura 27*Prototipo flotante*

4.2. Construcción del tamiz estático

El tamiz estático es un equipo que no usa energía eléctrica, encargado de separar los sólidos del líquido, que son alimentados desde el tanque Imhoff por el prototipo flotante hacia al tamiz, el flujo se distribuye por rebose en todo el ancho de la malla, que posee una curvatura que permite al líquido pasar a través de las aberturas de la malla por gravedad hacia al fondo, mientras los sólidos retenidos caen a un recipiente por gravedad, como se observa en la Figura 28.

Caja de alimentación

Es la parte superior trasera del tamiz estático por donde se alimentan los sólidos flotantes a través de una manguera de 2 pulgadas.

Figura 28*Tamiz estático*

Para la construcción del tamiz estático se tiene en cuenta los siguientes pasos:

- 1) Se plasma las medidas del diseño en la plancha de hierro galvanizado de 1,20 x 2,40 m y 1,2 mm de espesor.
- 2) Se cortan las partes necesarias y los demás son doblados de acuerdo al diseño del tamiz estático.
- 3) Se sueldan y se pinta para protegerlo de la corrosión

Figura 29

Tamiz estático terminado



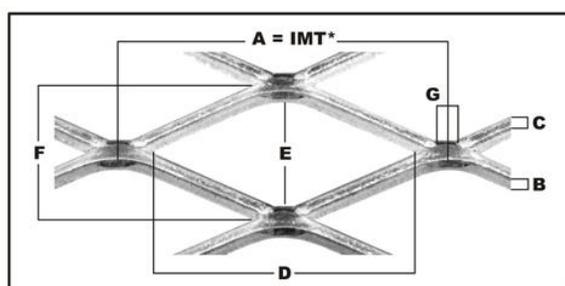
Pruebas hidráulicas del tamiz

Después de su construcción se realizan las pruebas hidráulicas vertiendo 40 litros de agua, para comprobar el adecuado soldado de las partes. Esta prueba tiene mucha importancia porque permite detectar fugas que afectarían la eficiencia del tamiz.

Malla metálica del tamiz estático, se seleccionó de acuerdo a los sólidos presentes en los tanques Imhoff, consta de una abertura de 1 mm como se muestra en la Tabla 12

Tabla 12

Malla metálica del tamiz



- A = IMT* (Número del troquel)
 Es la distancia en mm. entre centros de uniones.
 B = CALIBRE
 C = VENA
 D = DIAGONAL MAYOR
 E = DIAGONAL MENOR
 F = PROFUNDIDAD
 G = EXTENSIÓN DE UNIÓN

4.3. Electrobomba sumergible

Descripción

Electrobomba ZXM 1A/40 “*Pedrollo-The spring of life*”, construida de acero inoxidable, se caracterizan por alta drenaje de aguas claras con cuerpos sólidos en suspensión, aguas residuales y mixtas con fango que trabajan con 30% de sólidos.

Características:

kW: 0.60

HP: 0.85

Caudal: 25 – 400 L/min

Altura; max 11 m – min 1,5 m

Voltajes: 220 voltios

Tipo: aguas negras

Aplicaciones: doméstico, civil

Usos: drenaje, movimiento de agua sucia, (desague)

Familia: sumergibles

Cálculo de la potencia real de la electrobomba se encuentra en el anexo 3

CAPÍTULO V

PUESTA EN MARCHA Y EVALUACIÓN

Este capítulo trata de la puesta en marcha del prototipo flotante para la extracción de sólidos de la cámara de sedimentación y canal de ventilación de los tanques Imhoff 1 y 3, empleando un tamiz estático encargado de separar los sólidos del líquido.

5.1. PTAR de Totorá

En el diagrama de flujo de la Figura 30 se detalla el proceso de operación de la PTAR de Totorá. El circuito de tratamiento de aguas residuales inicia con el recorrido del afluente (A) desde las cámaras de rejillas, desarenador, cámara de distribución, tanques Imhoff, etc. hasta que finaliza con el vertido del efluente al río Alameda (P30).

Los tanques Imhoff están instalados y ubicados por pares en forma consecutiva, por otro lado, el tanque Imhoff 1 ha sido modificado ligeramente a RAFA sin dañar la estructura del diseño original de la construcción.

Figura 30

Diagrama de flujo de la PTAR (SEDA-2021)

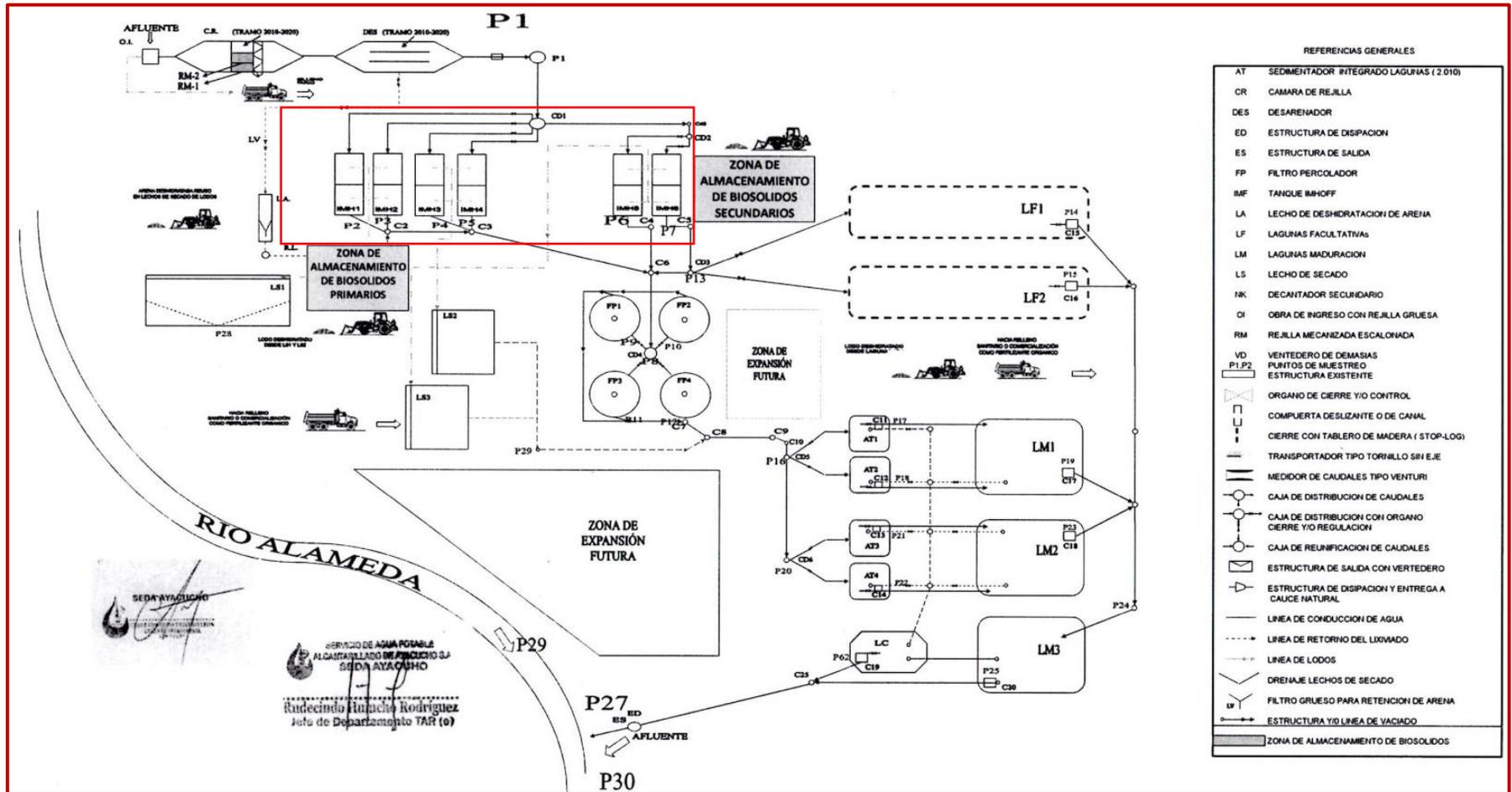


Figura 31

Diagrama de bloques de la PTAR de Totora

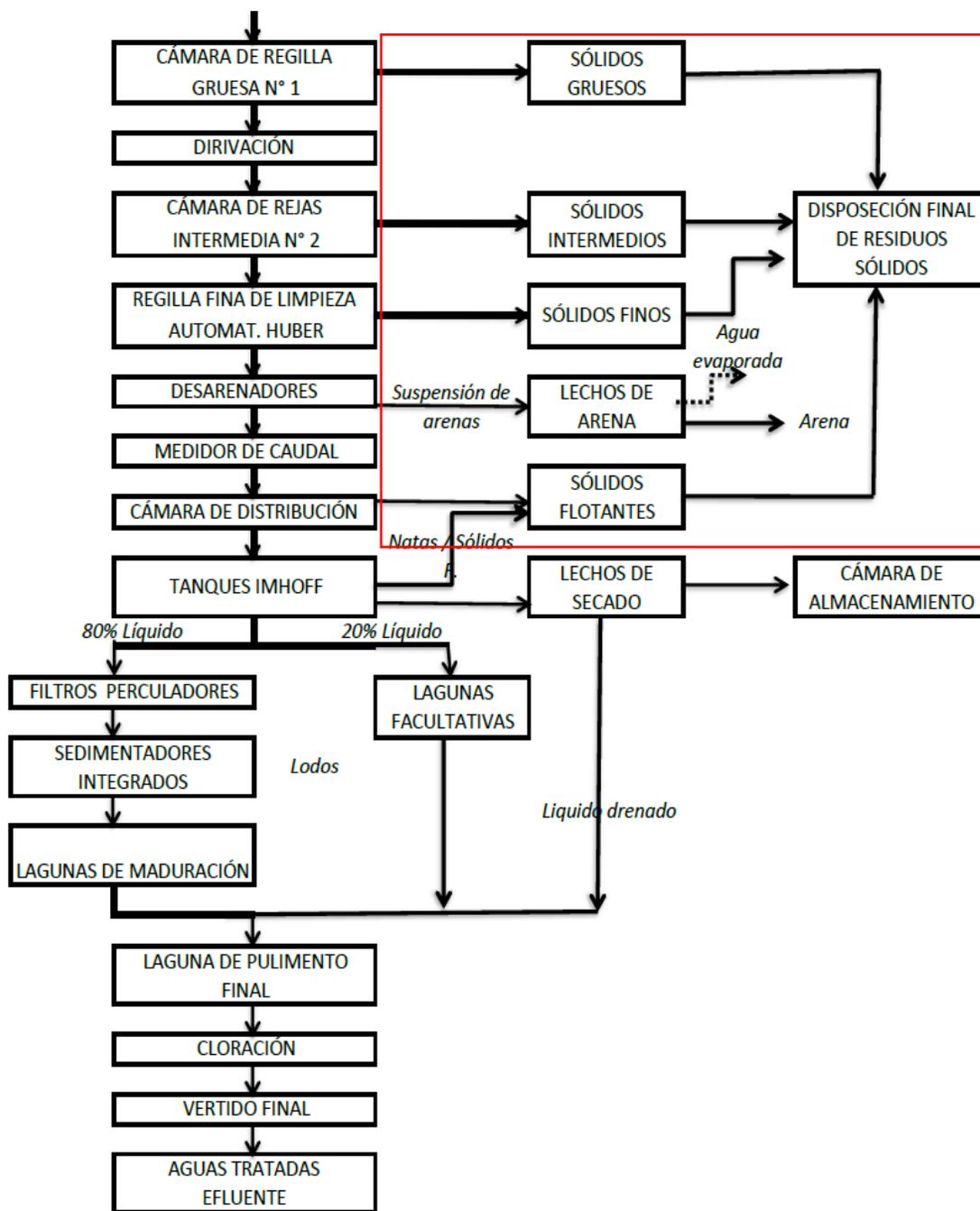


Tabla 13*Control de calidad de aguas residuales de la PTAR de Totorá*

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES de TOTORA																		
Mes: Enero - Febrero																		
Año: 2021																		
Ciudad: Ayacucho																		
punto de muestreo	hora	temp, [°C]	pH	Turb, [NTU]	cond, μS/cm	SAL %	Resi	O2	STD [mg/L]	hpa	% sat	S T susp, [mg/L]	S sed, [ml/L/2hora]	caudal [L/s]	Aceites y Grasas mg/L	DQO [mg/L]	DBO5 [mg/L]	C, termotoler, NMP/ 100ml
AFLUENTE	09:20	21,4	6,69	463	1111	0,55	900	0,43	549	748	6,7	230	8	353,6			420	2.80E+06
TANQUE IMHOFF 1 (RAFA)	11:35	21,1	7,14	99	914	0,45	1047	0,72	449	141	11,3	156	1				140	1.10E+05
TANQUE IMHOFF 2	08:50	19,7	6,9	211	876	0,43	1142	0,41	430	744	6,1	513	0				210	1.60E+07
TANQUE IMHOFF 3	08:54	19,5	7,35	265	1044	0,52	957	0,27	515	744	4,1	1569	1,2				205	2.40E+06
TANQUE IMHOFF 4	08:56	19,4	7,52	300	1115	0,55	897	0,2	550	744	2,1	1061	0,7				205	1.60E+07
TANQUE IMHOFF 5	09:05	19,4	7,51	182	901	0,44	1110	0,49	442	744	7,3	842	<0,1				205	1.60E+07
TANQUE IMHOFF 6	09:07	19,6	7,85	289	1053	0,52	949	0,24	519	744	2,6	809	1,9				200	1.60E+07
BIO FILTRO 1	12:58	20,6	7,62	120	1058	0,52	945	4,9	522	742	74,7	64	1,6					
BIO FILTRO 2	13:04	20,6	7,74	126	1049	0,52	953	4,18	517	742	64	63	3				180	
BIO FILTRO 3	13:06	20,4	7,8	89	1043	0,51	959	4,55	514	742	69,7	60	1,5				185	
BIO FILTRO 4	13:10	20,5	8,01	151	1030	0,51	971	4	507	742	61,2	64	2,5				180	
SEDIMENTADOR INT, LAGUNA1	10:30	19,4	7,8	72	792	0,39	1263	3,54	387	745	53		0,5				74	
SEDIMENTADOR INT, LAGUNA2	10:32	19,5	7,83	64	791	0,39	1264	4,47	387	745	66,9		2,5				78	
SEDIMENTADOR INT, LAGUNA3	10:34	19,5	7,71	86	791	0,39	1265	3,38	387	745	50,6		0,4				76	
SEDIMENTADOR INT, LAGUNA4	EN MANTENIMIENTO																	
LAGUNA FACULTATIVA 1	11:06	21,6	7,19	380	898	0,44	1114	0,15	441	742	2,4		3				122	
LAGUNA FACULTATIVA 2	11:12	21,7	7,4	374	901	0,43	1110	0,29	443	742	4,3		0				100	
LAGUNA DE MADURACION 1	11:20	23,2	7,24	69	991	0,49	1010	0,44	488	742	7,1		0				86	
LAGUNA DE MADURACION 2	11:22	23,5	7,66	76	955	0,47	1047	4,46	470	742	72		0,2				101	
LAGUNA DE MADURACION 3	11:40	24,3	7,59	113	944	0,46	1060	2,63	464	742	43		0				111	
LAGUNA DE CLORACION	11:50	22,7	7,61	135	950	0,48	1053	0,31	467	742	5		0,1				97	
SALIDA DE PL, TOTORA	10:20	19,6	7,94	79	827	0,4	1210	5,65	405	741	88,4	61	>0,1				76	1.70E+05
RIO ALAMEDA	10:23	20,1	7,85	93	1942	0,09	5015	6,79	92,3	741	105	39	>0,1				4	3.00E+03
Desp, Unión R, Alameda*	10:29	20	7,79	85	483	0,23	2070	6,16	234	741	95,6	43	0				42	3.00E+03
LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (LMP)		<35	6,5 - 8,5									150		20	200	100	1.00E+04	

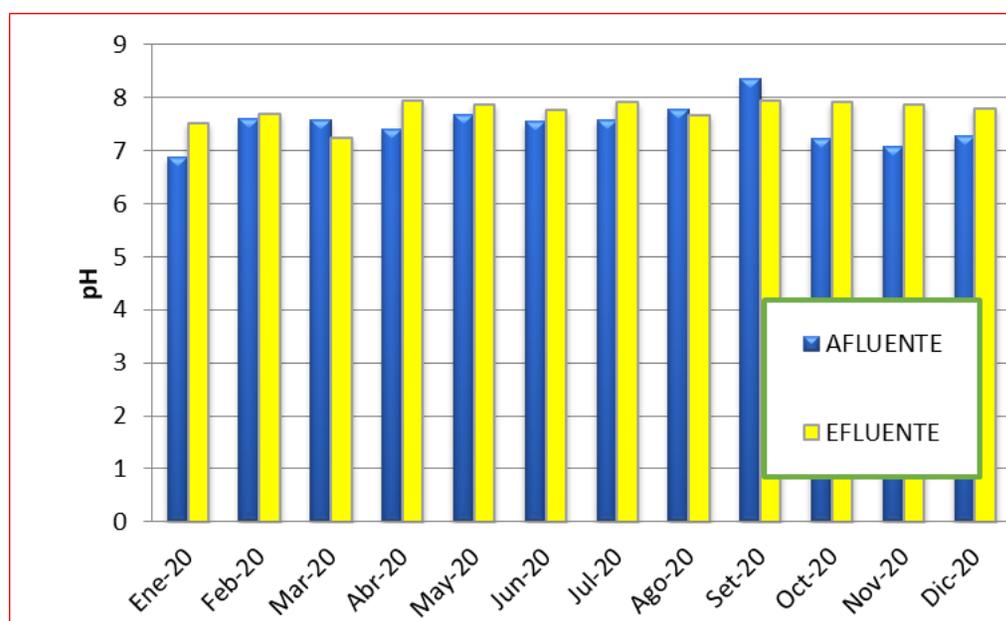
Nota Fuente: Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

5.1.1. pH

Es un parámetro importante que mide la acidez o basicidad del agua residual de la planta de Totorá, como se observa en la Figura 32, variación mensual de pH.

