

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Departamento de ingeniería química

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: *"Propuesta de sistema de tratamiento de agua residual para la UEB
No 102 Juan Pedro Carbó Serviá".*

Autor: Duviel Bermúdez Pérez

Tutores: MSc. María Hertha Broche Galindo

Dr. Iván Leandro Rodríguez Rico

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

Academic Departament Chemical engineering

DIPLOMA THESIS

Title: "Proposed wastewater treatment system for *UEB No 102 Juan Pedro Carbó Serviá*".

Author: Duviel Bermúdez Pérez

Thesis Director: María Hertha Broche Galindo Ms

Iván Leandro Rodríguez Rico PhD

Santa Clara , november 2021

Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento:

Soy de las que piensa que la ciencia tiene una gran belleza. Un científico en su laboratorio no es solo un técnico: es también un niño colocado ante fenómenos naturales que le impresionan como un cuento de hadas

Marie Curie

Dedicatoria:

La tesis, es sin duda la etapa final de muchos años de estudio, esfuerzo y dedicación personal y familiar. Por esa razón se la dedico a quienes forman parte de mi vida profesional e indiscutiblemente a mi familia, la cual forjó mi destino y con su incondicional apoyo hicieron posible que cumpliera este objetivo propuesto hace mucho tiempo teniendo en cuenta el aislamiento social impuesto por la Covid 19.

Son sin duda mi madre y padre las personas más importantes que tengo en mi corazón y les dedico esta tesis porque siempre quisieron que me hiciera un hombre de bien en esta vida, donde quiera que se encuentren con mucho amor esto va por ustedes.

No puedo dejar de dedicarle esta tesis a todos los amigos que estuvieron siempre pendiente de mi avance en la carrera como estudiante y mientras realizaba este trabajo con mucho esfuerzo.

A mis compañeros de aula les dedico la tesis porque indiscutiblemente sin ellos hubiese sido muy rutinaria la trayectoria por la Universidad Central Martha Abreu de las Villas, mis más cordiales saludos hacia ustedes.

Agradecimientos:

Los agradecimientos siempre será la primera página que vera el lector, pero fue la última que he escrito. El proyecto está hecho, y solo me queda dejar constancia de todo lo que les debo a muchas personas., no me preocupo que quede en una página única e interesante solo me interesa en transmitir mis sentimientos hacia todos los que han aportado su granito de arena para que fuera posible la culminación del trabajo.

A mi madre, tú que has formado mi ser con tus inagotables consejos y regaños, que me has ayudado a levantarme y sacudir el polvo del camino en mis peores momentos. Por todo el apoyo que me has brindado sin pedir nada a cambio y por las palabras de aliento que siempre me diste cuando más lo necesitaba.

A mi padre, gracias por el apoyo que me has brindado en todos los momentos de mi vida, siempre deseándome lo mejor y enseñándome todos los días el valor del trabajo, el esfuerzo y la dedicación que se ha de tener cuando se quiere conseguir cualquier objetivo.

A mi hermano por la preocupación, apoyo, confianza y seguimiento incondicionalmente de cómo me iba, cuando terminaba (o empezaba) la tesis.

A mi tutora MSc. María Hertha Broche Galindo porque sin sus consejos no hubiera podido llegar a la culminación de esta tesis. Por la paciencia que me tuvo, por siempre querer sacar lo mejor de mí, por su preocupación constante sobre mi estado de salud, por siempre tenerme presente que uno cumple lo que se proponga, siempre y cuando en verdad quiera cumplirlo, por ser una gran persona y principalmente una amiga.

A todos mis compañeros de carrera en especial a Alexis, Amanda, Lisandra, Leticia e Hiram los cuales me han ayudado a lo largo de la carrera.

A todos los profesores de la carrera por ofrecerme sus conocimientos y sabiduría los cuales siempre los tendré presentes en mi vida profesional, pero en especial quiero agradecer a la profesora Irenia Gallardo por ser además de una excelente profesora un gran ser humano, digna de admiración y respeto.

A todos muchas gracias.

Resumen:

El Denim es un material reconocido por su diversidad de estilos, comodidad y versatilidad. Una limpieza adecuada de las confecciones de mezclilla conserva su atractivo estético y permite que dure por muchos años, esta es una de las actividades que se realiza en la UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá de la empresa de Confecciones Fénix, la cual genera un alto contenido de contaminantes para el medio ambiente al realizar el vertimientos de sus aguas fuera de los parámetros normados. En el presente trabajo se identificó el problema ambiental y se desarrolló una alternativa de tratamiento para los residuales líquidos combinando la biosorción con otros métodos para minimizar los daños que provocan esas descargas. En el trabajo se dimensionaron los equipos principales y auxiliares los cuales son una rejilla de acero galvanizado con diámetro de alambre de 1.5 milímetros, tanque de ingreso de aguas residuales, un sedimentador donde ocurre la coagulación-floculación y una etapa de adsorción compuesta por batería de cestos cargados con bagazo los cuales en su conjunto permiten tratar el agua residual, seleccionando también los instrumentos automáticos apropiados para mantener el control en el proceso estos son medidores de caudal, nivel y peso respectivamente. Se realizó un análisis económico minucioso de la planta a instalar dando como resultado 1 790 401,94 pesos el costo total de inversión y 656 296,65 pesos al año el costo de operación.

Summary:

Denim is a material recognized for its diversity of styles, comfort and versatility. Proper cleaning of denim garments preserves its aesthetic appeal and allows it to last for many years, this is one of the activities carried out in UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá of the Confecciones Fénix company, which generates a high content of pollutants for the environment when discharging its waters outside the regulated parameters. In the present work, the environmental problem was identified and an alternative treatment for liquid waste was developed, combining biosorption with other methods to minimize the damage caused by these discharges. In the work, the main and auxiliary equipment were dimensioned, which are a galvanized steel grid with a wire diameter of 1.5 millimeters, a wastewater inlet tank, a settler where coagulation-flocculation occurs and an adsorption stage composed of a battery of baskets loaded with bagasse which together allow treating the residual water, also selecting the appropriate automatic instruments to maintain control in the process, these are flow, level and weight meters respectively. A detailed economic analysis of the plant to be installed was carried out, resulting in 1,790,401.94 pesos the total investment cost and 656,296.65 pesos per year in the operating cost.

Índice:

<i>Introducción:</i>	1
<i>Problema científico</i>	2
<i>Hipótesis</i>	2
<i>Objetivo General</i>	2
<i>Objetivos específicos</i>	2
<i>Capítulo 1: Revisión Bibliográfica</i>	3
1.1 Contaminación de las aguas	3
1.1.2 Principales contaminantes del agua	3
1.1.3 Características de las aguas residuales de la industria textil	4
1.1.4 Legislación ambiental	6
1.2 Los colorantes	8
1.2.1 Caracterización de los colorantes	8
1.2.2 Impacto de los colorantes sobre el medio ambiente	8
1.3 Métodos de tratamiento de aguas residuales	9
1.4 Sistema de tratamiento de agua residual	10
1.4.1 Tratamiento preliminar	10
1.4.2 Tratamiento primario	10
1.4.3 Tratamiento secundario	11
1.4.4 Tratamiento de lodos	11
1.5 Procesos de tratamiento de aguas residuales	11
1.5.1 Coagulación	11
1.5.2 Floculación	12
1.5.3 Sedimentación	12
1.5.4 Adsorción	13
1.6 Evaluación económica – financiera del proyecto	15
1.6.1 Evaluación económica de daños ambientales evitados	15
<i>Conclusiones parciales:</i>	16
<i>Capítulo 2: Dimensionamiento de los equipos</i>	17
2.1 Cuantificación y determinación de las corrientes	17
2.2 Caracterización de las descargas	20

2.3 Alternativa de tratamiento	22
2.4 Diseño de los equipos para el tratamiento	23
2.4.1 Cálculo del diseño de la etapa pre tratamiento:	23
2.4.2 Cálculo de la carga y potencia de la bomba a instalar	33
2.4.3 Cálculo del diseño de la etapa primaria.....	35
2.4.4 Cálculo del diseño de la etapa secundaria	39
2.5 Instrumentación Automática	42
2.6 Mantenimiento:	42
Conclusiones parciales:	42
Capítulo 3: Análisis económico.....	44
3.1 Costo de adquisición del equipamiento.....	44
3.2 Costo Total de Inversión (CTI)	45
3.3 Costo Total de Operación (CTP)	46
3.4 Estudio del (VAN), (TIR), (PRD).....	48
Conclusiones parciales:	49
Conclusiones:	51
Recomendaciones:	52
Bibliografía:	53

Introducción:

La destrucción de los ecosistemas del planeta debido a que las industrias contaminan y generan residuos que ponen en peligro los recursos hídricos se ha demostrado. El sector textil es uno de los más antiguos y complejos dentro de las industrias manufactureras. Su complejidad reside en el hecho de que se trata de un sector muy fragmentado y heterogéneo, formado principalmente por pequeñas y medianas empresas, algunas de ellas muy especializadas en procesos concretos. El agua residual resultante está altamente contaminada debido a la presencia de colorantes, surfactantes, sales inorgánicas y distintos compuestos químicos empleados en el proceso productivo.

Estos efluentes provocan impacto ambiental debido a que son altamente resistentes a la degradación microbiana, pueden ocasionar toxicidad acuática, disminuyen la capacidad fotosintética y el oxígeno disponible en el agua, lo que lleva a la muerte de los organismos que vivan en ese hábitat y se caracterizan generalmente por su elevada Demanda Química de Oxígeno (DQO), debido a los compuestos orgánicos refractarios; Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), debida a la materia orgánica biodegradable, elevada temperatura, alto contenido en color, pH inestable y sólidos en suspensión.

Por lo tanto, su descarga al sistema de alcantarillado o a un cuerpo de agua sin el tratamiento adecuado es un riesgo para la calidad de los recursos hídricos, los cuales son cada vez más escasos debido a la creciente población y demanda de agua.

La Unidad Empresarial de Base (UEB) No 102 Juan Pedro Carbó Serviá, pertenece a la empresa confecciones Fénix. Además de producir uniformes de trabajo y otras confecciones, tiene el objeto social de lavar todas las prendas de tejido Denim, generando una gran cantidad de aguas residuales que van a una zanja que llega a una trampa de pelusas y de esta corre a través de un sistema de registros hasta un tanque séptico y de aquí al alcantarillado municipal. Con ese tratamiento se incumple la norma de vertimiento.

Los tratamientos de aguas residuales textiles convencionales involucran la coagulación química con sales de hierro o aluminio combinada con procesos biológicos o adsorción. Investigaciones de opciones económicamente viables para procesos de adsorción, se han orientado hacia el estudio de varios materiales sólidos naturales generados en cantidades considerables como residuos agrícolas o subproductos industriales por constituir una alternativa viable y atractiva para obtener adsorbentes no carbonizados de bajo costo.

Problema científico

La capacidad insuficiente de depuración del sistema de tratamiento de aguas residuales en la UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá de la empresa confecciones Fénix conduce a un alto grado de sensibilidad, para el recurso hídrico, repercutiendo negativamente en el ecosistema y en la salud de las personas.

Hipótesis

El diseño de una alternativa de tratamiento para los residuales líquidos de la UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá de la empresa confecciones Fénix que combine la biosorción con otros métodos puede propiciar una opción eficaz para minimizar el impacto ambiental que provocan esas descargas.

Objetivo General

Diseñar una alternativa de tratamiento sostenible para las descargas líquidas de la UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá de la empresa confecciones Fénix en concordancia con la normativa ambiental vigente.

Objetivos específicos

1. Identificar y cuantificar las descargas líquidas del proceso productivo.
2. Elegir y calcular los equipos que conforman las etapas de tratamiento.
3. Seleccionar la instrumentación de control de los equipos para el tratamiento.
4. Realizar análisis económico del proceso.

Capítulo 1: Revisión Bibliográfica

1.1 Contaminación de las aguas

Se entiende por contaminación del medio hídrico o contaminación del agua a la acción o al efecto de introducir algún material o inducir condiciones sobre el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación a sus usos posteriores o sus servicios ambientales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del humano y de los animales. En los cursos de agua, los microorganismos descomponedores mantienen siempre igual el nivel de concentración de las diferentes sustancias que puedan estar disueltas en el medio. Este proceso se denomina auto depuración del agua. Cuando la cantidad de contaminantes es excesiva, la autodepuración resulta imposible (Perez, 2016)

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas. (Cardona, 2014)

1.1.2 Principales contaminantes del agua

Existen las fuentes naturales y antropogénicas de contaminación, estudiando dentro de estas últimas las industriales, los vertidos urbanos, las procedentes de la navegación y de las actividades agrícolas y ganaderas (CAICEDO, 2010)

Dentro de las fuentes naturales está el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos que contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos (Baird, 2001). Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos.

La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, para la mayor parte de los contaminantes, es mucho más peligrosa que la natural (Perez, 2016)

Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En la Tabla 1.1 se resumen las principales sustancias contaminantes por sectores industriales.

Tabla 1.1 Principales contaminante industriales.

Sector industrial	Substancias contaminantes principales
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos
Textil y piel	Cromo, taninos, tensos activos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión
Automotriz	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biosidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

1.1.3 Características de las aguas residuales de la industria textil

Durante el proceso general para obtener el tejido utilizado en las prendas, se genera un gran volumen de agua residual. Este se reparte en varios efluentes, con diferentes propiedades cada uno de ellos. Por eso, al final se obtiene una corriente con una gran cantidad de sustancias que contaminan de una u otra forma el medioambiente. Los contaminantes más notables que se encuentran en el agua residual de salida son: (M.Mostafa, 2015) (Pareja, 2019)

➤ Color:

La gran mayoría de efectos en el color vienen dados por el agua residual generada durante el proceso del tintado, y en el lavado posterior a este. El efecto del color es principalmente estético, aunque representa uno de los principales problemas de la industria textil debido a que el agua residual tiene altas concentraciones del colorante, y este tipo de compuestos tiene una alta resistencia a la degradación de la luz o de agentes oxidantes (Díaz, 1987)

➤ Sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos en suspensión totales (SST):

La presencia de sólidos en el agua está formada principalmente por fragmentos de fibras o restos de partículas coloidales arrastradas durante las diferentes etapas del proceso. Por un lado, tienen un efecto estético en el agua, dando color y sensación de suciedad en el agua, resultando en una disminución en la calidad de la misma. Por otro lado, una alta concentración de SDT y SST puede ser dañina para los seres vivos, impidiendo la reutilización del agua en ámbitos como la agricultura (Pareja, 2019)

➤ DBO₅ y DQO:

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) son dos parámetros relacionados con la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual que relacionados entre sí indican la biodegradabilidad de un agua. Un valor elevado de DBO₅ y de DQO resulta en una elevada contaminación en el agua residual obtenida, que puede acabar siendo tóxica para el medioambiente y para los seres vivos. Por tanto, resulta primordial reducir sus niveles (Y.COCA, 2015)

➤ Metales tóxicos:

La presencia de metales tóxicos en el agua se puede deber a la presencia de los mismos como impurezas derivadas de los productos aplicados al agua. También pueden aparecer si los colorantes utilizados tienen complejos metálicos. La sustancia que más suele encontrarse en estos casos es el cromo. Como su nombre indica, estas sustancias son tóxicas para el ser humano, las plantas y la vida acuática en general, por lo que se deben eliminar del efluente de agua residual final. (Pareja, 2019)

➤ Otros compuestos:

Durante algunas etapas del proceso, se utilizan compuestos tanto derivados del azufre como del cloro. Estos compuestos, en caso de no ser eliminados, pueden reaccionar con el oxígeno del agua, reduciendo su concentración. También se pueden dar reacciones que den lugar a productos tóxicos, por lo que estas sustancias también deben reducirse. Además, la presencia de aceites y grasas separados de la materia prima pueden ser perjudiciales para los equipos utilizados en caso

de tratar el agua residual, por lo que tienen una alta prioridad para ser eliminados.(Pareja, 2019)

Las aguas residuales resultantes de los procesos industriales para la obtención de prendas tienen unas propiedades incompatibles con la salud de los seres vivos y del medioambiente. En concreto, en la Tabla 1.2 se han recogido rangos de valores de los parámetros más importantes que suelen tener las aguas residuales a la salida de los procesos de esta industria.

Tabla 1.2 Características promedio del agua residual a la salida de procesos del sector textil.

Parámetro	Valor
pH	6 – 10
DQO (mg O₂/L)	150 – 12000
DBO₅ (mg O₂/L)	80 – 6000
Color (Patrón Pt-Co)	50 – 2500
SDT (mg/L)	2900 – 3100
SST (mg/L)	15 – 8000
Temperatura (°C)	35 – 45
[Cl] (mg/L)	1000 – 6000
[SO₄²⁻] (mg/L)	600 – 1000
Aceites y grasas (mg/L)	10 – 30
[Cr] (mg/L)	1 – 4

Observando los datos de la Tabla 1.2, queda claro que las aguas residuales que se obtienen a la salida de los procesos industriales del sector textil lo hacen en unas condiciones en las cuales no pueden devolverse a la naturaleza sin un tratamiento previo que elimine estos parámetros o al menos los reduzca por debajo de niveles considerados no peligrosos.

1.1.4 Legislación ambiental

Las aguas residuales industriales después de ser tratada tienen que cumplir con los requerimientos expuestos en la norma cubana(Normalizacion(NC), 2012) presentan en la Tabla 1.3 límites máximos permisibles para las descargas del agua residual al alcantarillado.

Tabla 1.3 Límites máximos permisibles para las descargas del agua residual al alcantarillado (Normalizacion(NC), 2012)

Parámetros	UM	Límites Máximos Permisibles Promedio
Temperatura	°C	< 50
pH	unidades	6-9
sólidos sedimentables	mg/L	< 10
Grasas y aceites	mg/L	< 50
conductividad eléctrica	μS/cm	< 4 000
DBO5	mg/L	< 300

DQO	mg/L	< 700
Fenoles	mg/L	< 5
Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	< 25
Aluminio	mg/L	< 10,0
Arsénico	mL/L	< 0.5
Cadmio	mg/L	< 0.3
Cianuro	mg/L	< 0.5
Cobre	mg/L	< 5.0
Cromo Hexavalente	mg/L	< 0.5
Cromo total	mg/L	< 2.0
Mercurio	mg/L	< 0.01
Plomo	mg/L	< 1.0
Zinc	mg/L	< 5.0
Sulfuros	mg/L	< 5.0

En Cuba se ha definido el plan de Estado para el enfrentamiento al Cambio Climático, conocido como “Tarea Vida”, adoptado en abril de 2017, como respuesta a las metas nacionales y compromisos internacionales del gobierno. Constituye un programa amplio y ambicioso, para enfrentar el cambio climático en el territorio nacional, a través de medidas de adaptación y mitigación.

El objetivo principal de la Tarea Vida es proteger la vida humana y su calidad, en condiciones de un clima cambiante; para ello involucra a todos los sectores de la economía y la sociedad y se aplica a nivel nacional y local. Su implementación es respaldada por las Bases del Plan de Desarrollo Económico y Social del país hasta el año 2030 donde se reconoce como un objetivo mitigar el cambio climático y promover un desarrollo económico menos intenso en carbono. (Rio and Cruz, 2019).

La identificación de los factores de riesgos a nivel local, que involucren a la población y las instituciones, conlleva a la búsqueda de soluciones integrales matizadas por la confiabilidad, sistematización y accesibilidad para lograr enfrentar la problemática climática con cambios en la conciencia individual y social, permiten el logro efectivo de los resultados programados en los plazos previstos con los costos más razonables posibles, al tener como premisa la participación como un principio fundamental para la protección del medio ambiente y la definición de modelos de conducta armónicos en todos los niveles. (Brefte, 2019). Se definen 11 acciones dirigidas a contrarrestar las afectaciones y 11 tareas. La tarea 4 dedicada al tema *Agua* y la tarea 8 *Adaptación y mitigación*, en esta se definen los sectores donde se acometen las principales acciones entre los que se encuentran *Industria y Agua*. (Cubaenergía, 2019)

1.2 Los colorantes

Los colorantes son sustancias orgánicas solubles en medio ácido, neutro o básico, que poseen una estructura molecular insaturada. Son electrónicamente inestables y por eso absorben energía a determinada longitud de onda. (Cardona, 2014)

1.2.1 Caracterización de los colorantes

Para que un compuesto coloreado sea aplicado como colorante, se requiere que tenga una adecuada estabilidad a la luz, así como la acción oxidante del cloro que contiene el agua de las ciudades. Por otra parte, el compuesto, caso de ser soluble en agua debe tener afinidad por la fibra que se ha de teñir, a fin de que pueda ser fijado por la fibra de un baño acuoso caliente; en este caso se dice que es un colorante sustantivo. (Calviño, 2011, F.Fieser and Fieser, 2013)

Los colorantes que se trabajan se clasifican de acuerdo al tipo de fibra textil que tiñen Tabla 1.4 y al tipo de proceso aplicado en:

Tabla 1.4 Clasificación de los colorantes textiles.

Clasificación química	Clasificación de uso	Usos	Referencias
Azoicos	Ácidos	Se aplican generalmente en fibras de lana, seda y nylon	(Calviño, 2011)
Antraquinonicos	Básicos	Fibras Textiles	((Calviño, 2011))
Heterociclicos	Dispersos	Teñir fibras tales como acetato, nylon y poliéster	(Calviño, 2011)
Indigoides	Directos	En papel, piel, lana, seda y nylon, también se pueden usar en el estampado textil	(CHOWDHURY, 2015)
Derivados de ftalocianina	Reactivos	Puede ser aplicados en algodón o en fibras celulósica, pueden ser aplicados en lana, nylon y en algunos casos en piel	(Calviño, 2011)
Polimetinicos	A la cuba	Fibras textiles	(Calviño, 2011)
Estilbenicos	Sulfurosos	Es para teñir algodón	(BANERJE, 2015)
Sulfurosos	Azoicos sobre fibra	Fibras textiles	(Calviño, 2011)
Trifenilmetanicos	Pigmentos	Teñir fibras tales como acetato, nylon y poliéster	(Calviño, 2011)

1.2.2 Impacto de los colorantes sobre el medio ambiente

La liberación de efluentes coloreados de las industrias que los utilizan representa un serio problema ambiental y una preocupación para la salud pública porque sus descargas al medio ambiente son

indeseables no solo debido a su color, sino también porque algunos de sus productos son tóxicos o mutagénicos para la vida. Además, pueden reducir la penetración de la luz solar e inhibir el desarrollo de organismos de vida acuática (D.Figueroa and Hormaza, 2018) afectar la cadena alimentaria al provocar envenenamiento de peces y a nivel estético por el deterioro visual del entorno (Rosas, 2012). Sin tratamientos adecuados, estos tintes se estabilizan y pueden permanecer en el ambiente durante mucho tiempo; por ejemplo, la vida media del reactivo hidrolizado blue 19, utilizado en textiles como la mezclilla, es cercana a los 46 años (M.HEJAZI, 2001) Son también una problemática, si se descomponen anaeróbicamente en los sedimentos, traen como resultado la producción de aminas tóxicas y pueden alcanzar niveles letales que afectan la flora y la fauna en sistemas acuáticos. (Jaramillo, 2011, LARA, 2008)

Otro efecto a considerar es la pérdida de espacios recreativos, debido a la contaminación del agua superficial y del paisaje con el consiguiente perjuicio económico, en particular en zonas turísticas.

1.3 Métodos de tratamiento de aguas residuales

Sobre los tratamientos para lograr reducir los contaminantes de las aguas residuales la literatura especializada en tecnologías (a.Eddy, 1995) (Vernaldo, 2000) (Perez, 2016) coinciden en que se pueden usar desde sencillos procesos físicos como la sedimentación, en la que se deja que los contaminantes se depositen en el fondo por gravedad, hasta complicados procesos químicos, biológicos o térmicos, los cuales pueden ponerse emplearse por separado o conjuntamente.

Físicos: Son los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas, dentro de los cuales se encuentran: el cribado y desmenuzado, desarenado, mezclado, sedimentación, flotación y filtración. [García, 2001](Perez, 2016)

Químicos: Son los métodos de tratamiento en los cuales la disminución o conversión de los contaminantes es provocado por la adición de productos químicos o por las reacciones químicas como: la precipitación transferencia de gases, absorción, neutralización, reacciones de oxidación reducción, intercambio iónico y la desinfección. [García, 2001](Perez, 2016)

Biológicos: Son los métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por medio de la actividad biológica. Este tipo de tratamiento es usado para eliminar las sustancias biodegradables del agua residual. Los más usados son: los filtros rociadores, lodos activados (se añade agua con microorganismos a las aguas residuales en condiciones aerobias, burbujeo de aire o agitación de las aguas), lagunas de estabilización, lagunas aireadas (se realiza el proceso biológico en lagunas de grandes extensiones.) y zanjas de oxidación.[García, 2001].(Perez, 2016)

El proceso final del tratamiento de las aguas residuales, con objeto de su depuración, se efectúa en plantas cuyas características son variables. Cualquier análisis que se realice debe tener presente que la operación de eliminación de las impurezas se dificulta por encontrarse parte de ellas en solución y otras en suspensión, en forma de sólidos que pueden ser sedimentables

1.4 Sistema de tratamiento de agua residual

La selección de la combinación de métodos en los diferentes tipos de tratamientos está en correspondencia con el tipo de contaminante que se quiera eliminar.

1.4.1 Tratamiento preliminar

Debe realizarse por medio de procesos físicos o mecánicos, como rejillas, desarenadores y trampas de grasas, dispuesto de modo que permita la retención del material extraño presente en las aguas negras y que pueda interferir los procesos de tratamiento. Para el diseño de las rejillas, el diseñador es libre de escoger el tipo de rejilla, siempre y cuando cumpla las recomendaciones mínimas de diseño. [Ramalho, 1996](Perez, 2016)

Según [Ramalho, 1996](Perez, 2016) las localizaciones de las rejillas deben ser aguas arriba de las estaciones de bombeo o de cualquier dispositivo de tratamiento que sea susceptible de obstruirse por el lateral grueso que trae el agua residual sin tratar. El canal de aproximación a la rejilla debe ser diseñado para prevenir la acumulación de arena u otro material pesado aguas arriba de esta.

1.4.2 Tratamiento primario

En él se separa o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, aproximadamente de 40 a 60%, mediante el proceso físico de asentamiento en tanques de sedimentación. La actividad biológica en las aguas negras durante esta etapa, es mínima.

Los dispositivos para el tratamiento, tiene como propósito fundamental disminuir la velocidad de las aguas negras para que los sólidos puedan sedimentarse. Por consiguiente, a estos dispositivos se le puede distinguir bajo el nombre de tanques sedimentadores o de sedimentación. (Perez, 2016)

Los tanques de sedimentación tienen una diversidad de diseños y sistemas de operación, sin embargo, pueden dividirse en cuatro grupos:

- Tanques de doble acción como los Imhoff
- Tanques sépticos
- Tanques de sedimentación simple con la eliminación mecánica de lodos
- Clasificadores de flujos ascendentes con eliminación mecánica de lodos

1.4.3 Tratamiento secundario

En cualquier tratamiento de residuales que se realiza después de la etapa primaria se busca eliminar contaminantes orgánicos, nutrientes como iones fosfato y nitrato o cualquier exceso de sales minerales. (Perez, 2016)

En el tratamiento se pretende que el agua sea lo más pura posible y libre de bacteria patógenas, para ello se realiza de forma general varias de las siguientes operaciones: la micro filtración, coagulación y precipitación, la adsorción, el intercambio iónico, la osmosis inversa, la electrodiálisis, la remoción de nutrientes la cloración y la ozonización. (Perez, 2016)

1.4.4 Tratamiento de lodos

Los sólidos están constituidos por los sólidos que se eliminan en las unidades de tratamiento primario y secundario junto con el agua que se separa con ellos. Mientras que en algunos casos es satisfactoria la disposición de ellos sin someterlos a tratamiento, generalmente es necesario tratarlos de alguna forma para que su disposición final no cause molestias.

Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de estos en eliminar parcial o totalmente el agua que contiene los lodos, para disminuir su volumen en gran porción y, en segundo lugar, para que se descompongan los sólidos minerales u orgánicos relativamente estables. [Babbitt, 1983] (Perez, 2016)

Lo anterior se logra con la combinación de dos o más métodos:

- Secado en lechos de arena, cubierto o descubiertos
- Digestión con o sin aplicación de calor
- Acondicionamiento con productos químicos
- Elutriación
- Secado
- Incineración

1.5 Procesos de tratamiento de aguas residuales

Para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones: coagulación, floculación y decantación o flotación posterior.

1.5.1 Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un floculo. Esta se consigue añadiendo al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y aluminio.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación son:

- pH: EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación

- Agitación rápida de la mezcla.: Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes de que comience a formarse el floculo o precipitado.
- Tipo y cantidad de coagulante: Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro.

1.5.2 Floculación

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento considerable del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando por tanto la velocidad de sedimentación de los flóculos. (Camacho, 2010)

Básicamente, existen dos mecanismos por los que las partículas entran en contacto, el primero es por el propio movimiento de las partículas (difusión browniana) y el segundo mecanismo se debe al movimiento del fluido que contiene a las partículas, que induce a un movimiento de éstas. Esto se consigue mediante agitación de la mezcla. A este mecanismo se le denomina Floculación orto cinética o por convección forzada. (Camacho, 2010)

Existen además ciertos productos químicos llamados floculantes que ayudan en el proceso de floculación. Un floculante actúa reuniendo las partículas individuales en aglomerados, aumentando la calidad del flóculos (más pesado y voluminoso). (Camacho, 2010)

1.5.3 Sedimentación

La sedimentación es un proceso físico por el cual se extraen partículas en suspensión presentes en el agua, mediante la acción gravitacional. El peso específico de estas partículas tiene que ser mayor al peso específico del agua que va ser tratada. Al tener un mayor peso específico las partículas se moverán hacia abajo, o lo que es lo mismo, se sedimentarán. Mientras, por otro lado, las partículas con un peso específico menor que el agua flotarán. (Carcelen, 2015)

Es un método de purificación del agua, en donde, el agua a ser tratada, es mantenida en reactores por un considerable periodo de tiempo. El agua recorre toda la longitud del reactor con una velocidad relativamente pequeña, lo que genera un virtual estado de reposo del agua dentro de los reactores. Esta relación, entre la sección longitudinal del tanque de sedimentación y la velocidad de traslación del agua, es utilizada para el análisis y diseño de los sedimentadores. (Carcelen, 2015)

Las partículas sedimentables o partículas con peso específico mayor al peso específico del agua, se moverán a lo largo del tanque de sedimentación, cayendo de forma continua, hasta alcanzar el fondo del sedimentador. Cuando el tamaño de las partículas presentes es muy pequeño, estas flotan en el agua. Para

poder sedimentar las partículas que se encuentran flotando es necesario aumentar el tamaño o peso específico de las mismas. Esto se realiza mediante la coagulación y la floculación.(Carcelen, 2015)

1.5.4 Adsorción

La adsorción es un fenómeno de transferencia de materia entre fases, el cual se utiliza ampliamente en los tratamientos para eliminar sustancias de las fases fluidas. Este se puede definir como: “el enriquecimiento de especies químicas de una fase fluida en la superficie de un sólido”. Este enriquecimiento crea una fase intermedia llamada interface, donde tiene lugar la adsorción entre la fase líquida que tiene el componente que deseamos eliminar y el otro componente que es el adsorbente. En la fase fluida debe estar el componente a adsorber disuelto en el líquido. En resumen, estos procesos de adsorción necesitan dos fases: la fase sólida o adsorbente y la fase líquida que es donde se encuentra el adsorbato Figura 1.2. (Navarrete, 2017)

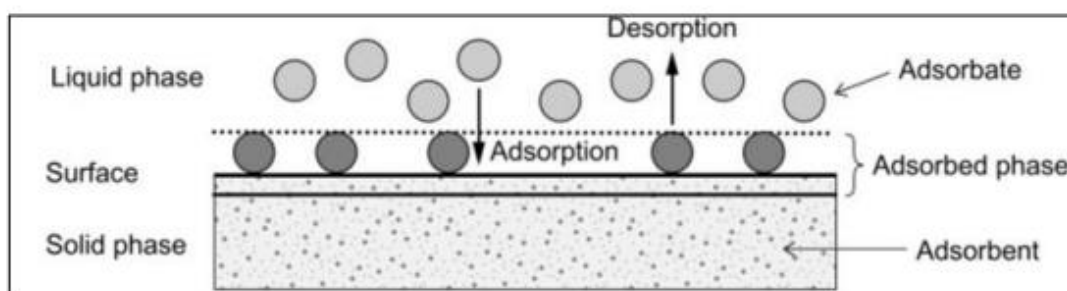


Figura 1.1 Esquema básico del mecanismo de adsorción.