Figura 32

Variación promedio del pH mensual



Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

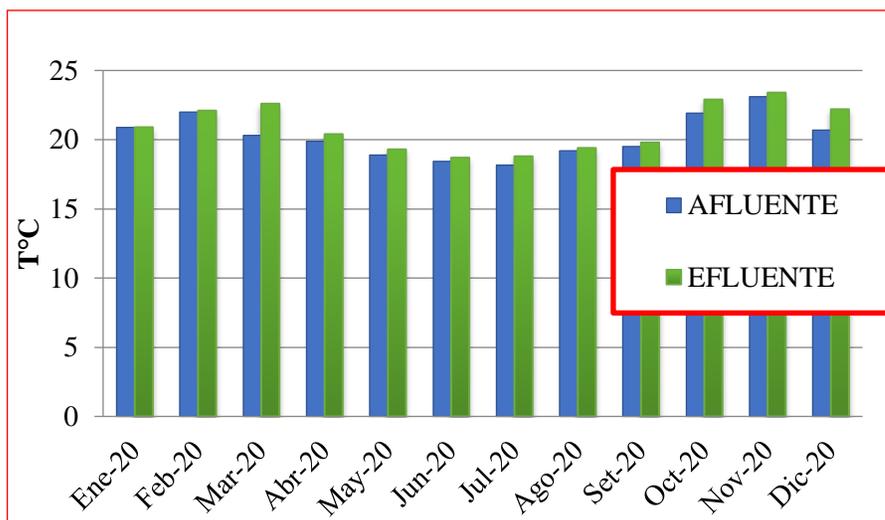
El pH promedio del afluente es 7,5 y del efluente 7,8 que corresponden al año 2020. Se observa que es levemente alcalino y se mantiene casi invariable en todas las operaciones dentro de los LMP, 6,5-8,5.

5.1.2. Temperatura

Es un parámetro importante de monitoreo del proceso de tratamiento de aguas residuales, consiste en medir la variación de temperatura en las distintas unidades de tratamiento.

Figura 33

Variaciones de temperatura de las aguas residuales



Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

Nota *Variaciones de temperatura promedio mensual de afluente y efluente de las aguas residuales de la PTAR de Tora del año 2020*

La temperatura promedio mensual del afluente es 20,25 °C y del efluente 20,87 °C. Esta variación es debida al calentamiento de los espejos de aguas residuales en las lagunas de oxidación.

5.1.3. Caudal del afluente de la PTAR Totorá

La medición de caudal se realiza manualmente en la estación de KAFAGUI, se mide la altura del agua residual y empleando la tabla de valores de caudal (L/s), se determina el caudal con la siguiente ecuación matemática.

$$Q = 0,03088407x(hx1000)^{1,5} + 0,00000287767x(1000 xh)^{2,5}$$

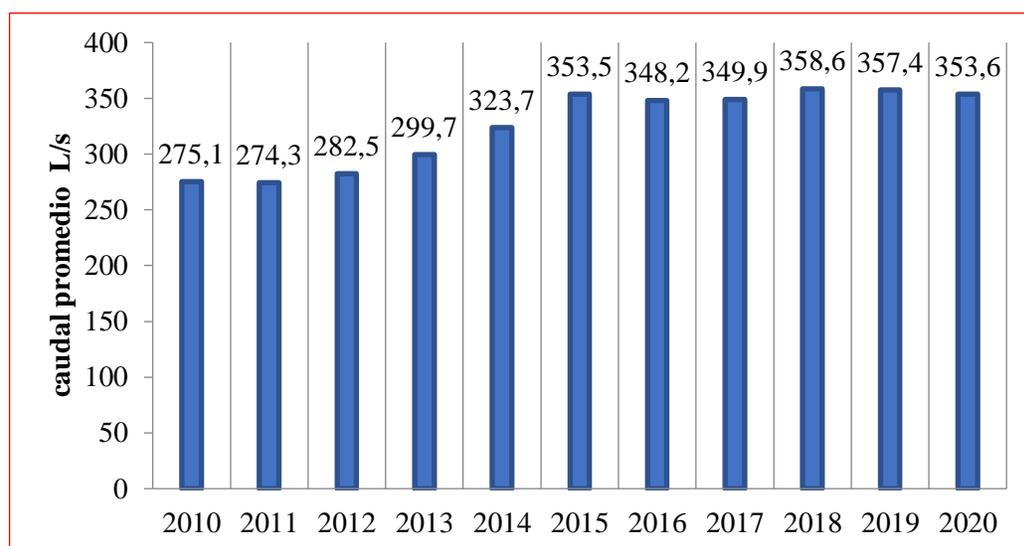
h: altura (m)

Q: caudal (L/s)

Para el año 2010 se tiene un promedio anual de 275,1 L/s de afluente de aguas residuales que ingresa a la planta y se observa un ligero incremento hasta el año 2015 de 353,5 L/s que se mantiene hasta el año 2020, como se observa en la Figura 34 y Figura 35

Figura 34

Variación de caudal anual del afluente PTAR Totorá



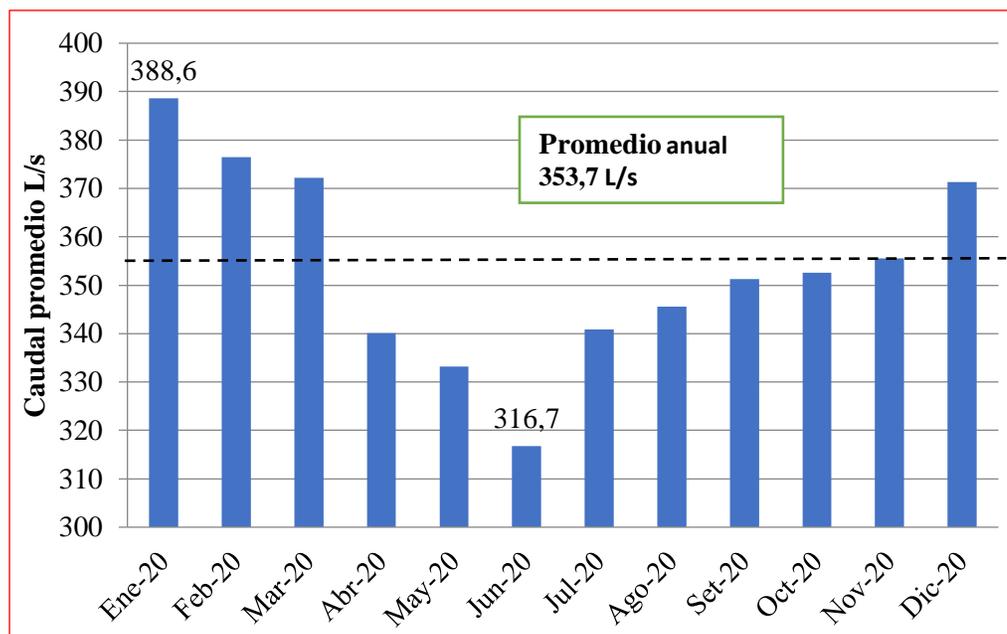
Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

En la gráfica se observa una ligera disminución del caudal entre el año 2019 a 2020, por la migración de estudiantes y familias completas de la ciudad de Ayacucho a provincias debido a la pandemia del SARS COVID – 19.

La evaluación mensual de la variación de caudal, en periodos de lluvias y diferentes estaciones del año 2020 se observa en la Figura 35, teniendo un promedio anual de 353.7 L/s.

Figura 35

Variación de caudal de aguas residuales



Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

Nota. Variación de caudal promedio mensual del afluente de PTAR de Totorá para el año 2020 proporcionado del laboratorio

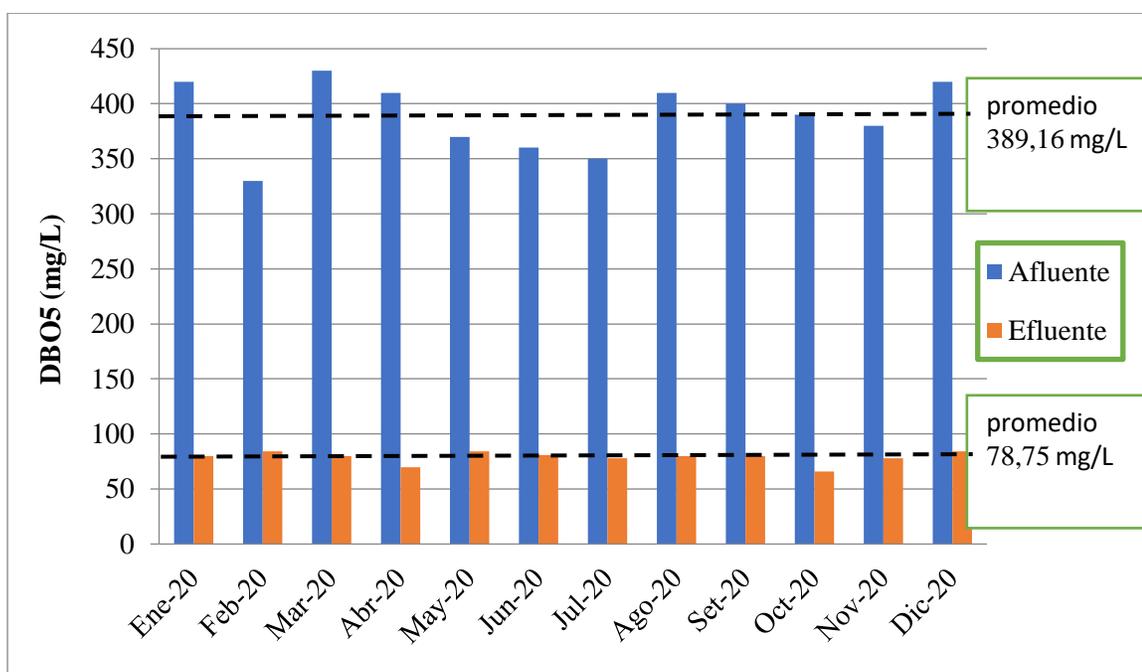
En la Figura 35 se observa un incremento gradual del caudal en el mes de diciembre, donde empieza la temporada de lluvia hasta marzo, el caudal más alto del mes de enero está en la temporada de lluvia, 388,6 L/s, el caudal más bajo se observa en el mes de junio-2020 con 316,7 L/s, cuando a nivel nacional se decretó la cuarentena por el COVID-19, cerrando sus puertas empresas, restaurantes e instituciones públicas y privadas.

5.1.4. Degradación de materia orgánica

Con respecto a la degradación de materia orgánica, las mediciones de la DBO₅ por parte del laboratorio, son reportados tanto del afluente y efluente de la planta.

Figura 36

Variación de la DBO₅ de aguas residuales PTAR de Totorá



Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

Nota. *Variación del DBO₅ de aguas residuales en el afluente y efluente del PTAR de Totorá, 2020 (SEDA, 2021)*

Las aguas servidas que ingresan a la PTAR tienen una concentración orgánica promedio de 389,16 mg/L de DBO₅, las aguas residuales fluyen en las diversas etapas de tratamiento disminuyendo la concentración orgánica a un valor promedio de 78,75 mg/L, a la salida de la planta.

5.2. Parámetros de tanques Imhoff

Los seis tanques Imhoff están operando de manera paralela y simultánea, mientras que el tanque Imhoff 1, tiene una ligera modificación a RAFA, sin alterar sus dimensiones de construcción, salvo en la alimentación de aguas residuales que tiene, una modificación ligera como se observa en la Figura 37.

Figura 37

Tanque Imhoff 1 modificado

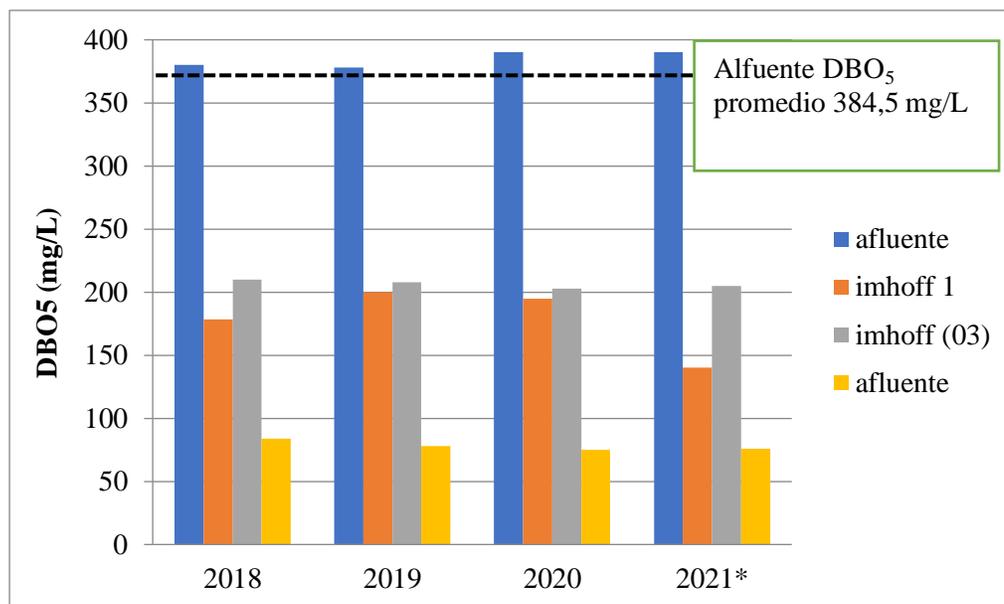


5.2.1. Biodegradación de materia orgánica

La medición de biodegradación de materia orgánica en el afluente, Imhoff 1, Imhoff 3 y efluente de la PTAR cuyos resultados se presentan en la Figura 38.

Figura 38

Variación de la DBO₅ del afluente de Imhoff 1



Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

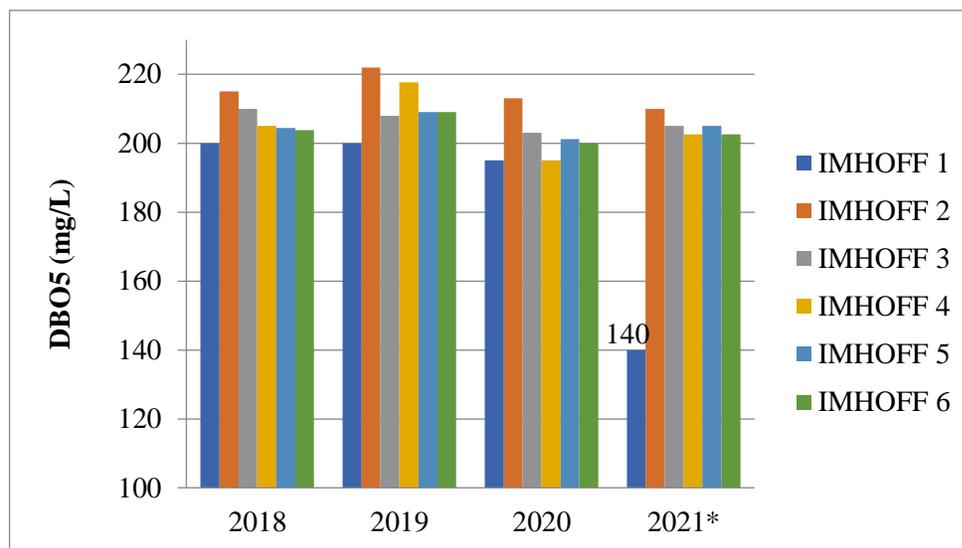
Nota. Variación de la DBO₅ de las aguas residuales de afluente, a la salida Imhoff 1 y efluente de la PTAR Totorá

La concentración de materia orgánica se observa en la figura 38. Actualmente la DBO₅ anual del afluente es de 384,5 mg/L, mientras que en la salida del Imhoff 1 es de 178,3 mg/L, a la salida de tanque Imhoff 3 de 206,5 mg/L, llegando a reducirse a nivel de la PTAR de Totorá, a 78,3 mg/L. Claramente, se observa una disminución de carga orgánica en las diferentes unidades de tratamiento.

*En el tanque Imhoff 1 hay mayor remoción de carga orgánica desde su modificación a RAFA.

5.2.2. Variación de la DBO₅

La variación de la DBO₅ en los tanques Imhoff se observa en la Figura 39.