La eficacia del proceso de adsorción está influenciada por una gran variedad de parámetros, entre ellos la interacción entre el colorante y el adsorbente, la superficie específica de éste, el tamaño de la molécula de colorante, la temperatura, el pH y el tiempo de contacto. Así pues, es fundamental el tipo de adsorbente elegido. Un adsorbente muy utilizado es el carbón activo, aunque también se emplean otros adsorbentes inorgánicos como las zeolitas, la vermiculita o el vidrio volcánico.(Navarrete, 2017)

1.5.4.1 Características principales de la adsorción

La adsorción es altamente selectiva. La cantidad adsorbida depende en gran medida de la naturaleza y del tratamiento previo al que se haya sometido a la superficie del adsorbente, así como la naturaleza de la sustancia adsorbida. Al aumentar la superficie de adsorbente y la concentración de adsorbato, aumenta la cantidad adsorbida. Es un proceso rápido cuya velocidad aumenta cuando aumenta la temperatura, pero disminuye cuando aumenta la cantidad adsorbida. Es un proceso espontáneo, es decir, que ΔG es negativa, y en general está asociada con un aumento en el orden del adsorbato, lo que significa que ΔS es negativa, por lo cual, y de acuerdo con la ecuación $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$, es generalmente exotérmica, lo que quiere

decir que ΔH es negativo. El cambio en la entalpía cuando 1 mol de adsorbato es adsorbido por la cantidad apropiada del adsorbente se conoce como la entalpía de adsorción (ΔH_{ads}). Dado que los procesos de adsorción son generalmente exotérmicos, al aumentar la temperatura disminuye la cantidad adsorbida.(Jaramillo, 2011)

1.5.4.2 Parámetros que influyen en el proceso de adsorción

Entre los parámetros que influyen en la adsorción se encuentra la relación adsorbente/adsorbato, el pH, la temperatura, la concentración del adsorbato, el tiempo de contacto. Como cualquier fenómeno, la biosorción se ve afectada por una serie de factores que pueden favorecerla o limitarla y que podemos centrar en torno a dos ejes principales:

- Factores internos del sistema adsorbente-adsorbato, como la composición físico-química del adsorbente y del adsorbato que determina automáticamente el mecanismo de la adsorción, la cantidad y la concentración de ambo.(Jaramillo, 2011)
- Factores externos al sistema adsorbente-adsorbato, como el pretratamiento, el tiempo de contacto, el sistema de contacto, en discontinuo (reactor tipo batch) o en continuo (filtros tipo columna), donde en el primer caso viene afectado por la velocidad de agitación y en el segundo por el caudal del agua a tratar, la temperatura del medio, la composición de la solución problema que aparte del adsorbato puede tener otros componentes que pueden interferir en la adsorción(Jaramillo, 2011)

El pH es un factor común en ambos casos porque tanto el adsorbente y el adsorbato como el resto de los componentes que pueden acompañar el adsorbato participan de una manera directa o indirecta en la modificación de pH que finalmente influye en la adsorción.(Jaramillo, 2011)

1.5.4.3 Adsorbentes más usados

Los biosorbente de origen biológico están formados por una biomasa de origen microbiano formada principalmente por algas, bacterias, hongos y levaduras. Éstos se obtienen a partir de los residuos de las industrias de fermentación, medicina, farmacia y productos derivados de algas. Los biosorbente de origen vegetal están formados por residuos de origen agrícola y forestal, entre ellos destacan cortezas de árboles, restos de vegetales, cereales y frutos. También se encuentran dentro de este grupo los residuos orgánicos o de origen animal procedentes de procesos industriales, como el quitosán o el xantato. (Aprovechame 2002)(Jaramillo, 2011).Otros ejemplos de biosorbentes empleados con este fin son: cáscara de naranja (Rafatullah, 2010), serrín de *Rattan* (Annadurai, 2017), borra de café(Ramos, 2010), bagazo de *Agave Salmiana* (Romina, 2011), cáscara de yuca (*Manihot esculenta*) modificada con ácido oxálico (Albis, 2018). El sorgo ha sido aplicado en la remoción de AM (Romina, 2011) y la paja de sorgo ha sido aplicada

en la remoción de cromo VI en agua (Jiménez, 2015) y según refiere (Romina, 2011) el bagazo de caña de azúcar para eliminación de rojo metil, verde malaquita, rojo básico.

1.5.4.4 Propiedades de los adsorbentes

El proceso de adsorción se afecta significativamente por diversos aspectos y propiedades del adsorbente como son la densidad de las partículas del material (tamaño de partícula), el área de superficial, la porosidad, las propiedades físico-químicas de la superficie del adsorbente, la presencia o ausencia de grupos funcionales y la composición elemental, las propiedades térmicas y el pH de la superficie del material. Los adsorbentes no convencionales suficientemente porosos permiten atrapar o retener moléculas, átomos o iones en su interior. La estructura química de los tejidos vegetales (tallos, hojas, cáscaras, semillas, raíces, etc.) presenta cavidades y poros que permiten el atrapamiento de moléculas pequeñas, como los metales, hasta moléculas complejas como lo son los colorantes. La naturaleza química de estas estructuras poliméricas permite favorables interacciones entre los pares de electrones libres de las especies (adsorbente y adsorbato), por lo que están siendo sumamente atractivos los materiales naturales para ser aplicados en la remoción de contaminantes en agua (Cisneros, 2016)

Respecto al bagazo, debe ser regenerado o cambiado periódicamente, puesto que la capacidad de adsorción de este se deteriora gradualmente con el uso. Cuando la calidad del efluente alcanza el nivel mínimo establecido en los estándares de calidad, es un indicativo de que el bagazo debe ser regenerado.

1.6 Evaluación económica – financiera del proyecto

El objetivo de la evaluación económica financiera de un proyecto de inversión es determinar la cuantía a invertir, así como los recursos para su financiamiento y para ello es necesario analizar los principales indicadores de Rentabilidad: Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y el Período de Recuperación (PR); se finaliza con el Análisis de Riesgos y Análisis de Escenarios. (Calviño, 2011)

1.6.1 Evaluación económica de daños ambientales evitados

La reducción del consumo de materias primas, de energía, de agua y otros recursos, sumada a la recuperación de los residuos, debe conducir a un importante aumento de la productividad. En muchos casos, ello permite justificar las inversiones adicionales requeridas para modificar los procesos con vistas a un manejo efectivo de los recursos.

Reducir la contaminación tiene un precio, que se relaciona con la pureza ambiental se busque. Una solución consiste en la internalización de costos: hacer que cada industria se encargue de la depuración o eliminación de sus propios residuos. El concepto de costo externo, de costo social y el principio ecologista "el que contamina, paga" fueron enunciados por Pigou en 1927. (Martínez, 2001). (Calviño, 2011)

La teoría económico-ambiental parte del concepto de externalidad. Se entiende por externalidades todos los costos o beneficios que recaen sobre la sociedad y el medioambiente como consecuencia de una actividad económica y que no están introducidos en el precio del producto que los ocasiona. (Anguita, 2004). Esta teoría ha sido ampliamente estudiada a partir de (Coase, 1960). Su cuantificación, basada generalmente en resultados experimentales obtenidos por métodos estadísticos, fue aplicada al medio ambiente (Constanza, 1991, Pearce y Turner 1990).(Calviño, 2011)

Conclusiones parciales:

1. La presencia de colorantes en aguas residuales industriales provoca afectaciones al medio ambiente, la sociedad y al hombre.
2. La aplicación de la combinación de tratamientos de aguas residuales textiles permite alcanzar porcentajes de remoción de los parámetros en la variable sólidos sedimentables totales, DQO y color.
3. En sustitución de los tratamientos convencionales se podrían utilizar residuos agrícolas o industriales que son eficaces y asequibles localmente en lugar del costoso carbón activado comercial
4. La interacción adsorbato adsorbente depende de las propiedades físico-químicas de la superficie del adsorbente, del pH de la superficie del material, de la concentración del adsorbente, de la temperatura.

Capítulo 2: Dimensionamiento de los equipos

La UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá perteneciente a la empresa Confecciones Fénix, que radica en la Avenida Céspedes # 31 en el Municipio de Remedios, Villa Clara; tiene como misión diseñar, producir y comercializar artículos textiles que satisfagan las necesidades y expectativas de los clientes, cumpliendo los requisitos técnicos establecidos, así como el tiempo de servicio reflejado en los contratos. Esta entidad se encarga de realizar el lavado de todas las confecciones de mezclilla que se producen en unidades similares de la provincia Villa Clara.

2.1 Cuantificación y determinación de las corrientes

El agua residual a tratar en la planta proviene mayormente del lavado que consta de las etapas de desengomado, desgaste, limpieza y suavizado que ocurren consecutivamente. En cada lavadora se introducen 120 kilogramos de ropa, que se corresponde a un tercio de la capacidad de las mismas.

La etapa de desengomado, se hace para romper el acabado que posee el tejido de mezclilla, y se disuelve en el agua el color original proveniente del índigo, ocurre por la acción del producto denominado Desize A 1200, que es una alfa amilasa, enzima termoestable que se utiliza para la remoción de engomados y aprestos, por su capacidad para eliminarlos, se aplica una dosis de 0.05 % equivalente a 0.060 kilogramos; también se utiliza el Norlube P que es un lubricante, el cual previene quebraduras, arrugas y abrasión en telas celulósicas, para de esta forma minimizar la tendencia a producir ralladuras de color, se aplica una dosis de 0.02 % equivalente a 0.025 kilogramos; se agrega además el producto denominado Disper NG en una dosis de 0.25 % equivalente a 0.3 kilogramos. La etapa tiene un tiempo de duración de aproximadamente 10 minutos, después de agregados los productos disueltos en agua, se mantiene la temperatura a 70 °C. La cantidad de productos y agua se corresponde con la masa de prendas a lavar aproximadamente 300 unidades.

El proceso continúa con la etapa que se denomina desgaste y es provocado por una mezcla de sustancias disueltas en agua, se está empleando actualmente el Softzyme NP-500. El softzyme NP-500, es una preparación de celulosa neutra producida por la fermentación de hongos no patógenos y se utiliza para modificar el material celulósico, se aplica una dosis de 0.21 % equivalente a 0.250 kilogramos; también se agrega una dosis de ácido acético de 1.25 % equivalente a 1.500 kilogramos y se agrega una dosis de Disper NG de 0.25 % equivalente a 0.3 kilogramos, la temperatura de esta etapa varía entre los 50 y 55 °C, y ocurre en un tiempo de 35 minutos.

Le sigue la etapa que se denomina limpieza, se realiza con peróxido de hidrógeno aplicando una dosis de 1.75 % equivalente 2.1 kilogramos y se utiliza además el detergente Romantic NG en una dosis de 0.1 % equivalente a 0.120 kilogramos para remover y destruir las impurezas en las fibras, lo cual ocurre debido a métodos oxidativos. La operación transcurre en un tiempo de 10 minutos y temperatura de 70 °C.

Continúa el lavado con el suavizado con Softener NG concentrado, que es un suavizante catiónico soluble en agua fría, excelente para algodón, el cual confiere buena sensación al tacto y propiedades antiestáticas a las prendas, se aplica una dosis equivalente al 10 % del total, igual a 0.15 kilogramos, la operación tiene un tiempo de duración de 10 minutos a una temperatura de 40 °C.

Entre cada uno de estos procedimientos se realizan enjuagues con abundante agua, para eliminar o reducir las sustancias químicas aportadas, por lo que los volúmenes de agua son relativamente altos como se muestra en la Tabla 2.1, y sale del proceso con una alta concentración de color y de compuestos orgánicos. Esta operación se realiza en tres lavadoras COSMOTEX, las cuales están equipadas con un microprocesador Telemecanique y una pantalla táctil digital, que tiene un software que optimiza las funciones de la máquina y permite el control de todas las operaciones como son: el control automático del baño, el tiempo de ciclo, la temperatura, el tiempo de inversión, la velocidad de rotación, así como la programación y almacenamiento de un amplio número de recetas. El equipo posee una estructura de gran robustez construida con acero inoxidable y con una capacidad de 360 kilogramos, además, consta de un tambor rotatorio de acero inoxidable AISI 304, el cual tiene un diámetro de 1800 mm.

Al concluir el proceso de lavado las prendas pasan al hidroextractor HE-50 para eliminarle el agua que contienen las mismas, aquí se logra extraer de un 80 a un 88 % del agua que se encuentra en las prendas. Se cuentan con tres hidroextractores, los cuales tienen un tiempo de operación de 10 minutos, los mismos alcanzan una velocidad de 500-1000 revoluciones por minuto (rpm) y poseen un diámetro de 800 mm con una profundidad de 420 mm. El residual de esta operación se vierte a la zanja.

Para lograr el secado completo de las prendas, se pasan a las secadoras Costomex, las cuales vienen equipadas con un programador que permite el control de la temperatura del agua y del tiempo de secado para un mejor desarrollo del proceso. Las máquinas tienen un tambor de acero inoxidable AISI 304, las partes que están en contacto con agua o productos químicos están tratados con pintura antioxidante especial. El equipo está provisto con grandes y resistentes palas de AISI 304 para mayores volúmenes de carga. El sistema de calentamiento es mediante vapor. Este proceso de secado tiene una duración de 10 minutos.

Después de que las prendas están completamente secas pasan a los Topper NT 200 donde se planchan. Este equipo ha sido diseñado especialmente para el vaporizado y estirado de cualquier tipo de prenda. Consta de un ciclo automático, contador de prendas, control de tallas, control de la tensión en la cintura y un control del estirado dependiendo del tipo de pantalón.

Las prendas planchadas son empaquetadas según las cantidades establecidas y almacenadas hasta su posterior distribución a los diferentes clientes. Las prendas se guardan en el almacén de productos terminados, la cual se realiza sobre parles, separadas de las paredes y del techo.

El recorrido de los residuales existentes en la actualidad desde su origen, que es la lavadora, se comporta de la siguiente forma: cuando ocurre la descarga del contenido de la lavadora y de la secadora, el residual va a una zanja que tiene instalada una trampa de pelusas y de esta corre a través de un sistema de registros hasta un tanque séptico y de aquí al alcantarillado municipal Figura 2.1.

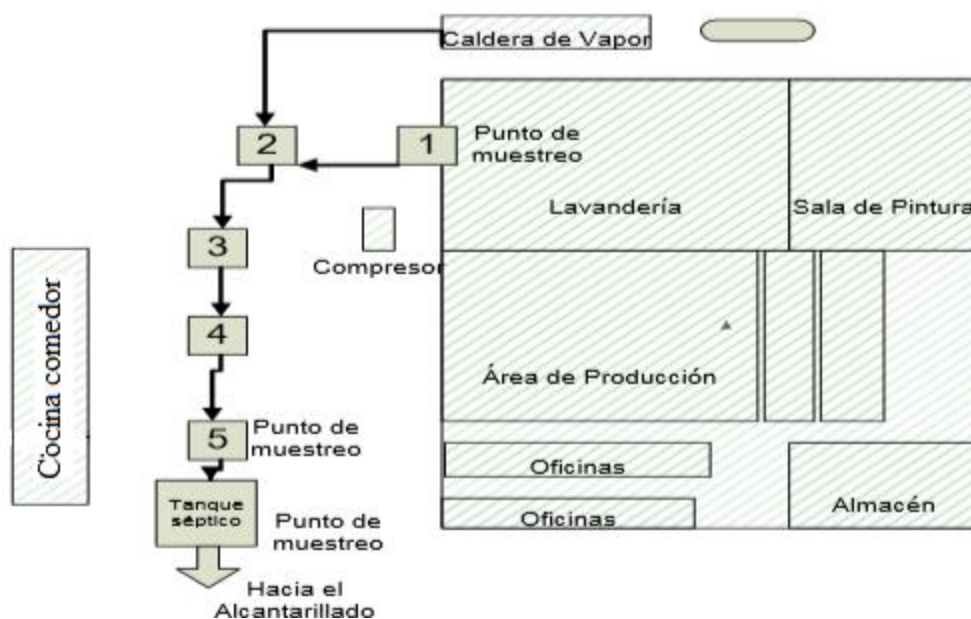


Figura 2.1 Esquema que muestra el recorrido de los residuales y los puntos de muestreo en la lavandería de la UEB 102 Juan Pedro Carbó Serviá

El total de agua consumida por una lavadora en un lavado es de 3 870 litros, al existir tres lavadoras el valor del agua consumida es de 11 610 litros. Como las jornadas de trabajo son de 8 horas lo que conlleva a que por el tiempo de duración de las sub etapas solo se realicen 4 lavados, por tanto el valor de agua consumida tiene un valor de $46\,440 \frac{L}{dia}$. Si a este valor le restamos 6 501.6 litros el cual representa el 12 % de agua que se queda en las prendas lavadas se obtiene un valor de $39\,938.4 \frac{L}{dia}$.

Tabla 2.1 Volúmenes de agua generado por etapas.

Etapa del proceso	Sub etapas	Consumo en Litros	Tiempo (min)
Lavado	Desencolado	360,00	10
	Enjuague	1 000	
	Desgaste	120,00	35
	Enjuague	740,00	
	Limpieza	450,00	10
	Enjuague	840,00	
	Suavizado	360,00	10
Total consumido	3 870		

2.2 Caracterización de las descargas

Para la caracterización de los residuales que se generan en el proceso, la muestra de agua residual fue tomada del proceso de lavado conformando una muestra compuesta con el agua resultante de cada etapa del proceso. Para el muestreo se tuvo en cuenta lo establecido en la *NC 27: 2012 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones(Normalizacion(NC), 2012)*. La muestra compuesta fue analizada por experimentos realizados en laboratorios de la provincia Villa Clara arrojando las características expuestas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Caracterización de aguas residual

		Marzo,2010		Junio,2011			Octubre,2011			Julio,2019
Determinaciones	Límites Máximos Permisibles	Lavadora	Tanque séptico	Lavadora	Tanque séptico	Punto de muestreo	Lavadora	Tanque séptico	Punto de muestreo	Lavadora
DBO ₅ (mg/L)	< 300	828	225	3 000	2 000	2 800	1 856	1 393	928	-
DQO (mg/L)	< 700	1 709	632	8 671	7 734	8 203	4 950	3 713	2 475	4 162
Grasas (mg/L)	< 50	-	96	46	193	263	61	210	141	-
Conductividad (µs/cm)	< 4 000	1 052	1 248	3 480	4 050	4 120	3 940	5 100	5 409	-
pH (U)	6,0-9,0	7,58	5,54	7	4,9	5,97	5,85	6,33	4,9	-
Temperatura (°C)	< 50	-	28	-	28	-	-	28	-	-
SS (mg/L)	< 10	54	18	18	7	8	25	0	15	-
N _T (mg/L)	*	8,3	10,6	2	12	5	5,6	0	0	-
P _T (mg/L)	< 5.0	4,56	6,5	1,33	1,99	3,12	< 0,2	< 0,2	< 0,2	-
Estudio realizado por		Empresa Geominera del Centro		Empresa Geominera del Centro			Empresa Geominera del Centro			UCLV

2.3 Alternativa de tratamiento

En la unidad empresarial los residuales que se obtienen como consecuencia del proceso de lavado tienen un tratamiento deficiente el cual no cumple con los parámetros de las normas establecidas. Por lo que es una necesidad inmediata la implementación de un sistema sostenible que logre la obtención de un agua con las características especificadas en la norma de vertimiento. Para la implementación de dicho sistema se cuenta con un área aledaña a la UEB de 15 m², con la utilización de dicha porción de terreno se busca reducir los costos de trasportación y de instalación de los equipos además de lograr una integración entre los procesos.

El proceso de tratamiento se divide en tres etapas las cuales son preliminar o pre tratamiento; primaria y secundaria destacando que el agua residual solamente es trasladada hasta una salida inmediata a la planta.

Etapas preliminar:

Se define como preliminar porque es la antesala del tratamiento que recibe el agua residual, que contiene desechos como hilos y retazos de tela, siendo necesaria una barrera que impida el paso de este material grueso a las siguientes etapas. El proceso de separación ocurre en una rejilla de acero galvanizado con diámetro de alambre de 1.5 milímetros.

Al no ser continuo el proceso de lavado el cual es donde se genera el agua a tratar, se almacena el agua en un tanque de ingreso de aguas residuales con agitador el cual cumple con las funciones de medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta teniendo acoplado un medidor de flujo hasta que se tiene un volumen de 4 metros cúbicos para posteriormente pasar a la etapa primaria del tratamiento.

Etapas primaria:

La sedimentación – floculación - coagulación, se realiza en sedimentadores que generalmente se construyen preferiblemente de hormigón armado, aunque los cilindros en algunos casos pueden ser de acero. Todos los tanques empleados para la sedimentación suelen tener fondos inclinados para facilitar la remoción de lodos. (Carcelen, 2015)

La retirada de sedimentos del fondo se realiza por barrida mecánica. Los lodos extraídos del sedimentador se transportan en tolvas de acero dotado de ruedas para facilitar su transportación hacia las bandejas de secado para el tratamiento posterior. El agua residual pasa a la próxima etapa del proceso.

Etapas secundaria:

La etapa de adsorción se realiza en una zanja de concreto por donde circula el agua, se ubica una batería de cestos rellenos con el material biosorbente: bagazo de caña de azúcar. Estos cestos son fabricados con lamina perforada o malla, el diámetro de la malla es menor que el tamaño de partícula seleccionado para el biosorbente (0.63-1 mm), obtenido por tamizado(Perez, 2005).

Los diagramas de bloque y de flujo del proceso aparecen en el Anexo 1 y Anexo 2 respectivamente.

2.4 Diseño de los equipos para el tratamiento

El dimensionamiento de los equipos se realiza partiendo de las funciones de cada equipo. Teniendo en cuenta el valor de la cantidad de agua generada en el proceso Tabla 2.1 y la cantidad de lavados que se realizan al día se tiene un valor de $39\,938.4 \frac{L}{dia}$.

El flujo de agua residual generada (Q) se calcula:

$$Q = \text{Consumo de agua} + SST * Q \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Los sólidos sedimentables se determinan a partir de estudios experimentales en pruebas de sedimentación en conos, dicho estudio se le realiza a una muestra tomada a la salida del lavado de las prendas. Para comprobar la cantidad de sólido que sedimenta., se añade 1 litro de muestra en el cono vertical durante la prueba, se observa que los sólidos descienden de forma homogénea, al cabo de la hora de medición los sólidos sedimentan acumulándose en el fondo, de esta manera se determina que el volumen de sólidos es aproximadamente de 25 mL/L, sin tener en cuenta que el volumen que ocupa el líquido entre las partículas sedimentadas. Para determinar la cantidad de sólidos sedimentables se debe aplicar una prueba de secado a la muestra tomada, estos sólidos no son más que pelusas provenientes del tejido y flóculos que se forman.

Por tanto, sacando factor común de la Ecuación 2.1 se tiene:

$$Q = \frac{\text{Consumo de agua}}{(1-SST)} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$Q = \frac{39938.4}{1 - \left(\frac{25}{1000}\right)}$$

$$Q = 40\,962.46 \frac{L}{dia}$$

Ahora si convertimos el valor de Q tomando como base de dato que las jornadas laborales duran 8 horas:

$$Q = 40\,962.46 \frac{L}{dia} = 5\,120.30 \frac{L}{h} = 5.120 \frac{m^3}{h} = 0.0014 \frac{m^3}{s}$$

2.4.1 Calculo del diseño de la etapa pre tratamiento:

2.4.1.1 Canal de entrada

El canal de entrada, es la estructura en la cual descarga la tubería de salida en el proceso de lavado de la planta. Se propone un canal de concreto con sección rectangular, ya que por el circularan las aguas residuales que se generan, se proponen las siguientes dimensiones:

Base (b) = 0,4 m

Altura (h) = 0,5 m

Según (Castillo and Torres, 2010, Perez, 2016) :

La altura de canal máxima ($h_{\text{máx}}$) = $h + 0.20\text{m} = 0.70\text{ m}$ de borde libre tomado como criterio técnico, para que no trabaje a canal lleno Figura 2.2.

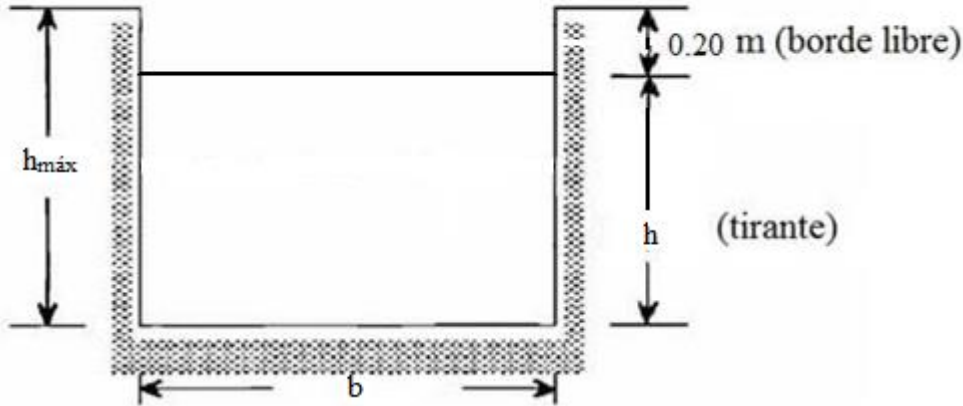


Figura 2.2 Vista transversal del canal de entrada

El área de la sección del canal (A) se calcula:

$$A = b * h_{\text{máx}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$A = 0,28\text{ m}^2$$

El radio hidráulico (R) se calcula:

$$R = \frac{b * h_{\text{máx}}}{b + 2 * h_{\text{máx}}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$R = 0,156\text{ m}$$

La velocidad a la que se transporta el fluido por el canal (v_{RL}) se calcula:

$$v_{RL} = \frac{1}{\eta} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$v_{RL} = 0,44\text{ m/s}$$

Usando:

S , pendiente (m). Se considera $0,0005\text{ m}$ dato tomado de estudios anteriores (Castillo and Torres, 2010)

η , coeficiente de Manning. Para canales de hormigón $0,014$.

4.1.2 Rejilla manual

La rejilla, se instala a la salida del tubo de descarga de la lavadora, de manera que el flujo de agua residual pase por su área. Las mismas deben ser colocadas de manera que puedan ser quitadas con facilidad para permitir la remoción de las partículas atrapadas, en la Figura 2.3 aparece la vista transversal de ubicación de las barras en el canal.

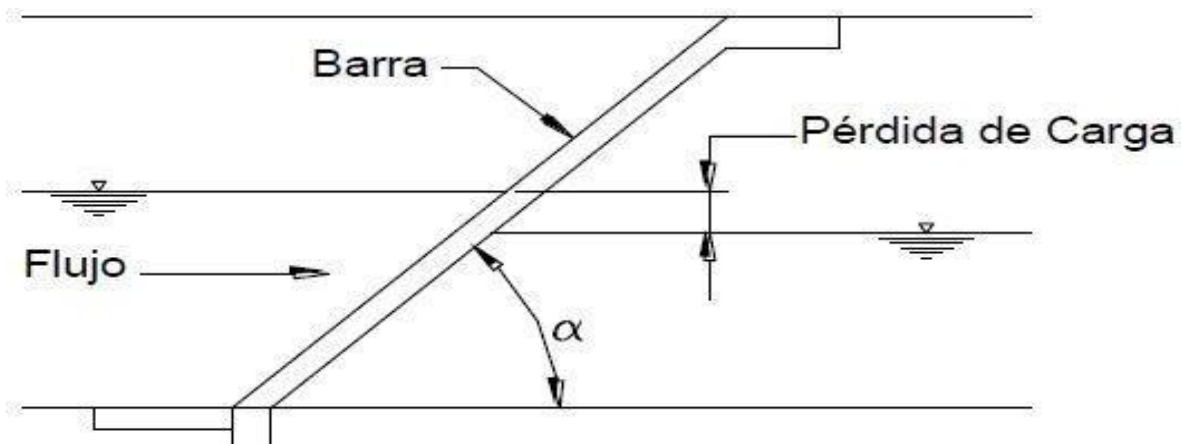


Figura 2.3 Vista transversal de ubicación de las barras en el canal.

Longitud sumergida de la rejilla (L_s) se calcula:

$$L_s = \frac{N_{\text{máx}}}{\text{sen} \delta} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

$$L_s = 0,0074 \text{ m}$$

Donde δ es el grado de inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal del suelo (se asume una inclinación de 45°)

El nivel máximo de agua $N_{\text{máx}}$ se calcula:

$$N_{\text{máx}} = \frac{Q}{v_{RL} * b} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$N_{\text{máx}} = 0,0079 \text{ m}$ con este valor se calcula la longitud sumergida de la rejilla.

La suma de separaciones entre barras (bg) se obtiene despejando de la Ecuación 2.8:

$$b = \left(\frac{bg}{e} - 1 \right) (s + e) + e \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$bg = 0.172 \text{ m}$$

Dónde:

b = ancho del canal (m)

bg = suma de las separaciones entre barras (m).

e = separación entre las barras 0.002 m dato tomado de estudios anteriores (Dominguez, 2008)

s = espesor de las barras 0.0015 m.

El número de barras (N°) se calcula:

$$N^\circ = \frac{bg}{e} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$N^\circ = 86$$

Por lo tanto, el número de barras son 86.

El área entre barras (A_L) se calcula:

$$A_L = L_S * bg \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$A_L = 0.00127 \text{ m}^2$$

Verificación del valor de la velocidad que fluye a través de los espacios de la rejilla: $V_{RL} = \frac{Q}{A_L}$

$$\text{Ecuación 2.11}$$

$$V_{RL} = 0.44 \text{ m/s}$$

Las pérdidas de carga a través de la rejilla (h_c) se calculan:

$$h_c = \frac{\beta * \left(\frac{s}{e}\right)^{\frac{3}{4}} * v_{RL}^2}{2 * g} * \text{sen} \theta \quad \text{Ecuación 2.12}$$

$$h_c = 0.00626 \text{ m}$$

Dónde:

h = diferencia de alturas antes y después de las rejillas (m).

s = espesor máximo de las barras (m).

e = separación entre las barras (m)

$\frac{v_{RL}^2}{2 * g}$ = carga de velocidad antes de la rejilla.

θ = ángulo de inclinación de las barras

β = factor dependiente de la forma de las barras $\beta = 1.79$

La sección de las barras tiene influencia en el fenómeno que modela la expresión anterior y se considera a través del factor (β), que se puede obtener de la Figura 2.4. (Dominguez, 2008)

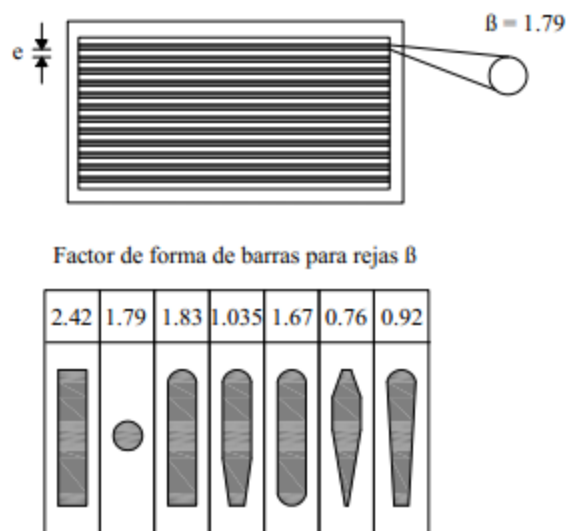


Figura 2.4 Factor de forma de las barras para las rejillas (β).

Cálculo de la hipotenusa:

$$Hipotenusa = \frac{h}{\sin 45^\circ} = 0.588 \text{ m} \quad \text{Ecuación 2. 13}$$

2.4.1.3 Cálculo de la carga y potencia de la bomba a instalar

La carga de la bomba a emplear se calcula como:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H_B = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_P \quad (\text{Ecuación de Bernoulli para la carga hidrodinámica (Rosabal, 2014)})$$

d _i tubería	ρ (kg/m ³)	μ (Pa*s)	L (m)	Q (m ³ /s)	e (rugosidad en m)
4''=0,1016 m	998	0,8x10 ³	2.0	0,0014	0,0002

Al pasar los términos de un miembro a otro y despejar la carga (H_B) queda de la siguiente forma:

$$H_B = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + h_P \quad \text{Ecuación 2.14}$$

El término que contiene la presión se hace cero, pues ambos equipos se encuentran abiertos a la atmósfera, se considera en el cálculo la velocidad a la que circula el agua en el canal después de pasar por la rejilla y la salida del tubo en el tanque de ingreso de aguas residuales.

El área de la sección transversal del tubo (A) y la velocidad a la que se traslada el fluido (V) se obtienen mediante la Ecuación 2.16:

$$A = (d_i)^2 * \frac{\pi}{4} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

$$A = 0,008103 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

$$v = 0,172 \text{ m/s}$$

Siguiendo el esquema de flujo del residual entre el canal de circulación de los residuales y el tanque de ingreso de agua residual, se toman los puntos inicial y final, para lo que se tienen los siguientes datos:

Realizando un análisis hidrodinámico se tiene:

Punto 1	Punto 2
v ₁ = 0,44 m/s	v ₂ = 0,172 m/s
Z ₁ = 0,70 m	Z ₂ = 3,0 m
P ₁ = 1 atm	P ₂ = 1 atm

El término h_p = h_f + h_{rl} donde: h_p es la pérdida total de carga por fricción y accesorios (h_f), pérdida total de carga por fricción y (h_{rl}), pérdida de carga por accesorios

Para el cálculo de f es necesario calcular el número de Reynold

$$Re = \rho * v * \frac{di}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$Re = 33\,967.9 * 10^{-5}$$

$$\text{La relación } \frac{e}{di} = 0,0019,$$

Con estos valores se entra en el diagrama de Moody (Rosabal, 2014) de allí se obtiene que $f = 0,045$.

$$h_f = \frac{f * v^2 * L}{2 * di * g} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

$$\text{Entonces } h_f = \frac{0,045 * 0.172^2 * 2}{2 * 0,1016 * 9,81} = 0.00133 \text{ m}$$

En el caso de h_{rl} es necesario conocer el número de accesorios y el coeficiente de resistencia local (K_i)(Rosabal, 2014):

Accesorio o condición	Cantidad	K_i para un accesorio	K_i
Codo de 90°	3	0,75	2.25
Válvula de globo	1	6	6
Universal	2	0	0
Cambio de menor a mayor volumen.	1	1	1
Cambio de mayor a menor volumen.	1	0,5	0.5
$\sum K_i$			9.75

$$h_{rl} = \sum \frac{K_i * v^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

$$\text{Por tanto, } h_{rl} = 0.0144 \text{ m}$$

$$\text{La carga de la bomba es } H_B = 3.70 \text{ m} + 0.268 \text{ m} + 0.0144 \text{ m} + 0.00133 \text{ m} = 3,98 \text{ m}$$

La potencia consumida por la bomba (N_{bomba}) se calcula considerando una eficiencia (η) del 90% y una eficiencia del motor de 88 %, (partiendo del criterio de las eficiencias dadas en la asignatura Hidrodinámica y Separaciones mecánicas).

$$N_{bomba} = \frac{H_B * Q * \rho * g}{1000 * \eta} \quad \text{Ecuación 2.20}$$

$$N_{bomba} = \frac{3.98 * 998 * 10 * 0.0014}{1000 * 0,90} \text{ kW}$$

$$N_{bomba} = 0,061 \text{ kW}$$

$$N_{motor} = \frac{H_B * Q * \rho * g}{1000 * \eta} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

$$N_{motor} = \frac{3.98 * 998 * 10 * 0,0014}{1000 * 0,88} \text{ kW}$$

$$N_{motor} = 0.063 \text{ kW}$$

$$N_{instalacion} = B * N_{motor} = 0.160 \text{ kW}$$

Sí además N se puede calcular como

$$N = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

Donde t es el tiempo de uso y E es la energía gastada por unidad de tiempo entonces despejando de la Ecuación 2.22

$$E = N * t$$

$$E = 43\,545.6 \frac{\text{kw}}{\text{mes}} * 1 \frac{\frac{\text{kJ/s}}{\text{kw}}}{3600 \text{kJ}} = 12.09 \frac{\text{kw}}{\text{mes}}$$

Convirtiendo valores:

$$N = 0.063 \frac{\text{kw}}{\text{s}} = 1\,814.4 \frac{\text{kw}}{\text{dia}} = 43\,545.6 \frac{\text{kw}}{\text{mes}}$$

Mediante los datos calculados de flujo, consumo de potencia y carga hidráulica, se selecciona haciendo uso de catálogos estandarizado (EBARA, 2018) la bomba a instalar, se escoge para ello de la serie DIN 24 255 la 32-125/0.25, de velocidad 1450 rpm, consumo 0,13 kW, con posibilidades de uso hasta 3 m³/h y 5,0 m de carga.