Figura 39*Variación del DBO₅*

Fuente: PTAR de Totorá (SEDA 2021)

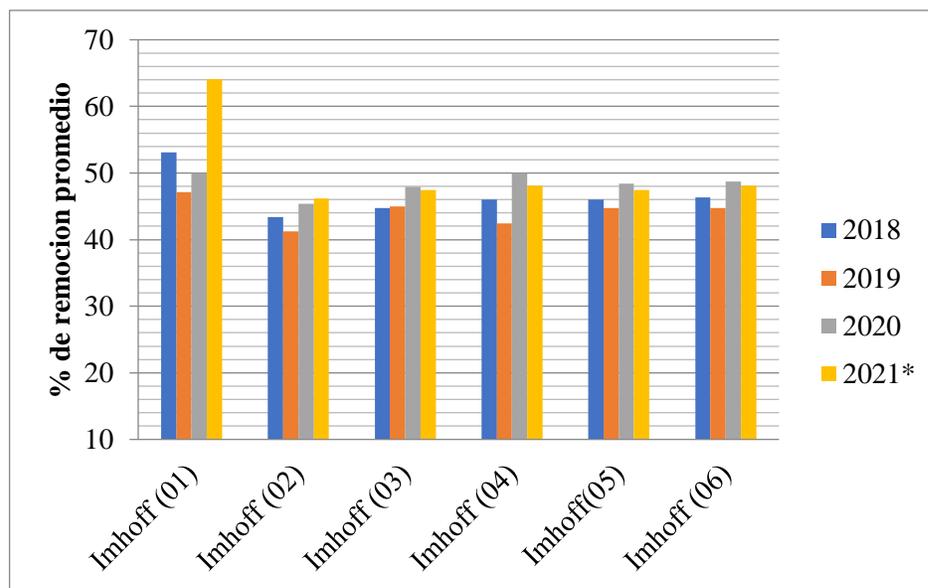
Se observa mínima variación de DBO₅ en los seis tanques Imhoff durante los 4 años de operatividad con un promedio de 202,3 mg/L como se observa en la Figura 39, mientras tanto, el año 2021* corresponde a los meses de enero, febrero y marzo donde se evalúa el tanque Imhoff 1 después de su modificación a RAFA, obteniendo un valor promedio de 140 mg/L de DBO₅.

5.2.3. Porcentaje de remoción de DBO₅

En esta parte, se evalúa la efectividad de operación de los seis tanques Imhoff con el propósito de diagnóstico de la biodegradación de materia orgánica, los resultados se observan en la Figura 40.

Figura 40

Porcentaje de remoción de DBO₅ tanque Imhoff



Fuente: PTAR de Totora (SEDA 2021)

Nota. Variación del % de remoción promedio anual de DBO₅ desarrollada por cada tanque Imhoff de la PTAR totora (seda Ayacucho)

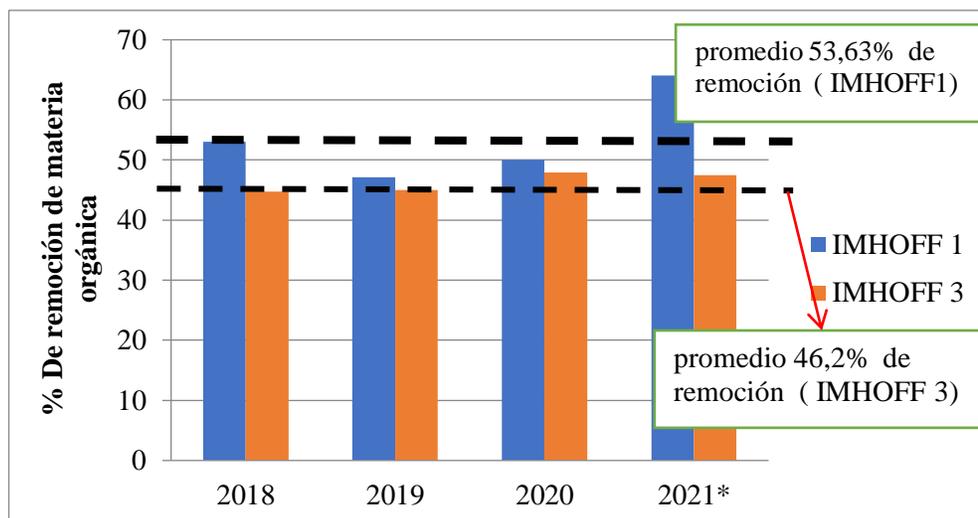
El porcentaje de remoción de materia orgánica en los seis tanques Imhoff es de 47,4% como promedio, valor mayor a lo propuesto (25%) en el diseño de remoción de cada Tanque Imhoff.

Porcentaje de remoción en los tanques Imhoff 1 y 3

De igual forma, se evalúa el porcentaje de remoción en el tanque Imhoff 1 y 3, realizado en el periodo 2019 a 2021, cuyos resultados se presentan en la Figura 41.

Figura 41

Porcentaje de remoción de DBO5 de Imhoff 1 y 3



Fuente: PTAR de Totorá (SEDA, 2021)

Considerando los cuatro años, comparamos los datos de porcentaje de remoción de DBO₅ en los tanques Imhoff 1 y 3, El resultado promedio en los cuatro años es 53,63%, para el tanque Imhoff 1 y 46,2% para el tanque Imhoff 3.

5.3. Sólidos flotantes a nivel de tanques Imhoff

Los seis tanques Imhoff se encuentran notablemente colmatados de natas, de la misma forma, los sólidos flotantes presentes en los canales de ventilación y cámaras de sedimentación interrumpen su normal operatividad disminuyendo el porcentaje de remoción. La evaluación se realiza en los canales de ventilación de los seis tanques Imhoff que se encuentran colmatadas de natas, como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Canal de ventilación con natas acumuladas y vegetaciones



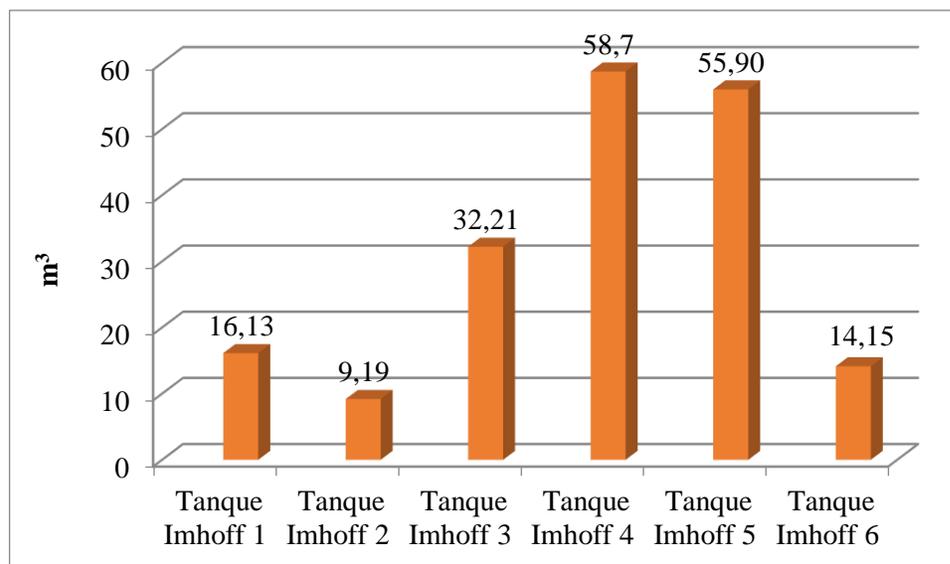
La evaluación se realizó los meses de enero, febrero, marzo y abril del año 2021, como resultado se encontró los seis tanques Imhoff colmatadas de natas y sobre ellas, vegetaciones en crecimiento como se observa en la Figura 42.

Se observa que no hay mantenimiento permanente, por lo tanto, el material flotante bloquea el paso de gases desprendidos en los tanques Imhoff. Para una eficiente operación de los tanques Imhoff, se requiere la remoción de materiales flotantes.

Actualmente, el volumen total de natas acumulados es de 186,36 m³ en los canales de ventilación de los seis tanques Imhoff, como se observa en la Figura 43.

Figura 43

Volumen de natas en canales de ventilación



Nota: Volumen de natas acumulados en los canales de ventilación de tanques Imhoff.

De la figura interpretamos, las natas acumuladas que se encuentran con mayor volumen están; 30% en Imhoff 5, 31% en Imhoff 4 y en el resto, un promedio de 10%.

Otra falencia que tiene la planta es que no registra el mantenimiento realizado por los operarios, por lo tanto, no se sabe con exactitud el tiempo de acumulación de las natas.

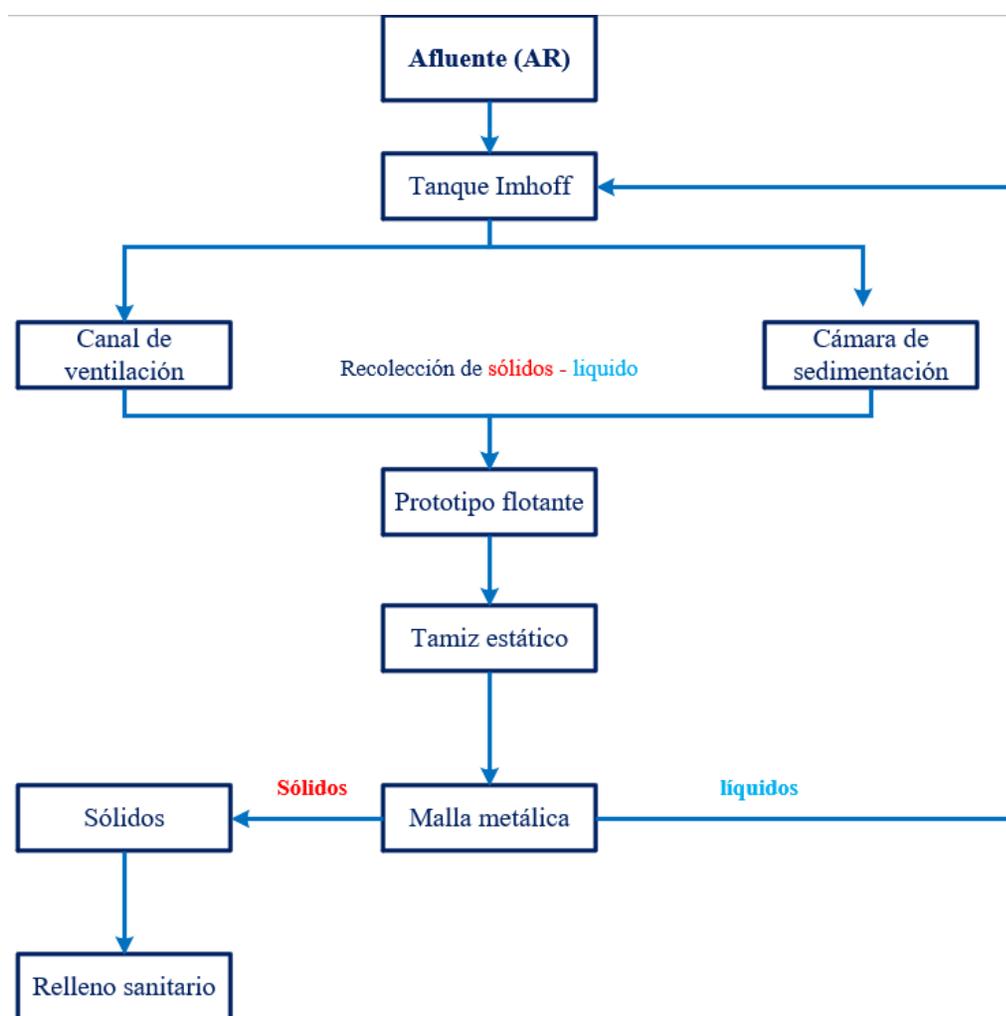
5.4. Puesta en marcha

En esta etapa se inicia la parte experimental sobre el estudio de remoción de sólidos flotantes con un medio flotante desplazable construido en el taller electromecánico Holger K. Hansen, Para empezar la evaluación se traslada el prototipo flotante desplazable y tamiz estático a la PTAR de Totora, luego se diagnostica el lugar de trabajo y se ajusta las instalaciones de manguera del prototipo flotante hacia el tamiz

estático, de la misma manera se realiza las conexiones eléctricas a la electrobomba sumergible y como último paso de mucha importancia se pone en marcha el prototipo flotante y el tamiz estático como se observa el proceso en la Figura 44.

Figura 44

Diagrama de remoción de sólidos flotantes de Tanque Imhoff 1 y 3



Descripción del funcionamiento

El prototipo flotante se colocó en la cámara de sedimentación y canal de ventilación donde hay la mayor cantidad de sólidos flotantes que son transportado a

través de una manguera de lona de 2 pulgadas hacia a la caja de recepción del tamiz estático donde disminuye la turbulencia dejando caer por rebose a la malla metálica de 1 mm de abertura donde los sólidos son separados del agua residual y el agua tamizada retorna a canal de ingreso de tanque Imhoff 3

5.4.1. Medición de caudal

Tabla 14

medición del caudal en la remoción de sólidos

número pruebas	Tiempo (s)	volumen (L)
1	2,89	18
2	3,14	20
3	3,28	20
4	3,42	20
5	3,28	20
promedio	3,202	19,6

Ecuación de caudal

$$Q = \frac{V}{T}$$

$$Q = \frac{19,6 L}{3,202} = 6,16 \frac{L}{s}$$

Determinación de número de Reynolds para ver el flujo al ingreso de aguas residuales más los sólidos que transporta desde recolector, manguera y a la salida a malla metálica del tamiz estático.

Ecuación de la velocidad:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Área

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

Ecuación de diametro mojado se cita en anexo 5

$$\frac{4A}{P}$$

Ecuación de Número de Reynolds

$$Ne = \frac{D \times v \times \rho}{\mu}$$

Verificamos la velocidad y Número de Reynolds del flujo que se alienta desde el prototipo hasta el tamiz estático.

Manguera de conducción:

Donde:

$$Q : 6,12 \frac{L}{s} = 6,12 \times 10^{-3} m^3/s$$

$$D : 0,0508 m$$

$$\rho : 998,23 kg/m^3$$

$$V = \frac{6,12 \times 10^3 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi}{4} (0,0508)^2} = 3,0 m/s$$

$$Re = \frac{0,0508 \text{ m} \times 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 998,23 \text{ kg/m}^3}{1,0105 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 1,5 \times 10^9$$

Tabla 15*Diametro de hidráulico*

sección de conducción	área	diametro		
		hidráulico	velocidad	Reynolds
Para caudal = $6,12 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	(m^2)	(m)	(m/s)	
cámara de sedimentación (4 m x 29,69m)	118,4	3,14	$5,17 \times 10^{-5}$	162,1
canal de ventilación (0,7 m x 13,43 m)	9,401	0,63	$6,51 \times 10^{-4}$	409,5
recolector (0,41 m x 0,15 m)	0,061	0,087	$9,95 \times 10^{-2}$	8605,5
tubo de 4 pulgadas	0,008	0,16	$7,56 \times 10^{-1}$	76655,6
manguera de 2 pulgadas	0,002	0,05	3,01	152933,6
tamiz estático (0,50 m x 0,30 x m)	0,15	0,5	$4,08 \times 10^{-2}$	20371,1

5.4.2. Remoción de sólidos con el prototipo flotante

En la cámara de sedimentación del tanque Imhoff 3 se colocó el prototipo sujetado con un cable para el monitoreo del desplazamiento.

El proceso de remoción se observa en la Figura 45, donde el prototipo se encuentra al flote en la cámara de sedimentación cumpliendo el objetivo de extraer los sólidos flotantes que son arrastrados hacia a la boca de succión e impulsado por la electrobomba mediante la manguera de lona o jebe que transporta a la caja de recepción del tamiz

estático, donde es vertido por rebose hacia a la malla metálica, donde se separan los sólidos del líquido.

El retorno del agua residual tamizada hacia el canal de ingreso del tanque Imhoff 3, se observa en la Figura 45

Figura 45

Proceso de extracción de sólidos flotantes



Nota: Proceso de extracción de sólidos con el prototipo flotante y tamiz estático en las unidades de tanques Imhoff 3

La escoba como se observa en la Figura 45 se usó para hacer la limpieza de malla metálica, donde se acumulan sarros, grasas y aceites durante la extracción de sólidos flotantes, que dificultan la separación de sólidos del líquido. Normalmente la limpieza se realiza cada 15 minutos de extracción, otro criterio también es eliminar con agua a presión disparando hacia a la malla metálica, que remueve los sarros acumulados.

Figura 46

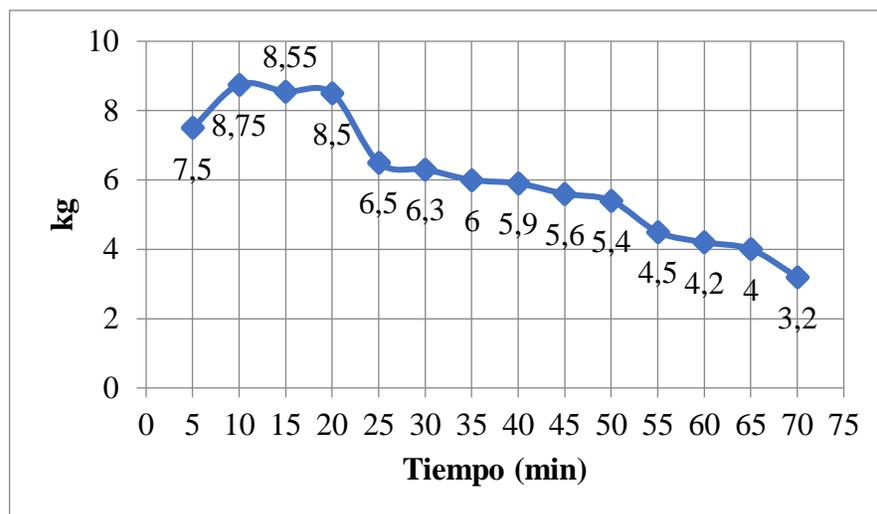
Retorno de agua residual tamizada a tanque Imhoff 3



La cantidad de sólidos flotantes extraídos se pesa cada 5 minutos, como se observa en la Figura 47, los primeros 5 minutos se extrajó 7,5 kg, a medida que va extrayendo disminuye la cantidad de sólidos en la cámara de sedimentación, en los últimos cinco minutos, quedan 3,7 Kg, indicándonos que el proceso de remoción ha finalizado.