2.4.1.4 Tanque de ingreso del agua residual

El tanque donde se ingresa el agua residual, es el equipo en la cual se almacena todo el volumen de un día de lavado después de haber pasado por el tratamiento pre eliminar. Se propone diseñar una cámara cilíndrica dotada de agitador con seis aletas planas de 0.5 m de diámetro, para un flujo de $0.0014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, ver Figura 2.5.

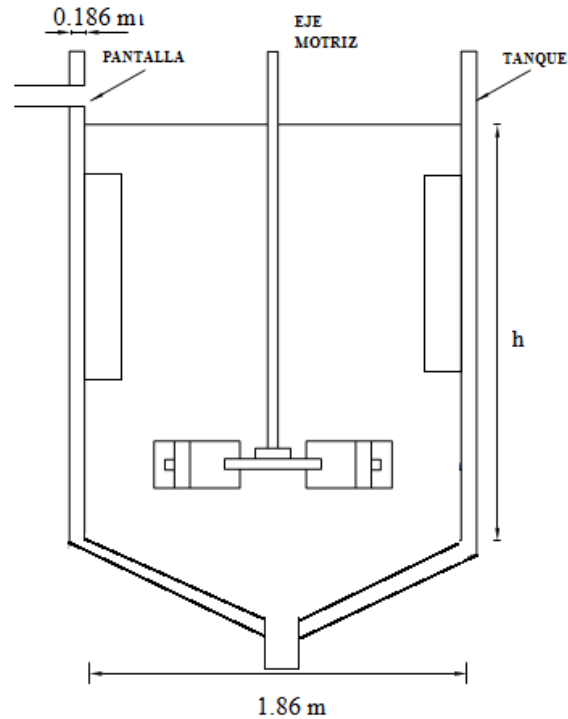


Figura 2.5 Tanque de ingreso del agua residual.

$$Q = 5.120 \frac{m^3}{h} * \frac{8 h}{1 \text{ día}} = 40.96 \frac{m^3}{\text{día}}$$

El área del tanque (A) se calcula:

$$A = \frac{Q}{C_s} = 2.730 \text{ m}^2 \quad \text{Ecuación 2.23}$$

Dónde:

C_s = Carga superficial ($m^3/m^2 \cdot \text{día}$) para caudal medio $15 m^3/m^2 \cdot \text{día}$ considerando este dato y los criterios de diseño de (Dominguez, 2008)

El diámetro del tanque ($\varnothing$) se calcula:

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

$$\varnothing = 1.86 \text{ m}$$

Para el cálculo del volumen del tanque (V): se fija una altura de 1,5 m considerando razonamiento de estudios anteriores (Ramos, 2018) y se determina mediante la Ecuación 2.25

$$V = A * h \quad \text{Ecuación 2.25}$$

$$V = 4.09 \text{ m}^3$$

Cálculo del ancho de los deflectores: los deflectores son 4, dispuestos de forma vertical en las paredes del tanque, desde el fondo y sobresaliendo por encima del nivel del líquido.

El ancho de los deflectores (W_b) se calcula:

$$W_b = \frac{1}{10} * \emptyset \quad \text{Ecuación 2.26}$$

$$W_b = 0.186 \text{ m}$$

2.4.1.4 Cálculos para el agitador mecánico de aletas planas

Para una cámara cilíndrica las dimensiones recomendadas por (MECÍAS, 2012) para un agitador de aletas planas ver Figura 2.6 y Figura 2.7 son:

$$\frac{D}{d}=3 \quad \frac{e}{D}=\frac{1}{10} \quad 2.7 \leq \frac{H}{d} \leq 3.9 \quad 0.75 \leq \frac{h}{d} \leq 1.3 \quad \frac{r}{d}=\frac{1}{4} \quad \frac{w}{d}=\frac{1}{5}$$

Suponiendo que $\frac{D}{d} = 3$, $\frac{H}{d} = 3$ se tiene que $D = H$ por lo que el diámetro del impulsor se calcula:

$$d = 1/3 * \emptyset \quad \text{Ecuación 2.27}$$

$$d = 0.62 \text{ m}$$

La altura del impulsor respecto al fondo

$$h = d, h = 0.62 \text{ m}$$

El ancho de las paletas del impulsor (w)

$$w = \frac{1}{5} * d \quad \text{Ecuación 2.28}$$

$$w = 0.124 \text{ m}$$

La longitud de las paletas del impulsor (r)

$$r = \frac{1}{4} * d \quad \text{Ecuación 2.29}$$

$$r = 0.155 \text{ m}$$

La longitud de las paletas montadas en el disco central (l_{DC})

$$l_{DC} = \frac{1}{2} * r \quad \text{Ecuación 2.30}$$

$$l_{DC} = 0.0775 \text{ m}$$

El diámetro del disco central (S)

$$s = \frac{1}{4} * \emptyset \quad \text{Ecuación 2.31}$$

$$s = 0.465 \text{ m}$$

La potencia requerida, según (Lopez, 1984) se calcula:

$$P = K * \rho * N^3 * d^5 \quad \text{Ecuación 2.32}$$

Dónde:

P = Potencia requerida (W)

K = Constante (6.3)

ρ = Densidad del agua (995.68 kg/m^3 para 30°C)

d = diámetro del impulsor (m)

N = Velocidad del impulsor dato tomado de estudios anteriores ($3.33 \frac{\text{revoluciones}}{\text{s}}$)

Así tenemos que la potencia es:

$$P = 20\,647.90 \text{ W}$$

Con una eficiencia del motor del 80 %:

$$P = \frac{W}{0.8 \times 1000} = \frac{20\,647.90}{0.8 \times 1000} = 25.80 \text{ KW}$$

Ecuación 2.33

Tabla 2.3 Resumen de los elementos calculados:

Elementos	Dimensiones (m)
Diámetro del impulsor (d)	0.62
Altura del impulsor sobre el fondo (h)	0.62
Ancho de la paleta del impulsor: (w)	0.124
Longitud de la paleta del impulsor (r)	0.155
Altura del fluido (H)	1.86
Ancho de los deflectores (Wb)	0.186
Diámetro del disco central (s)	0.465

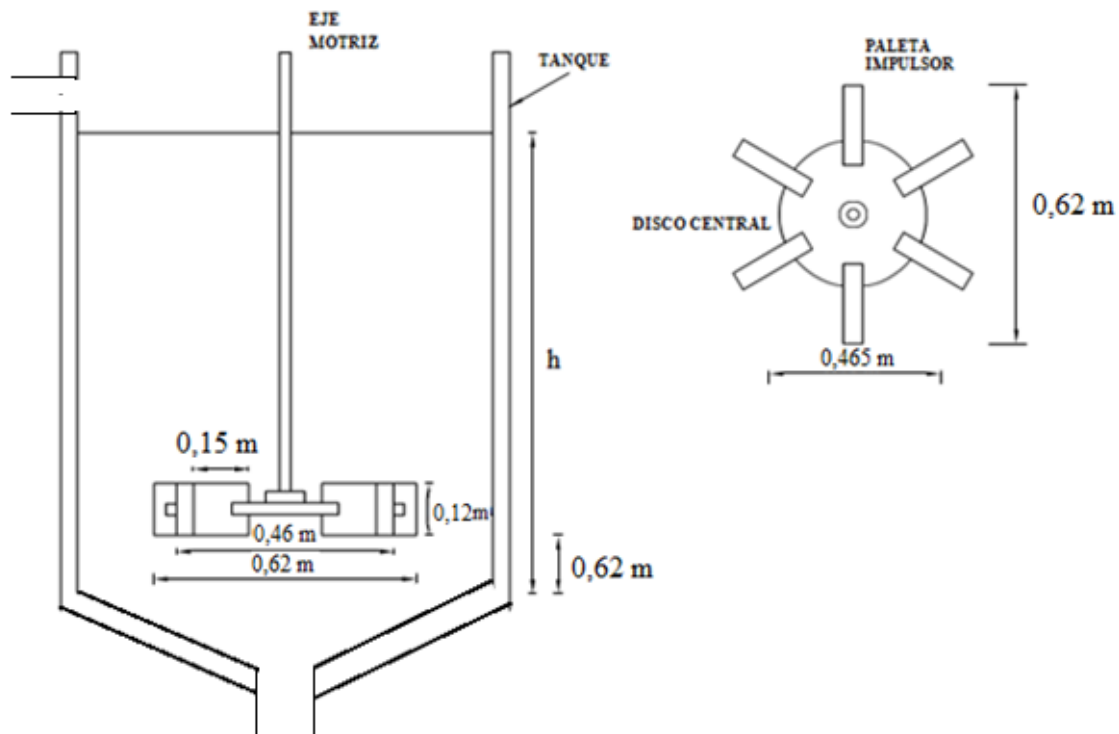


Figura 2.6 Agitador de paletas planas.

Figura 2.7 Disco central.

2.4.2 Cálculo de la carga y potencia de la bomba a instalar

La carga de la bomba a emplear se calcula como:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + H_B = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_p \quad (\text{Ecuación de Bernoulli para la carga hidrodinámica (Rosabal, 2014)})$$

d _i tubería	ρ (kg/m ³)	μ (Pa*s)	L (m)	Q (m ³ /s)	e (rugosidad en m)
4''=0,1016 m	998	0,8x10 ³	2.5	0,0014	0,0002

Al pasar los términos de un miembro a otro y despejar la carga (H_B) queda de la siguiente forma:

$$H_B = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta v^2}{2 \cdot g} + h_p \quad \text{Ecuación 2.34}$$

El término que contiene la presión se hace cero, pues ambos equipos se encuentran abiertos a la atmósfera, solo se considera en el cálculo la velocidad a la salida del tubo en el sedimentador.

El área de la sección transversal del tubo (A) y la velocidad a la que se traslada el fluido (V) se obtienen mediante la Ecuación 2.34:

$$A = (d_i)^2 * \frac{\pi}{4} \quad \text{Ecuación 2.35}$$

$$A = 0,008103 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2.36}$$

$$v = 0,172 \text{ m/s}$$

Siguiendo el esquema de flujo del residual entre el tanque de ingreso de residuales y el sedimentador Anexo 3, se toman los puntos inicial y final, para lo que se tienen los siguientes datos:

Realizando un análisis hidrodinámico se tiene:

Punto 1	Punto 2
v ₁ = 0	v ₂ = 0,172 m/s
Z ₁ = 0	Z ₂ = 4,5 m
P ₁ = 1 atm	P ₂ = 1 atm

El término h_p = h_f + h_{rl} donde: h_p es la pérdida total de carga por fricción y accesorios (h_f), pérdida total de carga por fricción y (h_{rl}), pérdida de carga por accesorios

Para el cálculo de f es necesario calcular el número de Reynold

$$Re = \rho * v * \frac{d_i}{\mu} \quad \text{Ecuación 2.37}$$

$$Re = 21\,800.3 \cdot 10^{-5}$$

La relación $\frac{e}{di} = 0,0019$,

Con estos valores se entra en el diagrama de Moody (Rosabal, 2014) de allí se obtiene que $f = 0,032$.

$$h_f = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot di \cdot g} \quad \text{Ecuación 2.38}$$

$$\text{Entonces } h_f = \frac{0,032 \cdot 0.172^2 \cdot 2.5}{2 \cdot 0.1016 \cdot 9.81} = 0.00119 \text{ m}$$

En el caso de h_{rl} es necesario conocer el número de accesorios y el coeficiente de resistencia local (K_i) (Rosabal, 2014) :

Accesorio o condición	Cantidad	K_i para un accesorio	K_i
Codo de 90°	9	0,75	6.75
Válvula de globo	2	6	12
Universal	4	0	0
Cambio de menor a mayor volumen.	1	1	1
Cambio de mayor a menor volumen.	1	0,5	0.5
$\sum K_i$			30.75

$$h_{rl} = \sum \frac{K_i \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ecuación 2.39}$$

Por tanto, $h_{rl} = 0.045 \text{ m}$

La carga de la bomba es $H_B = 4,5 \text{ m} + 0.01479 \text{ m} + 0.00119 \text{ m} + 0.045 \text{ m} = 4.5609 \text{ m}$

La potencia consumida por la bomba (N_{bomba}) se calcula considerando una eficiencia (η) del 90% y una eficiencia del motor de 88 %, (partiendo del criterio de las eficiencias dadas en la asignatura Hidrodinámica y Separaciones mecánicas).

$$N_{bomba} = \frac{H_B \cdot Q \cdot \rho \cdot g}{1000 \cdot \eta} \quad \text{Ecuación 2.40}$$

$$N_{bomba} = \frac{4.56 \cdot 998 \cdot 10 \cdot 0.0014}{1000 \cdot 0.90} \text{ kW}$$

$$N_{bomba} = 0,070 \text{ kW}$$

$$N_{motor} = \frac{H_B \cdot Q \cdot \rho \cdot g}{1000 \cdot \eta} \quad \text{Ecuación 2.41}$$

$$N_{motor} = \frac{4.56 \cdot 998 \cdot 10 \cdot 0.0014}{1000 \cdot 0.88} \text{ kW}$$

$$N_{motor} = 0.069 \text{ kW}$$

$$N_{instalacion} = B \cdot N_{motor} = 0.162 \text{ kW}$$

Sí además N se puede calcular como

$$N = \frac{E}{t}$$

Ecuación 2.42

Donde t es el tiempo de uso y E es la energía gastada por unidad de tiempo entonces despejando de la Ecuación 2.42;

$$E = N * t$$

$$E = 42\,854.4 \frac{\text{kw}}{\text{mes}} * 1 \frac{\frac{\text{kJ/s}}{\text{kw}}}{3600\text{kJ}} = 11.90 \frac{\text{kw}}{\text{mes}}$$

Convirtiendo valores:

$$N = 0.069 \frac{\text{kw}}{\text{s}} = 1\,785.6 \frac{\text{kw}}{\text{dia}} = 42\,854.4 \frac{\text{kw}}{\text{mes}}$$

Mediante los datos calculados de flujo, consumo de potencia y carga hidráulica, se selecciona haciendo uso del programa (WinCAPS de Grundfos) la bomba a instalar es la CR 5-2 A-A-A-V-HQQV de código 9651709 con una velocidad de 2 856 rpm, un caudal real de 5.83 m³/h y una altura resultante de 6 metros. En el Anexo 4 se presentan las propiedades de la bomba.

2.4.3 Calculo del diseño de la etapa primaria

2.4.3.1 Sedimentación con coagulación floculación

Con el diseño de la etapa de coagulación, floculación, sedimentación en un solo equipo, se consigue la retención de todas aquellas partículas cuyas velocidades de sedimentación sean superiores o iguales a la carga superficial del mismo Figura 2.8.

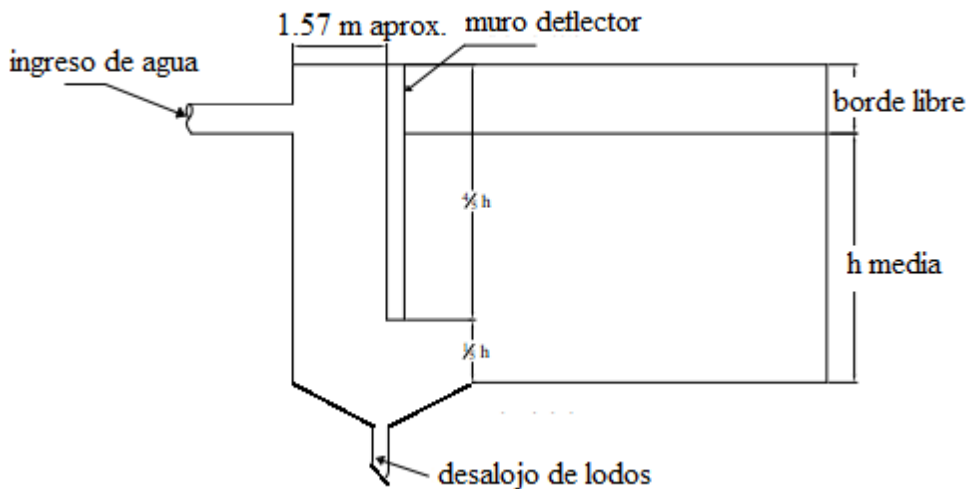


Figura 2.8 Vista frontal del sedimentador.

Determinación experimental de la velocidad de sedimentación:

Se utilizan los datos obtenidos en la prueba de sedimentación discontinua, realizada con el agua residual, a partir de una muestra compuesta tomada a la salida de las lavadoras.

El procedimiento es el siguiente (Reyes and Villamil, 2020):

- Se mide la altura inicial de la suspensión (h_0), usando la regla acoplada a cada probeta.
- Se agita intensamente el contenido para que la concentración sea lo más uniforme posible a lo largo de toda la probeta.
- Se deja la probeta en reposo y se va determinando la altura que ocupa la suspensión en función del tiempo, realizando mediciones de la altura de la suspensión (h) cada minuto Figura 2.9.

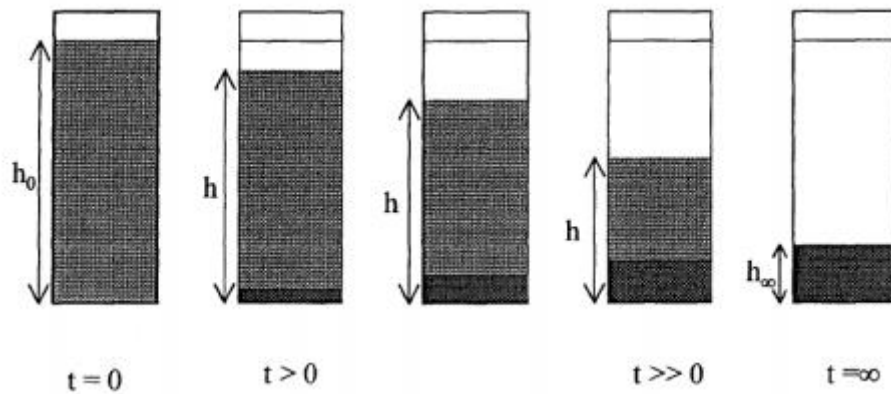


Figura 2.9 Altura de la suspensión en probetas.

Una vez determinado los valores de la altura en función del tiempo se determina la velocidad de sedimentación por el método de Coe y Clevenger. Se utiliza probeta de 250 mL. En la Tabla 2.4 se muestran los resultados.

Tabla 2.4 Datos obtenidos en la prueba de probeta

Tiempo (min)	0	2	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
Sólidos sedimentados (cm)	20	19,6	18,3	17,5	17,2	16,8	15,8	15,7	15,2	15	14,8	14,6	14,4	14,2	14,1	14	14

En el Anexo 5 se presenta imagen para prueba en probeta y en cono de sedimentación. Al concluir la sedimentación se visualizan partículas dispersas suspendidas, para su eliminación se propone incluir etapa con coagulación floculación.

El método de Coe y Clevenger consiste en determinar la velocidad de sedimentación crítica mínima (V_{sc}) a partir de la pendiente que se obtiene al graficar los valores de tiempo en el eje de las abscisas (x) contra los valores obtenidos de altura de sólidos sedimentados en la probeta en el eje de las ordenadas (y).

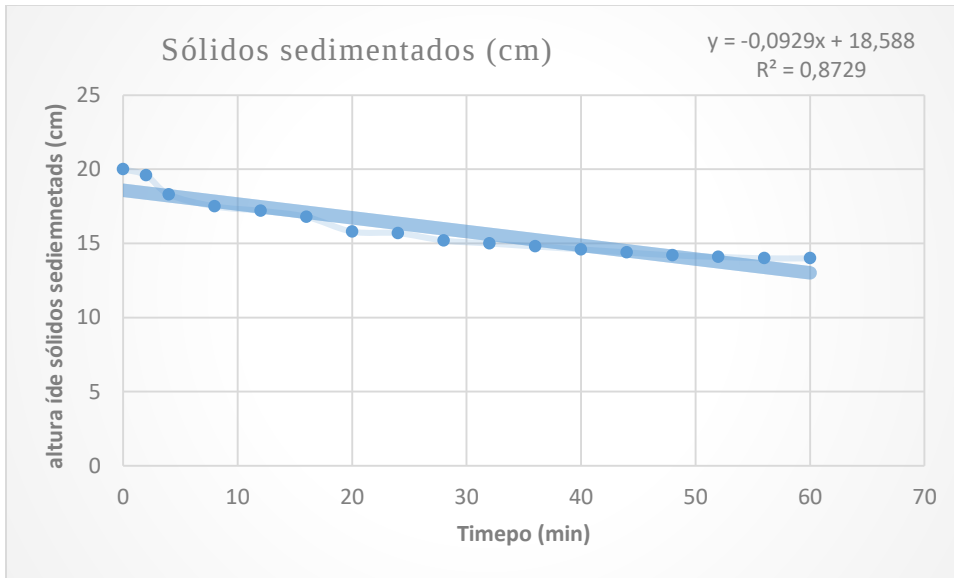


Figura 2.10 Curva de los sólidos sedimentados.

$$V_{SC} = 0,0929 \frac{cm}{min} * \frac{1m}{100cm} * \frac{1min}{60s} = 1,5 * 10^{-5} \frac{m}{s}$$

La velocidad de sedimentación mínima (V_0) se calcula:

$$V_o = \frac{V_{SC} \cdot (\sin \theta + L \cos \theta)}{\left(S + \frac{0,013 \cdot V_{SC} \cdot e \cdot \cos \theta}{v} \right)} \quad \text{Ecuación 2.43}$$

Dónde:

El ángulo de inclinación de las placas (60°)

e: Separación entre placas (0.06 m)

L: Longitud relativa ($L = 1$ m)

l: Longitud de sedimentación en placas (0.6 m)

v: Ancho de las placas (0.7 m)

S: Factor de eficiencia placas planas paralelas (1)

$$V_0 = 0,00072 \text{ m/s}$$

El área superficial de la unidad (A_s), se calcula de acuerdo a la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_0} \quad \text{Ecuación 2.44}$$

$$A_s = 1,94 \text{ m}^2$$

Dónde:

V_0 : Velocidad de sedimentación (m/s)

Q: Caudal de diseño = 41 ($\text{m}^3/\text{día}$) = 0.0014 (m^3/s) considerando este dato y los criterios de diseño de

(Muñoz, 1992)

El diámetro del sedimentador ($\emptyset$) se calcula:

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad \text{Ecuación 2.45}$$

$$\emptyset = 1,57 \text{ m}$$

El volumen del sedimentador (V), asumiendo una altura del sedimentador de 1 metro se calcula:

$$V = \pi * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 * h \quad \text{Ecuación 2.46}$$

$$V = 1,93 \text{ m}^3$$

El tiempo de retención (T_0) en horas, se calcula mediante la relación:

$$T_0 = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 2.47}$$

$$T_0 = 1\,378.57 \text{ s} = 0.38 \text{ h} = 22,97 \text{ min. Se asume 25 minutos para el tiempo de retención.}$$

La tolva de acumulación de lodos se ubica en la parte inferior del sedimentador.

2.4.3.2 Tolva de lodo

Se retiran los lodos sedimentados con la ayuda de una tubería inferior donde se coloca una válvula de activación manual para que se descarguen los lodos en una tolva inferior. Una vez retirado los lodos se procede a secarlos para disminuir la humedad y el peso.

En las tolvas de lodos es donde ocurre la acumulación de los lodos en el tanque sedimentador

Figura 2.11

$$Q = 41 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

Siguiendo la metodología de (Dominguez, 2008) se tiene que:

Eficiencia de sedimentación = 65 a 70 % (remoción de sólidos suspendidos totales).

$$\text{Sólidos suspendidos totales (SS}_{\text{totales}}) = 25 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 25 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

Concentración de lodos en el sedimentador = 1 a 3%

Se propone una eficiencia de 65 % y una concentración de lodos del 2 %.

La masa de sólidos retenidos (M_s) se calcula:

$$M_s = Q * \text{SS}_{\text{totales}} * \text{Eficiencia} \quad \text{Ecuación 2.48}$$

$$M_s = 666,25 \frac{\text{g}}{\text{dia}} = 0,66625 \frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$$

El volumen de lodos producidos diariamente (V_L) se calcula:

$$V_L = \frac{M_s}{\text{Concentración}} = \frac{0,66625}{0.5} = 1,33 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \quad \text{Ecuación 2.49}$$

El volumen para la tolva (V) se determina:

$$V = \frac{h}{3} * (a_1 + a_2 + \sqrt{a_1 * a_2})$$

Ecuación 2.50

Se propone la tolva con las dimensiones que se detallan en la Figura 2.11

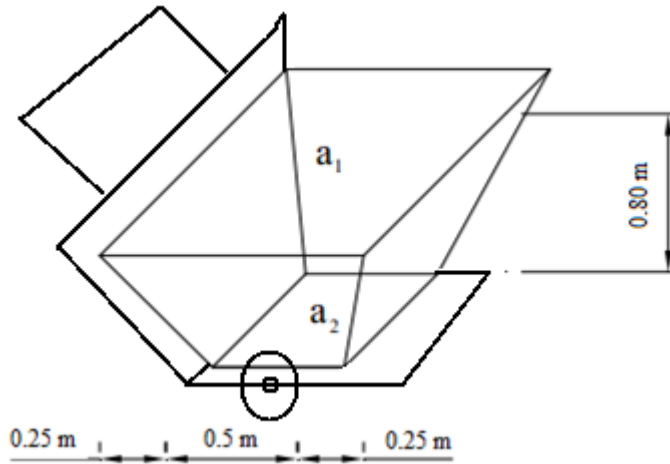


Figura 2.11 Tolva de lodos.

$$V = 0.46 \text{ m}^3$$

Por tanto, para poder manipular el lodo residual el tratamiento debe ocurrir de forma semicontinua para flujo de $14 \text{ m}^3/\text{h}$ para que el volumen de sólido se corresponda con la capacidad de la tolva.

2.4.4 Calculo del diseño de la etapa secundaria

2.4.4.1 Dimensionamiento de la criba

Para el dimensionamiento de la criba vibratoria, se procede mediante la metodología propuesta por (Rosabal, 2014). Para ello se utiliza la ecuación siguiente:

$$Q_m = K * q * \rho_a * A$$

Ecuación 2.51

$$Q_m = 0.35 \text{ t/h}$$

Dónde:

Q_m – Capacidad de un tamiz, t/h

k – Constante t/kg

q – Capacidad específica media del tamiz, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$

ρ_a – Densidad aparente del material, kg/m^3

A – Área de tamizado, m^2

Tabla 2.5 Dimensionamiento de la criba.

Ecuaciones	Datos y fuentes	Resultados
$Q_m = K * q * \rho_a * A$	$k = 0,88 \cdot 10^{-3} \text{ t/kg}$ (Rosabal, 2014)	$A = 0.5 \text{ m}^2$
	$q = 3,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ (Abreu, 1986)	
	$\rho_a = 270 \text{ kg/m}^3$ (Jaramillo, 2011)	
	$Q_m = 0.35 \text{ t/h}$ (Allende, 2000)	

Con el valor obtenido del área de tamizado se procede a la selección de la criba según el Rosabal, para este caso en la tabla 9 se selecciona la Git 11

2.4.4.2 Dimensionamiento del canal de tratamiento con biosorbente

El biosorbente (bagazo) se coloca distribuido en empaquetaduras en forma de cestos, confeccionados con lámina perforada o malla, el diámetro de la malla es menor que el tamaño de partícula seleccionado para el biosorbente (0.63-1 mm), obtenido por tamizado. Los cestos tienen iguales medidas que el canal de residuales, 0,5 m de ancho y 0,5 m de altura, el largo se fija en 0.5 m teniendo en cuenta que en estudios en columna de adsorción (Rives 2015) . Una representación gráfica se muestra en la Figura 2.12

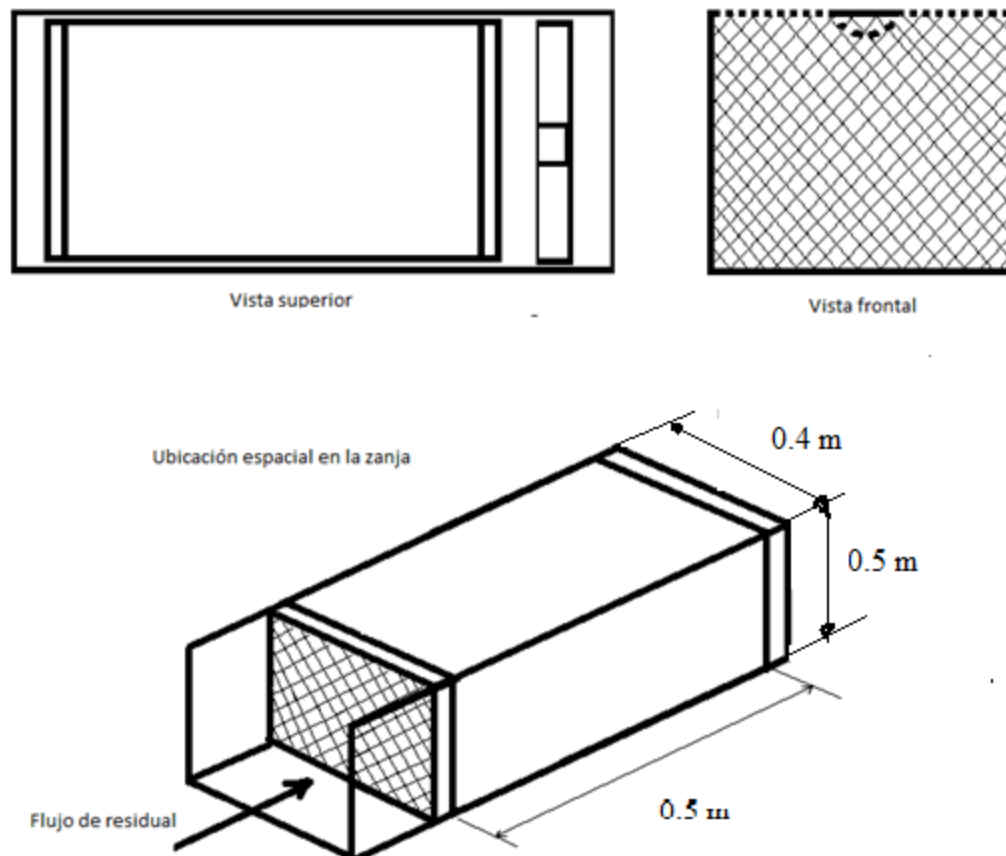


Figura 2.12 Representación gráfica de los cestos.

Para el canal de hormigón en el que se ubican los cestos según (Castillo and Torres, 2010, Perez, 2016) con las siguientes dimensiones:

Ancho (b) = 0,5 m

Altura (h) = 0,6 m

Se ubican 3 cestos de forma consecutiva separados en 1.5 metros de distancia para lograr la remoción del color, dichos cestos se cambian, cuando visualmente se observe la coloración del agua que indica la saturación del bagazo. Cuando el primer cesto este saturado se hace una rotación de posición en la medida que agota el bagazo.

La altura de canal máxima ($h_{\text{máx}}$) = $h + 0.20\text{m} = 0.80\text{ m}$ de borde libre tomado como criterio técnico, para que no trabaje a canal lleno ver Figura 2.13.

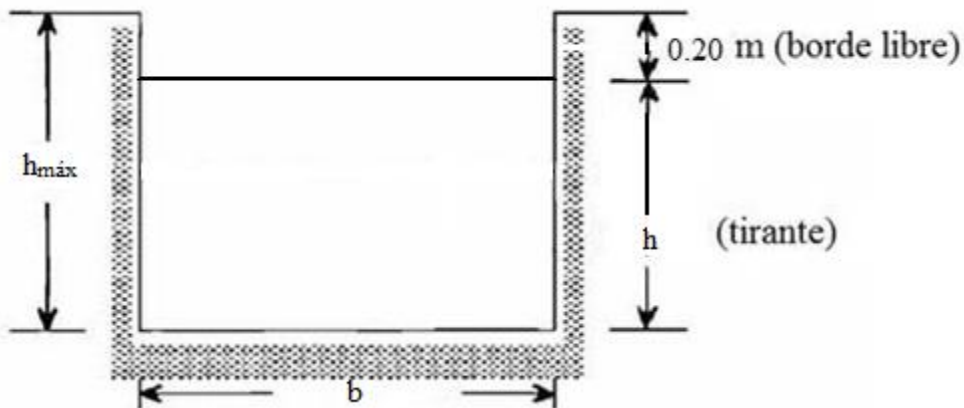


Figura 2.13 Vista transversal del canal de entrada

El área de la sección del canal se calcula:

$$A = b * h_{\text{máx}} \quad \text{Ecuación 2.52}$$

$$A = 0,4 \text{ m}^2$$

Se calcula el radio hidráulico (R):

$$R = \frac{b * h_{\text{máx}}}{b + 2 * h_{\text{máx}}} \quad \text{Ecuación 2.53}$$

$$R = 0,16 \text{ m}$$

Para el cálculo de la velocidad a la que se transporta el fluido por el canal (v_{RL}) se usa una pendiente (S) de 0,0005, el radio hidráulico calculado y un coeficiente $\eta = 0,014$ (coeficiente de Manning para canales de hormigón)

$$v_{RL} = \frac{1}{\eta} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 2.54}$$

$$v_{RL} = 0,48 \text{ m/s}$$

2.5 Instrumentación Automática

Con base en el diagnóstico y el diagrama de procesos propuesto se describe a continuación las variables que deben mantener sus parámetros con mayor exactitud y la zona de medición. En el Anexo 6 se muestran imágenes de los instrumentos propuestos (Reyes and Villamil, 2020).

En la primera etapa se evidencia la necesidad de medir el caudal en la tubería, justo antes de pasar al tanque de ingreso de residuales, debido a que es el punto de inicio del tratamiento debido a la variación de flujo de descarga durante el proceso de lavado. La medición a la entrada del proceso permite ajustar los flujos para las etapas siguientes.

En el tanque de ingreso de residuales se debe controlar el nivel por medio de una alarma de alto y bajo nivel, con el fin de evitar sobrecargas y por ende derrames en este punto y a su vez para detener el funcionamiento del agitador cuando se presenta un bajo nivel. Esto permite a los operarios un mayor control de la capacidad de llenado del tanque.

En el tanque de almacenamiento de alúmina es posible controlar la dosis que debe ser suministrada en el sedimentador, por medio de un sensor, con el fin de evitar sobredosis en este punto y a su vez aprovechar cada gramo de alúmina.

2.6 Mantenimiento:

El sistema de tratamiento de aguas residuales requiere de un plan de actividades de mantenimiento preventivo planificado (MPP) que garantice la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y limpieza que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Se debe disponer de un registro para que se describan las actividades que se ejecutan y que deben estar en correspondencia con lo establecido en los manuales de operación. (Abreu, 1986).

El cumplimiento del MPP permite una mejor preservación de los equipos, aumentar la eficiencia y la productividad, prevenir paralizaciones imprevistas, disminuir el tiempo de reparaciones, por ende, de los costos de mantenimiento y operación.