Figura 47

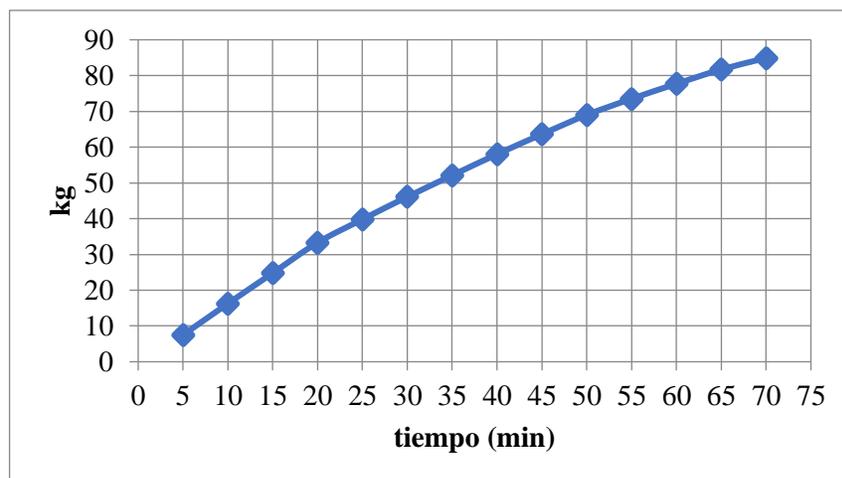
Remoción de sólidos flotantes de tanque Imhoff 3



En la figura, se observa que a los 5 minutos se remueve 7,5 kg de sólidos, mientras que en el minuto 25, la remoción disminuye a 6,5 kg indicándonos que los sólidos acumulados están siendo removidos cada vez más y son atrapados en la malla del tamiz. Los sólidos removidos son acumulados en un recipiente donde se pesan cada 5 minutos y por una hora, llegando a acumularse 84,9 kg.

Figura 48

Acumulación de sólidos en el colector java



Nota: *Acumulación de sólidos flotantes en la cámara de sedimentación del tanque Imhoff 3, extraído con el prototipo y separado por Tamiz estático*

Los sólidos removidos se acumulan en el recipiente java y cada cinco minutos se pesan, como se observa Figura 49

Figura 49

Remoción de sólidos de la cámara de sedimentación



5.4.3. Remoción de sólidos de tanque Imhoff 1

Prosiguiendo con la evaluación en el tanque Imhoff 1, específicamente en el canal de ventilación, se ve la cantidad de sólidos acumulados en el canal de 0,70 x 15 m, donde se instaló el prototipo flotante en un extremo del canal, encargado de extraer los sólidos a través de recolector e impulsado por la electrobomba hasta el tamiz estático, quien separa los sólidos como se observa en la Figura 50.

Figura 50

Remoción de sólidos de canal de ventilación

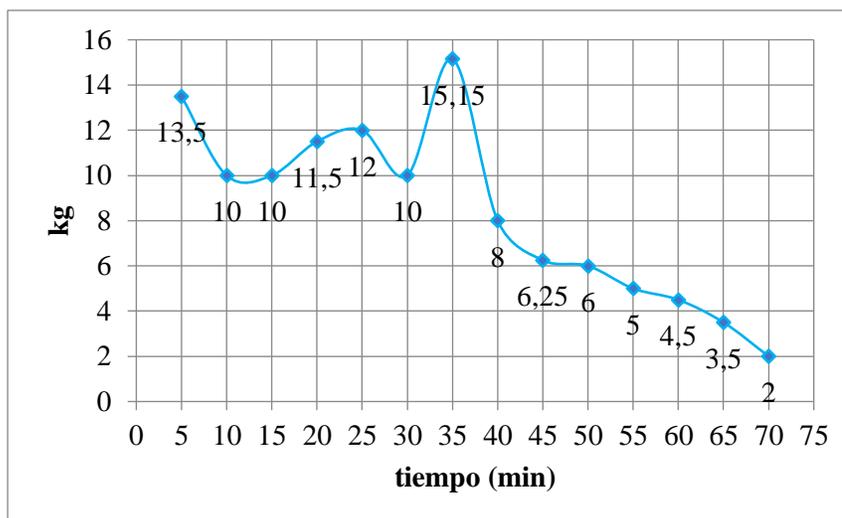


Nota: Extracción de sólidos flotantes del canal de ventilación de tanques Imhoff 1.

Al inicio se tiene mayor cantidad de sólidos flotantes que son removidos a medida que pasa el tiempo, hasta llegar a una cantidad de 2 kg. pasado un tiempo de 70 minutos, como se observa en la Figura 51.

Figura 51

Remoción de sólidos flotantes de canal de ventilación



Antes de la remoción, el canal de ventilación se encuentra colmatado de sólidos, a medida que se realiza la extracción con el prototipo, se observa al final que el canal de ventilación está libre de sólidos, como se observa en la Figura 52.

Figura 52

Extracción de sólidos flotantes del canal de ventilación de Imhoff 1

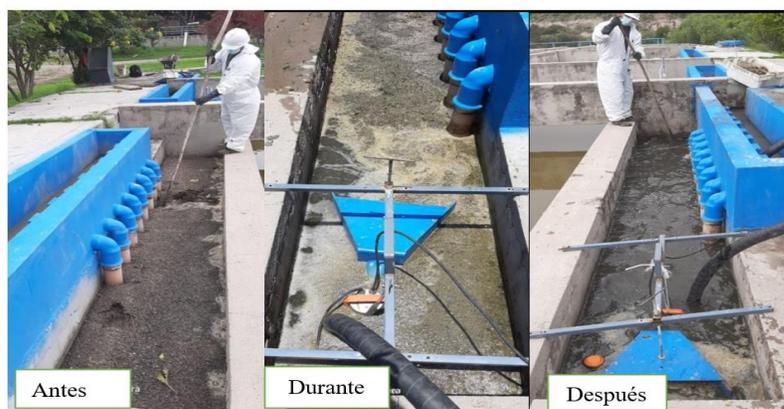
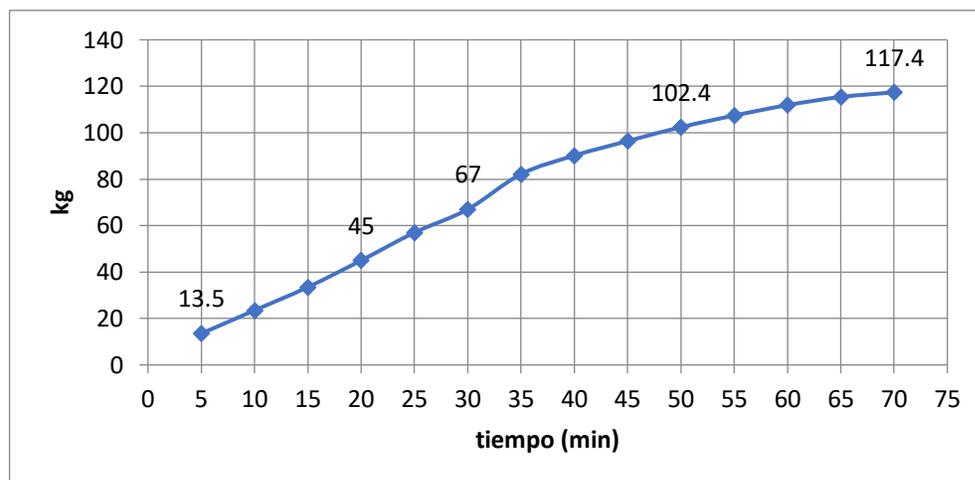


Figura 53

Acumulación de residuos sólidos en bandeja de java



Nota: *Acumulación de residuos sólidos extraídos del canal de ventilación del tanque Imhoff 1*

Durante una hora de extracción se llegó a acumular 117,4 kg de sólidos, como se observa en la Figura 52.

5.4.4. Separación de sólidos del agua residual por el tamiz estático

El agua residual se alimenta desde la cámara de sedimentación y canal de ventilación, luego es impulsada por la electrobomba a través de una manguera de lona hasta el tamiz estático, quien separa los sólidos del agua residual

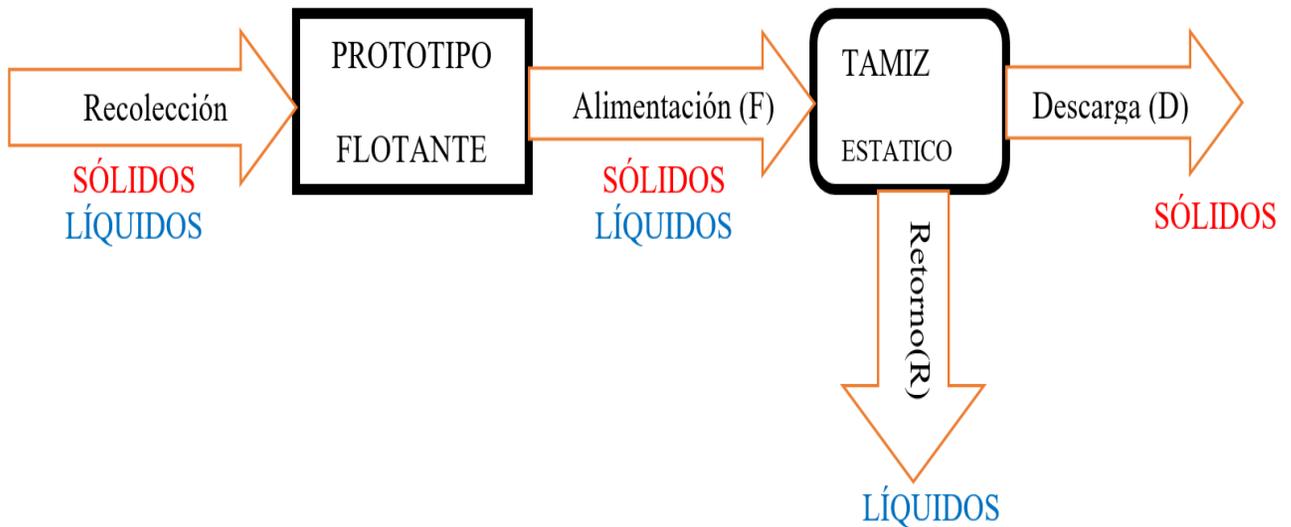
La medición del caudal se realiza en la alimentación y en el retorno del tamiz estático, usando un balde de 20 L, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16*Determinación de caudal promedio de alimentación y retorno*

Ensayo	Caudal	Caudal
	De alimentación (L/S)	de retorno (L/S)
1	6,12	5,72
2	6,12	5,73
3	6,13	5,71
4	6,12	5,75
5	6,11	5,71
Promedio	6,12	5,724

El proceso de remoción de sólidos se observa en la Figura 54, el prototipo flotante en el canal de ventilación alimenta el agua residual con contenido de sólidos hacia al tamiz estático, donde los sólidos son separados del agua residual.

Las características de la electrobomba y cálculo de potencia real se encuentran en anexo 3

Figura 54*Diagrama de remoción de sólidos***5.4.5. Balance de sólidos**

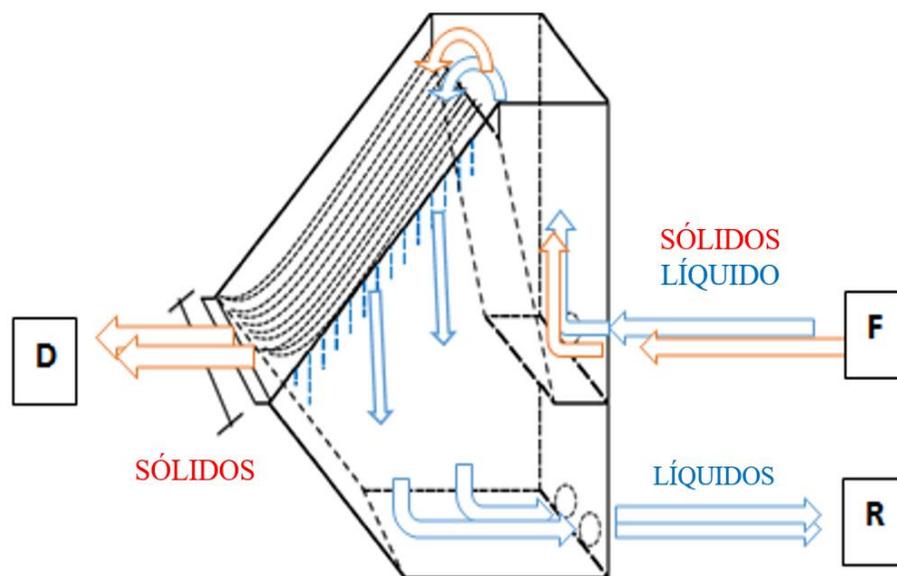
Es importante hacer el balance de sólidos al ingreso y salida del tamiz estático, como se observa en la Figura 55

Dónde:

1. Alimentación (INLET) al tamiz estático (F)
2. Descarga de sólidos (UNDERFLOW) del tamiz estático (D)
3. Retorno de aguas residuales (OVERFLOW) del tamiz estático (R)

Figura 55

Representación esquemática del balance de sólidos en el tamiz

**Tabla 17**

Determinación de flujo de sólidos en el agua residual

Pruebas	Alimentación	Retorno	Descarga
	(kg/L)	(kg/L)	(kg/s)
1	0,0065	0,0007	0,035
2	0,0063	0,0008	0,032
3	0,0065	0,0007	0,034
4	0,0065	0,0006	0,034
5	0,0062	0,0007	0,036
promedio	0,0064	0,0007	0,035

Balace de sólidos (flujo másico)

Alimentación : 0,039 kg/s

Retorno : 0,004 kg/s

Descarga: 0,035 kg/s (sólidos)

Figura 56 Para tener el resultado del flujo másico los sólidos se miden en la alimentación, en la descarga y el retorno por la diferencia de alimentación y descarga.

Ecuación 2*flujo másico*

$$\dot{m}_s = QC_x \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

 \dot{m}_s : Flujo másico (kg/s)

Q: Caudal (L/s)

 c_x : Concentración (kg/L)

Calculamos el concentrado de sólidos en (kg/L) del flujo másico que se obtiene en la malla del tamiz 0,035 kg/s

$$C_x = \frac{\dot{m}_s}{Q}$$

$$C_x = \frac{0,035 \text{ kg/s}}{0,40 \text{ L/s}} = 0,0875 \text{ kg/L}$$

El concentrado obtenido de sólidos en la descarga de la malla del tamiz estático es 0,875 kg/L

Tabla 18*Determinación de flujo másico de sólidos para cada caudal*

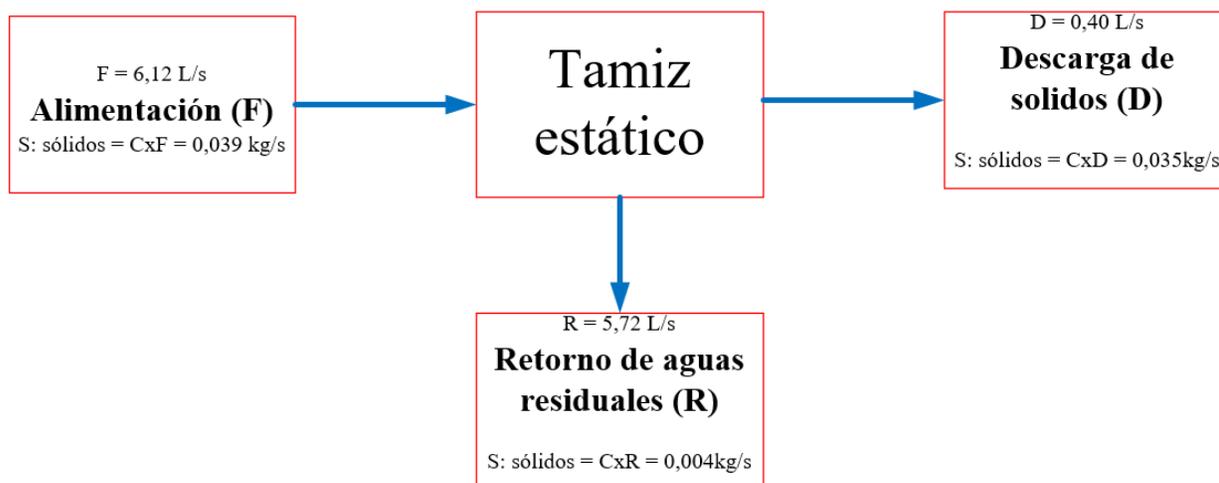
	Caudal	concentración	Flujo másico
	(L/s)	(kg/L)	(kg/s)
Alimentación	6,12	0,0064	0,039
Retorno	5,72	0,0007	0,004
Descarga	0,40	0,087	0,035

Balance de sólidos (flujo másico)

Alimentación : 0,039 kg/s

Retorno : 0,004 kg/s

Descarga: 0,035 kg/s (sólidos)

Figura 56*Balance de sólidos*

Ecuación 3

Balance de sólidos flotantes removidos

$$F_{cyF} = R_{CYR} + D_{CYD}$$

Dónde:

C_{YF} : Concentración de sólidos en la alimentación

C_{YR} : Concentración de sólidos en el retorno

C_{YD} : Concentración de sólidos en la descarga

Balance de sólidos en el tamiz

$$D_{CYD} = F_{cyF} - R_{CYR}$$

$$D_{CYD} = 0,039 \frac{\text{kg}}{\text{L}} - 0,0040 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 0,035 \text{ kg/S}$$

La eficiencia se determina en función de los sólidos alimentados y descargados en el tamiz estático.