Se debe realizar anualmente un mantenimiento de todas las estructuras y componentes de los equipos, aplicar pintura en las zonas que lo requieran, dependiendo del deterioro presentado y de las recomendaciones del fabricante. (Allende, 2000)

Conclusiones parciales:

Una vez realizado el diseño de los equipos del tratamiento se arriban a las siguientes conclusiones:

1. Se puede aprovechar el espacio físico ocioso existente en la UEB para la construcción de la planta del tratamiento del agua residual cumpliendo con los requerimientos de diseño

2. El flujo de agua a tratar es de $41 \frac{m^3}{dia}$ y se transporta a una velocidad de 0.44 m/s hasta el tanque de ingreso que tiene una capacidad de $4.09 m^3$
3. Con la aplicación de balances mecánicos se determinaron que las cargas de las bombas a instalar que son de 4.5609 y 3,98 metros respectivamente.
4. Se selecciona el equipamiento atendiendo funciones dentro del proceso y a las capacidades requeridas.

Capítulo 3: Análisis económico

El análisis económico es un estudio que se realiza para determinar, analizar y evaluar la interacción entre los distintos sectores de una entidad, se centra fundamentalmente en la valoración de la situación económica y financiera existente y en los riesgos implícitos de corto a mediano plazo (Mesias and Aguirre, 2015). Siempre en un análisis económico industrial se tiene presente el costo de adquisición de los equipos y los conceptos de costo total de inversión, costos directos, costos indirectos y costo total de producción.

3.1 Costo de adquisición del equipamiento

En el análisis económico del proyecto, se plantea el cálculo de la inversión determinando el costo de los equipos que componen el sistema de tratamiento de residuales, buscando en sitios y catálogos de proveedores disponibles en internet. Los datos de costos obtenidos se muestran en la en la Tabla 3.1

Tabla 3.1 Costo de los equipos.

Equipo o accesorio	Costo unidad (€)	por cantid ad	Costo total(€)	Fuente
Rejilla de acero	100.2	1	100,2	Taller especializado en estructuras metálicas
Tanque de ingreso de agua residual	1 745	1	1 745	Catálogo en internet, (2020)
Tuberías de 4" PVC	17,09	200 m	3 418	Catálogo en internet,(2020)
Válvula de 4" CH lisa macho	22,69	5	113,45	Catálogo en internet,(2020)
Unión universal 4" PVC	4,65	2	9,30	Catálogo en internet,(2020)
Codo 90° PVC	8,28	7	57,96	Catálogo en internet,(2020)
Bombas	4 893	2	9 786	(EBARA, 2018)
Sedimentador con agitador	1 928	1	1 928	(precios, 2018)
Tolva de lodos	800	1	800	Catálogo en internet,(alibaba, 2021)
Cestos de malla 0.50 mm de abertura	126,7	6	760,2	Taller especializado en estructuras metálicas
Medidor de flujo de agua digital inteligente	245	2	490	Catálogo en internet,(alibaba, 2021)
Sensor de nivel de agua	54.50	1	54,50	Catálogo en internet,(alibaba, 2021)
Sensor de peso Nova PM SDS011	21	1	21	Catálogo en internet,(aliexpress, 2021)
Costo total del equipamiento	19 283.61			

El costo de los equipos y accesorios necesarios en la instalación de la planta es de € 19 283,61 para convertirlo en peso cubano se aplica la tasa de cambio del Banco Nacional de Cuba vigente el día 5 de mayo del 2021, la cual es de 29,2 pesos cubanos por cada euro, el monto del costo de los equipos es de 563 081,412 pesos cubanos.

3.2 Costo Total de Inversión (CTI)

$$CTI = \text{Costo Fijo de Inversión (CFI)} + \text{Inversión de Trabajo (I}_{\text{Trabajo}}) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$CTI = CFI + I_{\text{Trabajo}}$$

$$I_{\text{Trabajo}} = 15 \% CTI \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$CFI = C_{\text{Directos}} + C_{\text{Indirectos}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Tomando en considerando el criterio de (Peters, 1991), que aparece en la Tabla No 4 *Porcentajes típicos de valores de inversión de capital fijo para costo directo e indirecto para plantas multipropósito o grandes adiciones a instalaciones existentes*. Se determina el costo fijo de inversión, definiendo que los equipos representan del 25 % del costo total del equipamiento.

Tabla 3.2 Criterios que aparecen en la Tabla 4 de (Peters, 1991).

COMPONENTE	%	COSTO (\$)
Costo Directo		
Adquisición de los equipos	37 %	563 081,41
Instalación de los equipos	8 %	121 747,33
Adquisición e instalación de los instrumentos y controles	4 %	60 873,66
Adquisición e instalación de las tuberías	8 %	121 747,33
Adquisición e instalación de los materiales eléctricos	4 %	60 873,66
Construcción de los edificios	3 %	45 655,74
Preparación del terreno	2 %	30 436,83
Servicios o requerimientos	9 %	136 965,74
Costos indirectos		
Ingeniería y supervisión	9 %	136 965,74
Gastos en construcción	7 %	106 528,91
Imprevistos	4 %	60 873,66
Contratos	5 %	76 092,08

Todos los factores y las ecuaciones son extraídos (Peters, 1991).

Sustituyendo los valores obtenidos en la Ecuación 2.3:

$$CFI = \$ 1 141 381,24 + \$ 380 460,41 = \$ 1 521 841,65$$

Después de hacer las transformaciones necesarias a la Ecuación 3.1 se tiene:

$$CTI = \frac{\$ 1\,521\,841,65}{0.85} = \$ 1\,790\,401,94$$

El costo fijo de inversión (CFI) tiene un valor de \$ 1 521 841,65 el costo total de inversión tiene un valor de \$ 1 790 401,94.

3.3 Costo Total de Operación (CTP)

$$CTP = \text{Costo de fabricación (C}_{\text{Fabricación}}) + \text{Gastos Generales (GG)} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$CTP = C_{\text{Fabricación}} + GG$$

$$C_{\text{Fabricación}} = \text{Costos directos (CD)} + \text{Cargos Fijos (C}_{\text{Fijos}}) + \text{Costos Indirectos (CI)}$$

$$C_{\text{Fabricación}} = CD + C_{\text{Fijos}} + CI \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{CFI - VR}{Vu} \quad \text{Donde VR es el valor residual que se asume igual a cero y Vu. es la vida útil igual a 10 años.}$$

Los elementos o indicadores que componen cada uno de los costos aparecen en las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5 El indicador Materiales, el cual forma parte de los costos directos en la Tabla 3.3 incluye el precio de la alúmina y del bagazo a utilizar en el proceso por el periodo de un año.

Según estudios anteriores realizados por (Martinez, 2017) se tiene un consumo de $40 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$ de alúmina, este producto en el mercado tiene un valor de \$ 0,50 el kilogramo haciendo las conversiones pertinentes se tiene que en un año se consumen 0,360 t que equivalen a \$ 180,40 y por costo de transportación $500 \frac{\$}{\text{año}}$ Actualizando el precio del bagazo referido por (Vicente 2011) es \$ 52,04 la tonelada y la cantidad necesaria en la etapa de adsorción, considerando el resultado de (Jaramillo, 2011) es de $0,320 \frac{\text{t}}{\text{día}}$.

$$C_b = \text{Cantidad usada por día} * \text{Días que laboran en el año} * \text{Precio del bagazo} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

$$C_b = 0,320 \frac{\text{t}}{\text{día}} * 220 \text{ días que laboran} * 52,04 \frac{\$}{\text{t}}$$

$$C_b = 3\,363,61 \frac{\$}{\text{año}}$$

El costo total del bagazo depende de:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Bagazo (C}_b) + \text{Costo transportación de bagazo} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Actualizando el costo de transportación del bagazo referido por (Corso 2011) es de \$ 59 la tonelada

$$\text{Costo de transportación} = 0,320 \frac{\text{t}}{\text{día}} * 220 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 59 \frac{\$}{\text{t}}$$

$$\text{Costo de transportación} = 4\,153,6 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{Costo Total} = 7\,817,21 \frac{\$}{\text{año}}$$

Tabla 3.3 Costos.

Costos Directos		
INDICADORES	%	COSTO(\$ /año)
Materiales	-	8 497,21
Salario(MO)	-	172 800
Supervisión	15 % MO	25 920
Mantenimiento y Reparaciones	2 % CFI	35 808,03
Suministro	0.5 % CFI	8 952,00
Laboratorio	1%MO	1 728
Total		253 635,25
Costos Indirecto		
Servicios alimentarios	5 % CTI	89 520,09
Gastos de seguridad	0.05 % CTI	895,20
Condiciones de trabajo	1 % CTI	17 904,01
Almacenes	2 % CTI	35 808,03
Total		144 127,35

Tabla 3.4 Cargos fijos

CARGOS FIJOS		
Seguros	0,4 % CFI	6 087,36
Impuestos	1 % CFI	15 218,41
Amortización	5 % CFI	76 092,08
TOTAL		97 397,86

Sustituyendo los valores obtenidos en la Ecuación 3.5:

$$C_{\text{Fabricación}} = \$ 253\,635,25 + \$144\,127,35 + \$ 97\,387,86$$

$$C_{\text{Fabricación}} = \$ 495\,160,46$$

Tabla 3.5 Gastos generales.

GASTOS GENERALES		
INDICADOR	FÓRMULA	COSTO \$/año
Administración	2 % CTI	35 808,03
Distribución y Venta	2 % CTI	35 808,03
Investigación y Desarrollo	5 % CTI	89 520,09
TOTAL		161 136,17

Sustituyendo los valores obtenidos en la Ecuación 3.4:

$$CTP = \$ 495\,160,46 + \$ 161\,136,17$$

$$CTP = 656\,296,65 \frac{\$}{\text{año}}$$

3.4 Estudio del (VAN), (TIR), (PRD)

La teoría financiera nos brinda una gran gama de herramientas para la evaluación y selección de proyectos, siendo las más utilizadas las basadas en el descuento de flujos de efectivo, Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno/Rendimiento (TIR) (Briozzo and Pesce, 2011).

El VAN de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos periódicos. (Briozzo and Pesce, 2011).

Cabe destacar que el VAN traduce ingresos y egresos a su valor equivalente en el período 0. Si se quiere seleccionar otro período de referencia, debe ajustarse a la forma correspondiente.

Si el Valor Actual Neto de un proyecto independiente es mayor o igual a 0 el proyecto se acepta, caso contrario se rechaza.

Tasa interna de rendimiento/retorno (TIR) Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0.

El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel. Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento: es la cifra interna o intrínseca del proyecto, es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquel. (Mete, 2014):

Si la TIR es mayor a la tasa de expectativa, el proyecto es financieramente atractivo ya que sus ingresos cubren los egresos y generan beneficios adicionales por encima de la expectativa o alternativa. Si la TIR es menor a la tasa de expectativa, el proyecto no es financieramente atractivo ya que hay alternativas de inversión que pueden generar mejores resultados (Mete, 2014).

Una valoración sobre la factibilidad de la inversión se realizó sobre la base del cálculo de los indicadores VAN, TIR y el PRD, con una tasa de interés del 12 %, los resultados se resumen en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Valores de los indicadores de factibilidad de las variantes en estudio.

Indicadores	Valor
Valor actual neto. VAN(\$)	\$ 92 505,23
Tasa de Rendimiento Interna. TIR (%)	6
Plazo de recuperación al descontado. PRD (años)	13,05

Se aprecia en la Tabla 3.6, un comportamiento aceptable de los indicadores de factibilidad, el VAN resulta mayor que cero por lo que es factible la tecnología propuesta, la cual se recuperan en un periodo de 13,05 años, aunque el periodo es elevado debido a que no se reciben ingresos, pudiera disminuir de comprobarse que el agua puede ser reutilizada en el proceso de lavado o en actividades de aseo en la UEB, usos en la agricultura. Además se considera la conveniencia de aplicar la tecnología propuesta por los daños que se evitan al realizar el vertimiento de los residuales en los parámetros establecidos, lo que también mejora la imagen ambiental y social de la entidad, a la vez que se da cumplimiento a las políticas de Cuba para enfrentar el cambio climático.

3.5 Externalidades

Las externalidades es una estimación de costo por los daños no ocasionados, al disminuir la concentración de los contaminantes en las aguas se evitan externalidades referidas a enfermedades que pueden afectar a las personas, sean trabajadores de la fábrica o que residan en lugares próximos a la instalación, y están propensas a enfermar por consumo de agua potable contaminada que pueden ocasionar diarreas, intoxicaciones y úlceras estomacales o con enfermedades alérgicas manifestadas en vías respiratorias o de la piel ocasionadas por sustancias tóxicas y mutagénicas presentes en los colorantes. Lo anterior implica gastos por tratamiento médico, en los que se incluye la asistencia médica y compra de los fármacos necesarios para el tratamiento indicado. Además, se debe tener en cuenta que si enferman personas en edad laboral, se incapacitan para realizar cualquier actividad productiva, dejando de aportar a la sociedad, y a sus ingresos personales; en caso de menores o ancianos requieren la atención de un familiar por lo general en edad laboral, con las mismas consecuencias ante referidas.

En otro sentido hay que considerar las afectaciones a los organismos de la vida acuática por efecto de reducir la penetración de la luz solar y a la cadena alimentaria al provocar envenenamiento de peces. A nivel estético por el deterioro visual del entorno.

Como beneficios se consideran dejar de pagar multas por incumplimientos de la NC: 2012 y por no contaminar suelos y manto freático.

Conclusiones parciales:

1. El costo de inversión alcanza un valor de de \$ 1 790 401,94 para la adquisición de los equipos fundamentales y auxiliares en el proceso.
2. El costo de operación determinado es de 656 296,65 $\frac{\$}{\text{año}}$

3. El sistema diseñado permite mejorar la calidad del ecosistema en la zona aledaña a la planta al propiciar que el agua tratada pueda ser reutilizada y evitando daños al medio ambiente.
4. La aplicación de este sistema de tratamiento mejora la imagen pública de la empresa al dar cumplimiento a una política ambiental que contribuya al desarrollo sostenible

Conclusiones:

1. Se propone un sistema de tratamiento que está formado por una rejilla de acero galvanizado con diámetro de alambre de 1.5 milímetros, tanque de ingreso de aguas residuales, un sedimentador donde ocurre la coagulación-floculación y una etapa de adsorción compuesta por batería de cestos cargados con bagazo los cuales en su conjunto permiten tratar el agua residual y llevarla a los parámetros regulados.
2. Aplicando balances de masa y balances mecánicos se determinan las dimensiones del equipamiento y las bombas necesarias a instalar que permiten el tratamiento de $41 \frac{m^3}{dia}$ con cargas de 4.5609 y 3,98 metros respectivamente.
3. Se propone el control de las variables: caudal, nivel y peso, en el tanque de ingresos de agua residual y, el dosificador de alúmina respectivamente para garantizar la eficiencia del tratamiento.
5. El costo de inversión del proyecto asciende a \$ 1 790 401,94 y los costos de operación son de $656 \frac{\$}{año}$
6. El sistema diseñado permite mejorar la calidad del ecosistema en la zona objeto de estudio.

Recomendaciones:

1. Garantizar el mantenimiento de los equipos involucrados en el proceso y evitar rotura imprevistas que afecten el cumplimiento de las norma de vertimiento.
2. Promover el desarrollo científico- técnico del personal para garantizar el funcionamiento eficaz estable de la planta.
3. Crear conciencia en la comunidad aledaña sobre el daño al medio ambiente y a la salud provocada por el vertimiento de las aguas contaminantes

Bibliografía:

1. 2020. *suministrostorras* [Online]. Available: <https://www.suministrostorras.com/carrito.php>.
2. A.EDDY, M. 1995. *"Tratamiento Vertido y Reutilización."*
3. ABREU, I. V. A. 1986. *Diseño Hidráulico de Plantas de Tratamiento de agua residual.* .
4. ALBIS, A. 2018. *Adsorción de azul de metileno utilizando cáscara de yuca (Manihot esculenta) modificada químicamente con ácido oxálico.*
5. ALIBABA 2021.
6. ALIEXPRESS 2021.
7. ANNADURAI, G. 2017. *Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions. Journal of Hazardous Materials*
8. BAIRD, C. 2001. *"Química Ambiental."*(Editorial Reverté S-A., Barcelona).
9. BANERJE, P. 2015. *Phenol Adsorption onto Various Soil Composite Membranes: Insight into Process Kinetics,Modelling and Optimisation Using ResponseSurface Methodology.*
10. BREFFE, I. M. G. 2019. *Strategy of environmental education to implement the Tarea Vida in the community of Moa*
11. BRIOZZO, A. & PESCE, G. 2011. *Evaluación de proyectos con herramientas borrosas. Análisis de casos.* Universidad Nacional de Sur.
12. CAICEDO, K. 2010. *"Diseño Hidráulico de la Planta de Tratamiento de Aguas."*
13. CALVIÑO, Y. C. 2011. *Evaluacion de residuos agricolas e industrialeacomo como biosorbentes en la remocion de color en aguas residuales.* Universidad central Marta Abreu de las villas.
14. CAMACHO, D. P. 2010. *Determinacion de parametros de un modelo axial y en estado transitorio de la biosorcion de azul de metileno mediante biomasa de saccharomyces cerevisae inmovilisada en aliganato de calcio en columna empacada.* Universidad de Nuevo Leon.
15. CARCELEN, C. E. C. 2015. *Determinacion de curvas de sedimentacion utilizando reactor experimental tipo columna.* Escuela Superior Politecnica del Litoral.