EFICIENCIA DEL TAMIZ ESTÁTICO.

- De datos prácticos

$$E = \frac{\text{Flujo másico Underflow (descarga) (kg/s)}}{\text{Flujo másico alimentación (sólido total) (kg/s)}} \times 100$$

$$E = \frac{0,035\text{kg/s}}{0,039\text{kg/S}} \times 100$$

$$E = 89,7 \approx 90\%$$

5.4.6. Porcentaje de humedad

- Se pesa el papel =2,4881g
- Se coloca los sólidos húmedos obtenidos en el papel

- Se pesa como masa inicial en húmedo ($m_{\text{sólidos}} + \text{papel} = 4,9779\text{g}$)
- Se deja secar en estufa a una temperatura de 105°C por 24 horas
- Se pesa como masa final ($m_f + \text{papel} = 2,9337\text{g}$)

Los datos obtenidos

$$m_i = 2,4898$$

$$m_f = 0,4456$$

Reemplazamos en la fórmula

$$\%HUMEDAD = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

$$\%HUMEDAD = \left(\frac{2,4898 - 0,4456}{2,4898} \right) \times 100$$

$$HUMEDAD = 82,10\%$$

Densidad aparente de sólidos:

- Medidas de un recipiente

$$\checkmark H = 2,7 \text{ cm}$$

$$\checkmark A = 4,6 \text{ cm}$$

$$\checkmark L = 7,7 \text{ cm}$$

$$V = 95,62 \text{ cm}^3$$

- Peso del recipiente vacío = 4,1801g
- Peso de sólidos + recipiente = 55,8070g
- Peso de sólidos = 51,627 g

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (7)$$

$$\rho = \frac{51,627g}{95,62cm^3} = 0,5399 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$\rho_a = \frac{m}{V}$$

$$\rho_a = \frac{51,6269 \text{ g}}{95,634 \text{ cm}^3}$$

$$\rho_a = 0,539 \text{ g/cm}^3$$

El caudal aparente determinado de los sólidos extraídos es 0,539g/cm³

CAPÍTULO VI:

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo analizamos y discutimos los resultados obtenidos de la remoción de sólidos flotantes.

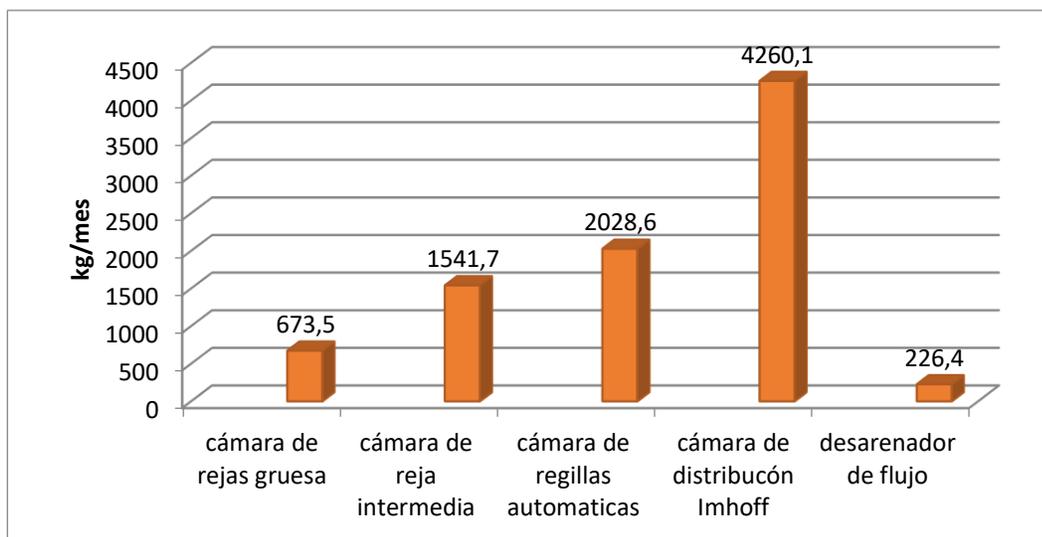
6.1. Diagnóstico de sólidos

6.1.1. Pretratamiento

Se realiza en las rejillas de desbaste, los sólidos están retenidos como basura compuestas de plásticos, botellas, tapas, waypes, animales muertos (ratas) y vísceras, residuos de cocina, toallas y tampones higiénicos, pañales, bolas de jabones, pelos, utensilios, juguetes, cubiertos, bisutería en general, grava, pilas y baterías, partes y piezas de equipos electrónicos, etc., como se observa en la Figura 57, sin embargo, algunos sólidos menores de 10 a 6 mm llegan a pasar a los tanques Imhoff, acumulándose en la cámara de sedimentación y canal de ventilación formando natas resacas con vegetaciones en crecimiento.

Figura 57

Acumulación de residuos sólidos en el pretratamiento



Nota: Acumulación de residuos sólidos en el pretratamiento de la PTAR de Totorá iniciando desde la recepción hasta la distribución a los tanques Imhoff

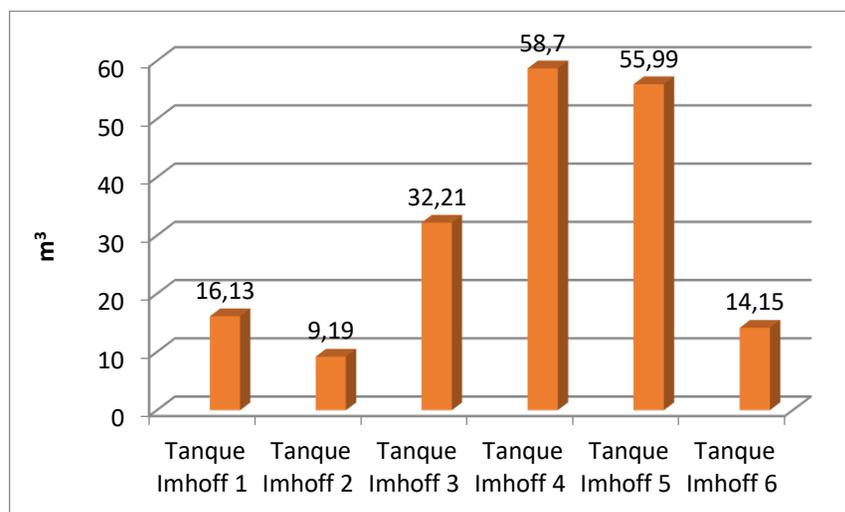
Realizado los cálculos, el 8 % de sólidos se acumulan en la cámara de reja gruesa, 18 % en la cámara de reja intermedia, 23 % en la cámara de rejilla automática, 49 % en la cámara de distribución de tanques Imhoff y 2 % en el desarenador. Este análisis es un indicador de la falta de cultura sanitaria de la población.

6.2. Diagnóstico de sólidos en Tanques Imhoff

En la Figura 58, se observa que el canal de ventilación se encuentra colmatado de natas formando tortas resacas con vegetaciones, esto refleja lo poco o nada de importancia del mantenimiento del canal. Esto genera una disminución de la eficiencia de operatividad del tanque Imhoff, lo que ha motivado la construcción del prototipo flotante desplazable para facilitar la remoción de los sólidos.

Figura 58*canal de ventilación*

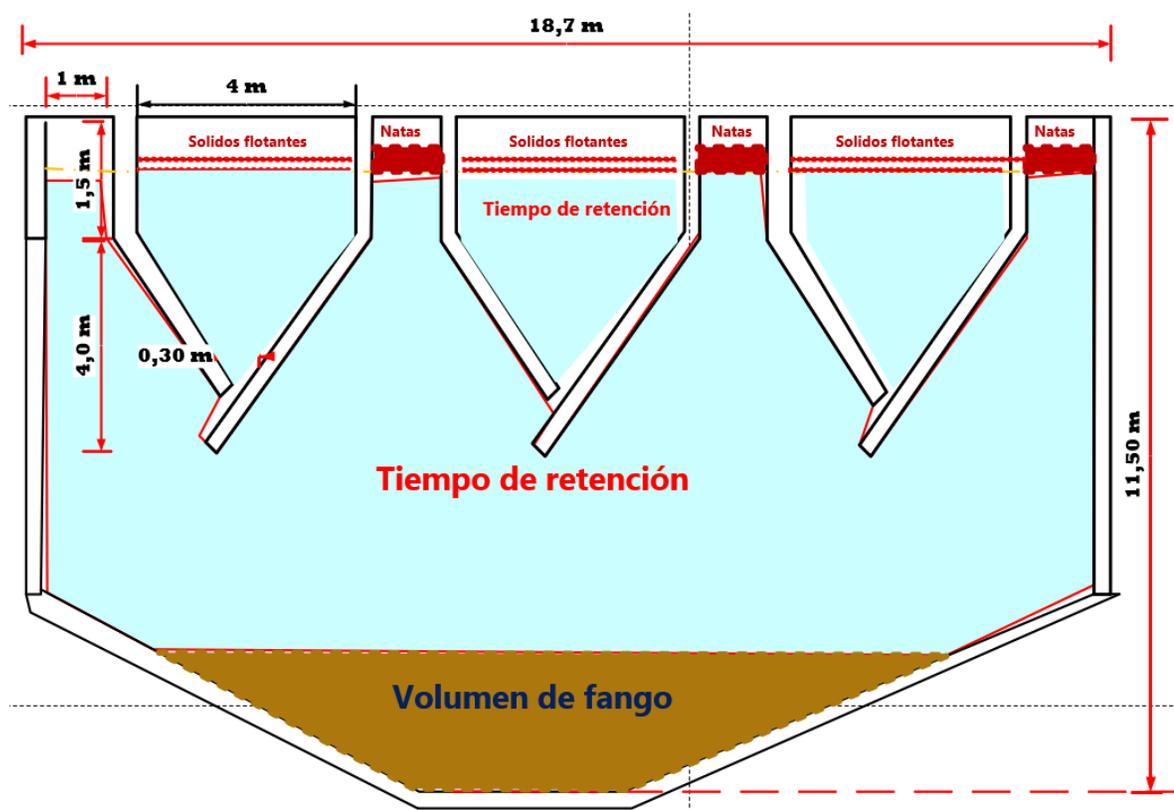
En la Figura 59, se observa el resultado de la medición de natas realizada en marzo del año 2021, donde el 9% de natas se encuentra en el Imhoff 1,5% en el Imhoff 2,17% en el Imhoff 3,31% en el Imhoff 4,31% en el Imhoff 5 y 8% en el Imhoff 6.

Figura 59*Volumen de natas en los seis tanques Imhoff*

El total de natas acumuladas en los seis tanques Imhoff es de $186,36 \text{ m}^3$ que, sin duda alguna, obstruyen el paso libre de los gases generados, como se observa en la Figura 60.

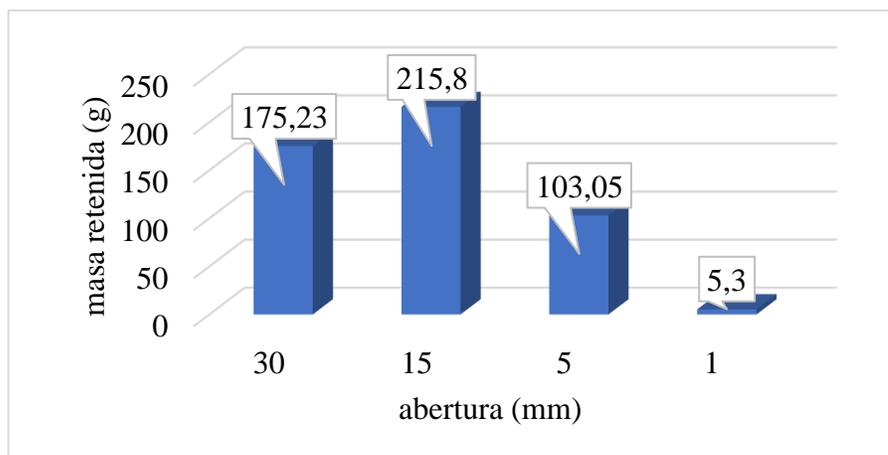
Figura 60

Canal de ventilación saturado de natas y vegetaciones



6.2.1. Tamaño de sólidos removidos

Se determinó el tamaño de sólidos removidos de una muestra de 494,08g como se observa en la Figura 61, donde el 35 % de los sólidos son retenidos en la malla de abertura 30 mm, 43 % en la malla de abertura de 15 mm, 21 % en la malla de abertura de 5 mm y 1% en la malla de abertura de 1 mm, por lo tanto, fue favorable poner la malla de 1 mm de abertura, que removió los sólidos con mayor facilidad.

Figura 61*Tamaño de sólidos removidos***6.2.2. Caracterización de los sólidos removidos**

Las características organolépticas de los sólidos extraídos de la cámara de sedimentación y canal de ventilación se incluyen en la Tabla 19.

Tabla 19*Características de los sólidos removidos*

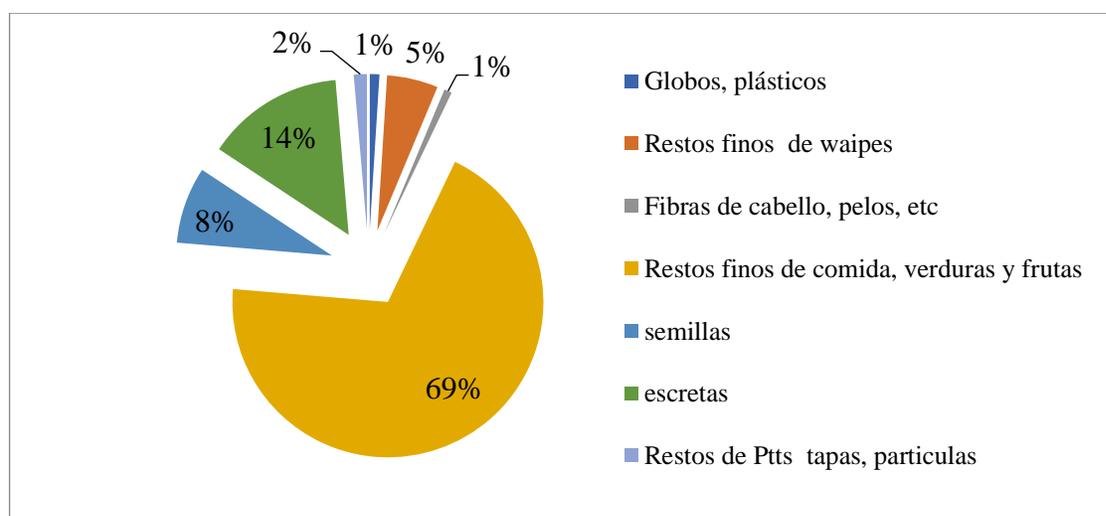
Sólidos	Características
Color	Gris
Olor	Fétido, nauseabundo
Forma	Amorfa
Textura	Duro - Blando
Apariencia	Granos deformes
Densidad aparente	0,539 g/mL
% Humedad	82,10%

6.2.3. Tipos de sólidos removidos

Una muestra de 752,7g de sólidos removidos del tanque Imhoff 3, secado a la temperatura ambiente es identificada, como se observa en la Figura 62

Figura 62

Tipos de sólidos flotantes removidos

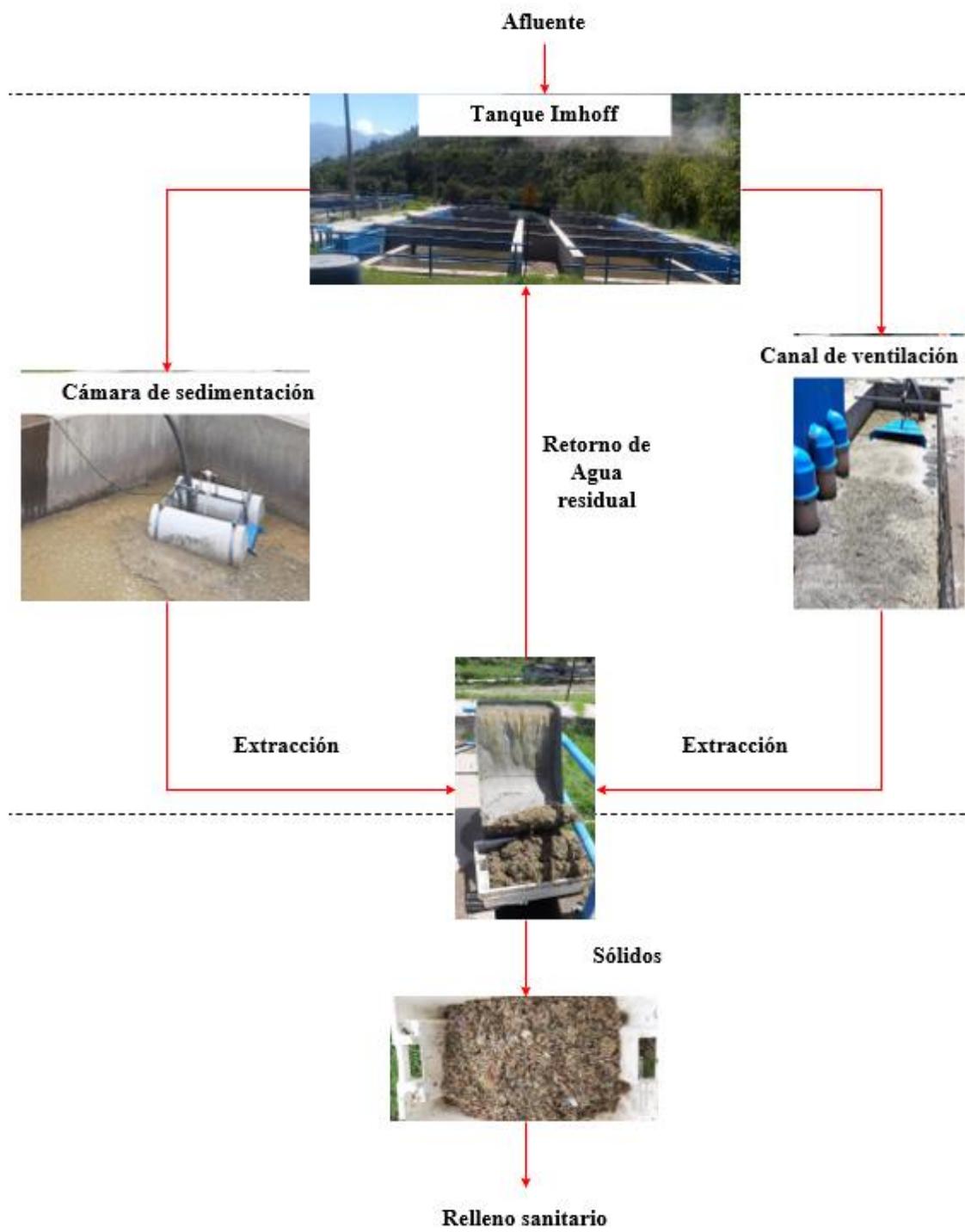


6.3. Remoción de sólidos con el prototipo flotante

El caudal con que ingresa el agua residual a los tanques Imhoff 1 y 3 es de 55 L/s y 60 L/s, respectivamente, con un tiempo de retención hidráulica de 1,0 y 1,5 horas. En la cámara de sedimentación y canal de ventilación de los tanques Imhoff, tuvo lugar la remoción de sólidos con el prototipo flotante hacia el tamiz quien separa los sólidos del agua residual. El agua residual es retornada al ingreso del canal de tanques Imhoff y los sólidos son recolectados en un recipiente java, posteriormente destinados al relleno sanitario de la planta de tratamiento de aguas residuales de Totorá, el diagrama del proceso se observa en la Figura 63 y anexo 7.

Figura 63

Diagrama de extracción de sólidos flotantes.



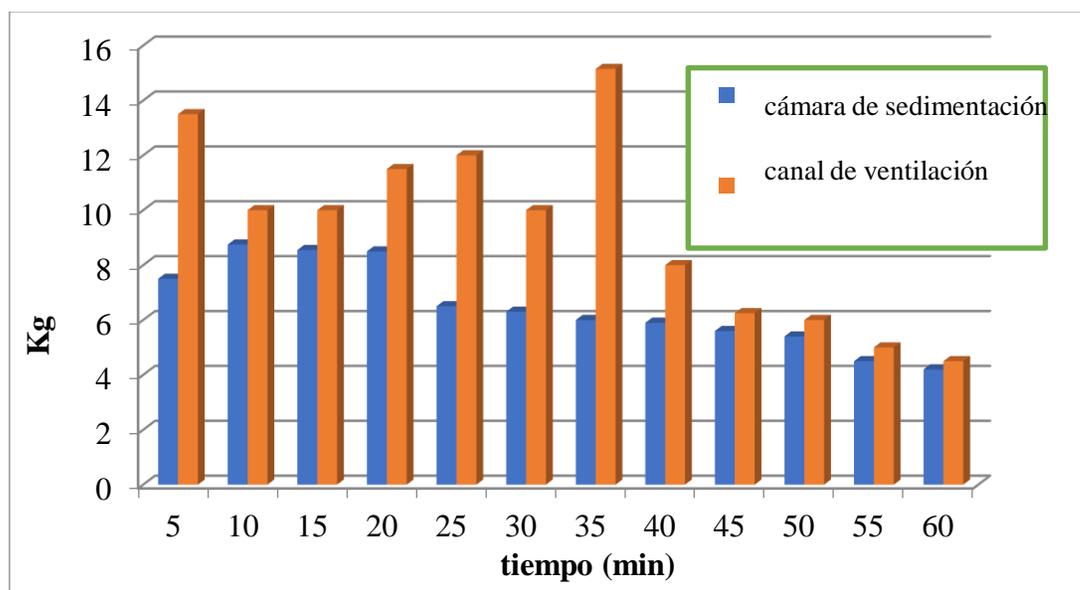
Dimensiones globales del prototipo flotante

- Ancho: 86,5 cm
- Largo: 80,5 cm
- Altura: 90 cm
- Peso: 40,0 kg
- Altura de extracción 3 m

La remoción de sólidos flotantes se realizó en las unidades de tanques Imhoff 1 y 3, como se observa en la Figura 64. La mayor cantidad de sólidos se llegó extraer del canal de ventilación, 117.4 kg en una hora y de la cámara de sedimentación, 84.9 kg en una hora, respectivamente.

Figura 64

Remoción de sólidos con el prototipo



Nota: Remoción de sólidos flotantes y natas de tanques Imhoff de la PTAR de Totorá

6.4. Cuantificación de sólidos

6.4.1. Cámara de sedimentación

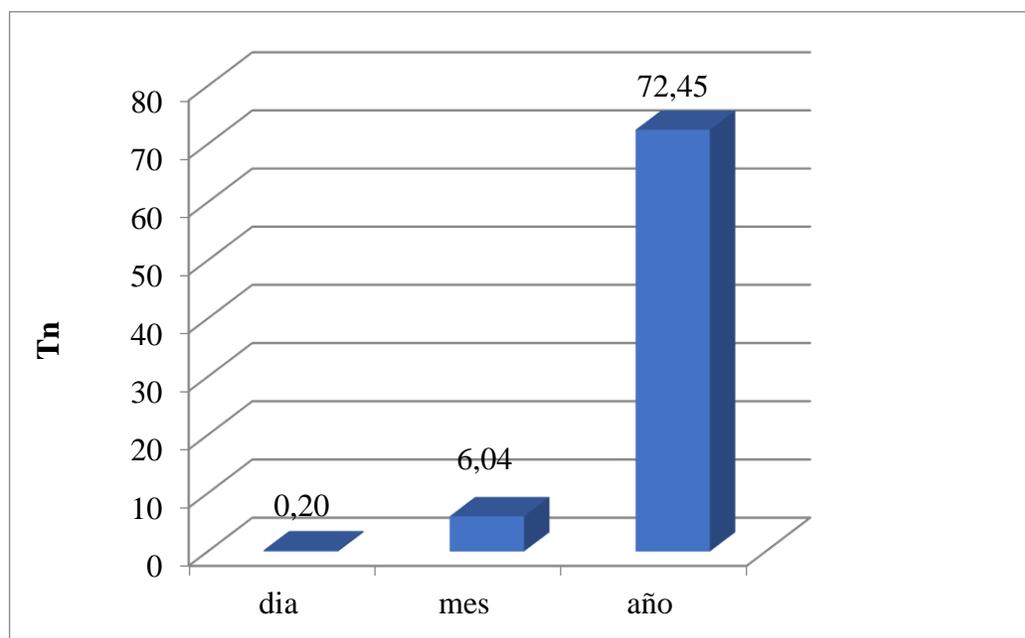
Se determinó el área de la cámara de sedimentación de los seis tanques Imhoff para cuantificar la cantidad de sólidos flotantes.

- Área de cámara de sedimentación de 2 tanques Imhoff antiguos: 236,8 m²
- Área de cámara de sedimentación de 4 tanques Imhoff nuevos: 1464 m²
- Área total de cámara de sedimentación = 1700,8 m²

En la cámara de sedimentación de los seis tanques Imhoff se acumularon 72,45 tn/año de sólidos flotantes, como se observa en la Figura 65 y nexo 01.

Figura 65

Acumulación de sólidos en la cámara de sedimentación



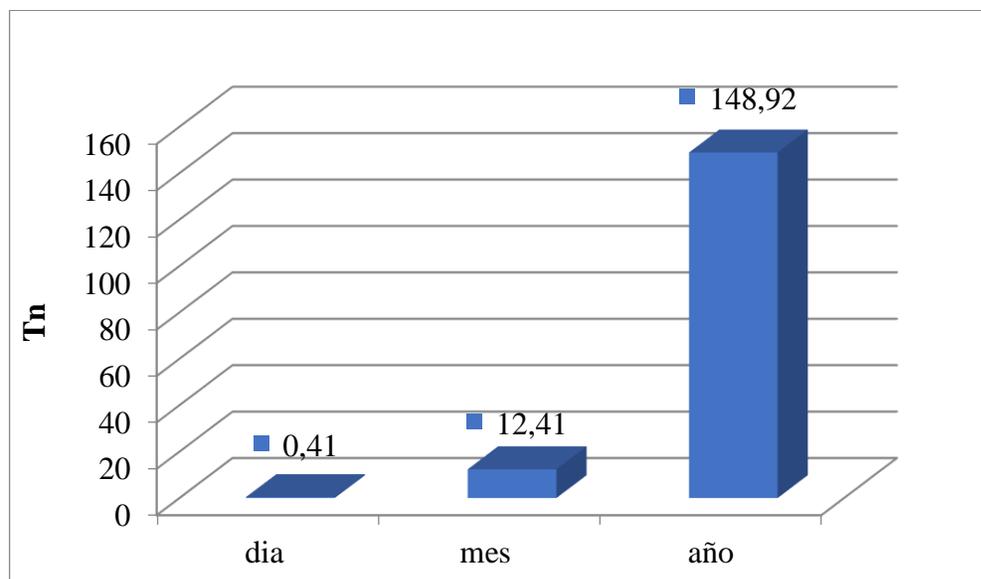
Nota Acumulación de sólidos flotantes en cámara de sedimentación de los 6 tanques Imhoff.

6.4.2. Canal de ventilación

El área que corresponden a los seis tanques Imhoff es de 556,64 m², los dos tanques antiguos con un área de 75,04 m² y los cuatro tanques nuevos, con un área de 481,6 m², respectivamente. Como se observa en la Figura 66, al año se remueven 148,92 toneladas de sólidos.

Figura 66

Acumulación de sólidos en canal de ventilación

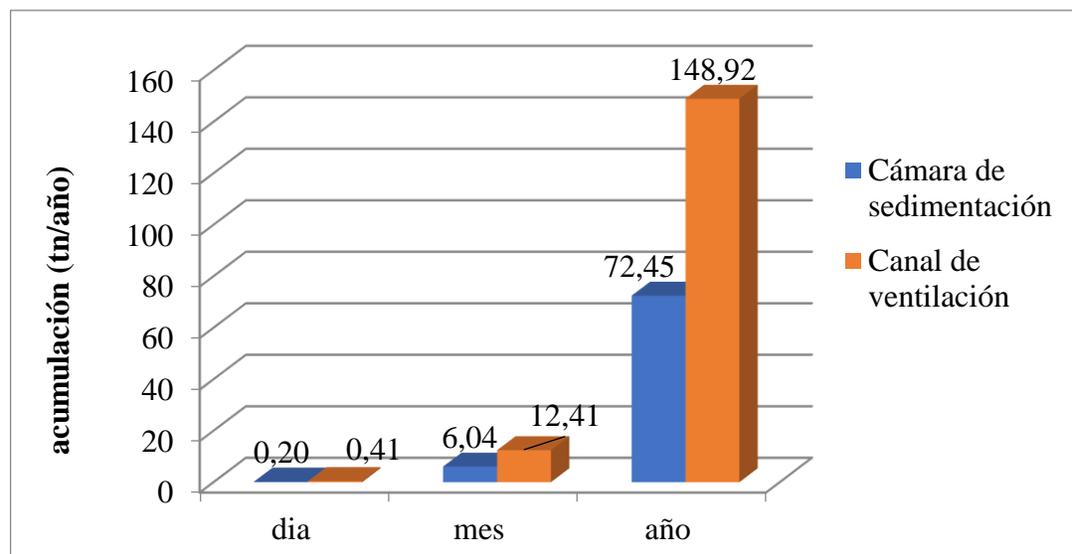


6.4.3. Sólidos totales

En la PTAR de Totorá se observa con claridad la acumulación de sólidos flotantes en las cámaras de sedimentación y canales de ventilación de los 6 tanques, pudiendo alcanzar un total de 221,37 tn/año de sólidos flotantes acumulados en la superficie del agua residual, como se observa en la Figura 67.

Figura 67

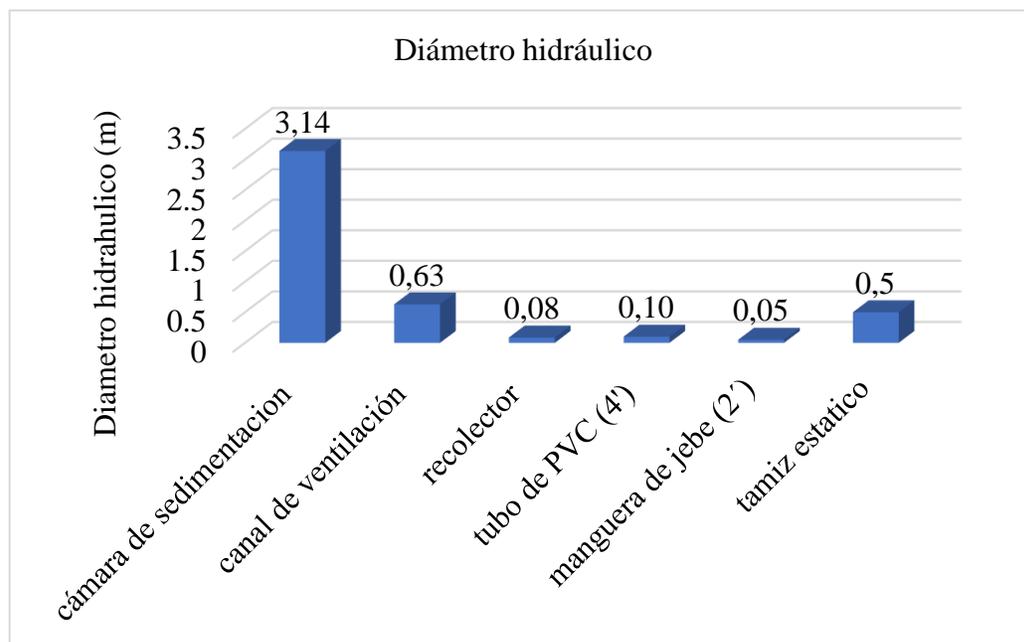
Acumulación de sólidos flotantes por año



En los 6 tanques Imhoff, el 67% de sólidos se acumulan en el canal de ventilación y 33% en la cámara de sedimentación.

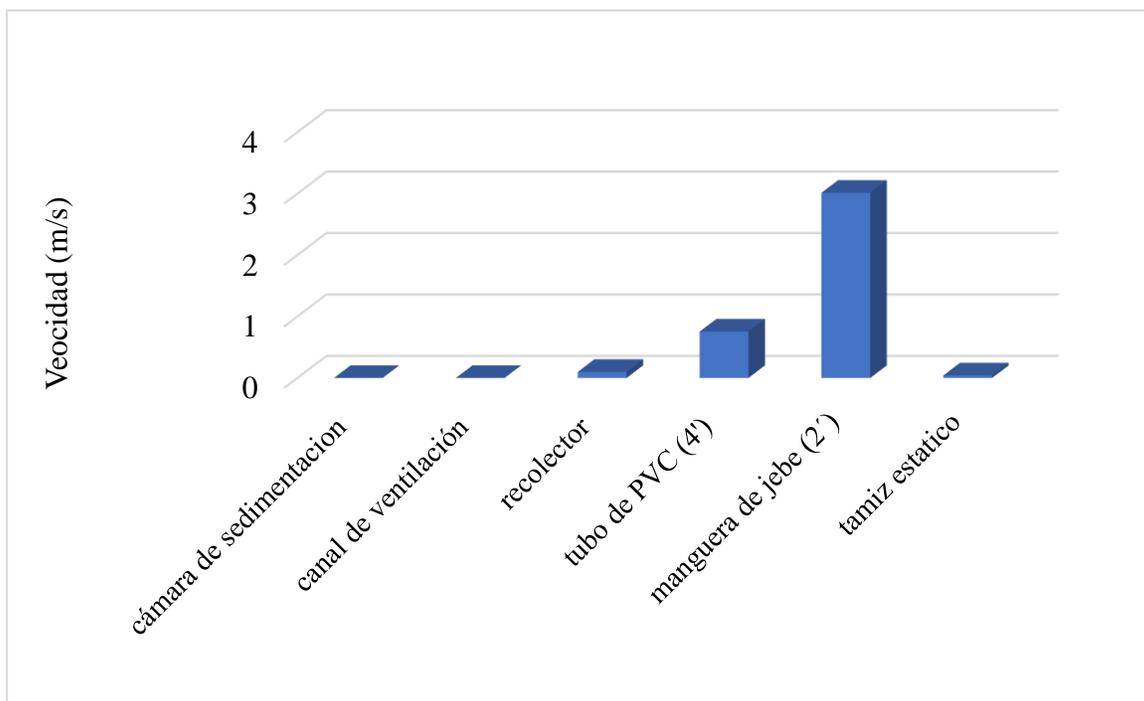
6.4.4. Diámetro hidráulico

Se calcula para los canales abiertos, pero para las tuberías es el diámetro interior. La cámara de sedimentación tiene 3,14 m de diámetro hidráulico, canal de ventilación 0,36 m, boca del recolector 0,087 m, tubo de PVC de 4 pulgadas 0,10 m, manguera de jebe 0,508 m y a la salida de malla del tamiz estático 0,5 m, como se muestra en la Figura 68 y se calcula con tabla de geometría transversal citado en el Anexo 6.

Figura 68*Diámetro Hidráulico*

6.4.5. Velocidad de flujo

Se sabe que la velocidad es inversamente proporcional al diámetro, cuando el diámetro hidráulico es mayor, la velocidad es menor, como se observa en la Figura 69

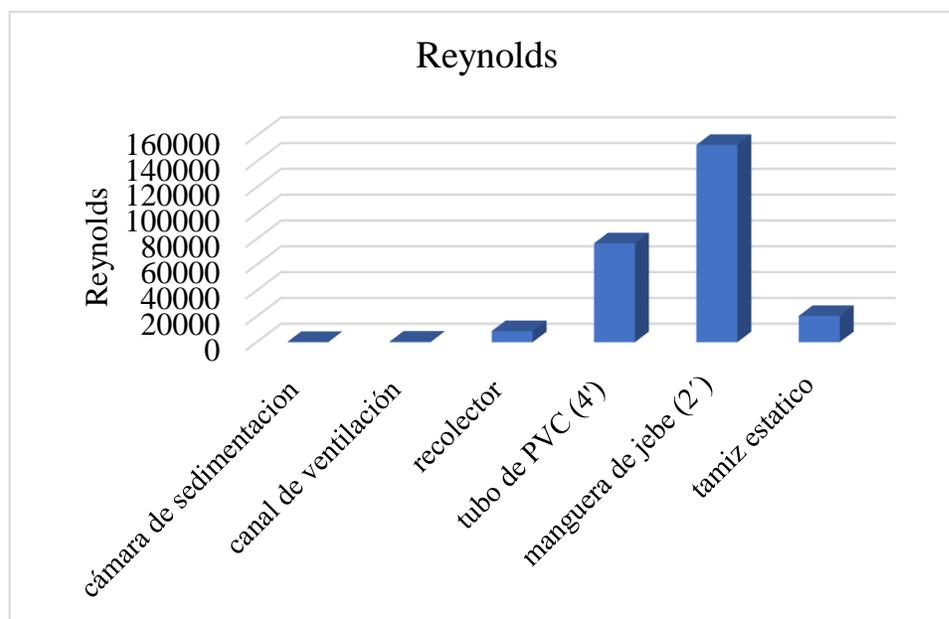
Figura 69*Velocidad de flujo*

La velocidad de flujo depende del diámetro por donde fluye el agua residual junto con los sólidos flotantes, la mayor velocidad de 77% está en la manguera de jebe, 19% en tubo de PVC de 4 pulgadas, 3% en el recolector de sólidos y 1% en la malla del tamiz estático, cámara de sedimentación y canal de ventilación, respectivamente.

6.4.6. Número de Reynolds

Figura 70

Número de Reynolds



La remoción de sólidos flotantes se realizó a un caudal promedio de 6,12 L/s.

Como se observa en la Figura 70, el número de Reynolds indica que el agua residual y los sólidos a flote en la cámara de sedimentación y canal de ventilación, fluyen hacia al recolector de sólidos a un flujo laminar, al ingreso del recolector, a un flujo turbulento y se incrementa aún más, en el tubo de PVC de 4 pulgadas y, mucho más, en la manguera de jebe de 2 pulgadas; por último, disminuye la turbulencia al ingreso a la malla del tamiz estático.

CONCLUSIONES

El prototipo flotante desplazable tiene las siguientes dimensiones: 80,5 cm de ancho, 86,5 cm de largo, 90,0 cm de altura y pesa 40,0 kg. Se construyó de PVC y tiene 4 componentes: dos flotadores de 70 L de capacidad, un recolector de sólidos de 21,6 L de capacidad, una base de electrobomba de 3,5 L de capacidad y una electrobomba sumergible de 0,85 HP.

- 1) Los 6 tanques Imhoff reciben el caudal promedio de 353,7 L/s de aguas servidas con un DBO_5 promedio afluente de 384,5 mg/L de materia orgánica, que se distribuyen proporcionalmente a cada uno para su operación en paralelo, tal que el efluente de dichos tanques alcanza un DBO_5 de 201,2 mg/L, que representan una remoción promedio del 47,67 %, superando el 25% de remoción pre fijado en el proyecto de instalación.

Además, los 6 tanques Imhoff se encuentran colmatados con 186,36 m³ de natas; el 9% en el Imhoff 1, el 5% en el Imhoff 2, el 17% Imhoff 3, el 31% Imhoff 4, el 30% Imhoff 5 y el 8% Imhoff 6, respectivamente.

- 2) Con respecto a los sólidos flotantes, en un área total de 2257,4 m² que corresponde a los seis tanques Imhoff, se acumulan 221,37 toneladas al año, el 33% en la cámara de sedimentación y el 76% en el canal de ventilación.
- 3) El prototipo desplazable extrae los sólidos flotantes del canal de ventilación y cámara de sedimentación de los tanques Imhoff 1 y 3. El agua residual ingresa con un caudal de 6,12 L/s con 0,039 kg/s de sólidos, el prototipo remueve 0,035 kg/s, lo que equivale a un rendimiento del 90%.

RECOMENDACIONES

1. Elaborar un sistema de gestión ambiental priorizando el manejo de sólidos flotantes del canal de ventilación y de las cámaras de sedimentación de los 6 tanques Imhoff de la PTAR de Totorá.
2. Realizar trabajos de investigación para el aprovechamiento de los sólidos removidos de los tanques Imhoff, para ser empleados como abonos en la agricultura (compost, humus), debido a que la mayor parte de sólidos removidos, son orgánicos.
3. Realizar una investigación de separación de aceites, grasas y ceras de las aguas residuales de la PTAR de Totorá usando el prototipo flotante desplazable, adicionando un decantador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, C., Torres, J. J., & Del Pilar, A. (2021). *Diseño de una prototipo de control de semaforos que optimice los cambios de luz mediante el uso de sensores para el Municipio de Soacha. En U. C. Colombia, programa de Ingeniería de Sistemas. Bogota.*
- Arias, J. A. (2018). *Gestión de la calidad del aire por aprovechamiento energético del metano generado en los biodigestores Imhoff de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá – Ayacucho, 2015.*
- Campos, P. (2020). *Tratamiento de aguas residuales industriales- Philippe. Mexico.*
- Condor, J. (2015). *Curso de Especialización en tratamiento de Aguas Residuales. Pontificia Universidad Católica Del Perú.*
- García, P., & Cobacho, J. (2012). *Fundamento de Mecánica de Fluidos, Editorial Universitat Politècnica de Valencia .*
- Gedar, A. (2020). *Gestión de Aguas y residuos, Soluciones para Tratamiento de Aguas Residuales como filtros, descalcificadores, osmosis, piscinas, depuradoras y depósitos. Empresa Andaluza - España.*
- Granados, I. C. (2020). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba). España. Obtenido de Gedar gestión de Aguas y Residuos.*
- Huallpa, H. (2019). *Construcción y evaluación de un hidrociclón para la remoción de arenas residuales en el desarenador en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “la Totorá” – Ayacucho. Universidad Nacional San Cristóbal de Humanga.*
- Melo, N., Sánchez, R., & Martínez, G. (2016). *Dificultades del Aprendizaje sobre el principio de Arquímedes en el contexto de la Flotación. Revista Brasileira de Ensino de Física, 38.*

- Minam. (2010). *Decreto Supremo N° 003-2010 Que Aprueba Limites Maximos permisibles para los efluentes de Planta de Tratamiento de Aguas residuales Domésticas o Municipales - Perú.*
- OEFA. (2015). *La Fisacalización Ambiental en el Perú (2011-2015) fortaleciendo los cimientos del derecho a un ambiente sano. En Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.*
- Pylypenko, V. (2021). *Eliminación de nutrientes mediante carrizo (Phragmites Australis) en sistemas flotantes (doctoral dissertation, universitat Politècnica) de Valencia).*
- Rodríguez, y. (2019). *Fórmulas de los elementos geométricos en canales abiertos y Relaciones Geométricas las secciones transversales mas frecuentes de canales .*
- Schott, G. (2020). *Tecnología de bombas y piscinas de Schott GmbH y W. Vogel GmbH Ingeniería eléctrica.*
- SEDA. (2021). *Empresa prestadora de servicios de agua potable y tratamiento de aguas residuales de la provincia de Huamanga y Huanta- Ayacucho.*
- Strande, L., Ronteltap, M., & Brdjanovic, D. (2014). *Manejo de lodos Fecales. Un enfoque sistémico para su implementación.*
- Suárez, J. (2014). *Sistemas de desbaste (FT- Pre-001) - Planta de tratamiento de aguas residuales. Universidad de Coruña - España, 15.*

ANEXO 1.**Construcción del prototipo flotante y diagnóstico de tanques Imhoff****Tabla 20***Componentes del prototipo flotante desplazable*

FLOTADOR		RECOLECTOR DE SÓLIDOS		BASE DE ELECTROBOMBA	
flotador	2 unidades	forma	trapezoide	forma	cilíndrica
forma	cilíndrica	material	PVC	material	PVC
material	PVC	planchas de PVC	1,5 m ²	tubo de	6 pulg.
tubo de	12 pulg.	espesor	25 mm	espesor	25 mm
espesor	25 -50 mm	base (mayor-menor)	41-16 cm	diámetro	15,9 cm
altura	86,5 cm	altura	17 cm	altura	23 cm
diámetro	31,3 cm	diámetro	10,16 cm	volumen	3,5 L
volumen	70 L	volumen	21,6 L	Peso	4,5 kg
peso	8,2 kg	peso	5,0 kg	Electrobomba	0,85 HP

Tabla 21*parámetros promedios a nivel de la PTAR de Totorá*

Parámetros	Global	6 tanques I.	Imhoff 1	Imhoff 3
temperatura afluente	20,25 °C	20,25 °C	20,25°C	20,25°C
temperatura efluente	20,87 °C	20,87 °C	21,1 °C	19,7 C
PH afluente	7,5 pH	7,5 pH	7,5 pH	7,5 pH
PH efluente	7,8 pH	7,8 pH	7,17 pH	6,9 pH
caudal del afluente	353,7 L/s	353,7 L/s	50 L/s	55 L/s
DBO ₅ del afluente	389,16 mg/L	384,5 mg/L	384,5 mg/L	384,5 mg/L
DBO ₅ de efluente	78,75 mg/L	201,2 mg/L	178,3 mg/l	206,5 mg/L
% de remoción	79,76%	47,67 %	53,63 %	46,29 %
diseño de remoción de DBO ₅	91%	25 %	25 %	25 %
% de remoción a nivel P.		52,40 %		

Tabla 22*Extracción de sólidos flotantes con el prototipo y tamiz estático*

Parámetros de extracción de sólidos flotantes	Cámara de	
	sedimentación tanque Imhoff 3	Canal de ventilación tanque Imhoff 1
tiempo de extracción	1 hora	1 hora
área de extracción	(4 m x 30,5 m) =122 m ²	(0,7 m x 13,43 m) =9,4 m ²
Sólidos extraídos	84,9 kg	117,4 kg
tamaño de sólidos	6 mm – 1 mm	6 mm – 1 mm
% humedad	82,10 %	82,10 %
densidad aparente	0,539 cm ³	0,539 cm ³

ANEXO 2

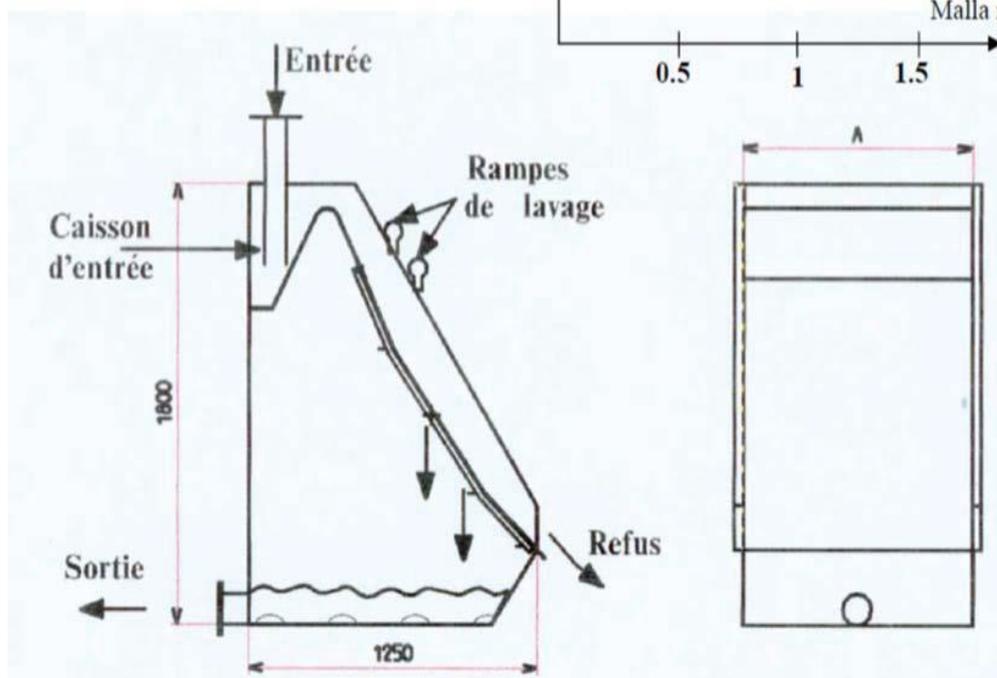
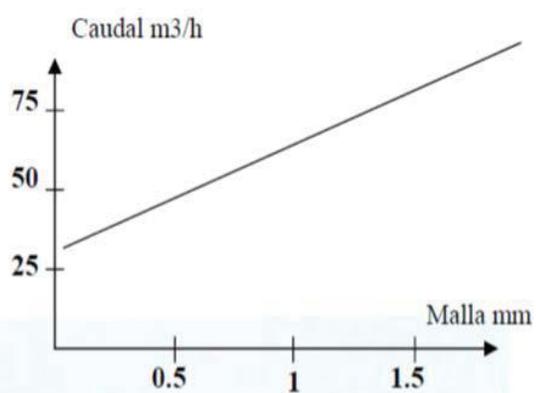
Dimensiones del tamiz estático

Figura 71

parámetros de diseño del tamiz estático

DIMENSIONES :

MODÈLO	REJA mm	A	PESO kg
SERTIS 05	500	580	152
SERTIS 10	1000	1080	212
SERTIS 15	1500	1580	292
SERTIS 20	2000	2080	331



Fuente: (Suárez, 2014)

ANEXO 3

Características de la electrobomba sumergible Pedrollo

Figura 72

Curvas de selección de caudal

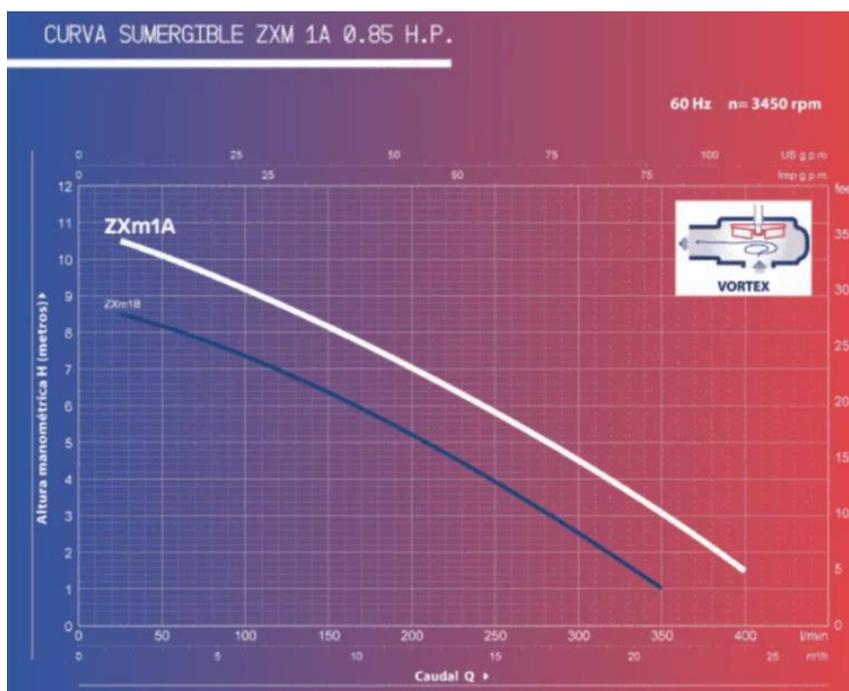


Tabla 23

Elección de caudal a diferentes distancias

MODELO	POTENCIA (P ₂)		Q	0	1.5	3.0	4.5	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0
	kW	HP		0	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400
ZXm 1B/40	0.50	0.70	H metros	9	8.5	8.3	8	7.5	6.5	5.2	4	2.5	1	
ZXm 1A/40	0.60	0.85		11	10.5	10	9.5	9.2	8.2	7	5.7	4.3	2.8	1.5

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Potencia teórica de la electrobomba

Se determina con la:

Ecuación 4

potencia

$$P_T = \rho \times g \times Q \times h_b$$

Donde:

P_T : potencia teórica de la electrobomba (vatios)

ρ : densidad del agua residual a T 20° (998,23 kg / m³)

g : Aceleración de la gravedad (9,81 m / s²)

Q : caudal del fluido (0,00612 m³ / s)

h_b : Altura dinámica de la bomba (3,0 m)

Reemplazamos en la ecuación:

$$P_T = (998,23 \text{ kg / m}^3) \times (9,81 \text{ m / s}^2) \times (0,00612 \text{ m}^3 / \text{s}) \times (3,0 \text{ m})$$

$$P_T = 179,79 \text{ Vatios}$$

Por los tanto:

$$1 \text{ HP} = 745,7 \text{ Vatios}$$

$$P = 179,79 \text{ Vatios} \times \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Vatios}}$$

$$P = 0,2411 \text{ hp}$$

Potencia real de la electrobomba

$$n = \frac{P_t}{P_{\text{real}}}$$

P_t : potencia real de la electrobomba

n : eficiencia teórica de la electrobomba (pedrollo 60%)

$$P_{real} = \frac{0,241 \text{ hp}}{0,6}$$

$$P_{real} = 0,40 \text{ hp}$$

la potencia real de la electrobomba en la extracción de sólidos flotantes es 0,40 hp necesaria para bombear 6,12 L/s, pero se adquirido el de 0,85 hp para poder satisfacer la extracción sólidos flotantes junto con el agua residual hasta el tamiz estático encargado de separar los sólidos.

Figura 73

Electrobomba sumergible de 0,85 hp



ANEXO 4

Control de caudal y residuos sólidos en la PTAR de Totora

Tabla 24

Control del caudal promedio del PTAR de Totora

dia	CAUDAL PROMEDIO DIARIO 2020											
	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20
1	341.3	304.2	338	354.4	318	322.6	340.6	340.1	328.2	330.4	343.2	331.8
2	331.4	362	327.7	340.2	319.8	315.8	329.3	340.9	307.1	331.4	320.4	331.4
3	408.9	402.4	335	327	318.6	315.7	339	353.6	333.4	337	337.5	338.8
4	488.1	363.8	344.9	342.6	363.9	318.2	371.2	318.1	310.2	315.7	324.4	315.7
5	394.8	497.7	344.9	325.9	325.9	283.8	351.9	342.7	322.3	329.8	331	344.3
6	398.3	363.8	359.9	388	341	303.9	343.7	313.1	350	345.1	356.9	345.1
7	376.1	363.8	368.8	359.2	362.3	337.7	330.7	337.6	337.4	333.5	341.4	333.5
8	387.2	419.7	352.4	335.5	393.9	300.3	353.6	354.9	320.6	334	326.2	334
9	431.2	371.4	354.1	359.5	355.6	308	318.4	345.5	348	350.1	358.3	350.1
10	402.6	353.7	322.2	355.9	355.9	302.9	344.3	358.2	332.6	337.4	346	337.4
11	393.8	353.7	329.5	387.5	352.4	301.4	365.9	365.9	365.9	369.9	374.4	369.9
12	387.4	362.9	388.3	371.6	371.6	307.6	344.6	369.4	369.4	364.8	378.7	365.8
13	368.8	353.7	380.4	390.5	341.4	289.6	335.1	335.1	335.1	335.1	343.8	335.1
14	439.7	353.7	401	311.7	309.9	304.3	328.3	354	354	354	362.6	354
15	614	421.6	424.5	308.3	328.6	332.7	343.2	347.6	434.9	439	435.4	439
16	390.5	357.4	489.3	318.4	327.2	318.4	329.4	329.4	329.4	331.5	331.6	331.5
17	389.8	353.7	394.6	318.2	337.8	318.2	335.5	354.2	341.8	341.8	344.8	341.8
18	371.3	569.5	402.6	368.6	346.6	367	337.7	353.8	350.3	350.3	354.2	403.3
19	386	470	382.7	342	334.6	339.2	337.7	343.7	370.6	370.6	381.8	370.6
20	365.6	369.5	344.2	312.3	326.1	312.3	327.2	351.3	355.6	355.6	358.1	403.3
21	349.9	379.8	355.2	324.8	331.3	324.8	318.7	341.1	348	349.1	354.7	400.5
22	338.2	375.2	368.5	333.7	336	321	328	347.5	343.9	379.6	354.7	424.1
23	414.3	368.1	407.8	331.7	331.7	303.7	371.2	366.3	390.2	386.9	390.2	456.5
24	370.5	341.4	373	317.4	317.4	319.1	345.5	353.7	353.7	353.7	313.2	404.5
25	404.9	362.7	364.6	330.8	320.8	313.4	339.9	352.7	352.7	352.7	315.4	404.5
26	366.6	341.4	345.3	323.5	310	327.8	310	348.4	348.4	348.4	324.3	411.7
27	349.1	296.7	407.1	328.2	317.6	326.5	372	335.3	335.3	366.3	316.2	400.8
28	362.1	341.4	366.4	328	305.3	318.5	355.9	352.2	457.7	363.8	320.2	363.8
29	344.3	341.4	344.3	323.5	310.9	323.5	339.3	341	351.4	351.4	430.4	351.9
30	355.1		483.7	344.5	298.3	323.3	334.4	329	360.1	360.1	497.7	361.2
31	326.2		336.4		318.5		343.9	336.1		360.1		455.3
PROMEDIO	388.645161	376.424138	372.170968	340.113333	333.190323	316.706667	340.841935	345.56129	351.273333	352.551613	355.59	371.329032

Tabla 25*Control de operaciones de residuos sólidos PTAR Totorá 2018*

CONTROL DE OPERACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS PTAR TOTORA 2018															
procesos/ operación	unidad	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	promed.	total
cámara de regillas	m3	20	20	22	20	24	24	24	20	21	24	21	22	21.8	262
cámara de regillas automáticas	m3	18	18	20	22	24	26	26	18	21	25	19	23	21.7	260
lecho grava	m3	48	44	42	32	34	32	32	46	37	33	43	33	38.0	456
lecho arena	m3	60	48	50	50	50	54	54	54	50	52	49	50	51.8	621
desarenador de flujo H	m3	62	52	52	54	54	58	58	57	53	56	52	54	55.2	662
cámara de distribución Imhoff	m3	38	38	40	42	44	46	46	38	41	45	39	43	41.7	500
Imhoff (material flotante)	m3	12	20	5	4	2	2	2	16	5	2	15	3	7.3	88
lecho de secado	m3	0	0	0	0	0	360	0	0	0	0	0	0	30.0	360
AT (natas)	m3	0	2	1	0	0	0	0	1	2	0	2	0	0.7	8
laguna facultativas	m3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0
laguna de maduración N°1, 2 y 3	m3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0
laguna de cloración	m3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0
volumen diario	[m3/día]	7.9	8.6	7.6	7.2	7.5	7.5	19.4	8.25	7.4	7.5	8.1	7.35	8.7	0
volumen mes	[m3/mes]	248	242	235	224	232	602	244	245	229.5	417	238.5	228	282.1	3667.0833

Fuente (SEDA, 2021)

ANEXO 5

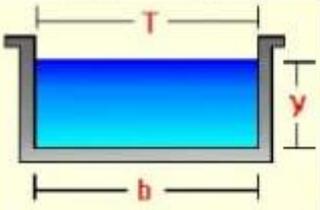
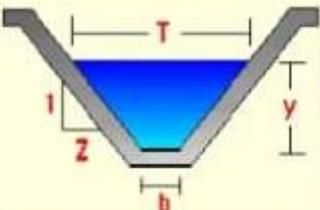
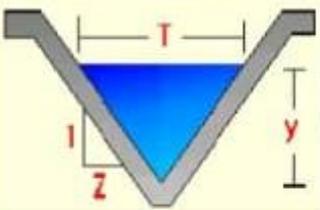
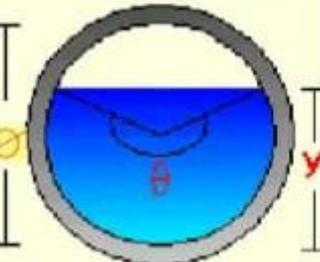
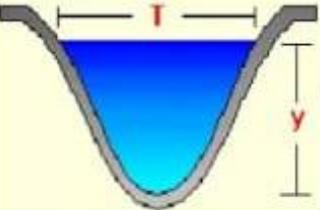
Densidad y viscosidad del agua a diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Densidad (g/cm ³)	Viscosidad cinemática x 10 ⁻² (cm ² /s)
0	0.99987	1.7923
1	0.99993	1.7321
2	0.99997	1.6741
3	0.99999	1.6193
4	1.00000	1.5676
5	0.99999	1.5188
6	0.99997	1.4726
7	0.99993	1.4288
8	0.99988	1.3874
9	0.99981	1.3479
10	0.99973	1.3101
11	0.99963	1.2740
12	0.99952	1.2396
13	0.99940	1.2068
14	0.99927	1.1756
15	0.99913	1.1457
16	0.99897	1.1168
17	0.99880	1.0888
18	0.99862	1.0618
19	0.99843	1.0356
20	0.99823	1.0105
21	0.99802	0.9863
22	0.99780	0.9629
23	0.99757	0.9403
24	0.99733	0.9186
25	0.99707	0.8975
26	0.99681	0.8774
27	0.99654	0.8581
28	0.99626	0.8394
29	0.99597	0.8214
30	0.99568	0.8039
31	0.99537	0.7870
32	0.99505	0.7708
33	0.99473	0.7551
34	0.99440	0.7398
35	0.99406	0.7251
36	0.99371	0.7109
37	0.99336	0.6971
38	0.99299	0.6839
39	0.99262	0.6711

Fuente: (Huallpa, 2019)

ANEXO 6

Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuente

	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico
	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$
	Ancho superficial	Profund. hidráulica	Factor de sección
b	y	$by^{1.5}$	
	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico
	$(b + Zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$
	Ancho superficial	Profund. hidráulica	Factor de sección
$b + 2Zy$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2Zy}$	$\frac{[(b + Zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2Zy}}$	
	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico
	Zy^2	$2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$
	Ancho superficial	Profund. hidráulica	Factor de sección
$2Zy$	$\frac{1}{2}y$	$\frac{\sqrt{2}}{2}Zy^{2.5}$	
	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico
	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\theta)\phi^2$	$\frac{1}{2}\theta \cdot \phi$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)\phi$
	Ancho superficial	Profund. hidráulica	Factor de sección
$\left(\text{sen}\frac{1}{2}\theta\right)\phi$ $2\sqrt{y(D - y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}\frac{1}{2}\theta}\right)\phi$	$\frac{\sqrt{2}}{32}\frac{(\theta - \text{sen}\theta)^{1.5}}{\left(\text{sen}\frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}}\phi^{2.5}$	
	Área mojada	Perímetro mojado	Radio hidráulico
	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$ *	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$ *
	Ancho superficial	Profund. hidráulica	Factor de sección
$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3}y$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Ty^{1.5}$	

Fuente: (Rodríguez, 2019)

ANEXO 7

Costos de construcción del prototipo y el tamiz estático

Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga - F. Ingeniería Química			
Tesis: Juan Antonio Sulca Suca		costo Reciclado	costo actual
Prototipo flotador		del año 2019	del año 2021
	tubo PVC de 12 pulgadas 25mm espesor	S/. 220.00	S/. 600.00
	3 planchas de tubo PVC de 4 m2	S/. 180.00	S/. 300.00
	estructura metálica de fiero galvanizado	S/. 150.00	S/. 200.00
	abrazaderas de acero inoxidable y pernos de soporte	S/. 50.00	S/. 150.00
	pitón para ingreso de aire al flotador	S/. 20.00	S/. 20.00
	gastos en los materiales de pegamentos, silicona, pintura, etc.	S/. 100.00	S/. 250.00
	total	S/. 720.00	S/. 1,520.00
boca de ingreso de solidos			
	tubo de PVC 4 pulgadas	S/. 25.00	S/. 75.00
	2 codos de PVC de 4 pulgadas	S/. 20.00	S/. 40.00
	plancha de PVC 2 m2	S/. 80.00	S/. 200.00
	perno de 1 m de acero inoxidable	S/. 20.00	S/. 50.00
	pegamento de PVC y silicona	S/. 20.00	S/. 50.00
	total	S/. 165.00	S/. 415.00
Electrobomba y accesorios			
	costo de electrobomba especialmente para solidos de 0.85 hp marca PEDROLLO	S/. 1,500.00	S/. 2,000.00
	tubo de PVC de 6 pulgadas	S/. 150.00	S/. 400.00
	cable de 30 metros concéntrico trifásico	S/. 180.00	S/. 200.00
	codo y niple de PVC	S/. 20.00	S/. 50.00
	manguera de jebes de 2 pulgadas de 10m	S/. 200.00	S/. 280.00
	2 uniones con roscas	S/. 50.00	S/. 75.00
	pegamentos y silicona	S/. 20.00	S/. 50.00
total	S/. 2,120.00	S/. 3,055.00	
hidrotamiz			
	2 planchas de fiero galvanizado	S/. 290.00	S/. 300.00
	4 niples de fiero galvanizado con rosca	S/. 150.00	S/. 200.00
	haba recipiente para solidos	S/. 120.00	S/. 150.00
	malla de acero inoxidable de 0.5mm	S/. 100.00	S/. 250.00
	total	S/. 660.00	S/. 900.00
suma total		S/. 3,665.00	S/. 5,890.00

ANEXO 8

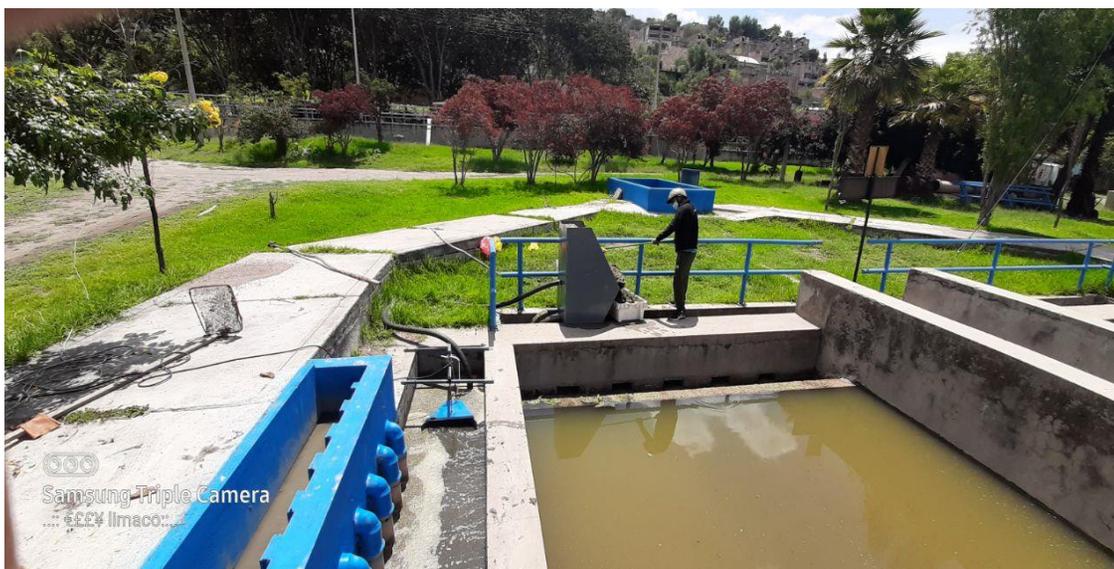
Fotografías de extracción de sólidos flotantes

Figura 74

Prototipo flotante desplazable en la PTAR de Totorá



Aseguramiento de los componentes de prototipo flotante desplazable



Extracción de sólidos del canal de ventilación de tanques Imhoff 1

Figura 75

Extracción y separación de sólidos en Imhoff 3



Los sólidos flotantes ingresan a la boca del recolector del prototipo flotante



Separación de sólidos del agua residual en el tamiz estático

❖ **TESISTA**

Juan Antonio SULCA SUCA

DNI. 46613739

❖ **ASESOR**

Cipriano, MENDOZA ROJAS

DNI: 28223453

❖ **ORCID DEL ASESOR**

0000-0002-5435-6956

❖ **JURADOS**

- PRESIDENTE Dr. Ing. Guido PALOMINO HERNÁNDEZ
- JURADO Mg. Ing. Edgar Gregorio ARONÉS MEDINA
- JURADO Mg. Ing. Pedro INGA ZÁRATE
- JURADO -ASESOR Mg. Ing. Cipriano MENDOZA ROJAS
- SECRETARIO Mg. Ing. Jack Edson HERNÁNDEZ MAVILA

❖ **URI:** <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01>