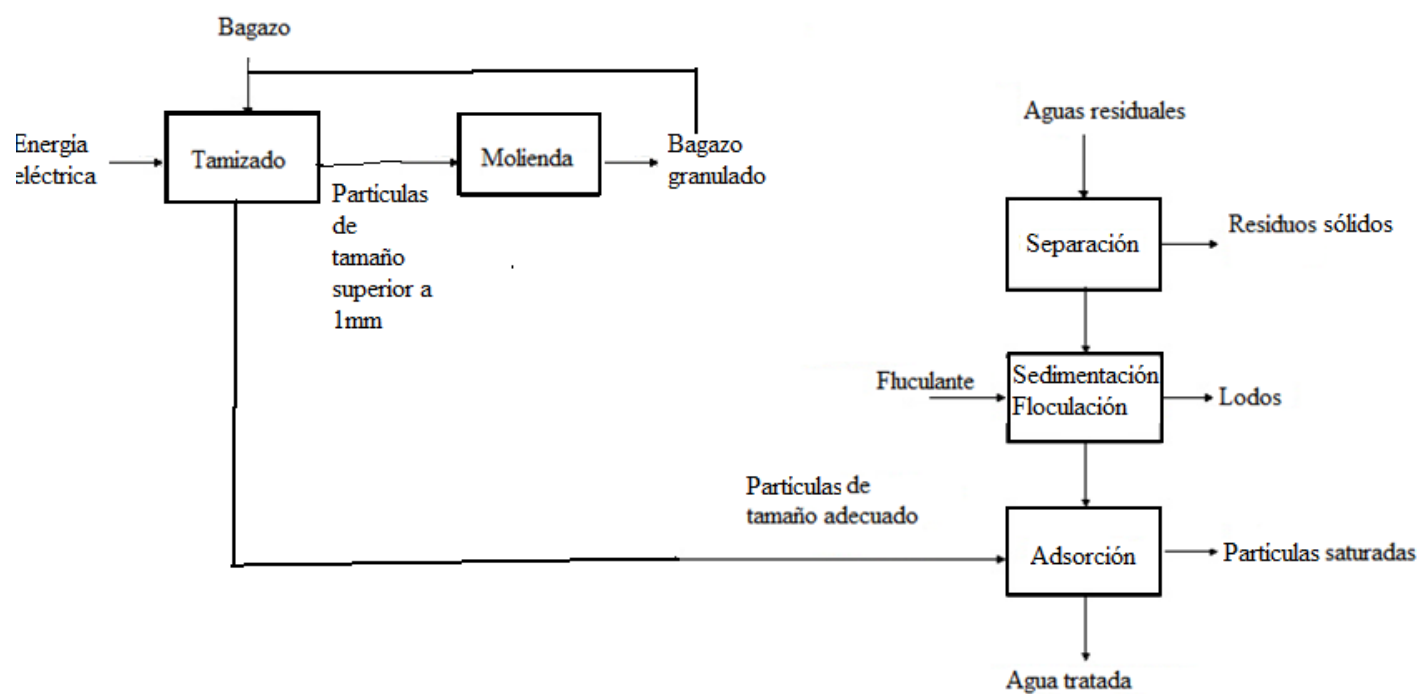
16. CARDONA, S. J. C. 2014. *Evaluacion fisicoquimica por el metodo de adsorcion, coagulación, floculación para la remoción de colorantes del efluente del área de procesos industriales de la empresa textil CO&Tex S.A.S.* Universidad tecnológica de Pereira
17. CASTILLO, L. E. B. & TORRES, J. L. S. 2010. *Estudio, diseño y selección de la tecnología adecuada para tratamiento de aguas residuales domésticas para poblaciones menores a 2000 habitantes.*
18. CISNEROS, M. G. V. 2016. *Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales.* Univesidad de medellin.
19. CUBAENERGIA. 2019. Tarea_ Vida. Available from: <https://www.cubaenergia.cu/tarea-vida>.
20. CHOWDHURY, S. 2015. *Adsorption of crystal violet from aqueous solution by citric acid modified rice straw: equilibrium, kinetics, and thermodynamics.*
21. D.FIGUEROA & HORMAZA, A. 2018. *Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz.* Universidad de Medellín.
22. DÍAZ, B. R. 1987. *"Tratamiento de aguas y aguas residuales."* (Ciudad de la Habana. Cuba). .
23. DOMINGUEZ, C. F. C. 2008. *Alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria textil.* Instituto Politecnio Nacional de ingeniería y arquitectura.
24. EBARA 2018. Submersible slurry pump. *In:* CORPORATION, E. P. A. (ed.).
25. F.FIESER, L. & FIESER, M. 2013. *Química orgánica funamental* Universidad de Harvard.
26. JARAMILLO, J. R. O. 2011. *Remoción de color en aguas residuales industriales por biosorción con residuos agrícolas e industriales.* Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
27. JIMÉNEZ, L. 2015. *Estudio de las propiedades fisicoquímicas de biosorbentes para la remoción de cromo VI en agua.*
28. LARA, M. A. 2008. *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados.* Universidad de Granada. .
29. LOPEZ, F. 1984. *Diseño de plantas potabilizadoras.* Centro de Actualización Profesional (CAPIC).
30. M.HEJAZI. 2001. *New technology to remove toxic metal ions using hop biomass: use of modification and x-ray absorption spectroscopy to determine the mechanism(s) of metal.* The University of Texas.
31. M.MOSTAFA. 2015. *Waste water treatment in Textile Industries – the concept and current removal Technologies.* *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 7(1): 501-525.

32. MARTINEZ, Y. R. A. 2017. *Estudio de diferentes materiales biosorbentes para la remocion de metileno en medio acuoso*. Universidad Central Marta Abreu de las Villa.
33. MECÍAS, I. P. B. 2012. *Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas residuales de las Etapas Ribera y Curtido para la Tenería San José*.
34. MESIAS, M. E. J. & AGUIRRE, E. A. P. 2015. *PREDISEÑO DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO DE LAS DESCARGAS LÍQUIDAS GENERADAS EN LA INDUSTRIA "TEXTILES MARÍA BELÉN" QUITO-2014* Universidad de Ecuador.
35. METE, M. R. 2014. *Valor actual neto y tasa de retorno, su utilidad como herramientas para el analisis y evaluacion de proyectos de inversion*. Universidad la Salle-Bolivia.
36. MUÑOZ, H. A. 1992. *"Depuración de aguas residuales." (Tercera Edición. Colección Senior número 9. Colección de texto.)*. .
37. NAVARRETE, S. C. 2017. *Diseño de un sistema de adsorcion para la eliminacion de colorantes presentes en disolucion acuosa*. Universidad Politecnica de Valencia.
38. NORMALIZACION(NC), O. N. D. 2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado- Especificaciones.
39. PAREJA, J. C. S. 2019. *Diseño del tratamiento de las aguas residuales de una industria textil para la eliminaion de fibras y reutilizacion del agua*. Univeridad Politecnica de Valencia.
40. PEREZ, E. H. 2005. *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologias limpias dirigidas al reciclaje y/o valoracion de contaminantes*. Universidad de Valencia.
41. PEREZ, R. L. D. 2016. *Propuesta de rehabilitacion de la planta de tratamiento de agua residual de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas*. Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
42. PETERS, M. S. 1991. *Plant design and economics for chemical engineers, University of Colorado*.
43. PRECIOS, D. L. D. 2018. Articulos de PVC.
44. RAFATULLAH, M. S. 2010. *Adsorption of methylene blue on lowcost adsorbents: A review. Journal of Hazardous Materials*
45. RAMOS, E. G. 2018. Teoria de los procesos de tanque imhoff.
46. RAMOS, J. 2010. *Estudio del proceso de biosorcion de colorantes sobre borra (chuncho) de café.*, Universidad Nacional de Colombia.

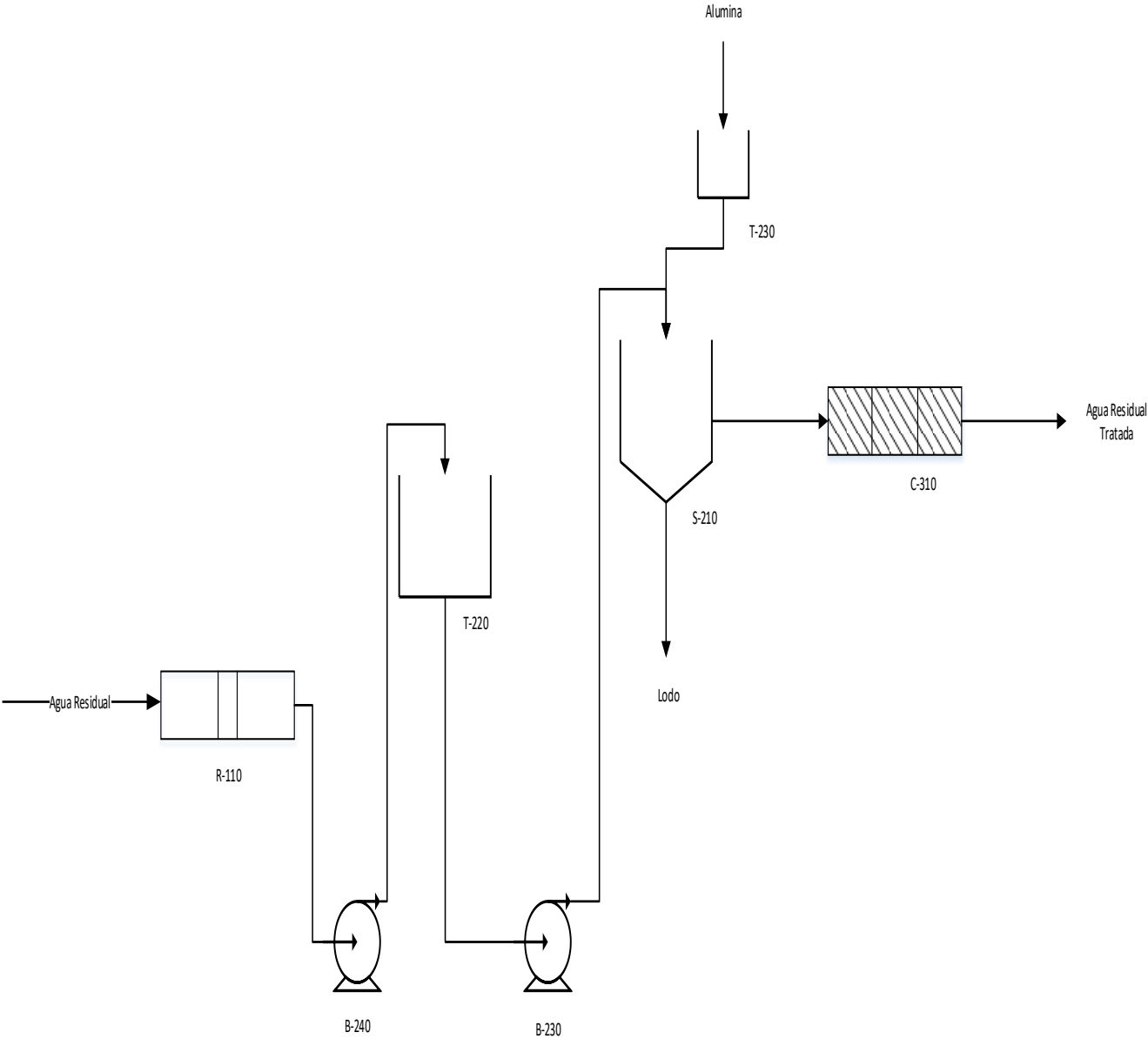
47. REYES, A. J. R. & VILLAMIL, M. K. S. 2020. *Desarrollo de una propuesta de mejora para planta de tratamiento de aguas residuales en una empresa del sector textil*. Fundacion Universidad de America.
48. RIO, S. M. P. D. & CRUZ, J. N. H. 2019. *TAREA VIDA: PLAN DEL ESTADO PARA EL ENFRENTAMIENTO AL CAMBIO CLIMÁTICO* Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” Cujae
49. ROMINA, C. 2011. *Remoción de azul de metileno en agua empleando bagazo de agave salmiana como biosorbente*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
50. ROSABAL, J. M. 2014. *Hidrodinamica y separaciones mecanicas*.
51. ROSAS, J. 2012. *“Aplicación de residuos agrícolas para el tratamiento de agua contaminada con colorantes”*. Directores Dra. María Teresa Garza Gonzales y Dr. Refugio Bernardo García Reyes. . Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León.
52. VERNALDO, S. 2000. *Tratamiento de Aguas Residuales*.
53. Y.COCA. 2015. *“Remoción de azul de metileno en medio acuoso utilizando residuos agrícolas de sorgo (RAS).”*. Universidad Marta Abreu de las Villas. .

Anexos:

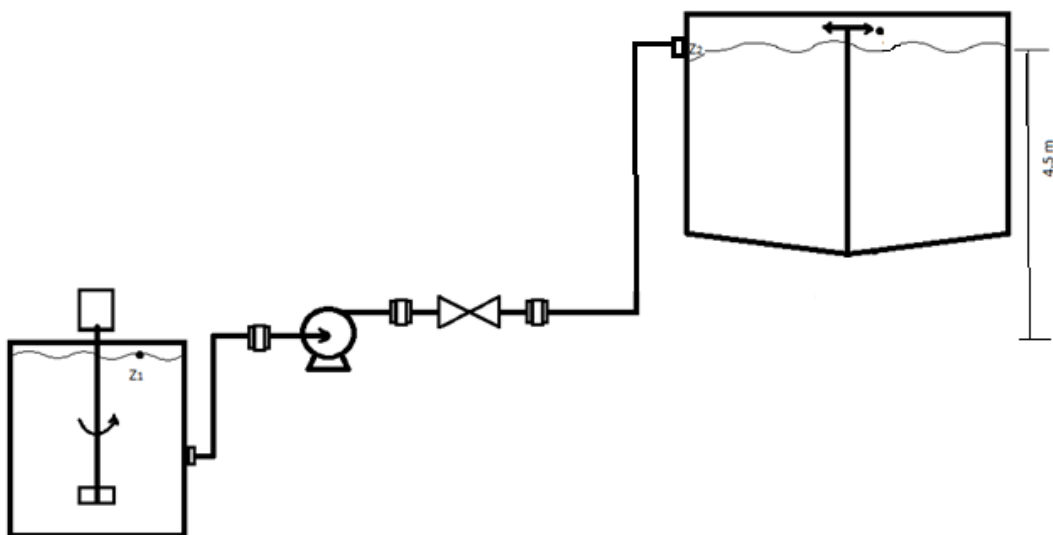
Anexo 1. Diagrama de bloque del proceso



Anexo 2. Diagrama de flujo del proceso



Anexo 3. Esquema del flujo del residual entre el tanque de ingreso de residuales y el sedimentador.



Anexo 4. Ficha técnica de la bomba.

CR 5-2 A-A-A-V-HQQV Bomba centrífuga vertical, no autocebante, multicelular, en línea para instalación en sistemas de tuberías o montaje en una cimentación.



La bomba tiene las siguientes características:

- Impulsores y cámaras intermedias de Acero inoxidable DIN W.-Nr. DIN W.-Nr. 1.4301.
- Cabezal y base de la bomba de Fundición
- Longitud de montaje del cierre según DIN 24960.
- Transmisión de energía mediante acoplamiento ranurado de fundición.
- Conexión de tubería mediante bridas OVAL.

El motor es un motor	CA 3-fásico.
Líquido:	Rango de temperatura del líquido: -20. 90 °C
Temp. líquido: 20 °C	Densidad: 998.2 kg/m ³
	Técnico:
Velocidad para datos de bomba: 2856 rpm	Caudal real calculado: 5.83 m ³ /h
Altura resultante de la bomba: 8.15 m	Cierre: HQQV
Homologaciones en placa: CE	
Materiales:	Cuerpo hidráulico: Fundición
EN-JL1030	ASTM A48-30 B
Impulsor: Acero inoxidable	DIN W.-Nr. 1.4301
AISI 304	
Instalación:	Temperatura ambiental máxima: 40 °C
Presión máxima a la temp. declarada: 16 bar / 90 °C	16/-20 bar / °C
Tipo de brida: OVAL	Diámetro de conexiones: Rp 1 1/4
Presión: 10 K / 20 K / 30 K	Tamaño de la brida del motor: FT85
Tipo de motor: 71A	IE Eficiencia class: NA
Grado de rendimiento: NA	Número de polos: 2
Potencia nominal - P2: 0.37 kW	Potencia (P2) requerida por la bomba: 0.37 kW
Frecuencia de alimentación: 50 Hz	Tensión nominal: 3 x 200-220 D/346-380 Y V
Corriente nominal: 1,90/1,10 A	Intensidad de arranque: 490-530 %
Cos phi - Factor de potencia: 0,80-0,70	Velocidad nominal: 2850-2880 rpm
Rendimiento del motor a carga total: 78,5 %	Rendimiento del motor a 3/4 de carga: 79,0-76,5 %
Rendimiento del motor a 1/2 carga: 75,5-71,5 %	Grado de protección (IEC 34-5): 55 (Protect. water jets/dust)
Clase de aislamiento (IEC 85): F	
Peso neto: 18.2 kg	Peso bruto: 20.9 kg
Volumen: 0.05 m ³	

Anexo 5. Imágenes de prueba en probeta y en cono.



Anexo 6. Imágenes de la instrumentación automática.

Medidor de caudal:



Controlador de Nivel: TK-02/TK-03



Sensor de peso:

