



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Proyecto de Investigación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Industrial.

**Título del Proyecto de Investigación:**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES, PARA EL SUBPROCESO DE ELABORACIÓN DE ADHESIVO DE  
ALMIDÓN (GOMA) EN LA INDUSTRIA “CARTONES NACIONALES CARTOPEL  
S.A.I.”**

**Autora:**

Kasandra Adriana Vera Galarza

**Director del Proyecto de Investigación:**

Ing. Jorge Guadalupe Almeida, Msc.

**Quevedo – Ecuador**

**2018**

## **Declaración de autoría y cesión de derechos.**

Yo, **Vera Galarza Kasandra Adriana**, declaro que la investigación aquí detallada es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Vera Galarza Kasandra Adriana**

**C.C. # 092949577-8**

**AUTORA**

## **Certificación de culminación del proyecto de investigación.**



El suscrito, **Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis, Msc.**, docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Vera Galarza Kasandra Adriana**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, PARA EL SUBPROCESO DE ELABORACIÓN DE ADHESIVO DE ALMIDÓN (GOMA) EN LA INDUSTRIA “CARTONES NACIONALES CARTOPEL S.A.I.”**, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

---

Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis, Msc.

**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

## Certificado del reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y o plagio académico.



Por medio del presente me permito certificar, que la Srta. **VERA GALARZA KASANDRA ADRIANA**, estudiante egresada de la Carrera de Ingeniería Industrial presencial del paralelo A, una vez que se revisó el proyecto de investigación titulado “**DISEÑO DE UN SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES, PARA EL SUBPROCESO DE ELABORACIÓN DE ADHESIVO DE ALMIDÓN (GOMA) EN LA INDUSTRIA “CARTONES NACIONALES CARTOPEL S.A.I.”**”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 2 %.

Se adjunta imagen del sistema **Urkund**.



---

Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis, Msc.

**DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Certificación de aprobación por tribunal de sustentación.**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TÍTULO:**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES, PARA EL SUBPROCESO DE ELABORACIÓN DE ADHESIVO DE  
ALMIDÓN (GOMA) EN LA INDUSTRIA “CARTONES NACIONALES CARTOPEL S.A.I.”**

Presentado al Consejo Académico como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial.

**Aprobado por:**

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**  
Ing. Ruano Herrería Ernesto Javier, Msc.

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**  
Ing. Barros Enríquez José David, Msc.

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**  
Ing. García Coral Johnn Andrés, Msc.

**Quevedo - Ecuador  
2018**

## **Agradecimiento**

Quiero brindar un sincero agradecimiento en primer lugar a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Catedráticos y Autoridades de la Carrera de Ingeniería Industrial quienes con su paciencia y dedicación de educadores nos imparten sus conocimientos y me incentivan a crecer cada día, de esta manera contribuyen a moldear gran parte de mi vida profesional.

No puedo dejar de agradecer a los Ingenieros: Ruano Ernesto, García Johnn, Barros David y Guadalupe Jorge, quienes estuvieron siempre dispuestos en el asesoramiento en el proyecto de investigación.

*Kasandra Vera Galarza.*

## **Dedicatoria**

A Dios, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer, por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A todos los seres importantes que de una u otra forma están presente en cada paso que doy, con sus consejos y apoyo incondicional.

En especial:

A mis queridos padres, Carlos Vera y Jenny Galarza, por ser la guía y pilar fundamental en mi vida, además de su inigualable ejemplo de superación.

A mis amigos que con sus locuras he podido disfrutar esta etapa universitaria llevándome momentos y experiencias únicas que se quedarán guardadas en mi memoria por siempre.

*Kasandra Vera Galarza.*

## **Resumen y palabras claves**

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad colaborar con la Cartonera Cartopel S.A.I, mediante la propuesta de diseñar un sistema para tratamiento de aguas residuales industriales y reutilizarlas en el subproceso de elaboración de adhesivo de almidón (goma).

El tratamiento básicamente consiste en un tratamiento físico-químico. Para determinar la dosis de coagulantes y floculantes eficientes, se realizaron ensayos de test de jarras a nivel laboratorio, consecutivamente se analizaron las operaciones unitarias que intervienen en el sistema. Finalmente se realizó un análisis económico con el fin de demostrar la factibilidad y rentabilidad de la implementación.

Los beneficios tanto ambientales como económicos de este proyecto, se basa en la minimización de los costos de operaciones, mejor administración de los recursos hídricos y reducción del impacto ambiental.

**Palabras claves:** Gestión de aguas residuales, agua residual industrial, sistema de tratamiento, operaciones unitarias.

## **Abstract and keywords**

The purpose of this research work is to collaborate with the Enterprise Cartopel S.A.I, with the proposal to design a system for industrial wastewater treatment and reuse them in the subprocess of the manufacture of starch (rubber) adhesive.

The treatment basically consists of a physical-chemical treatment. To determine the dose of efficient coagulants and flocculants, jar test tests were carried out at the laboratory level, consecutively the unit operations that intervene in the system were analyzed. Finally, a benefit / cost analysis was carried out in order to demonstrate the feasibility and profitability of the implementation.

The environmental and economic benefits of this project are based on the minimization of operating costs, better management of water resources, and reduction of environmental impact.

**Keywords:** Wastewater management, industrial wastewater, treatment system, unit operations.

## Tabla de contenido

Declaración de autoría y cesión de derechos. ....	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	iii
Certificado del reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y o plagio académico.....	iv
Certificación de aprobación por tribunal de sustentación. ....	v
Agradecimiento.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen y palabras claves .....	viii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>3</b>
<b>CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Problema de investigación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1. Planteamiento del problema. ....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2. Formulación del problema. ....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. Sistematización del problema. ....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1. Objetivo General.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.2. Objetivos específicos. ....</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Justificación.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>9</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Marco Conceptual.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.1. Agua residual.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.2. Aguas residuales industriales.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.3. Efluente industrial. ....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.4. Gestión de aguas residuales industriales.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1.5. Operaciones unitarias.....</b>	<b>11</b>

<b>2.1.6.</b>	<b>Generalidades del proceso de producción del cartón para banano.</b> .....	11
<b>2.1.6.1.</b>	<b>¿Qué es el cartón corrugado?</b> .....	11
<b>2.1.6.2.</b>	<b>Tipos de cartón Corrugado.</b> .....	12
<b>2.1.6.3.</b>	<b>Tipos de flautas.</b> .....	13
<b>2.1.6.4.</b>	<b>Adhesivo de almidón.</b> .....	13
<b>2.1.6.5.</b>	<b>Boración de la base (Carrier Boration).</b> .....	13
<b>2.1.6.6.</b>	<b>Proceso de elaboración del adhesivo.</b> .....	14
<b>2.1.6.7.</b>	<b>Componentes del adhesivo a base de almidón (goma).</b> .....	14
<b>2.1.7.</b>	<b>Sistemas para tratamiento de aguas residuales.</b> .....	16
<b>2.1.8.</b>	<b>Factores a evaluar para la elección de operaciones y procesos en el diseño.</b>	16
<b>2.1.9.</b>	<b>Tipos de tratamientos.</b> .....	17
<b>2.1.9.1.</b>	<b>Tratamiento físico-químico.</b> .....	17
<b>2.1.9.2.</b>	<b>Tratamiento Biológico.</b> .....	17
<b>2.1.10.</b>	<b>Etapas de un sistema de tratamiento de agua residual.</b> .....	18
<b>2.1.11.</b>	<b>Características físico-químicas del agua residual</b> .....	19
<b>2.1.11.1.</b>	<b>Relación entre la DBO y la DQO.</b> .....	20
<b>2.1.12.</b>	<b>Reactivos (Coagulantes y floculantes más comunes).</b> .....	20
<b>2.1.12.1.</b>	<b>Coagulantes.</b> .....	20
<b>2.1.12.2.</b>	<b>Ventajas del policloruro de aluminio contra el sulfato de aluminio.</b> .....	21
<b>2.1.12.3.</b>	<b>Floculantes.</b> .....	21
<b>2.1.13.</b>	<b>Caudal o Flujo volumétrico.</b> .....	22
<b>2.1.14.</b>	<b>Diagrama Causa – efecto.</b> .....	23
<b>2.1.15.</b>	<b>Análisis económico-financiero.</b> .....	23
<b>2.2.</b>	<b>Marco Referencial.</b> .....	23
<b>2.2.1.</b>	<b>Dosis y tipo de coagulante y floculante más eficiente.</b> .....	23
<b>2.2.1.1.</b>	<b>Comportamiento de parámetros medibles.</b> .....	24
<b>2.2.1.2.</b>	<b>Condiciones de operación.</b> .....	24

2.2.1.3.	Costo del tratamiento. ....	25
2.2.2.	Requisitos de la calidad del agua residual tratada, para la elaboración de Almidón (goma).....	25
2.2.3.	Técnicas de procedimiento para el test de jarras según estudios realizados. ....	26
2.2.4.	Principales contaminantes del agua residual proveniente del área de corrugación. ....	28
2.2.5.	Etapas para tratamientos de aguas residuales. ....	28
2.2.6.	Operaciones unitarias en las etapas del tratamiento de agua residual. ....	30
2.2.6.1.	Etapa 1: Pre-tratamiento.....	30
2.2.6.2.	Etapa 2: Tratamiento físico-químico. ....	33
2.2.6.2.1.	Coagulación. ....	33
2.2.6.2.1.1.	Selección del mezclador estático. ....	35
2.2.6.2.2.	Floculación.....	37
2.2.6.2.3.	Sedimentación. ....	38
2.2.7.	Diseño de tuberías. ....	39
2.2.7.1.	Diámetro de la tubería.....	39
2.2.7.2.	Material de fabricación de tuberías. ....	39
2.2.7.3.	Pérdidas de cargas de tuberías. ....	40
2.2.8.	Selección de bombas dosificadoras.....	41
3.1.	Localización. ....	43
3.2.	Tipo de Investigación. ....	43
3.2.1.	Investigación de campo.....	43
3.2.2.	Investigación documental.....	43
3.2.3.	Investigación Experimental.....	44
3.3.	Métodos de Investigación. ....	44
3.3.1.	Método analítico.....	44

3.3.2.	<b>Método Inductivo.</b> .....	44
3.3.3.	<b>Métodos de muestreo.</b> .....	44
3.3.4.	<b>Método Experimental.</b> .....	45
3.4.	<b>Fuentes de recopilación de información.</b> .....	45
3.4.1.	<b>Fuentes primarias.</b> .....	45
3.4.2.	<b>Fuentes secundarias.</b> .....	45
3.5.	<b>Diseño de la investigación.</b> .....	45
3.5.1.	<b>Diseño experimental.</b> .....	45
3.5.1.1.	<b>Selección del coagulante y floculante.</b> .....	46
3.5.1.2.	<b>Determinación de la concentración madre del coagulante.</b> .....	46
3.5.1.3.	<b>Selección de la técnica de procedimiento.</b> .....	49
3.5.1.4.	<b>Factores de estudio del diseño experimental.</b> .....	50
3.5.1.4.1.	<b>Modelo matemático.</b> .....	50
3.5.2.	<b>Tratamientos.</b> .....	51
3.5.2.1.	<b>Cálculo de dosificaciones.</b> .....	51
3.5.2.2.	<b>Mediciones experimentales.</b> .....	54
3.5.3.	<b>Procedimiento de la investigación experimental.</b> .....	54
3.5.4.	<b>Tratamiento de los datos.</b> .....	55
3.6.	<b>Recursos humanos y materiales.</b> .....	56
3.6.1.	<b>Recurso humano.</b> .....	56
3.6.2.	<b>Recurso material.</b> .....	57
3.6.2.1.	<b>Materiales y equipos utilizados en la simulación a nivel laboratorio (test de jarras).</b> .....	57
3.6.2.2.	<b>Materiales y equipos utilizados en la investigación de campo en la empresa Cartopel S.A.I.</b> .....	58
4.1.	<b>Resultados.</b> .....	60

4.1.1.	<b>Análisis de la gestión de las aguas residuales industriales y su recolección en la empresa Cartopel S.A.I.</b> .....	60
4.1.1.1.	<b>Proceso de producción en la empresa CARTOPEL S.A.I.</b> .....	62
4.1.1.1.1.	<b>Descripción del proceso de producción.</b> .....	63
4.1.1.2.	<b>Fuentes de generación de las aguas residuales industriales en la empresa “CARTOPEL” y su recolección.</b> .....	64
4.1.1.2.1.	<b>Generación de aguas residuales en el área de corrugación.</b> .....	64
4.1.1.2.1.1.	<b>Recolección del agua residual.</b> .....	68
4.1.1.2.2.	<b>Generación de aguas residuales en el área de impresión.</b> .....	68
4.1.1.2.2.1.	<b>Recolección del agua residual.</b> .....	70
4.1.1.3.	<b>Diagrama Causa-Efecto.</b> .....	71
4.1.1.3.1.	<b>Análisis de diagrama causa-efecto.</b> .....	72
4.1.1.4.	<b>Diagrama de Pareto.</b> .....	72
4.1.1.4.1.	<b>Tablas de Frecuencias.</b> .....	72
4.1.1.4.2.	<b>Análisis de diagrama de Pareto.</b> .....	75
4.1.1.5.	<b>Cálculo de los caudales de las fuentes de generación de las aguas residuales.</b> .....	76
4.1.1.5.1.	<b>Caudal del área de corrugación.</b> .....	76
4.1.1.5.2.	<b>Caudal del área de imprentas.</b> .....	79
4.1.1.6.	<b>Identificación de las áreas de producción, donde se consume agua potable.</b> .....	80
4.1.1.7.	<b>Cálculo del consumo diario de agua potable, en las áreas que se desea reutilizar el agua tratada.</b> .....	81
4.1.1.7.1.	<b>Consumo de agua diario en la elaboración de la goma (m3).</b> .....	81
4.1.1.7.2.	<b>Consumo de agua diario en los rodillos engomadores en la corrugadora.</b> ..	82
4.1.2.	<b>Determinación de la dosis de coagulante y floculante más eficiente, para la utilización en el sistema de tratamiento de agua.</b> .....	85
4.1.2.1.	<b>Análisis de los parámetros físico-químico del efluente no tratado.</b> .....	85

4.1.2.3.	<b>Criterios de calidad para aguas de uso Industrial.</b> .....	87
4.1.2.3.1.	<b>Calidad del agua requerida para la elaboración de almidón (goma).</b> .....	87
4.1.2.3.2.	<b>Calidad del agua requerida para los rodillos engomadores.</b> .....	88
4.1.2.4.	<b>Tratamiento estadístico de datos obtenidos en el test de jarras.</b> .....	88
4.1.2.5.	<b>Resultados experimentales.</b> .....	89
4.1.2.5.1.	<b>Resultados de la concentración madre del coagulante.</b> .....	89
4.1.2.5.2.	<b>Resultados de las concentraciones hijas (ensayo test de jarras).</b> .....	90
4.1.2.6.	<b>Resultados del Análisis de varianza en función a las variables físicas de estudio.</b> .....	91
4.1.2.6.1.	<b>Análisis de varianza del pH.</b> .....	91
4.1.2.6.2.	<b>Análisis de varianza de la turbidez (NTU).</b> .....	92
4.1.2.7.	<b>Resultados de la prueba de significación (Tukey <math>p &lt; 0,05</math>) en función a los análisis físicos del agua tratada.</b> .....	92
4.1.2.7.1.	<b>Resultados de las diferencias significativas encontradas en el factor A (dosis de del coagulante policloruro de aluminio).</b> .....	92
4.1.2.7.2.	<b>Resultados de las diferencias significativas encontradas en el factor B (dosis de del floculante poliacrilamida aniónica).</b> .....	94
4.1.2.8.	<b>Resultados en función a la interacción A*B (dosis de coagulante*dosis de floculante).</b> .....	95
4.1.2.9.	<b>Rendimiento del proceso de tratamiento físico-químico.</b> .....	96
4.1.3.	<b>Desarrollo de un análisis técnico del sistema a diseñar, que esté acorde a la calidad del agua que se requiere para su reutilización.</b> .....	97
4.1.3.1.	<b>Etapas del sistema de tratamiento de agua residual.</b> .....	97
4.1.3.2.	<b>Cálculo de la instalación.</b> .....	99
4.1.3.2.1.	<b>Tanque de homogeneización y sedimentación primaria (Pre-tratamiento).</b> .....	99
4.1.3.2.2.	<b>Tanques para realizar el tratamiento físico-químico.</b> .....	101
4.1.3.2.2.1.	<b>Etapas 1: Coagulación.</b> .....	102
□	<b>El número de Reynolds (Re):</b> .....	103

□	Longitud del mezclador estático. ....	104
□	Número de Froude (Fr). ....	105
<b>4.1.3.2.2.2.</b>	<b>Etapa 2: Floculación. ....</b>	<b>106</b>
□	Selección del mezclador mecánico de floculación. ....	107
<b>4.1.3.2.2.3.</b>	<b>Etapa 3: Sedimentación secundaria. ....</b>	<b>107</b>
□	Dimensionamiento del sedimentador secundario. ....	109
<b>4.1.3.2.3.</b>	<b>Tanques de almacenamiento del agua tratada. ....</b>	<b>110</b>
<b>4.1.3.2.3.1.</b>	<b>Tanque 1 (Agua semi-tratada). ....</b>	<b>110</b>
□	Capacidad del tanque. ....	110
<b>4.1.3.2.3.2.</b>	<b>Tanque 2 (Agua tratada). ....</b>	<b>110</b>
□	Capacidad del tanque. ....	111
<b>4.1.3.2.4.</b>	<b>Diseño de depósitos. ....</b>	<b>111</b>
<b>4.1.3.2.4.1.</b>	<b>Depósito 1: Coagulante. ....</b>	<b>111</b>
<b>4.1.3.2.4.2.</b>	<b>Depósito 2: Floculante. ....</b>	<b>112</b>
<b>4.1.3.2.5.</b>	<b>Tuberías. ....</b>	<b>113</b>
<b>4.1.3.2.5.1.</b>	<b>Diámetro óptimo de las tuberías. ....</b>	<b>113</b>
<b>4.1.3.2.5.2.</b>	<b>Material de las tuberías. ....</b>	<b>114</b>
<b>4.1.3.2.6.</b>	<b>Cálculo de pérdidas de cargas totales en las tuberías (<math>h_A</math>). ....</b>	<b>115</b>
<b>4.1.3.2.6.1.</b>	<b>Pérdidas por fricción en tuberías (<math>h_f</math>). ....</b>	<b>115</b>
□	Factor de fricción ( $f$ ). ....	117
<b>4.1.3.2.6.2.</b>	<b>Pérdidas por accesorios en las tuberías (<math>h_L</math>). ....</b>	<b>120</b>
<b>4.1.3.2.6.3.</b>	<b>Carga estática total (<math>h_E</math>). ....</b>	<b>121</b>
<b>4.1.3.2.7.</b>	<b>Potencia que requiere las bombas. ....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.3.2.7.1.</b>	<b>Bombas centrífugas periféricas. ....</b>	<b>123</b>
<b>4.1.3.2.7.2.</b>	<b>Bombas dosificadoras. ....</b>	<b>123</b>
□	Cálculo de potencia requerida por la BC1. ....	124
□	Cálculo de potencia requerida por la BC2. ....	124

4.1.3.2.8.	Selección de las bombas.....	125
□	Bombas centrífugas periféricas. ....	125
□	Bombas Dosificadoras. ....	125
4.1.3.3.	Otros elementos de la instalación. ....	126
4.1.3.3.1.	Boyas de nivel. ....	126
4.1.3.3.2.	Caudalímetro.....	127
4.1.4.	Análisis económico-financiero para la factibilidad y rentabilidad de la implementación del sistema para tratamiento de aguas. ....	129
4.1.4.1.	Costos de inversión fija.....	129
4.1.4.2.	Depreciación de la inversión. ....	130
4.1.4.2.1.	Método de línea recta.....	131
4.1.4.3.	Costos de operación. ....	131
4.1.4.3.1.	Costo de materia prima (coagulantes y floculantes).....	132
4.1.4.3.1.1.	Costo de coagulante por cada metro cúbico de agua a tratar (\$/m <sup>3</sup> ).....	132
4.1.4.3.1.2.	Costo de floculante por cada metro cúbico de agua a tratar (\$/m <sup>3</sup> ). ....	133
4.1.4.3.2.	Costos de energía eléctrica y mantenimiento. ....	134
4.1.4.4.	Financiamiento de la inversión. ....	135
4.1.4.5.	Beneficios del proyecto. ....	138
4.1.4.5.1.	Ahorro de consumo de agua potable.....	138
4.1.4.5.2.	Ahorro económico por el consumo de agua potable.....	139
4.1.4.5.3.	Ahorro económico de sanciones y multas. ....	141
4.1.4.6.	Evaluación económica (TIR, VAN). ....	141
4.1.4.6.1.	Tasa interna de retorno (TIR). ....	141
4.1.4.6.2.	Valor neto Actual (VAN).....	141
4.1.4.6.3.	Flujo de Efectivo. ....	142
CAPÍTULO V.....		145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		145

<b>5.1.</b>	<b>Conclusiones.</b> .....	146
<b>5.2.</b>	<b>Recomendaciones.</b> .....	148
<b>CAPÍTULO VI</b> .....		149
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		149
<b>ANEXOS</b> .....		154

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Componentes del adhesivo (goma). .....	15
<b>Tabla 2.</b> Técnicas para el procedimiento del test de jarras.....	26
<b>Tabla 3.</b> Técnicas para el procedimiento del test de jarras.....	27
<b>Tabla 4.</b> Ventajas y desventajas de los tipos de mezcla rápida. ....	33
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de los mezcladores estáticos en línea, según sus características. ....	35
<b>Tabla 6.</b> Tipos de floculadores hidráulicos. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Tipos de floculadores mecánicos. ....	38
<b>Tabla 8.</b> Tipos de material de tuberías. ....	40
<b>Tabla 9.</b> Técnica de procedimiento en el ensayo del test de jarras utilizada en la investigación.....	49
<b>Tabla 10.</b> Factores de estudio del ensayo experimental del test de jarras. ....	50
<b>Tabla 11.</b> Resumen de los cálculos realizados a diferentes tipos de concentraciones hijas. ...	52
<b>Tabla 12.</b> Interacciones de los niveles de factores de estudio, en el ensayo de test de jarras. ....	53
<b>Tabla 13.</b> Parámetros permisibles de las variables de estudio, según la norma técnica ecuatoriana INEN-1108.....	56
<b>Tabla 14.</b> Materiales y equipos utilizados en el ensayo del test de jarras de la UG.....	57
<b>Tabla 15.</b> Requerimientos de hardware. ....	58
<b>Tabla 16.</b> Requerimientos de software. ....	58
<b>Tabla 17.</b> Total de pedidos de cajas de cartón para banano en el día.....	72
<b>Tabla 18.</b> Tabla de frecuencias de las causas que afectan directamente al problema principal. ....	73
<b>Tabla 19.</b> Tabla de frecuencias ordenadas, de las causas que afectan directamente al problema principal.....	74
<b>Tabla 20.</b> Datos obtenidos de la medición de caudales durante una semana. ....	77
<b>Tabla 21.</b> Áreas de producción de consumo de agua potable, en la empresa Cartopel S.A.I. ....	80
<b>Tabla 22.</b> Promedio del consumo diario de agua potable, en la elaboración de la goma (m3). ....	81
<b>Tabla 23.</b> Análisis físico-químico del efluente no tratado (agua residual proveniente del área de corrugación).....	86
<b>Tabla 24.</b> Variables de respuesta en el ensayo del test de jarras. ....	88
<b>Tabla 25.</b> Dosis de coagulante PAC en ml, de diferentes concentraciones madres e hijas. ....	89

<b>Tabla 26.</b> Resultados del test de jarras, en función a las dos variables de medición (pH y turbidez). .....	90
<b>Tabla 27.</b> Adeva en función de la variable de estudio pH, del agua tratada. ....	91
<b>Tabla 28.</b> Adeva en función de la variable de estudio turbidez (NTU), del agua tratada. ....	92
<b>Tabla 29.</b> Características físicas de los fluidos a mezclar (agua a tratar y PAC). .....	102
<b>Tabla 30.</b> Dimensiones de los tanques de almacenamiento de aguas tratadas. ....	111
<b>Tabla 31.</b> Dimensiones de los depósitos de almacenamiento de químicos. ....	112
<b>Tabla 32.</b> Función de las tuberías que intervienen en el sistema se tratamiento de agua propuesto. ....	113
<b>Tabla 33.</b> Resumen de los cálculos del diámetro óptimo para cada tubería que interviene en el sistema propuesto. ....	114
<b>Tabla 34.</b> Especificaciones técnicas de las tuberías que intervienen en el sistema propuesto. ....	115
<b>Tabla 35.</b> Número de Reynolds de cada tubería que interviene en el sistema a diseñar. ....	117
<b>Tabla 36.</b> Factor de fricción para cada tubería en el sistema propuesto. ....	119
<b>Tabla 37.</b> Pérdida de cargas por fricción en las tuberías que intervienen en el sistema a diseñar. ....	119
<b>Tabla 38.</b> Tipos y números de accesorios que lleva cada tubería. ....	120
<b>Tabla 39.</b> Pérdidas de carga por los accesorios que intervienen en cada tubería. ....	121
<b>Tabla 40.</b> Pérdidas de cargas estáticas totales en cada tubería del sistema. ....	122
<b>Tabla 41.</b> Pérdidas de cargas totales en cada tubería del sistema. ....	122
<b>Tabla 42.</b> Distribución de las bombas que intervienen en el sistema propuesto. ....	124
<b>Tabla 43.</b> Factores y características del fluido para la selección de bombas dosificadoras. .	126
<b>Tabla 44.</b> Dimensiones de los equipos que intervienen en el sistema de tratamiento de aguas residuales. ....	128
<b>Tabla 45.</b> Costo de inversión fija. ....	130
<b>Tabla 46.</b> Costo de materia prima (coagulante y floculante). ....	134
<b>Tabla 47.</b> Costo de energía eléctrica anual del sistema propuesto. ....	135
<b>Tabla 48.</b> Costos de energía eléctrica y de mantenimiento. ....	135
<b>Tabla 49.</b> Datos para el cálculo de las cuotas para el financiamiento de la propuesta. ....	136
<b>Tabla 50.</b> Tabla de amortización tipo francesa con pagos mensuales. ....	137
<b>Tabla 51.</b> Tarifa de agua potable en la Ciudad de Guayaquil. ....	140
<b>Tabla 52.</b> Flujo de efectivo. ....	142

<b>Tabla 53.</b> Periodo de recuperación de la inversión. ....	143
<b>Tabla 54.</b> Velocidad recomendada de los fluidos en una tubería.....	181

## Índice de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Combinación de papeles del cartón corrugado. ....	11
<b>Gráfico 2.</b> Lámina de cartón pared sencilla. ....	12
<b>Gráfico 3.</b> Lámina de cartón doble pared. ....	12
<b>Gráfico 4.</b> Tipos de flautas para la elaboración del cartón para banano. ....	13
<b>Gráfico 5.</b> Comparación del comportamiento de los parámetros físico-químico de los dos tipos de coagulantes. ....	24
<b>Gráfico 6.</b> Condiciones de operación del equipo utilizando dos tipos de coagulantes. ....	24
<b>Gráfico 7.</b> Comparación del costo global de los coagulantes. ....	25
<b>Gráfico 8.</b> Equipo para realizar las pruebas de jarras (tratamiento físico-químico). ....	27
<b>Gráfico 9.</b> Sistema de tratamiento de agua residual en una cartonera. ....	28
<b>Gráfico 10.</b> Sistema de tratamiento de agua residual en una empresa textil. ....	29
<b>Gráfico 11.</b> Tamiz. ....	30
<b>Gráfico 12.</b> Desbaste. ....	31
<b>Gráfico 13.</b> Cribado. ....	31
<b>Gráfico 14.</b> Tanque de sedimentación primaria. ....	32
<b>Gráfico 15.</b> Resalto hidráulico. ....	34
<b>Gráfico 16.</b> Canaleta parshall. ....	34
<b>Gráfico 17.</b> Partes de un mezclador estático según el catalogo NOVATEC. ....	36
<b>Gráfico 18.</b> Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías. ....	39
<b>Gráfico 19.</b> Localización de la empresa Cartones Nacionales del Grupo Cartopel S.A.I. ....	43
<b>Gráfico 20.</b> Distribución de planta de la empresa CARTOPEL S.A.I. ....	61
<b>Gráfico 21.</b> Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cajas para banano. ....	62
<b>Gráfico 22.</b> Troquelado y score en una caja de cartón. ....	63
<b>Gráfico 23.</b> Máquina corrugadora. ....	64
<b>Gráfico 24.</b> Láminas de cartón. ....	66
<b>Gráfico 25.</b> Diagrama de flujo del proceso de corrugación y etapas donde se genera agua residual. ....	67
<b>Gráfico 26.</b> Agua residual proveniente del área de corrugación. ....	68
<b>Gráfico 27.</b> Lavado del cliché en cada cambio de pedido. ....	69
<b>Gráfico 28.</b> Diagrama de flujo del área de impresión y etapas donde se genera agua residual. ....	69

<b>Gráfico 29.</b> Tanque de sedimentación del sistema de tratamiento de agua existente. ....	70
<b>Gráfico 30.</b> Diagrama de Pareto en función de las causas y frecuencia que afectan directamente al problema principal.....	75
<b>Gráfico 31.</b> Interconexión de efluentes de la flauta “C”, “B” y Glue machine. ....	76
<b>Gráfico 32.</b> Variaciones de caudales en función del tiempo en el área de corrugación. ....	78
<b>Gráfico 33.</b> Interconexión de efluentes del área de imprentas. ....	79
<b>Gráfico 34.</b> Tanque de sedimentación. ....	80
<b>Gráfico 35.</b> Variaciones de caudales según el tiempo en la flauta “B” de la corrugadora. ....	83
<b>Gráfico 36.</b> Test de jarras con diferentes concentraciones madre de PAC. ....	89
<b>Gráfico 37.</b> Diferencias de medias entre los niveles del factor A. ....	93
<b>Gráfico 38.</b> Diferencias de medias entre los niveles del factor B. ....	94
<b>Gráfico 39.</b> Diferencias de medias entre los niveles de la interacción A*B (dosis de coagulante*dosis de floculante), mediante la prueba de tukey ( $p < 0,05$ ), en base a las variables de estudio: pH y turbidez. ....	95
<b>Gráfico 40.</b> Etapas del sistema de tratamiento de agua residual proveniente del área de corrugación.....	98
<b>Gráfico 41.</b> Porcentaje de remoción de SST vs al tiempo de retención. ....	99
<b>Gráfico 42.</b> Números de elemento requeridos en función del número Reynolds.....	104
<b>Gráfico 43.</b> Especificaciones técnicas del mezclador estático en función del diámetro de la tubería y la longitud.....	104
<b>Gráfico 44.</b> Especificaciones técnicas del floculador en función de las rpm requeridas. ....	107
<b>Gráfico 45.</b> Comparación del área superficial de un sedimentador con placas inclinadas y un convencional.....	108
<b>Gráfico 46.</b> Sedimentador secundario con placas inclinadas. ....	108
<b>Gráfico 47.</b> Especificaciones técnicas del sedimentador con placas inclinadas.....	109
<b>Gráfico 48.</b> Diagrama de Moody.....	118
<b>Gráfico 49.</b> Interruptor automático de nivel actuado por flotador. ....	126
<b>Gráfico 50.</b> Caudalímetro de acero galvanizado. ....	127
<b>Gráfico 51.</b> Etapas del sistema propuesto donde circula el agua residual y áreas en el cual se reutilizará.....	132
<b>Gráfico 52.</b> Ahorro significativo de agua potable diario.....	138

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> Caudal en función del volumen y tiempo.....	22
<b>Ecuación 2.</b> Caudal en función del área de la tubería y velocidad del fluido. ....	22
<b>Ecuación 3.</b> Número de Reynolds. ....	36
<b>Ecuación 4.</b> Concentración madre.....	47
<b>Ecuación 5.</b> Volumen de dosificación. ....	48
<b>Ecuación 6.</b> Caudal medio.....	78
<b>Ecuación 7.</b> Densidad. ....	81
<b>Ecuación 8.</b> Caudal total de consumo diario en los rodillos engomadores. ....	84
<b>Ecuación 9.</b> Relación DBO/DQO.....	87
<b>Ecuación 10.</b> Volumen del tanque de sedimentación primaria. ....	100
<b>Ecuación 11.</b> Ancho del sedimentador primario. ....	100
<b>Ecuación 12.</b> Longitud del tanque de sedimentación primario. ....	101
<b>Ecuación 13.</b> Número de froude.....	105
<b>Ecuación 14.</b> Pérdidas de cargas totales en las tuberías. ....	115
<b>Ecuación 15.</b> Pérdidas por fricción en tuberías. ....	115
<b>Ecuación 16.</b> Factor de fricción.....	117
<b>Ecuación 17.</b> Rugosidad relativa. ....	118
<b>Ecuación 18.</b> Pérdidas por accesorios en las tuberías. ....	120
<b>Ecuación 19.</b> Carga estática total. ....	121
<b>Ecuación 20.</b> Potencia de la bomba.....	123
<b>Ecuación 21.</b> Depreciación por el método de línea recta. ....	131
<b>Ecuación 22.</b> Cuotas para la tabla de amortización.....	136
<b>Ecuación 23.</b> Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).....	142
<b>Ecuación 24.</b> Coeficiente beneficio/costo. ....	144

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1.</b> Ficha técnica del policloruro de aluminio (coagulante). .....	155
<b>Anexo 2.</b> Ficha técnica de la poliacrilamida aniónica (floculante). .....	156
<b>Anexo 3.</b> Procedimiento para determinar la concentración madre óptima. ....	158
<b>Anexo 4.</b> Normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) D2035-13.....	159
<b>Anexo 5.</b> Parámetros permisibles del agua potable, según norma INEN 1108. ....	161
<b>Anexo 6.</b> Tipos de ácidos para disminuir la alcalinidad del agua (Ph). .....	163
<b>Anexo 7.</b> Formulación para elaborar la goma. ....	164
<b>Anexo 8.</b> Toma, manejo y conservación de la muestra (agua residual industrial) según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98.....	165
<b>Anexo 9.</b> Análisis químico DBO y DQO. ....	171
<b>Anexo 10.</b> Toma de muestras y medición de parámetros físicos. ....	172
<b>Anexo 11.</b> Descarga de efluentes al sistema de alcantarillado según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente). ....	173
<b>Anexo 12.</b> Criterios de calidad para aguas de uso Industrial según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente). ....	175
<b>Anexo 13.</b> Simulación a nivel laboratorio del tratamiento físico-químico. ....	177
<b>Anexo 14.</b> Resultados de los análisis químicos del agua tratada comparado con los del agua potable. ....	178
<b>Anexo 15.</b> Cálculos de los valores estipulados en la tabla 29 (Características físicas de los fluidos a mezclar). ....	179
<b>Anexo 16.</b> Cálculos de caudales y diámetros de tuberías. ....	181
<b>Anexo 17.</b> Cálculo del área de tubería, en función al diámetro nominal seleccionado y velocidad entrante al mezclador estático. ....	184
<b>Anexo 18.</b> Cotización del mezclador estático y del sedimentador laminar de pantallas inclinadas a la empresa NOVARSA.....	185
<b>Anexo 19.</b> Dimensiones de los tanques de almacenamiento de aguas tratadas, del catálogo de Rotoplast.....	187
<b>Anexo 20.</b> Selección de los depósitos que contienen la disolución de químicos (coagulante y floculante). Catálogo Klinwass. ....	188

<b>Anexo 21.</b> Valores típicos de coeficientes de rugosidad absoluta de acuerdo al tipo de material. .....	189
<b>Anexo 22.</b> Cálculo del coeficiente de resistencia (K) en las pérdidas de cargas, en función de los accesorios.....	190
<b>Anexo 23.</b> Cálculo de las pérdidas de cargas por cada accesorio.....	192
<b>Anexo 24.</b> Selección de bombas mediante catálogos. ....	194
<b>Anexo 25.</b> Selección y cotización de tuberías.....	196
<b>Anexo 26.</b> Cotizaciones de los equipos e insumos que intervienen en el sistema propuesto.	197
<b>Anexo 27.</b> Tasa de interés para el financiamiento del Banco Central del Ecuador. ....	201
<b>Anexo 28.</b> Obtención de lodos del tratamiento de agua residual proveniente del área de corrugación, a nivel laboratorio. ....	202
<b>Anexo 29.</b> Reglamento interno de manejo de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial en el cantón Guayaquil. ....	204
<b>Anexo 30.</b> Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto. ....	205
<b>Anexo 31.</b> Distribución de planta del sistema propuesto.....	206
<b>Anexo 32.</b> Distribución de planta del sistema propuesto planta baja. ....	207
<b>Anexo 33.</b> Distribución de planta del sistema propuesto planta alta. ....	208

## Código Dublin

<b>Título</b>	Diseño de un sistema para tratamiento de aguas residuales industriales, para el subproceso de elaboración de adhesivo de almidón (goma) en la industria “Cartones Nacionales Cartopel S.A.I.			
<b>Autor</b>	Vera Galarza Kasandra Adriana			
<b>Palabras claves</b>	Gestión de aguas residuales	Agua residual industrial	Sistema de tratamiento	Operaciones unitarias
<b>F. publicación</b>				
<b>Editorial</b>	Quevedo: UTEQ, 2018			
<b>Resumen</b>	<p><b>Resumen.</b> – El presente trabajo de investigación tiene como finalidad colaborar con la Cartonera Cartopel S.A.I, mediante la propuesta de diseñar un sistema para tratamiento de aguas residuales industriales y reutilizarlas en el subproceso de elaboración de adhesivo de almidón (goma). El tratamiento básicamente consiste en un tratamiento físico-químico. Para determinar la dosis de coagulantes y floculantes eficientes, se realizaron ensayos de test de jarras a nivel laboratorio, consecutivamente se analizaron las operaciones unitarias que intervienen en el sistema. Finalmente se realizó un análisis económico con el fin de demostrar la factibilidad y rentabilidad de la implementación. Los beneficios de esta propuesta son de carácter económico y ambiental, ya que al tratar aguas residuales y reutilizarlas en otros subprocesos, permite una mejor gestión de las mismas, reducir el consumo de agua potable, evitar sanciones y multas por verter los efluentes al alcantarillado sin un posterior tratamiento y por ende contribuir a la preservación del medio ambiente, el cual representa un ahorro económico para la empresa.</p> <p><b>Abstract.</b> - The purpose of this research work is to collaborate with the Entepriase Cartopel S.A.I, with the proposal to design a system for industrial wastewater treatment and reuse them in the subprocess of the manufacture of starch (rubber) adhesive. The treatment basically consists of a physical-chemical treatment. To determine the dose of efficient coagulants and flocculants, jar test tests were carried out at the laboratory level, consecutively the unit operations that intervene in the system were analyzed. Finally, a benefit / cost analysis was carried out in order to demonstrate the feasibility and profitability of the implementation. The benefits of this proposal are economic and environmental, because when treating wastewater and reuse in other sub-processes, it allows better management of them, reduce drinking water consumption, avoid penalties and fines for dumping effluents To the sewer system without a subsequent treatment and thus contribute to the preservation of the environment, which represents an economic saving for the company.</p>			
<b>Descripción</b>	238 hojas: Dimensiones; 29 x 21 cm: CD-ROM			
<b>URI</b>				

## GLOSARIO DE TÉRMINOS TÉCNICOS EN CARTOPEL S.A.I.

- **Batch:** Preparación de la fórmula del adhesivo de almidón (goma).
- **Bobinas de papel:** Rollo de papel de alta calidad, clasificados en papel kraft o blanco que sirven como materia prima principal, en la elaboración de cajas de cartón corrugado en una industria cartonera.
- **Cajas de cartón corrugado:** Son volúmenes constituidos a partir de las planchas o láminas rígidas, elaboradas a base de papeles (láminas de cartón), cuya forma y presentación se adaptan al producto que hay que embalar.
- **Caudal máximo:** Es el flujo de agua más elevado durante ciertos instantes de tiempo, es un parámetro muy importante que se debe conocer en todo dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales, puede determinar gráficamente en un hidrograma o aplicando la estadística.
- **Caudal medio:** Es el promedio del conjunto de caudales y nos indica el caudal más representativo que se consume durante el día.
- **Caudal mínimo:** Es el menor consumo que se tiene a lo largo del día, por lo tanto representa el mínimo gasto de la cantidad de agua por unidad de tiempo
- **Cliché o clisé:** Plancha flexible fabricada de caucho natural o sintético, sirve como molde para la impresión del logo de la caja.
- **Concentración madre:** Concentración del reactivo en un volumen de agua, el cual se utiliza una alícuota (porción) en la preparación de una solución.
- **Corrida del pedido:** Proceso de fabricación de la caja de cartón corrugado ya sea tapa o base.
- **Corrugado medio:** Materia prima principal para la elaboración del cartón corrugado, es empleado para formar las ondas o flautas tipo “C” o “B” del cartón corrugado.
- **Doble pared:** Cartón corrugado formado por la unión intercalada de tres liners y dos corrugados medios.
- **Embaladora:** Máquina empacadora y picadora de desperdicio de cartón y papel.
- **Fluido:** Sustancia que se deforma continuamente al ser sometida a esfuerzos de corte.
- **Flujo:** Movimiento de un fluido.
- **Glue machine:** Estación de doble engomado que asegura la unión de (de los) single face(s) con liners exterior.

- **Kraft liner:** Materia prima principal para la elaboración del cartón corrugado, papel de color marrón en forma de bobinas, que forma las caras lisas o cubiertas del cartón corrugado.
- **Liner blanco:** Materia prima principal para la elaboración del cartón corrugado, papel blanco en forma de bobinas, que forma las caras lisas del cartón corrugado.
- **Masas corrugadoras:** Similares a un par de piñones, forman parte de la máquina corrugadora y se utilizan para formar ondulaciones (tipos de flauta), en el papel corrugado medio.
- **Partículas coloidales:** Es la materia en suspensión contenida en el agua residual que tiene un tamaño de partícula de una micra.
- **Pedido:** Cantidad de cajas solicitadas por un cliente, a las que se les ha asignado un número secuencial.
- **Pegado manual:** Aplicación del adhesivo con brochas, por parte de los operadores, para la conformación de la caja.
- **Planchaje:** Sección del área de corrugación, donde se realiza el proceso de pegado y secado del single face con el liner exterior.
- **ppm:** Es una unidad de medida con la que se mide la concentración, Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia, agente entre otros, en donde 10 000 ppm equivalen al 1%, su unidad es el mg/l.
- **Pre-calentador:** Tambores giratorios calentados con vapor, empleados para secar y acondicionar el papel en la máquina corrugadora.
- **Puente transportador:** Donde se transporta el single face (papel liner interno + corrugado medio) directamente al Glue machine para pegar el liner externo y así formar el cartón corrugado de pared sencilla (tapa).
- **Punto gel:** Temperatura de gelatinización de la goma preparada a base de almidón.
- **Rodillo engomadores:** Utilizados principalmente en las empresas cartoneras y sirven para aplicar la goma en los papeles y formar el cartón corrugado.
- **Score:** Es la hendidura formada por el aplastamiento del cartón, este puede ser paralelo o perpendicular a las corrugaciones.
- **Single face (Simple cara):** Conformada por 1 liner y un corrugado medio (hoja en forma de ondas) unidas entre sí con goma. este es el módulo elemental de todo cartón corrugado.
- **Tack:** Se refiere a la pegajosidad de la goma, presenta la resistencia a la separación haciendo a la unión de papeles fuerte y flexible.

- **Troquel:** Conformado de madera donde van incrustadas las cuchillas, reglas de scorear y cauchos de expulsión de los recortes y desperdicio, que se utiliza en el área de imprentas.
- **Troquelar:** Corte del cartón con la ayuda de un dispositivo conocido como troquel.
- **Viscosidad:** Es la resistencia al flujo de los líquidos.

## Introducción

Según la base de datos AQUASTAT-FAO (Sistema de información global sobre el agua de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), considera que las extracciones de agua dulce a nivel mundial son de 3.928 km<sup>3</sup> al año, el 56% es liberado al medio ambiente como aguas residuales en forma de efluentes municipales e industriales y agua de drenaje agrícola. Por otra parte se estima que en el mundo, más del 80% de las aguas residuales son vertidas sin tratamiento alguno [1].

En la actualidad la conservación del medio ambiente se ha convertido en uno de los temas de mayor importancia para las Industrias del país, así mismo la preservación de los recursos naturales han despertado en el hombre el interés de mejorar la gestión de las aguas residuales, buscando métodos y técnicas para ser aprovechados de manera eficiente.

La Industria “Cartones Nacionales CARTOPEL S.A.I., dedicada a la elaboración de cajas de cartón para banano no se aparta de este postulado, teniendo en cuenta que la elaboración del adhesivo de almidón (goma), es uno de los subprocesos que más consume agua en las Industrias cartoneras, es por esto que surge la necesidad de diseñar un sistema para tratamiento de aguas residuales, que permita su reutilización en el subproceso antes mencionado.

El presente trabajo de investigación básicamente consiste en gestionar correctamente las aguas residuales industriales, administrar los recursos que posee la empresa y preservar el recurso hídrico, sin perjudicar el medio ambiente, mediante el diseño de un sistema para tratar las aguas residuales y reutilizarlas eficientemente, aplicando estudios técnicos, métodos de investigación basado en técnicas estadísticas y métodos experimentales el cual se divide en diversas etapas.

El desarrollo de este proyecto de investigación se encuentra dividido por siete capítulos que se describen a continuación:

**Capítulo I.** Donde se contextualiza la información y va descrito el problema, objetivo general y objetivos específicos y justificación del proyecto.

**Capítulo II.** La fundamentación teórica, recopilación de toda información básica y necesaria para la creación del marco conceptual y marco referencial que se va a utilizar en el proyecto.

**Capítulo III.** Se describe la metodología investigativa, donde se exponen los métodos, técnicas y selección de materiales que se emplearon en el transcurso del trabajo.

**Capítulo IV.** Son los resultados y discusiones, donde se inicia con el diagnóstico de la situación actual sobre las fuentes de generación de las aguas residuales industriales y su sistema de recolección, analizando sus propiedades físicas-químicas, posteriormente se selecciona el tipo de sistema de tratamiento en base a ciertos parámetros, para así determinar la dosis de coagulante y floculante más eficiente, consecutivamente se realizará el diseño del sistema acorde a la calidad del agua que se requiere para su respectiva reutilización, analizando la factibilidad de dicha propuesta.

**Capítulo V.** Las conclusiones y recomendaciones que se detallan en este capítulo son elaboradas en base a los objetivos propuestos en la investigación.

**Capítulo VI.** La bibliografía empleada en el desarrollo del proyecto de investigación.

**Capítulo VII.** Los anexos, las cuales sirven como información complementaria en el desarrollo en la investigación.

**CAPÍTULO I**

**CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación.**

### **1.1.1. Planteamiento del problema.**

El problema en general que presentan las industrias cartoneras es la deficiente gestión en el manejo de las aguas residuales industriales, causando contaminación medioambiental, debido al desaprovechamiento de este recurso.

Este tipo de fábricas consumen grandes cantidades de agua, lo cual su descarga será muy elevada, por ende es necesario un tratamiento para poder reutilizarlos en otros subprocesos en la empresa, cumpliendo con los criterios de calidad para aguas de uso industrial según la norma de calidad ambiental y descarga de efluentes al recurso agua TULSMA (texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente).

Actualmente, existe un bajo índice de interés en la mayoría de las industrias para implementar acciones o sistemas tendientes al tratamiento y manejo de desechos líquidos, que permitan su reutilización para otro fin, ya que en muchos casos son descargados en los ríos, lagos, mares, alcantarillado entre otros, ocasionando problemas ambientales y graves inconvenientes que afectan el equilibrio de flora y fauna en el lugar.

Estas aguas residuales, antes de ser vertidas en las masas receptoras, deben recibir un tratamiento adecuado, capaz de modificar sus propiedades (físicas, químicas y microbiológicas), para evitar que su deposición cause los problemas antes mencionados.

La Industria cartonera CARTOPEL S.A.I, no es la excepción en torno a esta problemática, actualmente aumentó su capacidad instalada de impresas para abastecer la demanda de sus clientes. Por otra parte, el efluente proveniente del área de corrugación, es bombeado directamente al sistema de alcantarillas y ríos sin ser tratado, esto se debe a la insuficiente capacidad en el sistema de tratamiento de aguas existente, ya que, al instalar maquinaria adicional, éste solo abastece el agua residual generada del área de impresas, lo que conlleva a problemas futuros con su calidad e imagen y desperdicio del recurso hídrico, causando pérdidas a la empresa.

## **Diagnóstico.**

Mediante el diagrama Causa-efecto se identificaron las causas con mayor importancia y que afectan directamente al problema principal, las cuales son presentadas por los procesos y operadores. Durante el recorrido que se realizó en la empresa, se pudo observar que:

- El efluente proveniente del área de corrugación no cuenta con un tratamiento previo antes de ser vertido al alcantarillado, debido a la capacidad del sistema de tratamiento existente.
- Existe rebose de agua residual en la planta de tratamiento existente cuando se envía efluente del área de corrugación.
- Insuficiencia de recursos técnicos y tecnológicos.

También se registraron otras causas como desperdicio de agua al momento de limpiar las imprentas en cada cambio de pedido, falta de atención al momento de limpiar las flautas por parte del operador en el departamento de goma, las cuales presentan menor grado de relevancia.

## **Pronóstico.**

Al implementar dicha propuesta, basada en el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, para su posterior reutilización, se logrará una mejor gestión de las mismas, reduciendo el consumo de agua potable, minimizar los costos de operación y contribuir a la preservación del medio ambiente.

### **1.1.2. Formulación del problema.**

¿Cómo mejorar la gestión de las aguas residuales industriales, mediante el diseño de un sistema de tratamiento de agua, en la Industria “Cartones Nacionales CARTOPEL S.A.I.”?

### **1.1.3. Sistematización del problema.**

El diseño de un sistema para tratamiento de aguas residuales proveniente del área de corrugación y su reutilización, se ve influido por diversas etapas de estudio, las cuales se elabora las siguientes interrogantes:

- ✓ ¿Cómo gestionan en la actualidad las aguas residuales industriales y cómo es su sistema de recolección en la Industria Cartonera?
- ✓ ¿Se podrá reutilizar el agua tratada generada del área de corrugación, en otros subprocesos?
- ✓ ¿Cuál será la dosis de coagulante y floculante más eficiente, para la utilización en el sistema de tratamiento de agua?
- ✓ ¿Cómo seleccionar y dimensionar los equipos y operaciones unitarias que intervienen en el proceso del sistema de tratamiento de agua residual industrial?
- ✓ ¿Cuán factible y rentable será la implementación de dicha propuesta?

## **1.2. Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo General.**

Diseñar un sistema para tratamiento de aguas residuales industriales, que permita su reutilización en el subproceso de elaboración de adhesivo de almidón (goma), en la Industria “Cartones Nacionales CARTOPEL S.A.I.”.

### **1.2.2. Objetivos específicos.**

- ✓ Analizar la gestión actual de las aguas residuales industriales y su sistema de recolección en la cartonera.
- ✓ Determinar la dosis de coagulante y floculante más eficiente, para la utilización en el sistema de tratamiento de agua.
- ✓ Desarrollar un análisis técnico del sistema a proponer, que esté acorde a la calidad del agua que se requiere para su reutilización.
- ✓ Efectuar un análisis económico-financiero para demostrar la factibilidad y rentabilidad de la implementación del sistema para tratamiento de aguas.

### **1.3. Justificación.**

La reutilización de aguas residuales industriales, se convirtió en una solución técnica aceptada y confiable para tratar problemas de escasez de agua y contaminación del medio ambiente alrededor del mundo. Considerada previamente una responsabilidad de disposición de desechos, la reutilización de efluentes ahora puede convertirse en un recurso valioso para las industrias.

Con el propósito de preservar las reservas de agua dulce, disminuir los costos de operación en la elaboración de la goma y una mejor gestión de las aguas residuales industriales y de todos los recursos (hídrico y técnicos o tecnológicos), se propone el diseño de un sistema para tratamiento de aguas residuales proveniente del área de corrugación, que permita su reutilización en el subproceso de elaboración de adhesivo de almidón (goma).

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, predomina la importancia de una buena gestión de los recursos que posee la empresa tanto naturales como técnicos o tecnológicos, que permita reducir su consumo sin afectar a la calidad del producto final, ni al proceso de fabricación de cartón, de tal modo que represente importantes ventajas económicas y medioambientales para el establecimiento.

El manejo apropiado de las aguas residuales industriales de la empresa, presenta varias ventajas de carácter ambiental, económico y de imagen pública, ya que permite obtener la certificación de la normativa ambiental ISO 14001, la cual es valorada en un mercado globalizado, donde el tema del medio ambiente cada vez se le concede el factor más importante y de suma relevancia en la actualidad.

Las metodologías y técnicas a emplear en el presente trabajo de investigación, se plantean en función a las características físicas-químicas que presenta el efluente a tratar, en conjunto a la demanda y calidad del agua que se requiere para su posterior reutilización.

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco Conceptual.**

### **2.1.1. Agua residual.**

Las aguas residuales se clasifican en dos tipos: industriales y municipales. En su mayoría las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado, como las características de estas aguas residuales cambian con respecto al tipo de industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. [2].

Es aquella que procede del empleo de un agua natural o potable, en un uso determinado. La eliminación de las aguas residuales se conoce como efluentes. [3].

### **2.1.2. Aguas residuales industriales.**

Proviene de los procesamientos realizados en las industrias o fábricas, pueden contener antibióticos, ácidos y grasas, aceites, detergentes, y otros subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy inconstante, dependiendo de las diferentes actividades industriales realizadas. [4].

Son procedentes de cualquier actividad industrial, en cuyo proceso de producción y transformación se manipule agua, incluyéndose aguas de drenaje, líquidos residuales y aguas de proceso. [3].

### **2.1.3. Efluente industrial.**

Residuo líquido provenientes de una industria, pueden ser clasificados de acuerdo a su comportamiento en las aguas receptoras (afluentes), propiedades físicas y químicas y en la forma como estos afectan el ambiente, generalmente contienen sustancias orgánicas insolubles y solubles; sustancias orgánicas disueltas, incluyendo tóxicos, materiales biodegradables; y sustancias inorgánicas disueltas, incluyendo nutrientes. [5].

## 2.1.4. Gestión de aguas residuales industriales.

Es el manejo adecuado de las aguas residuales industriales, se basa en conceptualizar, estructurar y por último desarrollar la infraestructura del sistema, para que dicha agua sea reutilizada para otros fines en la empresa, con el objetivo de minimizar el consumo de agua potable, por ende reducir los costos de operación, por otra parte no contaminar al medio ambiente.

## 2.1.5. Operaciones unitarias.

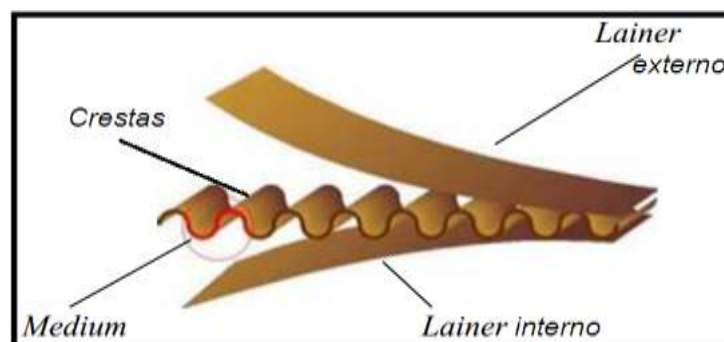
Es una etapa característica de un proceso químico, con el fin de modificar la composición mediante procesos físicos y físicos químicos. En las operaciones unitarias incluye procesos de separación como la destilación, absorción, entre otros; de mezclado como la reducción o aumento de tamaño de partículas y el proceso de transferencia de calor. [6].

## 2.1.6. Generalidades del proceso de producción del cartón para banana.

### 2.1.6.1. ¿Qué es el cartón corrugado?

Es un material utilizado para la fabricación de envases y embalajes, formado generalmente por 3 capas de papel, un nervio central de papel ondulado (corrugado medio o medium), reforzado externamente por 2 capas de papel (liner interno y externo) que se encuentran pegadas con adhesivo de almidón (goma) en las crestas de la onda, como se aprecia en el gráfico 1 [7].

**Gráfico 1.** Combinación de papeles del cartón corrugado.

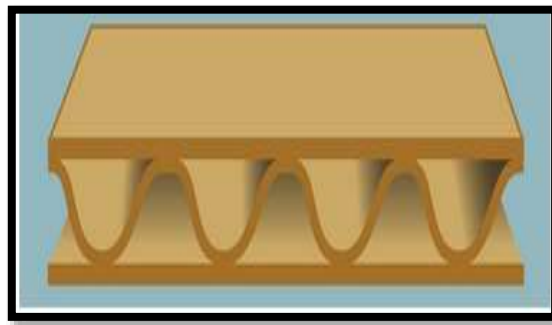


Fuente: [www.inlandaméricas.com](http://www.inlandaméricas.com)

### 2.1.6.2. Tipos de cartón Corrugado.

- **Pared Sencilla (tapa):** Estructura rígida formada por un elemento ondulado (papel medium con flauta C), pegado en ambos lados a elementos planos (liners interno y externo). Para obtener un cartón de este tipo se requiere de 3 papeles, 1 liner interno, 1 liner externo y 1 medium y normalmente se utiliza como tapa para las cajas de banano, como se aprecia en el gráfico 2.

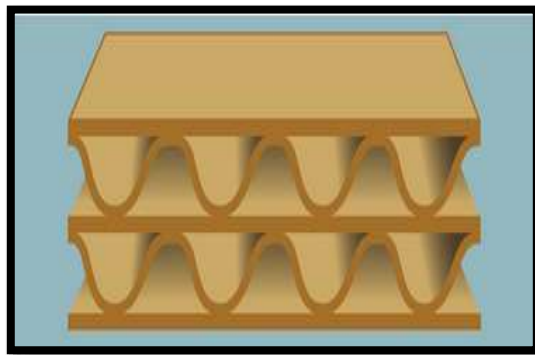
**Gráfico 2.** Lámina de cartón pared sencilla.



**Fuente:** revista ACCCSA

- **Doble pared (base):** Estructura rígida formada por 3 elementos planos (liners) pegados a 2 elementos ondulados intercalados (papel medium). Para obtener un cartón de este tipo se requiere de 5 papeles, 3 liners y 2 medium (uno en flauta B y otro en flauta C), normalmente se utiliza como base en las cajas de banano, como se aprecia en el gráfico 3. [7].

**Gráfico 3.** Lámina de cartón doble pared.





**Fuente:** revista ACCCSA

### 2.1.6.3. Tipos de flautas.

Flauta es la configuración geométrica dada a un papel, al momento que pasa por las masas corrugadoras, en el área de corrugación, para un posterior pegado a elementos planos (liners). En donde en la empresa se elaboran 2 tipos de flautas como se aprecia en el gráfico 4.

**Gráfico 4.** Tipos de flautas para la elaboración del cartón para banana.

Tipo de flauta	Altura de cresta	Número de flautas por 30 cm (1 pié)	Figura
B	2.46 mm (0.097")	47	
C	3.53 mm (0.142")	39	

Fuente: [www.papelnet.com](http://www.papelnet.com)

### 2.1.6.4. Adhesivo de almidón.

Es el pegamento (goma), para unir varios papeles y formar la lámina de cartón corrugado, se formula con almidón de maíz, debido a la amplia disponibilidad en el mercado. Es una sustancia e ingrediente muy habitual en las Industrias cartonera de todo el mundo. [8].

### 2.1.6.5. Boración de la base (Carrier Boration).

El bórax es un compuesto que se utiliza en todas las fórmulas de adhesivos, ya que este posee propiedades como: mayor pegajosidad, controla el punto gel, aumenta la viscosidad, evita que los sólidos en suspensión se sedimenten. El proceso de boración ayuda a que la reacción entre el bórax y el almidón, resulte una viscosidad final del adhesivo más consistente y estable. Si no se realizara boración de la base de almidón, la viscosidad del adhesivo final sería muy espesa y causaría taponamiento en las tuberías. Esta pérdida en viscosidad da como resultado un pobre desempeño del adhesivo y un alto uso de éste mismo. [8].

#### **2.1.6.6. Proceso de elaboración del adhesivo.**

La elaboración de almidón se efectúa por paradas “batch” y depende de la producción diaria en la fábrica, eventualmente se preparan alrededor de 3 batchs por turno.

Los equipos con que la empresa cuenta para este propósito son los siguientes:

- 1 tanque primario donde se mezcla todos los componentes para la elaboración.
- 2 tanques para almacenamiento de adhesivo de almidón (goma).
- 1 tanque donde se encuentra almacenado el almidón.

Cada tanque de almacenamiento y mezclador posee su propio mezclador de paletas.

#### **2.1.6.7. Componentes del adhesivo a base de almidón (goma).**

Los componentes de un adhesivo son:

- Agua.
- Químicos (soda cáustica, bórax, multibond LA, penetrante XM5).
- Almidón. [9].

**Tabla 1.** Componentes del adhesivo (goma).

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
<b>Almidón Carrier</b>	Aproximadamente el 19% del almidón con el 50% de agua, se cocina con sosa cáustica, esta porción cocida del adhesivo se llama Carrier	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Almidón Carrier:</b> Imparte viscosidad, proporciona tack o agarre y controla absorción de agua.</li> <li>• <b>Almidón perla:</b> Absorbe agua para formar el inicio de pegado.</li> </ul>
<b>Agua</b>	Es un solvente universal, el cual es compatible con las fibras de cartón.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controla la viscosidad.</li> <li>• Hidrata el almidón para que alcance la gelatinización.</li> <li>• Reduce la temperatura y permite que sea cocido del almidón Carrier.</li> </ul>
<b>Soda Cáustica o Sosa Cáustica</b>	Es hidróxido de sodio, en donde el almidón de maíz cocinado con soda cáustica es más fuerte y cohesivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controla el punto gel.</li> <li>• Contribuye a la viscosidad y al Tack y ayuda a cocer el almidón y a la penetración del adhesivo con el papel.</li> </ul>
<b>Bórax</b>	Reacciona con sosa cáustica para producir meta borato de sodio, esta reacción se consume poco fracción de soda.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la separación de papeles.</li> <li>• Permite la completa hidratación del almidón.</li> <li>• Ayuda a mantener los sólidos en suspensión, evitando que se sedimenten.</li> <li>• Imparte viscosidad y afecta el punto gel.</li> </ul>

**Fuente:** Cartopel S.A.I.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

La mezcla de estos en proporción y orden como se encuentra establecido en su formulación, formará una mezcla de características fluida y lechosa, en donde se debe mantener en agitación para conservar la suspensión; caso contrario se sedimentarán los sólidos de la misma. [9].

### **2.1.7. Sistemas para tratamiento de aguas residuales.**

Los sistemas de tratamiento es la combinación de procesos y operaciones unitarias en los que se pueden diferenciar distintos niveles para las aguas residuales, dependiendo de los objetivos que se deseen cumplir. La selección del mismo depende de varios factores, como:

- Característica del agua residual: DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO5 (Demanda química de Oxígeno), materia en suspensión, pH, temperatura, entre otros.
- Características del efluente para la descarga o su reutilización.
- Costo y disponibilidad de terrenos.
- Tecnologías disponibles.

De acuerdo a esto, es posible encontrar tratamientos de tipo primario, secundario y terciario. [10].

### **2.1.8. Factores a evaluar para la elección de operaciones y procesos en el diseño.**

- **Aplicación del proceso:** Se valora en base a datos publicados actuales, plantas piloto y registros de operaciones a grandes escalas.
- **Caudal:** Los procesos seleccionados deben de resistir al caudal esperado en la operación.
- **Variaciones de caudal:** se debe de tomar en cuenta si el caudal es constante o discontinuo. Si es discontinuo se requiere de tanques para homogeneizar el caudal del efluente industrial.
- **Características del agua a tratar:** estas afectan directamente a los parámetros o requisitos de calidad que se requieren para su reutilización. [11].

- **Condiciones climáticas:** Esta afecta a la velocidad de reacción de los procesos químicos (coagulación y floculación).
- **Tamaño del reactor:** este dependerá de la cinética de reacción (velocidad y tiempo de reacción de los químicos para que se produzca la coagulación y floculación).
- **Desempeño del sistema:** Se considera las normas vigentes de cada país con respecto a la calidad del efluente.
- **Condiciones de operación y mantenimiento:** Depende de la capacitación especializada y nivel de entrenamiento que requiere el personal, grado de complejidad del proceso y las posibilidades de ampliar el sistema.
- Distribución física de los elementos del sistema de tratamiento.
- Realización de planos y especificaciones técnicas.
- Estimación de costos de ingeniería. [11].

## **2.1.9. Tipos de tratamientos.**

### **2.1.9.1. Tratamiento físico-químico.**

Consiste en la eliminación de las partículas coloidales (partículas entre 1 micra y un nanómetro), mediante el uso de productos químicos llamados coagulantes y floculantes. Estas partículas coloidales son las que ocasionan turbidez y color en el agua. [12].

### **2.1.9.2. Tratamiento Biológico.**

Es un proceso de tratamiento secundario, se considera como el tipo de tratamiento fiable, rentable y amigable con el medio ambiente, son utilizados para remover el material orgánico que se encuentra en el agua residual, los cuales utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica. Los procesos se clasifican en aeróbicos y anaeróbicos. [13].

### 2.1.10. Etapas de un sistema de tratamiento de agua residual.

- **Tratamiento preliminar:** Son tratamientos físicos, en donde se elimina componentes que inducen a problemas operacionales y de mantenimiento durante el proceso. Por ejemplo la eliminación de componentes de gran y mediano tamaño como arenas, grasas, aceites y plásticos. El tratamiento se realiza utilizando desarenadores, cribas o rejillas, o flotadores. [14].
- **Tratamiento primario:** Conocido como clarificación primaria, se basa en la eliminación de sólidos en suspensión, u otros procesos en que la DBO de las aguas residuales, se reduzca por lo menos un 30%, y el total de sólidos en suspensión se reduzca un 60%, logrando una reducción de contaminación biodegradable. Este tratamiento se realiza por medio de tanque de sedimentación primaria, decantación primaria, entre otros.

El más utilizado es la decantación primaria (eliminación de la mayor parte de sólidos sedimentables, bajo la acción exclusiva de la gravedad). [15].

- **Tratamiento secundario:** En esta fase se requiere eliminar la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble), por medios biológicos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Los procesos biológicos se clasifican en 2 grupos: Los anaerobios: se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana y los aerobios: Contiene mayor generación de biomasa (lodo), cuyo tratamiento incrementa la dificultad técnica y el costo del tratamiento. [15].

- **Tratamiento terciario o avanzado:** Su principal objetivo es eliminar compuestos tales como: sólidos suspendidos, materia orgánica no biodegradable y nutrientes.

Este tratamiento es obligatorio cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas o cuando el agua tratada es reutilizada en otro proceso con características muy exigentes, lo cual implica combinaciones de operaciones y procesos unitarios entre ellos se encuentra la filtración y absorción. [14].

### 2.1.11. Características físico-químicas del agua residual

Los parámetros principales en un análisis de aguas residuales de la industria papelera o cartonera son el DBO y el DQO. Existen también otros parámetros como los TS (sólidos totales), TSS (sólidos suspendidos totales), Potencial de hidrógeno (pH), color y temperatura.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Representa la cantidad de material orgánico no biodegradable en un agua residual y se utiliza como parámetro para la carga orgánica. Cuando el resultado de una prueba de DQO es más del doble que la prueba del DBO, hay buenas razones para sospechar que un significativo que porción del material orgánico en la muestra no es biodegradable por microorganismos ordinarios.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Indica el contenido de oxígeno necesario (mg/l), para descomponer compuestos orgánicos de aguas residuales mediante el metabolismo de bacterias aerobias dentro de un cierto periodo de tiempo, también mide la oxidación química de la materia inorgánica (extracción de oxígeno del agua mediante reacción química).

La DQO y DBO son dos parámetros muy importantes del agua residual y permite conocer la cantidad de materia orgánica que hay en ésta es decir mide el grado de contaminación y se expresa en unidades de mgO<sub>2</sub>/l (miligramos de oxígeno por litro).

- **Sólidos totales (TS):** Es el residuo de material que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra.
- **Sólidos suspendidos (SS):** Es el peso seco de las partículas no puede pasar un filtro de dos micrómetros. [13].
- **Potencial de hidrogeno (pH):** Es un parámetro muy importante en el tratamiento físico-químico. El valor del pH se encuentra en determinados valores para que el proceso sea óptimo, ya que: Favorece la acción del coagulante-floculante y permite la precipitación de metales disueltos como hidróxidos. El valor óptimo, depende del coagulante utilizado, este debe encontrarse entre 6 y 8. De formas generales, para valores de pH entre 7,5 a 8,5

se produce dicha eliminación por precipitación del agua. Si se supera el valor máximo de 8,5 puede producirse la redisolución de los elementos precipitados.

- **Temperatura:** Es importante porque la mayoría de tratamiento de aguas residuales incluye procesos biológicos que dependen de la temperatura, las aguas residuales puede variar en temporada y también con la ubicación geográfica. En las regiones frías que la temperatura puede variar de aproximadamente 7 a 18 ° C, mientras que en las regiones más cálidas que las temperaturas varían del 13 al 24 ° C. [16].
- **Color:** El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como de diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones amarillentas). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. [17].

#### **2.1.11.1. Relación entre la DBO y la DQO.**

La relación entre la DBO y la DQO se la conoce como degradabilidad de los compuestos presentes en el agua residual.

- Si la relación (DBO/DQO) > 0,6 indica compuestos fácilmente degradables en el agua residual, el cual puede ser tratados mediante tratamientos biológicos.
- Si la relación (DBO/DQO) < 0,6 indican compuestos pocos degradables el en agua residual, el cual es conveniente los tratamientos físico-químicos. [13].

#### **2.1.12. Reactivos (Coagulantes y floculantes más comunes).**

##### **2.1.12.1. Coagulantes.**

Son los primeros y más comunes para clarificar el agua y reducir la DBO, actúan como coagulantes y floculantes a la vez, con la desventaja de ser muy sensibles al cambio de Ph si no se encuentra en el intervalo adecuado. Los más utilizados son:

- **Sulfato de Aluminio:** Es recomendable para efluentes con intervalos de pH 6 a 8, su aplicación es en tratamiento de agua potable.
- **Sulfato férrico:** Es recomendable para efluentes con intervalos de pH 4 a 11, producen flóculos más grandes por ende decantan en menos tiempo. Su aplicación se da en las aguas residuales urbanas o industriales. [18].
- **Policloruro de Aluminio:** Coagulante inorgánico, cuya función es remover materia coloreada y coloidal en suspensión en efluentes industriales, es el reemplazo del sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas. Son utilizados en el tratamiento o clarificación de aguas residuales industriales para uso potable.

#### **2.1.12.2. Ventajas del policloruro de aluminio contra el sulfato de aluminio.**

- Mayor velocidad de formación de flóculos.
- Mejora la eliminación de color o turbidez.
- Mayor velocidad de sedimentación.
- Menos tiempo de mezclado para coagular.
- Reducción de lodos un 25 a 75%.
- Operación simplificada, ya que no es necesario los reguladores de pH y ayudas de coagulación.
- Precio más alto por kg que el sulfato de aluminio pero es proporcionado con una menor dosis.
- Menor costo de operación. [19].

#### **2.1.12.3. Floculantes.**

Sirven para formar flóculos más grandes y pesados que facilite la sedimentación, los más utilizados son:

- **Sílice activada:** Uno de los primeros floculantes utilizados, actualmente se usan en conjunto con el sulfato de aluminio. [20].

- **Poliacrilamida catiónica:** Se aplica generalmente en las aguas residuales de azúcar, cárnicos, bebidas, y en la deshidratación de lodos de depuradora.
- **Poliacrilamida aniónica:** Se utiliza para el tratamiento de aguas residuales industriales con pH neutros y actualmente de coadyuvantes de la coagulación en aguas que contienen almidón. [20].
- **Hidróxido de calcio:** Conocido como cal hidratada, es económico y trabaja con pH alcalinos entre 9 y 11, es ideal para eliminar olores. [21].

### 2.1.13. Caudal o Flujo volumétrico.

Representado por la letra Q, se lo define como el volumen de un fluido que atraviesa por segundo en una sección dada, su unidad es el ( $m^3/s$ ). [22].

EC 1:

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

**Donde:**

- Q= Caudal ( $m^3/s$ ).
- V= Volumen ( $m^3$ ).
- t= tiempo (s).

El caudal o flujo volumétrico también se lo calcula mediante la siguiente ecuación: [22].

EC 2:

$$Q = Av$$

**Donde:**

- Q= Caudal ( $m^3/s$ ).
- A= Área o sección transversal de la tubería. ( $m^2$ ).
- v= velocidad del fluido que se transporta por la tubería (m/s).

#### **2.1.14. Diagrama Causa – efecto.**

Conocido como el diagrama Ishikawa, espina de pescado. Es una herramienta gráfica que se utiliza para identificar las causas de un problema de forma sintética y proporcionar los elementos necesarios para el estudio de las posibles soluciones. [23].

#### **2.1.15. Análisis económico-financiero.**

El análisis económico-financiero o también conocido como evaluación económica de un proyecto, se utilizan para realizar evaluaciones económicas de cualquier proyecto de inversión y determinar la factibilidad o viabilidad económica del mismo. [24].

### **2.2. Marco Referencial.**

#### **2.2.1. Dosis y tipo de coagulante y floculante más eficiente.**

Para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales industriales, que permita su reutilización, es necesario determinar la dosis y tipo de coagulante y floculante más eficiente. Existen varios proyectos de investigación orientados a esta problemática, las cuales han sido desarrollados utilizando ciertos tipos de coagulantes y floculantes, según la calidad del efluente industrial a tratar.

Según el artículo de Cogollo Juan, desarrollado en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, en una fábrica de bebidas y aguas envasadas, estudia el proceso de clarificación del agua, comparando dos tipos de coagulantes: el sulfato de aluminio con el policloruro de aluminio, presentando datos comparativos de las condiciones en las que opera estos productos, dando como resultado un mejor desempeño y comportamiento el policloruro de aluminio. La metodología utilizada por este autor se basó en el test de jarras, donde se simula lo más posible a la realidad de un sistema, en condiciones de laboratorio, tomando como parámetro de medición el pH, alcalinidad total, turbiedad, dureza total, aluminio residual y como operación del clarificador: la velocidad de agitación, lodos espesos y lodos livianos. [25].

### 2.2.1.1. Comportamiento de parámetros medibles.

El siguiente gráfico presenta el comportamiento de los parámetros físico-químicos de los 2 tipos de coagulantes con sus floculantes, donde se concluye que utilizando como coagulante el policloruro de aluminio llamado también hidroxiclorigerato de aluminio y como floculante la sosa cáustica, presenta una menor variabilidad.

**Gráfico 5.** Comparación del comportamiento de los parámetros físico-químico de los dos tipos de coagulantes.

Variable	Tipo de proceso	
	Sulfato de aluminio tipo B y cal (45 ppm)	Hidroxiclorigerato de aluminio y soda cáustica (1%)
Variación pH (%)	2.4	0.6
Remoción Turbiedad (%)	59.5	73.5
Variación Alcalinidad Total (%)	13.7	2.2
Variación Dureza Total (%)	18.8	1.8

**Fuente:** Revista Científica DYNA.

**Elaborado por:** Cogollo, J [2003].

### 2.2.1.2. Condiciones de operación.

Las variables que se muestran en la gráfico 6, indican las condiciones de operación del equipo, el cual presenta mejor comportamiento el proceso con el coagulante hidroxiclorigerato de aluminio comparado con el sulfato de aluminio.

**Gráfico 6.** Condiciones de operación del equipo utilizando dos tipos de coagulantes.

Variable	Tipo de proceso	
	Sulfato de aluminio tipo B y cal (45 ppm)	Hidroxiclorigerato de aluminio y soda cáustica (1%)
Flujo agua cruda (L/min)	350	350
Flujo coagulante (mL/min)	1081	7.3
Flujo acondicionador de pH (mL/min)	395	105
Velocidad de agitación (RPM)	6	4

**Fuente:** Revista Científica DYNA.

**Elaborado por:** Cogollo, J [2003].

### 2.2.1.3. Costo del tratamiento.

Para el cálculo del costo del tratamiento se debe tomar en cuenta los costos unitario de cada reactivo a utilizar, la dosis de coagulante y floculante, el costo del acondicionador de pH. Los datos del gráfico 7 muestran que a pesar que el policloruro de aluminio tiene un precio unitario más costoso que el sulfato de aluminio, las bajas dosis requeridas tanto de coagulante como de acondicionador de pH, hacen que el costo global del tratamiento disminuya un 30.5%. [25].

**Gráfico 7.** Comparación del costo global de los coagulantes.

Variable	Tipo de proceso	
	Sulfato de aluminio tipo B y cal (45 ppm)	Hidroxiclورو de aluminio y soda cáustica (1%)
Flujo agua cruda (L/min)	350	350
Flujo coagulante (mL/min)	1081	7.3
Flujo acondicionador de pH (mL/min)	395	105
Velocidad de agitación (RPM)	6	4
Lodos espesos (%)	91.8	92.5
Lodos livianos (%)	15.5	15.5
Sólidos disueltos (%)	77.2	60.7
Costo Global (\$/m <sup>3</sup> )	39.3	27.3

**Fuente:** Revista Científica DYNA.

**Elaborado por:** Cogollo, J [2003].

### 2.2.2. Requisitos de la calidad del agua residual tratada, para la elaboración de Almidón (goma).

Según la revista El Empaque + Conversión, detalla que gran parte de las industrias cartoneras cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales, para reutilizarlas en el proceso de elaboración del adhesivo (goma). Esto puede crear inconvenientes en cuanto a la calidad de la goma, si no se diseña un sistema de tratamiento adecuado.

El uso de coagulante y floculante en el tratamiento, facilita extraer sólidos de las aguas residuales, obteniendo agua clarificada y por ende de baja viscosidad, por lo que se recomienda que el agua que se vaya a reutilizar en la elaboración del adhesivo (goma), posea un poco de color residual y material restantes a que contenga productos químicos (coagulante y floculante), ya que con la presencia de estos, no se obtendrá goma de calidad. [26].

Según los autores Tandazo Albán Rocío y Quevedo Figueroa Enrique, en el desarrollo de su proyecto de investigación con el tema: Tratabilidad del efluente industrial de la industria de cartón, indican que el efluente generado del área de corrugación, es almacenado en una cisterna de homogenización, consecutivamente es bombeado a la planta de tratamiento para la eliminación de olor, color y turbiedad, posteriormente es clorado y se utiliza para abastecer el 50% del consumo de agua en la elaboración del adhesivo (goma). [27].

### **2.2.3. Técnicas de procedimiento para el test de jarras según estudios realizados.**

Según Cerón, V., el método utilizado para la clarificación de aguas crudas fue basado en el test de jarras con vasos de precipitación de 1lt, utilizando como coagulantes: sulfato de aluminio, sulfato de aluminio tipo B, cloruro férrico con concentración del 10% equivalente al 100.000ppm y policloruro de aluminio con una concentración del 1% equivalente a 10.000ppm y como floculantes los polielectrolitos. Utilizando la siguiente técnica en el procedimiento: [28].

**Tabla 2.** Técnicas para el procedimiento del test de jarras.

<b>TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO</b>	<b>UNIDADES</b>
Mezcla rápida (velocidad)	100 rpm
Tiempo de mezcla rápida	1 minuto
Mezcla lenta (velocidad)	40 rpm
Tiempo de mezcla lenta	20 minutos
Sedimentación	20 minutos

**Fuente:** [http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg\\_vcp.pdf](http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg_vcp.pdf)

**Elaborado por:** Elaboración propia a base del autor Cerón Vicky, [2016].

Según la Ing. Navarro Natalia asistente Técnica en ISA (Ingeniería y servicios Ambientales), para realizar el test de jarra, con vasos de precipitación de 2,5lt, se basa en la siguiente técnica de procedimiento, con la ayuda del equipo Jar Test, gráfico 8: [29].

**Tabla 3.** Técnicas para el procedimiento del test de jarras.

TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO	UNIDADES
Mezcla rápida (velocidad)	250 rpm
Tiempo de mezcla rápida	1 minuto
Mezcla lenta (velocidad)	30 rpm
Tiempo de mezcla lenta	25 minutos
Sedimentación	10 minutos

**Fuente:** <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>

**Elaborado por:** Elaboración propia a base del autor Navarro Natalia, [2015].

**Gráfico 8.** Equipo para realizar las pruebas de jarras (tratamiento físico-químico).



**Fuente:** <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>.

**Elaborado por:** Navarro Natalia [2015].

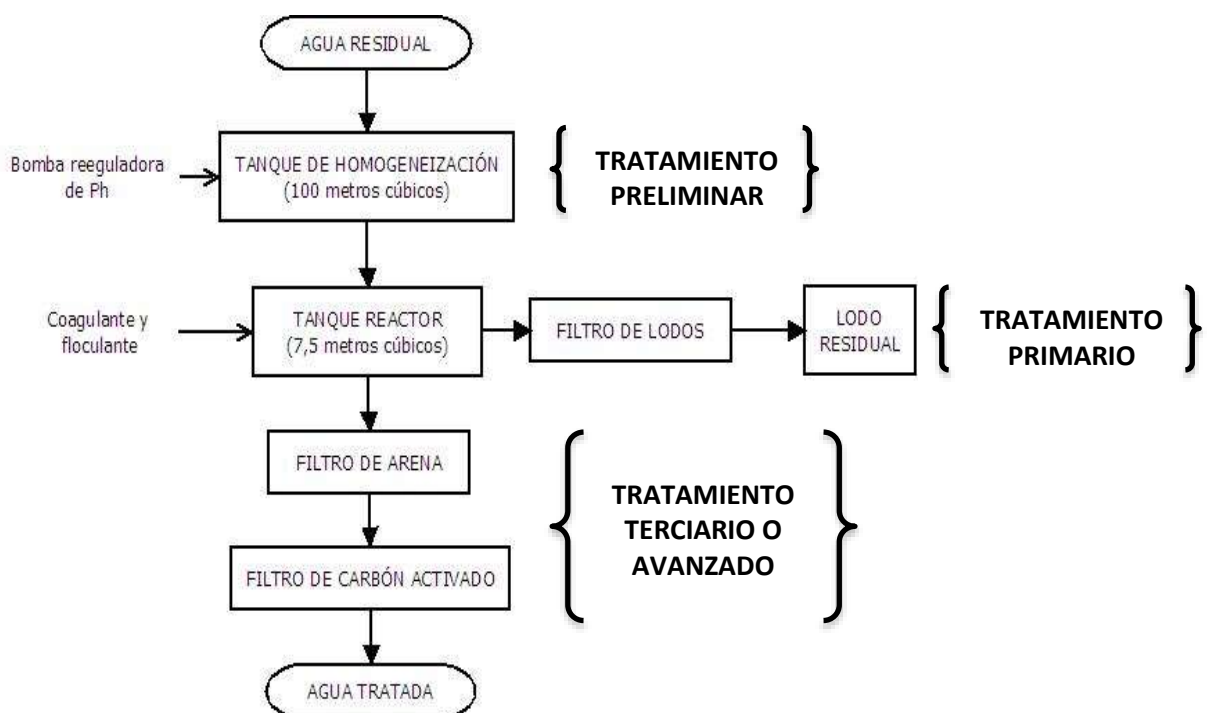
## 2.2.4. Principales contaminantes del agua residual proveniente del área de corrugación.

El efluente industrial de esta área, se caracteriza por ser orgánica debido a que se genera del condensado de los sistemas de vapor, limpieza de las tuberías de las flautas “B” y “C” donde se adiciona el adhesivo para pegar los papeles y lavado de tanques que contiene goma. Los principales contaminantes que genera este efluente están los sólidos en suspensión, color, turbidez. [9].

## 2.2.5. Etapas para tratamientos de aguas residuales.

Según el autor Freddy Oviedo el sistema de tratamiento de agua residual de una productora cartonera está basado en las siguientes etapas, como se puede observar en el gráfico 9.

**Gráfico 9.** Sistema de tratamiento de agua residual en una cartonera.



**Fuente:** Escuela Superior Politécnica del Litoral.

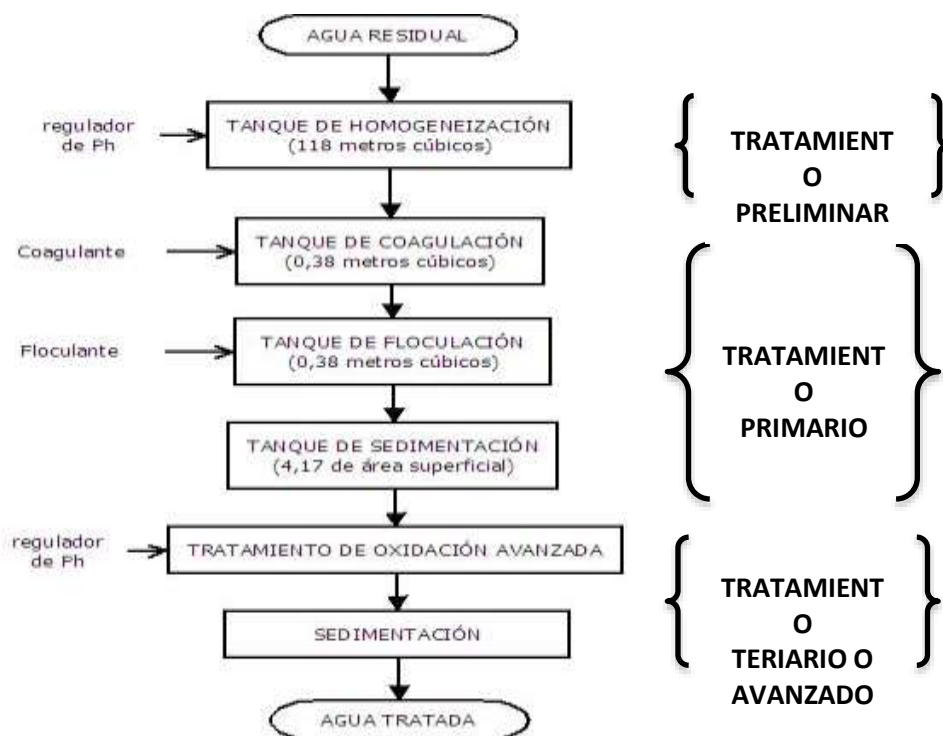
**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

El gráfico 9, representa un flujograma de una cartonera, donde el agua residual proveniente del área de corrugación llega al tanque de homogeneización, el cual se encuentra dividido en 3 compartimientos,  $22\text{ m}^3$ ;  $22\text{ m}^3$ ;  $22\text{ m}^3$  respectivamente, se van llenando por rebose, quedando los sólidos de mayor tamaño y densidad en las primeras secciones.

El reactor se llena por medio de una bomba neumática, conformado por un agitador mecánico que trabaja durante el tiempo de llenado para mezclar el agua residual con los reactivos (coagulantes y floculantes), consecutivamente el agua es bombeada hacia el filtro de arena para reducir el porcentaje de sólidos suspendidos, por medio de una bomba neumática. Posteriormente pasa a un filtro de carbón activado donde mejora las propiedades de color y olor del agua residual para finalmente ingresar al tanque de almacenamiento del agua de  $22\text{ m}^3$ . [30].

Según el autor Florencia Eduardo, el sistema de tratamiento de agua residual textil, combinado con tratamiento físico-químico y oxidación avanzada, está basado en las siguientes etapas, como se puede observar en el gráfico 10. [31].

**Gráfico 10.** Sistema de tratamiento de agua residual en una empresa textil.



**Fuente:** RiuNet.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el gráfico 10, se puede apreciar por medio del flujograma, que el agua residual llega al tanque de homogeneización con un caudal de  $100m^3/dia$ . En el tanque de coagulación se vierte la cantidad de coagulante seleccionada a través del test de jarras, se mezcla durante 5 minutos, después es pasado al tanque de floculación donde se adiciona el floculante mezclando durante 30 minutos, consecutivamente el agua es bombeada al tanque de sedimentación y se lo deja reposar durante 1 hora aproximadamente, seguido por el tratamiento de oxidación avanzada (proceso para disminuir el DQO y DBO mediante químicos), posteriormente se deja sedimentar por 1 hora para ingresar al tanque de almacenamiento del agua tratada. [31].

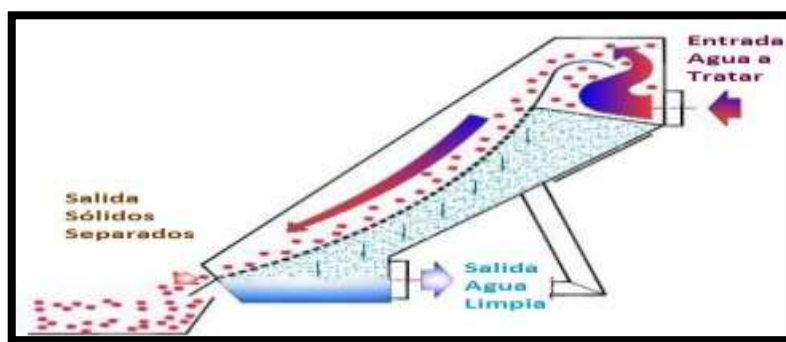
## 2.2.6. Operaciones unitarias en las etapas del tratamiento de agua residual.

### 2.2.6.1. Etapa 1: Pre-tratamiento.

El objetivo principal es separar del agua residual industrial la mayor cantidad de materias posible: por su naturaleza (grasas, aceites, entre otros.) y por su tamaño (materia visible), mediante operaciones físicas o mecánicas, para no ocasionar problemas en las etapas posteriores. Las operaciones unitarias más utilizadas en esta etapa son:

- **Tamizado:** Consiste en separar los sólidos de mayor tamaño del agua residual, con la finalidad de evitar obstrucciones en las conducciones del sistema de tratamiento, por medio de tamices de metal por la que circula el agua residual. Su aplicación es las industrias textiles, papeleras. [32].

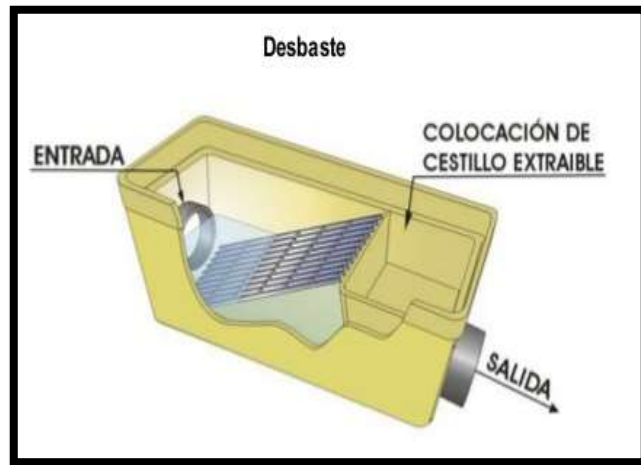
Gráfico 11. Tamiz.



Fuente: <https://www.gedar.com/residuales/desbaste/tamiz-estatico.htm>

- **Desbastes:** Consiste en hacer circular el agua residual industrial a través de una reja, en donde separa materiales de tamaños excesivamente gruesos (madera, trapos, botellas, entre otros.), mediante rejas, el mantenimiento se realiza de manera manual o automática. [32].

**Gráfico 12.** Desbaste.



**Fuente:** Plantas de tratamiento de agua (2016).

- **Cribado:** A diferencia del desbaste, éste separa residuos de sólidos más finos. El objetivo principal es de impedir la acumulación de materiales no degradables en las obras hidráulicas y en pozos de descargas. [32].

**Gráfico 13.** Cribado.



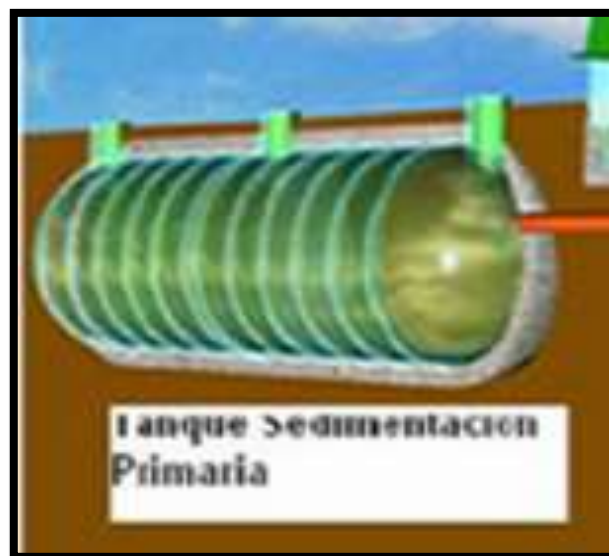
**Fuente:** <http://fundamentos2014kabe.blogspot.es/>

- **Homogeneización:** Este proceso se utiliza para regular el caudal especialmente cuando existen excesivas variaciones de caudal, por otra parte sirve para homogeneizar las características físicas químicas del agua residual, optimizar las condiciones operativas de las fases siguientes. Su dimensionamiento dependerá del tiempo de retención del agua a tratar en esta fase. [32].
- **Sedimentación primaria:** También se la considera como un tratamiento primario físico, el objetivo principal es eliminar los sólidos de fácil sedimentación (partículas entre 0,05mm a 0,2mm), por lo tanto reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua tratada, mediante tanques o cámara de sedimentación de forma rectangular o circular, en donde el agua residual entra por un extremo y salen por otro extremo mediante su rebosamiento, generando que las partículas se sedimenten debido a la fuerza de gravedad (densidad del solido mayor que la densidad del líquido).

Los tanques de sedimentación primaria se diseñan en función de:

**Tiempo de retención:** Es el lapso de tiempo que el agua residual se encuentra en el tanque de sedimentación, por lo general es de 90 a 240 minutos. [33].

**Gráfico 14.** Tanque de sedimentación primaria.



**Fuente:** <http://fundamentos2014kabe.blogspot.es/>

### 2.2.6.2. Etapa 2: Tratamiento físico-químico.

Esta fase tiene el objetivo de aumentar el porcentaje de remoción de los sólidos en suspensión (turbidez), para mejorar la calidad del agua. Consta de 3 etapas (Coagulación, floculación y sedimentación).

#### 2.2.6.2.1. Coagulación.

Es la primera etapa de la mezcla, proceso químico unitario empleado en el tratamiento de aguas residuales industriales, con el objetivo de desestabilizar las partículas coloidales (conjunto de partículas muy pequeñas, unidades de mili y decena de micras), por medio de la adición de coagulantes y el tipo de energía de mezclado. La energía de mezclado para producir la agitación, se basa en la mezcla rápida el cual se pueden clasificar en 2 grandes grupos: mecánica e hidráulica. [12].

**Tabla 4.** Ventajas y desventajas de los tipos de mezcla rápida.

MEZCLADORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>MECÁNICOS</b>	El gradiente de velocidad no varía con el caudal y controla el grado de agitación. La energía dispensada es mayor que la del hidráulico.	Su funcionamiento depende de energía eléctrica (motor eléctrico). Si se presenta alguna falla en el sistema, colapsa el proceso de mezcla rápida. Costos de instalación altos.
<b>HIDRÁULICOS</b>	Costos de instalación bajos. Mantenimiento sencillo y económico. Son óptimos y eficientes en los procesos de tratamiento de agua.	El gradiente de velocidad de mezcla, es complicado de controlar.

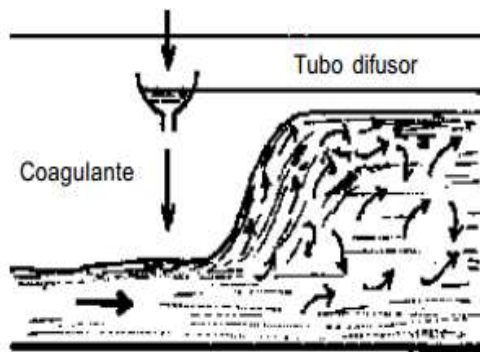
**Fuente:** Vargas, I.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Los mezcladores hidráulicos más comunes son las de resalto hidráulico, canaleta Parshall y los mezcladores en líneas:

- **Resalto hidráulico:** Estos se producen en canales horizontales rectangulares con cambios bruscos de inclinación (el agua residual pasa de un sistema rápido a uno tranquilo), como se puede apreciar en el gráfico 15, y con la ayuda de un tubo difusor se añade la dosis del coagulante. [34].

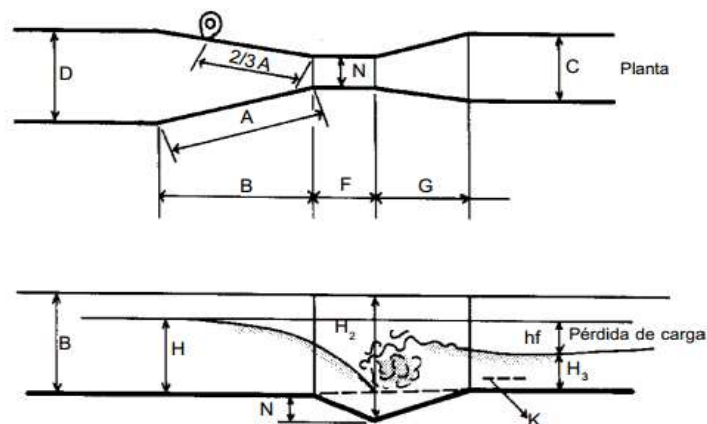
**Gráfico 15.** Resalto hidráulico.



Fuente: Vargas, I.

- **Canaleta Parshall:** dispositivo muy usado en las plantas de tratamiento con grandes caudales con el objetivo de medir el caudal y efectuar la mezcla rápida, como se observa en el gráfico 16. [34].

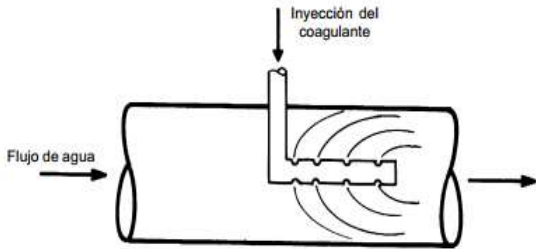
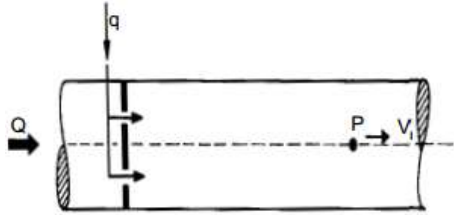

**Gráfico 16.** Canaleta parshall.



Fuente: Vargas, I.

- **Mezcladores en líneas:** Son dispositivos insertados en la tubería o canal donde pasa el agua residual. Las principales ventajas de estos tipos de mezcladores según Kawamura es que proporciona una mezcla óptima e instantánea con pocos cortocircuitos y reduce los costos de instalación. Se clasifican según sus características en inyectoros, difusores y estáticos. [34]. En la tabla 5 se muestra la clasificación de los mismos.

**Tabla 5.** Clasificación de los mezcladores estáticos en línea, según sus características.

<p style="text-align: center;"><b>INYECTORES</b></p> <p>La energía que se requiere para la mezcla rápida se basa en la energía disipada del agua residual que produce un flujo turbulento en la tubería de conducción.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>DIFUSORES</b></p> <p>La mezcla se asocia con la turbulencia, por ende se debe relacionar la variación de la concentración con la velocidad.</p>	
<p style="text-align: center;"><b>MEZCLADORES ESTÁTICOS</b></p> <p>Constituidas por barras instaladas dentro de la tubería, las cuales producen una gran intensidad de turbulencia en una longitud deseada, originando una mezcla eficiente con poca pérdida de energía, bajo costos de inversión y mantenimiento.</p>	

**Fuente:** Vargas, I.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 2.2.6.2.1.1. Selección del mezclador estático.

El procedimiento para seleccionar el mezclador estático adecuado son:

- A. Seleccionar el diámetro de la tubería teniendo en cuenta el caudal de diseño (caudal máximo).

B. Seleccionar el material de la tubería en función de los tipos de fluido a mezclar.

C. Calcular el número de Reynolds, mediante la siguiente ecuación:

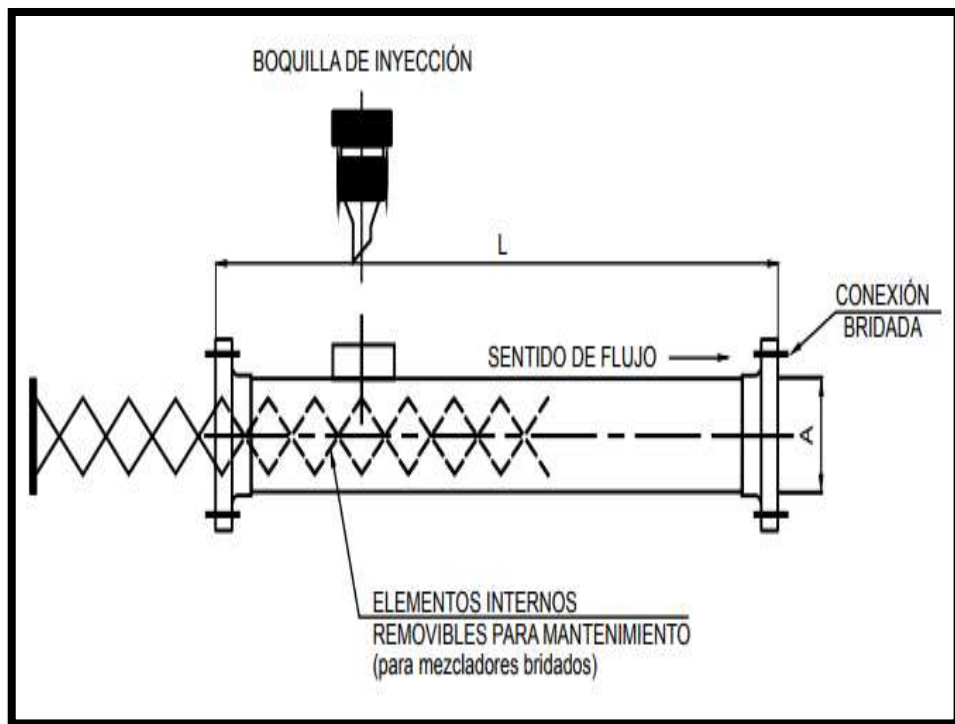
EC: 3 
$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

Donde:

- $\rho$  = Densidad promedio de la mezcla. ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).
- D= Diámetro de la tubería (m).
- v= Velocidad entrante al mezclador estático (m/s).
- $\mu$  = Viscosidad dinámica promedio de la mezcla de los 2 fluidos (Pa.s) (Pascal por segundo).

D. Determinar el número de elementos que lleve el mezclador. [35].

Gráfico 17. Partes de un mezclador estático según el catalogo NOVATEC.



Fuente: Catálogo NOVATEC.

### 2.2.6.2.2. Floculación.

Proceso procedente de la coagulación, su función es la mezcla lenta de la masa coagulada, con el objetivo de formar flóculos de mayor tamaño y peso, para que estos puedan ser sedimentados con mayor facilidad y menor tiempo, mediante la adición de floculantes.

Las principales características que se deben considerar en esta etapa son:

**A. Forma de producir la agitación:** Se refiere al tipo de energía de mezclado para producir la agitación, se clasifica en 2 grandes grupos: mecánicos o hidráulicos. Los floculadores hidráulicos se recomiendan utilizar para mayores caudales a comparación de los mecánicos, debido al criterio de diseño establecido por varios autores.

**B. Gradiente de velocidad:** La velocidad de agitación de la mezcla, la cual está dado en revoluciones por minuto (rpm).

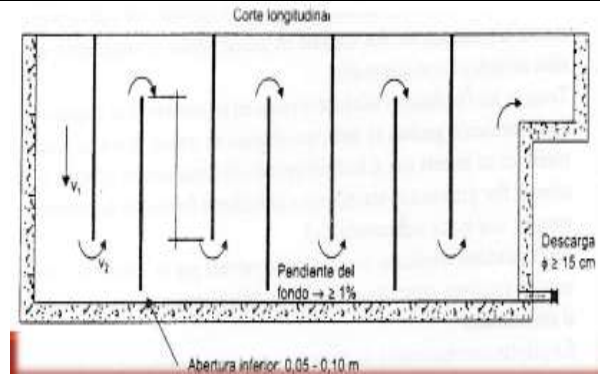
**C. El tiempo de retención:** Es el tiempo óptimo que se requiere para realizar una floculación eficiente el cual se lo determina por el método de test de jarras. [36].

**Tabla 6.** Tipos de floculadores hidráulicos.

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	DISEÑO
DE FLUJO HORIZONTAL	<p>Son recomendados para caudales pequeños (entre 50 a 70lt/s). Se utilizan pantallas removibles (fibra de vidrio, madera, plástico), siendo más eficientes la fibra de vidrio.</p>	

**DE FLUJO VERTICAL**

Son recomendados para caudales mayores. Ocupan menor área. La desventaja es la acumulación de lodos en la parte inferior de los compartimientos.



Fuente: Cárdenas, I.

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

**Tabla 7.** Tipos de floculadores mecánicos.

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	DISEÑO
<b>PROPELA BIPALA</b>	Ideales para el proceso de floculación en aguas coaguladas. Flujo predominantemente radial	
<b>TURBINA AXIAL - 45°</b>	Ideal para la mezcla de homogeneización. Turbulencia elevada.	

Fuente: Cárdenas, I.

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

**2.2.6.2.3. Sedimentación.**

Esta etapa consiste en separar los flóculos que se formaron en el proceso de coagulación y floculación del agua. Para ello es necesario dejar sedimentar el agua y mediante la acción de la gravedad los sólidos decanten. Su eficiencia y eficacia se basa en el tamaño del sedimentador y en la densidad de las partículas a separar. [37].

## 2.2.7. Diseño de tuberías.

Para que un diseño de tuberías sea eficiente y eficaz, las principales variables que se deben de considerar es el diámetro y el material de fabricación de la tubería y la bomba a emplear, debido a que las pérdidas de carga por unidad de longitud son inversamente proporcionales al diámetro de la tubería (a mayor diámetro menor pérdida de carga), pero su precio aumenta, es decir a mayor diámetro mayor es el costo.

### 2.2.7.1. Diámetro de la tubería.

Los valores de la velocidad del fluido que se utilizan en la práctica, depende de las características físicas del fluido, pero los más aproximados se encuentran en el siguiente gráfico 18.

**Gráfico 18.** Velocidades recomendadas para fluidos en tuberías.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Fuente: McCabe, W; Smith, J; Harriott, P.

### 2.2.7.2. Material de fabricación de tuberías.

Su selección se basa a las características del fluido. Es muy importante la buena elección del material para evitar la corrosión y mantener un buen estado de las tuberías y los equipos.

**Tabla 8.** Tipos de material de tuberías.

MATERIALES	DESCRIPCIÓN
Acero galvanizado	<p>Es acero cubierto por capas de zinc para evitar que este se oxide.</p> <p>Sus aplicaciones se basan en transportar aguas negras (domésticas y urbanas).</p> <p>Son altamente resistentes a comparación del PVC, de bajo costo comprado con el acero inoxidable.</p>
Acero inoxidable	<p>El acero inoxidable no se mancha y no se oxida con tanta facilidad.</p> <p>Se diferencia del acero al carbono, por la cantidad de cromo que posee.</p> <p>Es costoso.</p>
PVC (policloruro de vinilo)	<p>Material dúctil, tenaz.</p> <p>Más económico que los aceros.</p> <p>Sus aplicaciones son en fluidos que no presentan corrosión.</p>

**Fuente:** [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG\\_VamIndustry\\_v04.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v04.pdf). [Último acceso: 3 Abril 2018].

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### 2.2.7.3. Pérdidas de cargas de tuberías.

Consta de varios factores para su cálculo, los más importantes son:

- Pérdidas por fricción en las tuberías.
- Pérdidas en los accesorios en el sistema de tuberías.
- Carga estática total que se refiere a la altura de descarga del fluido que se requiere transportar.

Para el cálculo de todos estos factores, se realizan mediante varias ecuaciones. La ecuación más utilizada para el cálculo de pérdidas de cargas en tuberías por fricción es la de Darcy-Weisbach, en función del caudal, la que conjuntamente trabajan con la ecuación de número de Reynolds y el diagrama de Moody. Las pérdidas por accesorios se calculan en función de la velocidad del fluido, gravedad y el factor K, coeficiente de resistencia que tiene cada accesorio.

La carga estática total se calcula en función de la altura de descarga del fluido, la presión de succión y descarga y el peso específico. [22].

### **2.2.8. Selección de bombas dosificadoras.**

Existen 3 tipos de bombas: Mecánica (a motor); electromagnéticas (solenoides), y las peristálticas. Para su elección se debe de tomar en cuenta 4 factores importantes:

- El tipo de químicos (coagulante y floculante), que será bombeado.
- El flujo volumétrico (caudal) en lt/h.
- La presión sobre la línea que se bombea, esta deberá ser mayor.
- Tipo y tamaño de accesorios requeridos. [38].

## **CAPÍTULO III**

# **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Localización.

El desarrollo de este proyecto investigativo se realizó en la Empresa Cartones Nacionales del Grupo Cartopel S.A.I., ubicada al norte de la ciudad de Guayaquil en el sector denominado "La Prosperina" en el Km 6.5 vía a Daule, avenida primera y calle cuarta.

**Gráfico 19.** Localización de la empresa Cartones Nacionales del Grupo Cartopel S.A.I.



**Fuente:** Google maps.

### 3.2. Tipo de Investigación.

#### 3.2.1. Investigación de campo.

Mediante este tipo de investigación se conoció el proceso de producción en la empresa y diagnosticar la gestión actual de las aguas residuales industriales y su recolección, la cual se toma como referencia para calcular los caudales de las áreas que generan aguas residuales.

#### 3.2.2. Investigación documental.

Este tipo de investigación se utilizó para recopilar información basadas en revistas, libros, artículos científicos, entre otros, relacionados al tema de investigación y contribuye al desarrollo del proyecto en todas sus etapas.

### **3.2.3. Investigación Experimental.**

La investigación de tipo experimental se utilizó en la estructura del diseño factorial, para simular el tratamiento físico-químico del agua residual industrial que va a hacer tratada y determinar la dosis de coagulante y floculante más eficiente.

### **3.3. Métodos de Investigación.**

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se utilizaron los siguientes métodos:

#### **3.3.1. Método analítico.**

Con este método se analizó los diversos datos e información que se obtuvieron de la investigación de campo y análisis de los parámetros físicos-químicos del agua a tratar, con el objetivo de diseñar el sistema de tratamiento de agua, cumpliendo con la calidad requerida para su posterior reutilización.

#### **3.3.2. Método Inductivo.**

A través de este método se logró especificar el funcionamiento en conjunto, de las etapas que conforman el sistema del tratamiento de agua residual industrial (pre-tratamiento, coagulación, floculación y sedimentación secundaria).

#### **3.3.3. Métodos de muestreo.**

Este método se utilizó para tomar muestras del agua residual industrial, proveniente del área de corrugación, con el objetivo de efectuar el análisis de las propiedades físico-químicas y el ensayo del test de jarras. Los muestreos se llevan a cabo mediante la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras, en su más reciente edición, (Ver anexo 6).

### **3.3.4. Método Experimental.**

Este método simuló el tratamiento físico-químico a nivel laboratorio (test de jarras), con el objetivo de determinar la dosis de coagulante y floculante más eficiente, mediante un diseño factorial **AxB**.

## **3.4. Fuentes de recopilación de información.**

El presente trabajo de investigación se obtiene de fuentes primarias y secundarias.

### **3.4.1. Fuentes primarias.**

Constituyen a los datos relevantes que se obtuvieron durante el recorrido en la empresa, acerca de las fuentes de generación y gestión actual de las aguas residuales industriales y su recolección en la empresa. Por otra parte, la observación directa, constató el número de frecuencia de las causas que generan el problema principal de investigación, para la elaboración del diagrama de Pareto.

### **3.4.2. Fuentes secundarias.**

Comprende la información que se obtuvo de artículos científicos, estudios realizados, revistas científicas, libros, entre otros, fundamentados en el tema propuesto para la investigación, de modo que implique la generalización, análisis, síntesis, interpretación y evaluación que fundamenten las bases teóricas de la investigación.

## **3.5. Diseño de la investigación.**

### **3.5.1. Diseño experimental.**

En este apartado se presenta el procedimiento experimental y la instrumentación de laboratorio necesaria para llevar a cabo los ensayos basados en las pruebas de jarras. Para determinar la dosis de coagulante y floculante más eficiente influyen varios factores como:

- Selección del coagulante y floculante.
- Determinación de la concentración madre óptima del coagulante.
- Selección de la técnica de procedimiento (velocidades de mezclado y tiempo de sedimentación).

### **3.5.1.1. Selección del coagulante y floculante.**

**Selección del coagulante:** Para simular el tratamiento físico-químico del agua a tratar, se selecciona como coagulante el policloruro de aluminio más conocido como PAC, en el **anexo 1**, se observa la ficha técnica. Actualmente ha reemplazado al sulfato de aluminio y al sulfato férrico (coagulantes más comunes), debido a sus grandes ventajas como: menor concentración, reducción de lodos, baja dosis, mayor velocidad de formación de flóculos y de sedimentación, mejor eliminación de turbidez, menor tiempo de mezclado para coagular, eliminación de químicos para regular el pH, entre otras, como se ha demostrado en varios estudios realizados.

**Selección del floculante:** Se puede deducir que los polielectrolitos se consideran los reactivos más adecuado como coadyuvante de la coagulación, a comparación de los demás floculantes, debido a que la sílice activada (otro tipo de floculante), se utiliza en conjunto con el coagulante sulfato de aluminio y trabaja con pH alcalinos al igual que el hidróxido de calcio. Otras de las razones por la que se elige este tipo de floculante se basa a la elección del coagulante (PAC), este reactivo trabaja sin alterar el pH del agua a tratar.

Existen 2 tipos de polielectrolitos: la poliacrilamida aniónica y catiónica, la que se va a manipular en el desarrollo de esta investigación es la poliacrilamida aniónica, debido a su aplicación ya que actualmente se utilizan como coadyuvantes de la coagulación. En el **anexo 2** se muestra en la ficha técnica de este químico.

### **3.5.1.2. Determinación de la concentración madre del coagulante.**

La concentración madre del coagulante seleccionado (policloruro de aluminio), se determina mediante un pre test de jarra, en donde se toma como referencia concentraciones madre de 5000 ppm y 10.000ppm equivalentes al 0,5% y al 1% respectivamente, a concentraciones

hijas de 50 mg/l y 100mg/l, para determinar por el método de observación y seleccionar la jarra que contenga mayos flóculos formados.

Los valores de las concentraciones hijas, fueron determinados en base a los estudios ya realizados por varios autores: Cerón, V.; Pérez, Claudia; León, Frida; Delgadillo, Graciela. En el anexo 3 se puede observar el procedimiento a seguir, para determinar la concentración madre óptima.

Para obtener soluciones en un litro de agua destilada, a concentraciones madres de 5000ppm y 10.000ppm, se determina los miligramos (mg) de policloruro de aluminio a mezclar con el agua destilada, donde se utiliza la siguiente ecuación:

**EC: 4** 
$$\text{ppm} = \frac{m}{v}$$

**Donde:**

- ppm: concentración madre en mg/l.
- m= masa del soluto (coagulante) en mg.
- v= volumen de la solución (agua destilada) en litro.

Entonces, se despeja m:

**Masa de la concentración madre al 0,5% (5000ppm o 500omg/l):**

$$\begin{aligned} m &= (\text{ppm}) (v) \\ m &= (5000\text{mg/l}) (1 \text{ l}) \\ \mathbf{m} &= \mathbf{5000 \text{ mg.}} \end{aligned}$$

**Masa de la concentración madre al 1% (10.000ppm o 10.000mg/l):**

$$\mathbf{m = 10.000 \text{ mg.}}$$

Una vez obtenida las 2 soluciones a diferentes concentraciones madres, se determina el volumen de dosificación a concentraciones hijas de 50 mg/l y 100mg/l, el cual se utiliza la siguiente ecuación:

**EC. 5**  $C_1 V_1 = C_2 V_2$

**Donde:**

- $C_1$ = concentración madre (mg/l).
- $V_1$ = volumen de dosificación (l).
- $C_2$ = concentración hija (mg/l).
- $V_2$ = volumen del agua residual (l).

Entonces se despeja  $V_1$ :

**Volumen de dosificación a concentración hija de 50 mg/l.**

-Concentración madre de 0,5%.

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$
$$V_1 = \frac{\left(\frac{50mg}{l}\right)(1 l)}{\frac{5000mg}{l}}$$

**$V_1 = 0,01$  l equivalente a 10ml.**

-Concentración madre de 1%.

**$V_1 = 0,005$  l equivalente a 5ml.**

### Volumen de dosificación a concentración hija de 100 mg/l.

-Concentración madre de 0,5%.

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$
$$V_1 = \frac{\left(\frac{100mg}{l}\right)(1 l)}{\frac{5000mg}{l}}$$

**$V_1 = 0,02$  l equivalente a 20ml.**

-Concentración madre de 1%.

**$V_1 = 0,01$  l equivalente a 10ml.**

#### 3.5.1.3. Selección de la técnica de procedimiento.

La técnica de procedimiento se selecciona en base a las Normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales), como se puede apreciar en el anexo 4; y a ciertos estudios realizados por varios autores: Cerón, V.; Pérez, Claudia; León, Frida; Delgadillo, Graciela.; Ing. Navarro Natalia.

En la tabla 9 se aprecia en resumen, la técnica de procedimiento que se utilizó en el ensayo de test de jarras.

**Tabla 9.** Técnica de procedimiento en el ensayo del test de jarras utilizada en la investigación.

TÉCNICAS DE PROCEDIMIENTO	PROCEDIMIENTO
Mezcla rápida (velocidad):	100 rpm
Tiempo de mezcla rápida	1 minuto
Mezcla lenta (velocidad):	40 rpm
Tiempo de mezcla lenta	15 minutos
Sedimentación	15 minutos

**Fuente:** Normas ASTM.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### 3.5.1.4. Factores de estudio del diseño experimental.

Una vez seleccionado el coagulante, floculante y la técnica de procedimiento, se plantea un diseño factorial  $A \times B$ , con dos niveles  $A=8$  y  $B=2$ , dando como resultado en total 16 tratamientos que serán sometidos en el estudio planteado, con 3 repeticiones. Los factores de estudio se plantean de la siguiente manera:

**Tabla 10.** Factores de estudio del ensayo experimental del test de jarras.

FACTORES DE ESTUDIO	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
<b>Factor A:</b> Dosis del coagulante (Policloruro de Aluminio)	$a_0$	200 ppm
	$a_1$	150 ppm
	$a_2$	100 ppm
	$a_3$	50 ppm
	$a_4$	40 ppm
	$a_5$	30 ppm
	$a_6$	20 ppm
	$a_7$	10 ppm
<b>Factor B:</b> Dosis del floculante (Poliacrilamida aniónica)	$b_0$	0,5 ml
	$b_1$	1 ml

**Fuente:** Investigación experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 3.5.1.4.1. Modelo matemático.

Las fuentes de variación para el ensayo test de jarras, se efectuaron con un modelo de experimentación simple cuyo esquema es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + (a * b)_{ij} + R_k + E_{ijk}$$

**Donde:**

- $Y_{ijk}$  = El total de una observación.
- $\mu$  = Efecto global.
- $a_i$  = Efecto “i-ésimo” nivel del factor A.
- $b_j$  = Efecto “j-ésimo” nivel del factor A.
- $(a * b)_{ij}$  = Efecto interrelación factores A y B.
- $R_k$  = Efecto réplicas.
- $E_{ijk}$  = Error experimental.

### 3.5.2. Tratamientos.

#### 3.5.2.1. Cálculo de dosificaciones.

Para calcular el volumen (dosificaciones), en base a las concentraciones hijas propuestas (tabla 10), con la concentración madre óptima seleccionada (0,5% = 5000 mg/l), se lo realiza con la ecuación 5, despejando  $V_1$ :

**Con concentración hija de 200 ppm = 200mg/l:**

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{\left(\frac{200mg}{l}\right)(1 l)}{\frac{5000mg}{l}}$$

$$V_1 = 0,04 l \text{ equivalente a } 40ml.$$

En la tabla 11, se muestra el resumen de los cálculos realizados mediante la ecuación 5, a diferentes tipos de concentraciones hijas, con una concentración madre de 5000 mg/l en 1 litro de agua residual. Dando como resultado los siguientes valores:

**Tabla 11.** Resumen de los cálculos realizados a diferentes tipos de concentraciones hijas.

Simbología	Concentraciones hijas (ppm o mg/l)	Dosificación	
		Litros	ml
$a_0$	200	0,04	<b>40</b>
$a_1$	150	0,03	<b>30</b>
$a_2$	100	0,02	<b>20</b>
$a_3$	50	0,01	<b>10</b>
$a_4$	40	0,008	<b>8</b>
$a_5$	30	0,006	<b>6</b>
$a_6$	20	0,004	<b>4</b>
$a_7$	10	0,002	<b>2</b>

**Fuente:** Investigación experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Mediante la combinación de los factores y niveles mencionados en la tabla 10 y los valores calculados obtenidos en la tabla 11, se adquirieron las siguientes interacciones (tabla 12).

**Tabla 12.** Interacciones de los niveles de factores de estudio, en el ensayo de test de jarras.

TRATAMIENTOS	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
T1	$a_0b_0$	40 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T2	$a_0b_1$	40 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T3	$a_1b_0$	30 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T4	$a_1b_1$	30 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T5	$a_2b_0$	20 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T6	$a_2b_1$	20 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T7	$a_3b_0$	10 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T8	$a_3b_1$	10 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T9	$a_4b_0$	8 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T10	$a_4b_1$	8 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T11	$a_5b_0$	6 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T12	$a_5b_1$	6 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T13	$a_6b_0$	4 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T14	$a_6b_1$	4 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T15	$a_7b_0$	2 ml de solución de policloruro de aluminio + 0,5 ml de solución de poliacrilamida aniónica.
T16	$a_7b_1$	2 ml de solución de policloruro de aluminio + 1 ml de solución de poliacrilamida aniónica.

**Fuente:** Investigación experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### **3.5.2.2. Mediciones experimentales.**

En el estudio para determinar la dosis de coagulante y floculante óptimas, se estudian las siguientes variables físicas cuantitativas más importantes a considerar, en cuanto a las propiedades del agua que se requiere (parámetros permisibles del agua potable), según la norma INEN 1108 Quinta revisión 2014-01. **(Ver anexo 5).**

- pH.
- Turbiedad (cantidad de sólidos suspendidos).

### **3.5.3. Procedimiento de la investigación experimental.**

Las muestras se toman del efluente proveniente del área de corrugación en la cartonera CARTOPEL.

1. Regular el pH en un intervalo entre 6.5 a 7. Si el agua residual se encuentra ácida se utiliza el bicarbonato de sodio para elevar el pH, caso contrario si está alcalina se utiliza el ácido sulfúrico para reducir el pH. Estos químicos no necesitan disolución. **(Ver anexo 6)**, la técnica para adicionar estos reactivos se basa en controlar la dosificación mediante un Peachímetro.
2. En el desarrollo de esta investigación, el agua a tratar en se encuentra con un pH neutro, se procede a omitir el paso 1.
3. Medir los parámetros iniciales elegidos para la valoración final (turbidez y pH).
4. Calcular el volumen de dosificaciones en base a las concentraciones hijas establecidas (200 ppm, 150 ppm, 100 ppm, 50 ppm, 40 ppm, 30 ppm, 20 ppm, 10 ppm).
5. Tomar el volumen calculado (dosificaciones), de la solución madre óptima seleccionada, con la ayuda de una pipeta y vaciar en un matraz Erlenmeyer de 3000ml.
6. Llenar los 4 vasos de precipitación de agua residual con un volumen de 1lt.

7. Homogeneizar por 5 minutos el agua residual a una velocidad rápida (100rpm), mediante el equipo de test de jarras.
8. Añadir las dosificaciones calculadas (40ml; 30ml; 20ml; 10ml) al mismo tiempo en cada vaso respectivamente y se deja actuar 1 minuto.
9. Bajar la velocidad a 40 rpm (velocidad lenta) y se añade 0,5 ml de floculante, dejando actuar por 15 minutos.
10. Después de este lapso de tiempo transcurrido, se detienen los mezcladores y se deja reposar el agua durante 15 minutos, para que se sedimenten los sólidos.
11. Mediante una jeringa se procede a toma agua tratada y vaciar en un vaso de precipitación para posteriormente medir los parámetros anteriormente seleccionados (turbidez y pH).
12. Se repite el proceso desde el paso número 6, pero ahora trabajando con 1 ml de floculante.
13. Posteriormente se vuelve a repetir el mismo procedimiento, aplicando con las demás dosis calculadas (8ml; 6ml; 4ml; 2ml) con dosificaciones de floculante de 0,5 ml y 1 ml.

#### **3.5.4. Tratamiento de los datos.**

El análisis estadístico de los datos obtenidos de las variables físicas de estudio, se efectúa mediante un ADEVA (Análisis de varianza) y para determinar diferencias significativas se aplicó la prueba de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

A continuación se comparan las variables de estudio, con los parámetros permisibles según la norma técnica ecuatoriana INEN-1108, seleccionando el más eficiente en función de la cantidad de coagulante y floculante utilizado. Las herramientas estadística utilizada fueron el software STATGRAPHICS Centurion XVI versión 16.1.03 y el InfoStat. En la siguiente tabla se presentan los parámetros permisibles de las variables de estudio, según la norma técnica ecuatoriana INEN-1108 Quinta revisión 2014-01. (**Ver anexo 5**).

**Tabla 13.** Parámetros permisibles de las variables de estudio, según la norma técnica ecuatoriana INEN-1108.

<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>LÍMITES PERMISIBLES DE ACUERDO A LA NORMA INEN-1108</b>
Potencial de hidrógeno (pH).	-	Potenciómetro Modelo HACH- HQ30d.	6,5 – 8,5
Turbidez	NTU	Turbidímetro modelo HACH- 2100P	5

**Fuente:** Equipos del laboratorio de aguas, en la facultad de química de la UG.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### **3.6. Recursos humanos y materiales.**

#### **3.6.1. Recurso humano.**

Se contó con colaboradores que estuvieron presentes en los diferentes procesos del trabajo de investigación.

##### **➤ Director del Proyecto de Investigación.**

- Ing. Jorge Luis Guadalupe Almeida, Msc.

##### **➤ Docentes**

- FCI de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

##### **➤ Decano de la facultad de Ingeniería química de la Universidad de Guayaquil y encargado del laboratorio de aguas.**

- Ing. José Cárdenas Murillo, Msc.

➤ **Encargado del área de producción de la empresa Cartopel S.A.I.**

- Ing. Eduardo Páez.

➤ **Autora**

- Kasandra Adriana Vera Galarza.

### 3.6.2. Recurso material.

#### 3.6.2.1. Materiales y equipos utilizados en la simulación a nivel laboratorio (test de jarras).

Los materiales y equipos presentados en la consiguiente tabla, pertenecen al laboratorio de aguas de la universidad de Guayaquil, en donde se realizó el ensayo del test de jarras.

**Tabla 14.** Materiales y equipos utilizados en el ensayo del test de jarras de la UG.

<b>MATERIA PRIMA</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>MATERIALES</b>
4 galones de agua residual proveniente del área de corrugación en la empresa Cartopel S.A.I.	➤ Policloruro de aluminio (15gr). ➤ Poliacrilamida aniónica (1gr). ➤ Agua destilada (3galones).	➤ Equipo Jar Test modelo PHIPPS & BIRD (de 10 rpm a 150 rpm). ➤ Potenciómetro modelo HACH-HQ30d. ➤ Turbidímetro modelo HACH-2100P. ➤ Balanza modelo SARTORIUS – CP224S	➤ Vasos de precipitación de 1500ml; 1000ml; 500ml. ➤ Pipeta de 50ml y 10ml. ➤ Matraz de Erlenmeyer de 250ml. ➤ Inyección

**Fuente:** Equipos del laboratorio de aguas, en la facultad de química de la UG.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### 3.6.2.2. Materiales y equipos utilizados en la investigación de campo en la empresa Cartopel S.A.I.

#### Materiales (hardware).

**Tabla 15.** Requerimientos de hardware.

CANTIDAD	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
1	Computadora Portátil	Intel® Core™ i3- Processor 8GB RAM
1	Impresora	EPSON L355 con sistema de tinta continua
1	Memoria USB	ADATA USB Flash Drive Capacidad 8 GB

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

#### Materiales (software).

**Tabla 16.** Requerimientos de software.

TIPO	DESCRIPCIÓN
Software Utilitario	MS Office 2010 Word Excel
Software de Diseño	STATGRAPHICS Centurion XVI versión 16.1.03. InfoStat. Día.

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **4.1. Resultados.**

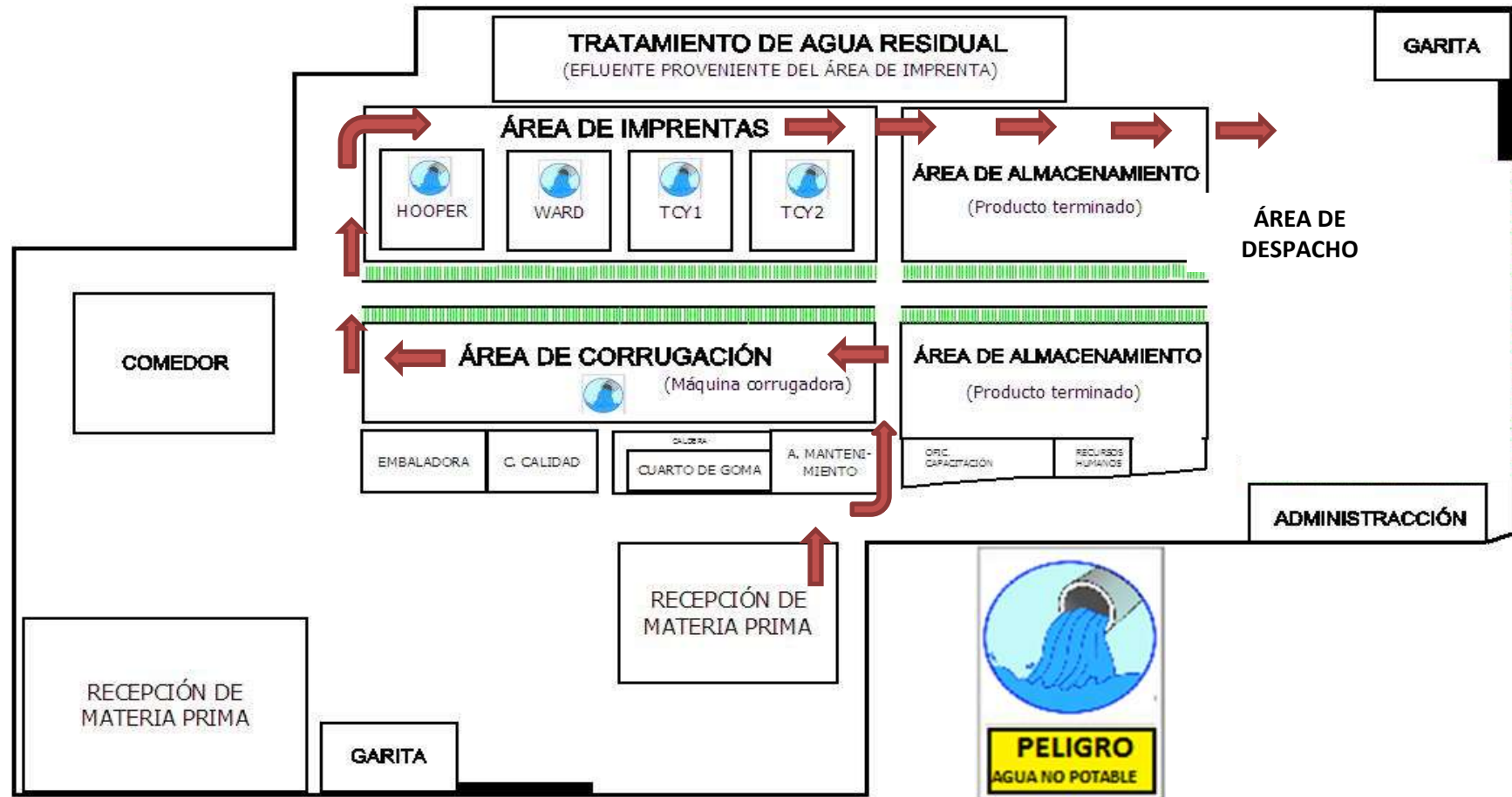
### **4.1.1. Análisis de la gestión de las aguas residuales industriales y su recolección en la empresa Cartopel S.A.I.**

La empresa Cartopel S.A.I, se dedica a la elaboración de cajas para banano. Estas pasan por varios procesos para su transformación, las cuales generan aguas residuales presentándose en 2 áreas importantes corrugación e imprentas.

Para analizar la gestión de las aguas residuales industriales actualmente en la empresa, se realiza un recorrido en el área de producción, con el fin de conocer el proceso de elaboración de las cajas de cartón e identificar las fuentes de generación de aguas residuales, para ello se realiza la distribución de planta como se observa en el gráfico 20, señalando las áreas en donde se producen estos efluentes.

Mediante el análisis realizado se obtuvo el diagrama causa-efecto, a partir de esto se procede a la recolección de datos, los cuales se obtienen mediante el método de observación, estudiando las posibles causas de la gestión deficiente en el manejo de las aguas residuales industriales en la empresa.

Gráfico 20. Distribución de planta de la empresa CARTOPEL S.A.I.



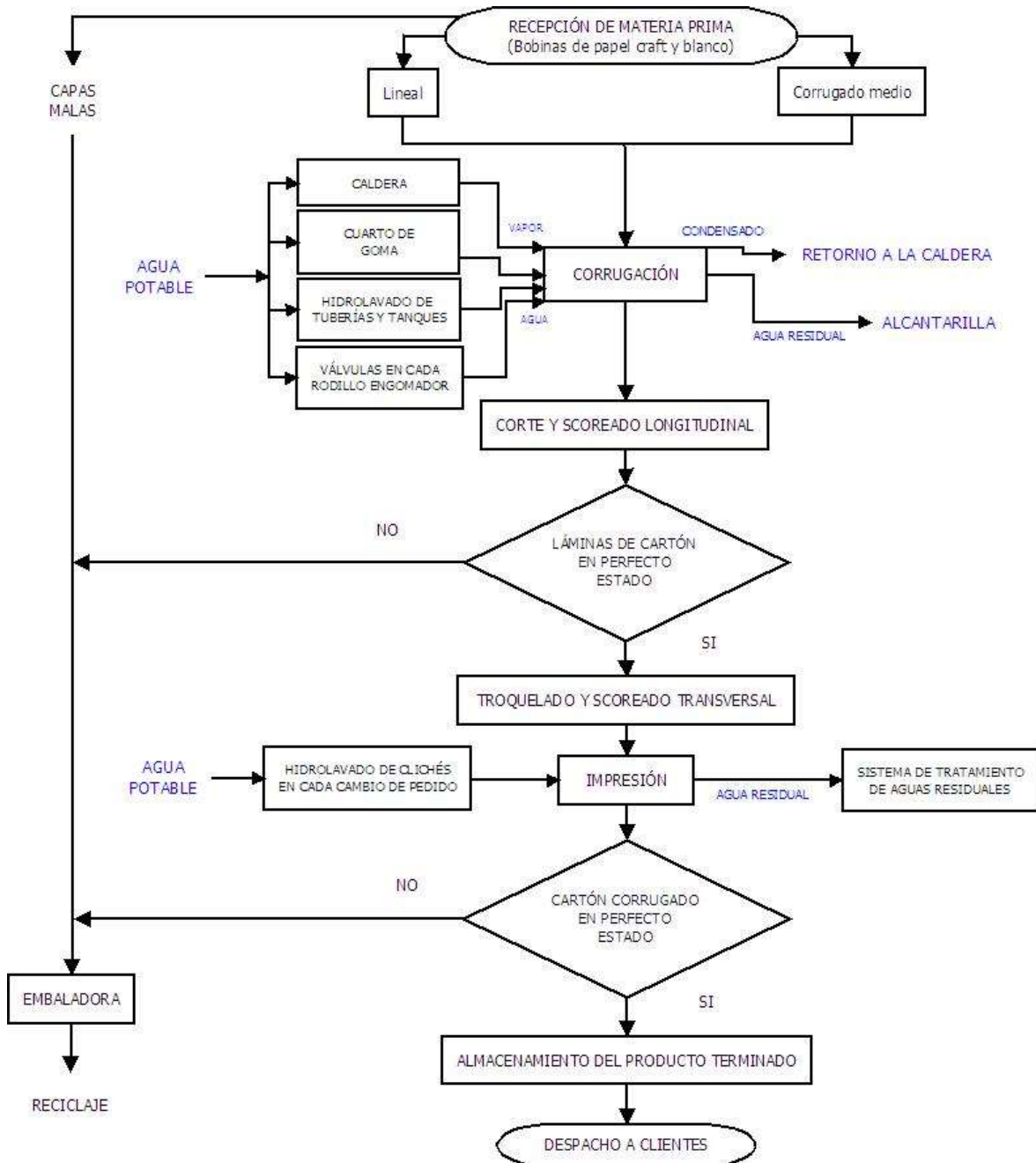
Fuente: Investigación de campo.

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.1.1. Proceso de producción en la empresa CARTOPEL S.A.I.

En el gráfico 21 se puede apreciar el diagrama de flujo para elaborar cajas de cartón para banana, señalando las áreas de consumo de agua potable y los efluentes de aguas residuales industriales generados en las dos áreas antes mencionadas.

**Gráfico 21.** Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cajas para banana.



**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.1.1.1. Descripción del proceso de producción.

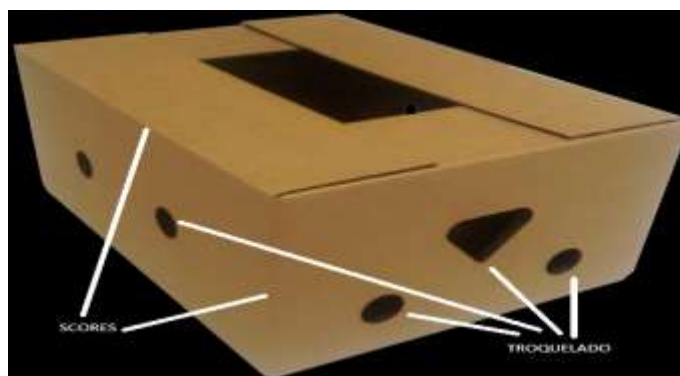
El proceso inicia con la recepción de la materia prima principal, básicamente bobinas de papel kraft o blanco, estas a su vez se clasifican también por su aplicación en liner o corrugado medio. Se procede a la planificación de las bobinas de papel a usar (depende de las especificaciones del cliente) y se efectúa sus respectivas pruebas de calidad. Posteriormente las bobinas de papel son transportadas por medio de montacargas a la máquina corrugadora (área de corrugación).

El consumo de agua potable en esta área, surge de 4 factores, caldera, cuarto de goma, hidrolavado de tuberías y a causa de las llaves abiertas en los rodillos engomadores para evitar que la goma se solidifique, generando así agua residual, obteniendo un retorno solo del condensado generado de la caldera, como se puede apreciar en el gráfico 21.

A continuación es realizado el corte y scoreado longitudinal en las láminas de cartón corrugado y se inspecciona la calidad de éstas, si presentan fallas se envían a la embaladora, caso contrario continua el proceso al troquelado y scoreado transversal.

**Troquelado y scoreado transversal:** Es una máquina con piezas metálicas de filos cortantes, que se utiliza para perforar en función a las especificaciones del cliente y a la resistencia en las cajas para banano en su paletizado y transportación como se aprecia en el gráfico 22. Consecutivamente circulan al área de impresión, donde el consumo de agua potable en esta área se obtiene del hidrolavado de los clichés, generando de esta manera agua residual. Inmediatamente se realiza la verificación de la calidad de las cajas para su posterior almacenamiento.

**Gráfico 22.** Troquelado y score en una caja de cartón.



Fuente: <http://www.lapapelera.com/faq.php>

#### 4.1.1.2. Fuentes de generación de las aguas residuales industriales en la empresa “CARTOPEL” y su recolección.

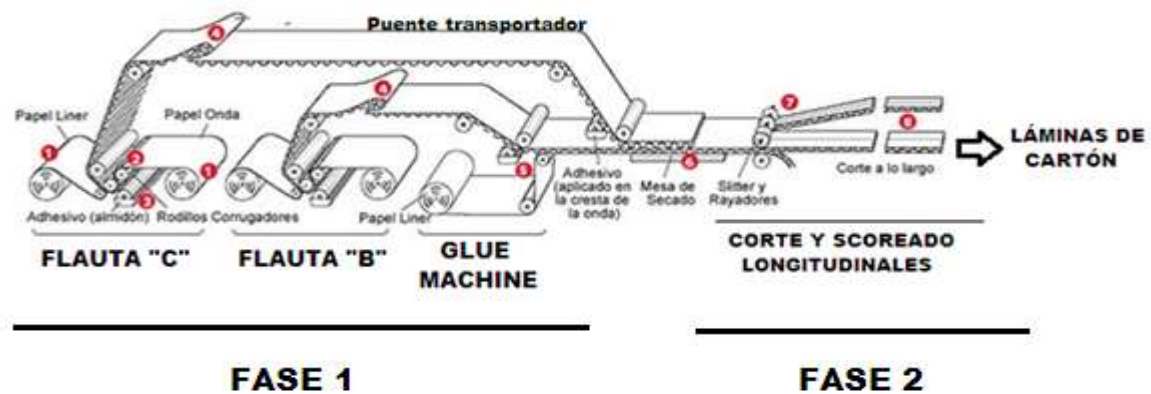
Las aguas residuales industriales generadas en el proceso de fabricación de cajas de cartón corrugado, provienen de dos áreas principales: área de corrugación y área de impresas.

##### 4.1.1.2.1. Generación de aguas residuales en el área de corrugación.

En esta área se obtienen las láminas de cartón corrugado: pared sencilla (conformado por 3 papeles: liner interno, liner externo y corrugado medio con flauta “C”) o doble pared (conformado por 5 papeles: 2 liners interno, 2 corrugado medio flauta “C” y flauta “B” y 1 liner externo). Este proceso está conformado por 2 fases, como se aprecia en el gráfico 23, el cual en la fase 1 es donde se genera agua residual.

Básicamente la conforma una máquina corrugadora (Ver gráfico 23), en donde se programa la elaboración de lámina de pared sencilla (tapa) o lámina de doble pared (base), según la planificación y pedidos en el día que tenga la empresa.

Gráfico 23. Máquina corrugadora.



Fuente: Fuente: [http://www.imicar.cl/proceso\\_productivo.html](http://www.imicar.cl/proceso_productivo.html)

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

#### A. Fase 1.

Esta fase está conformada por 3 etapas, en donde se generan aguas residuales en cada una de ellas.

- FLAUTA “C”: Pegado del papel liner interno y corrugado medio (con flauta “C”). Estas dos bobinas de papeles, circulan por rodillos pre-calentadores por separado, estos rodillos en su interior contienen vapor para poder suministrarle temperatura a los papeles, el condensado producido, es retornado al caldero. El papel onda se vuelve maleable debido a la temperatura aplicada por medio de los rodillos pre-calentadores y forma ondulaciones (flauta “C”), mediante unas masas o rodillos corrugadores, este papel con ondulaciones, es pegado con el papel liner interno por medio de rodillos engomadores formando así el SINGLE FACE.

El agua residual se genera, debido a la existencia de una llave de agua abierta, con el fin de evitar la solidificación de la goma y al hidrolavado de las tuberías en las que se transporta goma para el pegado de los papeles.

- FLAUTA “B”: Se basa en el mismo proceso que la flauta “C”, con la diferencia que el papel corrugado medio forma ondulaciones flauta tipo “B”. El agua residual que se genera, se fundamenta en el mismo principio de la FLAUTA “C”.
- GLUE MACHINE: Proceso donde se une el papel liner externo ya sea con el single face (elaboración de pared sencilla), o con la unión de la flauta “C” y “B” (elaboración de doble pared). El agua residual se genera a causa de la llave de agua abierta, con el fin de evitar la solidificación de la goma y por el hidrolavado de las tuberías.

Cabe recalcar que el hidrolavado se lo realiza en cada cambio de pedido, proceso manual donde el operador envía agua para realizar un previo lavado en las tuberías que conectan el envío del subproducto (goma) a los rodillos engomadores.

Si se desea elaborar lámina de pared sencilla, directamente se envía por el puente transportador a la fase del GLUE MACHINE, como se aprecia en el gráfico 23, en donde permite aplicar goma en la cima de la onda para unir el SINGLE FACE con el liner externo.

Si se desea elaborar lámina de doble pared, se requiere de transportar el papel por todas las etapas de la fase 1 y posteriormente pasar a la fase 2, como se puede observar en el gráfico 23. Unión del SINGLE FACE con la fase FLAUTA “B”, (papel liner interno más papel corrugado medio).

## B. Fase 2

Sección de planchaje, esta fase se encarga de secar las láminas de cartón, por medio de altas temperatura, el condensado de esta, es retornado al caldero, consecutivamente se procede al corte y scoreado longitudinal según las dimensiones requeridas por el cliente. Cabe recalcar que todo el proceso de corrugación descrito, se realiza internamente en la máquina corrugadora, obteniendo láminas rectangulares de cartón corrugado de pared sencilla (tapa) o doble pared (base) como se muestra en el gráfico 24.

Posteriormente se realiza control de calidad a las láminas de cartón, si se encuentra dentro de los parámetros establecidos se apilan y se transportan al área de troquelado y scoreado transversal, caso contrario se envían a la embaladora.

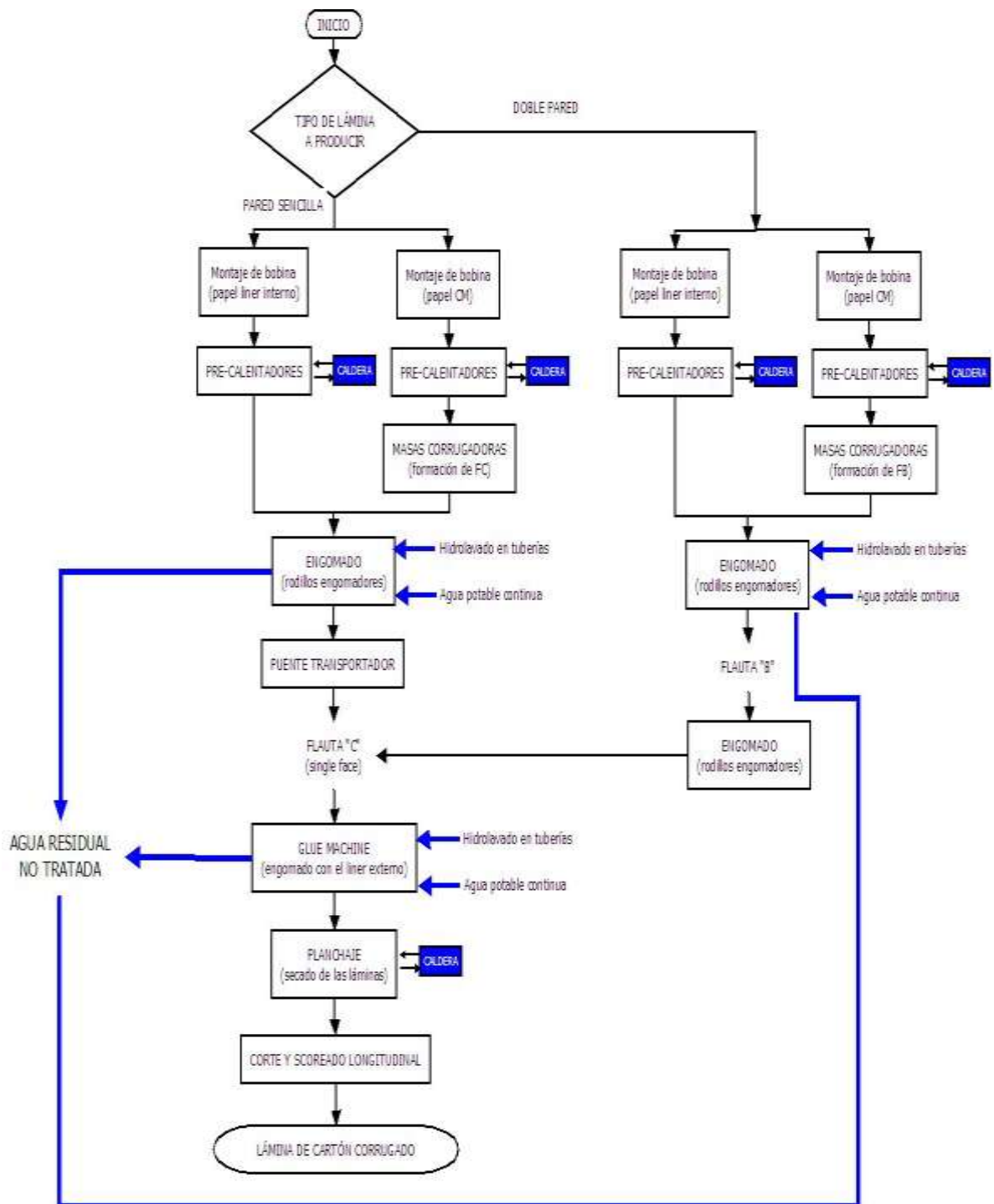
**Gráfico 24.** Láminas de cartón.



**Fuente:** <http://www.lapapelera.com/faq.php>

A continuación, en el gráfico 25, se muestra el diagrama de flujo del proceso de corrugación (máquina corrugadora), señalando de manera más de detallada, las etapas donde se consume agua potable y se genera agua residual.

**Gráfico 25.** Diagrama de flujo del proceso de corrugación y etapas donde se genera agua residual.



**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### **4.1.1.2.1.1. Recolección del agua residual.**

Mediante el análisis e identificación de las tres etapas en la fase 1, donde se genera agua residual en el área de corrugación, se puede definir que en este efluente se obtiene básicamente agua con goma (mezcla de almidón ya cocinado, fibras de papel, bórax, sosa cáustica) y en la actualidad es bombeada directamente al sistema de alcantarillas y ríos, es decir no cuenta con un sistema de tratamiento previo antes de ser vertidas, como se puede apreciar en el gráfico 26.

**Gráfico 26.** Agua residual proveniente del área de corrugación.



**Fuente:** CARTOPEL S.A.I.

#### **4.1.1.2.2. Generación de aguas residuales en el área de impresión.**

En esta parte del proceso, se imprime el logotipo que identifique la marca comercial de las cajas para banano, actualmente CARTOPEL cuenta con 4 imprentas Hopper, Ward, TCY 1 y TCY 2, diferenciadas por su capacidad de colores, las cuales en cada una de estas se genera agua residual, debido a la limpieza de los clichés flexográficos (placa flexible con relieve, sirve como molde para la impresión del logo de la caja), en cada cambio de pedido, como se puede apreciar en el gráfico 27.

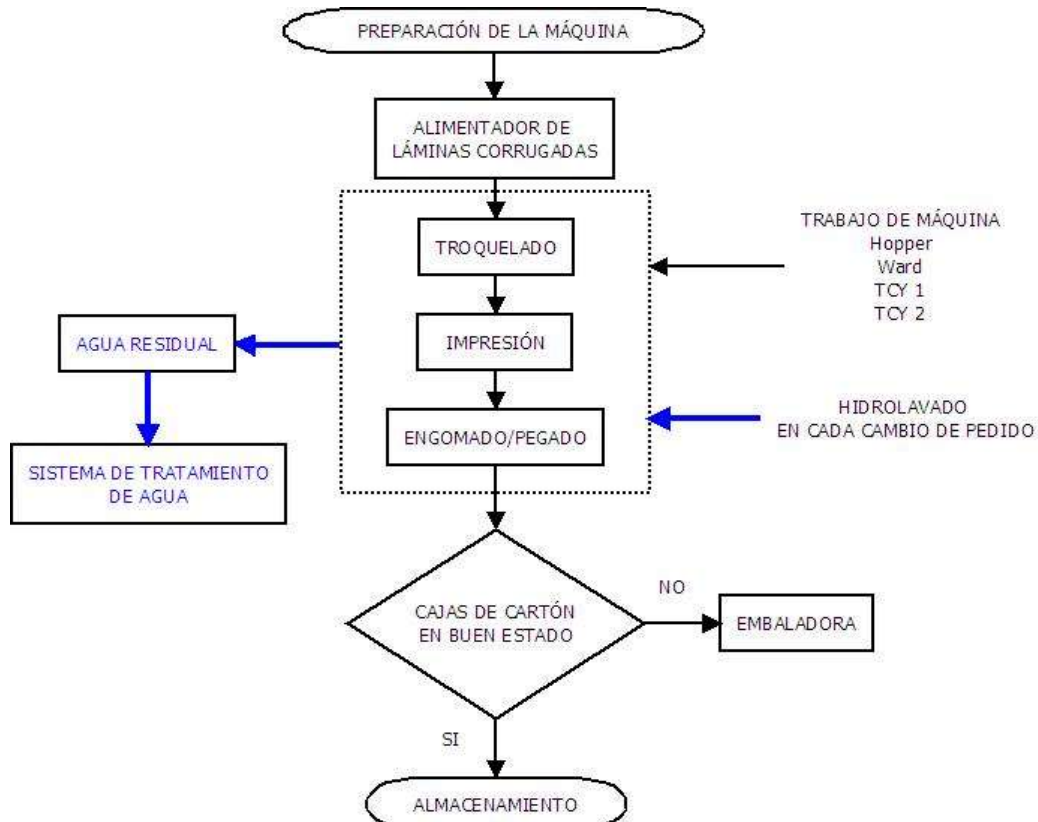
**Gráfico 27.** Lavado del cliché en cada cambio de pedido.



**Fuente:** CARTOPEL S.A.I.

Una vez impresas las láminas de cartón, el operador aplica goma manualmente uniendo los extremos longitudinales y las direcciona por unos rodillos a presión, obteniendo un correcto pegado. Consecutivamente se verifican las cajas terminadas, si ese encuentra en buen estado se transportan al área de almacenamiento mediante montacargas, caso contrario se envían a la embaladora. En el gráfico 28, se puede observar el diagrama de flujo del área de impresión.

**Gráfico 28.** Diagrama de flujo del área de impresión y etapas donde se genera agua residual.



**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.1.2.2.1. Recolección del agua residual.

Este efluente generalmente es una mezcla de tintas, detergente y fibras de papel, debido a la limpieza de los clichés que contienen tinta, esta agua es bombeada directamente al tanque de sedimentación, para empezar con el tratamiento adecuado y sean evacuadas con los límites máximos permisibles de acuerdo a las normas TULSMA vigente, como se aprecia en el gráfico 29.

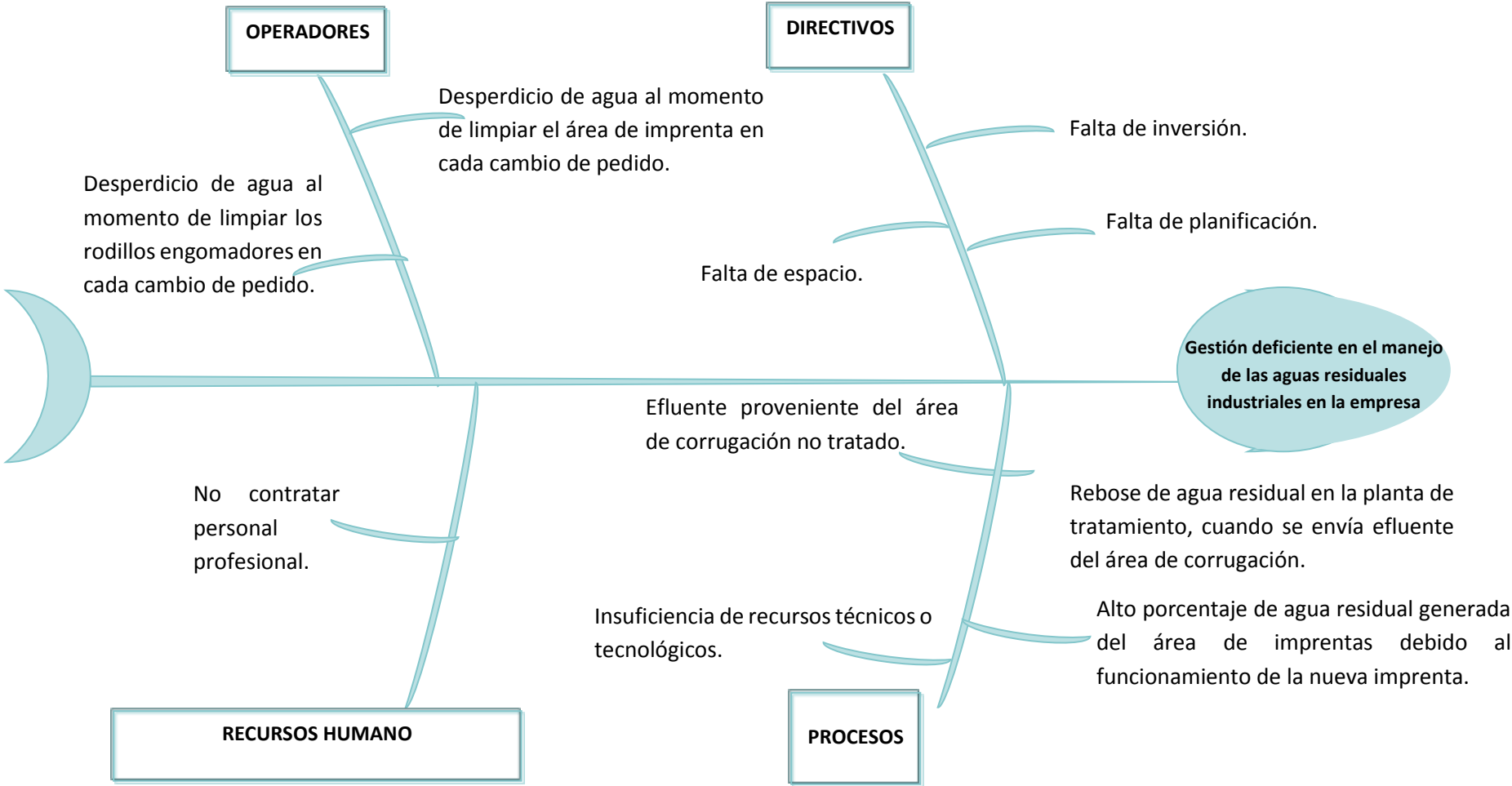
**Gráfico 29.** Tanque de sedimentación del sistema de tratamiento de agua existente.



**Fuente:** CARTOPEL S.A.I.

A continuación se presenta el diagrama causa-efecto, conocido como la espina de pescado o diagrama de Ishikawa. Esta herramienta se la utiliza con el fin de identificar las causas mayores y menores que conducen al problema principal, como es la gestión deficiente en el manejo de las aguas residuales industriales en la empresa Cartopel S.A.I.

**4.1.1.3. Diagrama Causa-Efecto.**



#### 4.1.1.3.1. Análisis de diagrama causa-efecto.

Las causas que se identificaron con mayor importancia y que afectan directamente al problema principal son presentadas por los procesos y operadores, las cuales se tomaron como referencia para tabular la frecuencia con que se repite estos defectos y posteriormente efectuar el diagrama de Pareto.

#### 4.1.1.4. Diagrama de Pareto.

##### 4.1.1.4.1. Tablas de Frecuencias.

La toma de frecuencias de las causas que afectan directamente al problema principal del presente trabajo de investigación, se obtiene de cada corrida (cambio de pedido realizado) por día, en el lapso de una semana, ya que la problemática se basa en la gestión deficiente del manejo de las aguas residuales industriales en la empresa y estas aguas se generan en cada cambio de pedido realizado. En donde se obtiene un total de 39 pedidos durante una semana como se muestra en tabla 17, con un total de observaciones realizadas de 116, como se puede apreciar en la tabla 18.

**Tabla 17.** Total de pedidos de cajas de cartón para banano en el día.

DIAS	NÚMERO DE PEDIDOS AL DIA
1	8
2	7
3	5
4	7
5	5
6	4
7	3
<b>TOTAL</b>	<b>39</b>

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

**Tabla 18.** Tabla de frecuencias de las causas que afectan directamente al problema principal.

CAUSAS	FRECUENCIA	FRECUENCIA NORMALIZADA
Rebose de agua residual en la planta de tratamiento, cuando se envía efluente del área de corrugación.	29	25,00%
Alto porcentaje de agua residual generada del área de imprentas debido al funcionamiento de la nueva imprenta.	19	16,38%
Efluente proveniente del área de corrugación no tratado.	39	33,62%
Desperdicio de agua al momento de limpiar el área de imprenta en cada cambio de pedido.	3	2,59%
Desperdicio de agua al momento de limpiar los rodillos engomadores en cada cambio de pedido.	2	1,72%
Insuficiencia de recursos técnicos o tecnológicos.	24	20,69%
<b>TOTAL</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

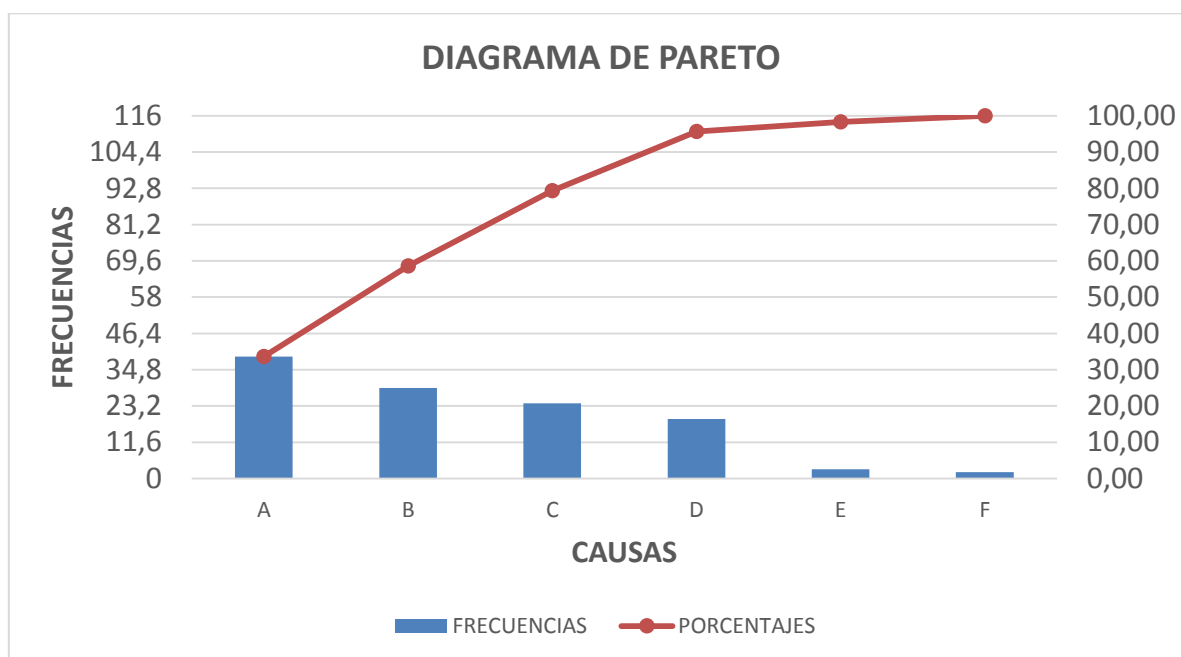
**Tabla 19.** Tabla de frecuencias ordenadas, de las causas que afectan directamente al problema principal.

CAUSAS	FRECUENCIA	FRECUENCIA NORMALIZADA	FRECUENCIA ACUMULADA
<b>A:</b> Efluente proveniente del área de corrugación no tratado.	39	33,62%	33,62%
<b>B:</b> Rebose de agua residual en la planta de tratamiento, cuando se envía efluente del área de corrugación.	29	25,00%	58,62%
<b>C:</b> Insuficiencia de recursos técnicos o tecnológicos.	24	20,69%	79,31%
<b>D:</b> Alto porcentaje de agua residual generada del área de imprentas debido al funcionamiento de la nueva imprenta.	19	16,38%	95,69%
<b>E:</b> Desperdicio de agua al momento de limpiar el área de imprenta en cada cambio de pedido.	3	2,59%	98,28%
<b>F:</b> Desperdicio de agua al momento de limpiar los rodillos engomadores en cada cambio de pedido.	2	1,72%	100,00%
<b>TOTAL</b>	<b>116</b>	<b>100%</b>	

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

**Gráfico 30.** Diagrama de Pareto en función de las causas y frecuencia que afectan directamente al problema principal.



**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.1.4.2. Análisis de diagrama de Pareto.

Se realiza un análisis del diagrama de Pareto, tomando como referencia las causas que se presentan con mayor frecuencia, la solución de estas, disminuirá el tamaño del problema hasta un 80% según Pareto, se puede apreciar mediante el diagrama, que la gestión deficiente en el manejo de las aguas residuales industriales en la empresa, corresponde a que el efluente proveniente del área de corrugación no es tratado, siendo el 33,62% atribuible a esta causa, seguido de los siguientes 2 factores:

- Rebose de agua residual en la planta de tratamiento, cuando se envía efluente del área de corrugación.
- Insuficiencia de recursos técnicos o tecnológicos.

Mediante el diseño de un sistema para tratar el efluente y reutilizarlo en otros subprocesos de la empresa, se eliminará hasta un 80% las causas al problema principal según Pareto y se obtendrá una mejor gestión de las aguas residuales. Para ello es necesario:

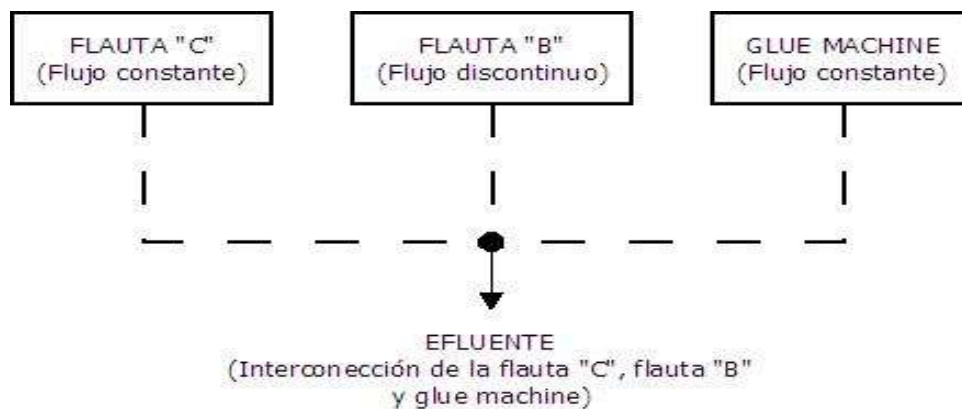
- Calcular el caudal de las fuentes de generación de las aguas residuales industriales.
- Identificar y calcular el caudal del consumo de agua potable.

#### 4.1.1.5. Cálculo de los caudales de las fuentes de generación de las aguas residuales.

##### 4.1.1.5.1. Caudal del área de corrugación.

Esta área consta de 3 etapas, donde en cada una de ellas se genera agua residual, el cual se interconectan por medio de tuberías para generar una sola salida como se muestra en el gráfico 31.

**Gráfico 31.** Interconexión de efluentes de la flauta “C”, “B” y Glue machine.



**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el gráfico 31 se interpreta, que el flujo es discontinuo en la flauta “B”, ya que al elaborar cartones de pared sencilla (tapa), esta flauta no generará agua residual, debido a que este cartón está conformado por 3 papeles (liner interno, corrugado medio con flauta “C” y liner externo). Posteriormente se procede a calcular el caudal del efluente, de acuerdo a los 2 tipos de producto que se fabrica (tapa y base).

Se emplea el método volumétrico, ya que es el más utilizado para caudales pequeños. Con la ayuda de un balde, con una capacidad aproximadamente de 35 litros, se procedió a medir la cantidad de agua que almacena el balde durante 1 minuto.

Este procedimiento se realizó cada 2 horas, durante 1 semana, para establecer las variaciones de caudales que se presentan e identificar el caudal máximo, promedio y mínimo, con el fin de diseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales. Para calcular el caudal se utiliza la ecuación 1.

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

$$Q = \frac{23 \text{ lt}}{1 \text{ min}}$$

$$Q = 23 \text{ lt/min}$$

### Conversión

$$23 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ lt}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 33,12 \text{ m}^3/\text{dia}$$

**Análisis:** El resultado de **33,12 m<sup>3</sup>/dia**, representa el valor medido mediante el método volumétrico, a las 9:00 am del primer día. Este procedimiento se lo repite cada 2 horas, durante 1 semana, el cual se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 20.** Datos obtenidos de la medición de caudales durante una semana.

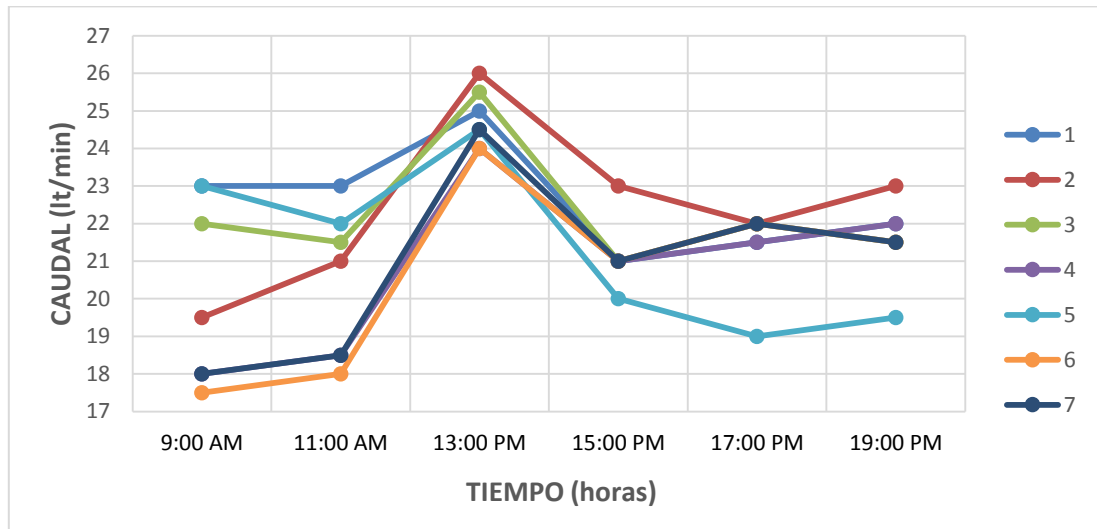
HORAS DIAS	9:00 AM	11:00 AM	13:00 PM	15:00 PM	17:00 PM	19:00 PM
1	23 lt	23 lt	25 lt	21 lt	21,5 lt	22 lt
2	19,5 lt	21 lt	26 lt	23 lt	22 lt	23 lt
3	22 lt	21,5 lt	25,5 lt	21 lt	22 lt	21,5 lt
4	18 lt	18,5 lt	24 lt	21 lt	21,5 lt	22 lt
5	23 lt	22 lt	24,5 lt	20 lt	19 lt	19,5 lt
6	17,5 lt	18 lt	24 lt	21 lt	22 lt	21,5 lt
7	18 lt	18,5 lt	24,5 lt	21 lt	22 lt	21,5 lt

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

La tabla 20, muestra los datos obtenidos del cálculo de caudales cada 2 horas, durante una semana, obteniendo el valor más alto de 26 lt/min y el valor más bajo de 17,5 lt/min. Equivalentes a **38 m<sup>3</sup>/dia**, y **25,2 m<sup>3</sup>/dia**, consecutivamente.

**Gráfico 32.** Variaciones de caudales en función del tiempo en el área de corrugación.



**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el gráfico 32, se puede observar el comportamiento del caudal generado en la corrugadora (lt/min) con respecto al tiempo, cada 2 horas durante 7 días, en donde refleja que a la 13:00 pm, presenta un aumento obteniendo como caudal máximo de 26 lt/min, esto es a causa del cambio de pedido que se realiza aproximadamente durante esta hora, donde el caudal tiende a incrementarse debido al hidrolavado de las tuberías.

**Caudal máximo ( $Q_{max}$ ):**

$$26 \frac{lt}{min} \times \frac{m^3}{1000 lt} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 37,44 \text{ m}^3/\text{dia}$$

**Caudal medio ( $Q_{med}$ ):**

**EC: 6**

$$Q_{med} = \frac{Q_{max} + Q_{min}}{2}$$

$$Q_{med} = \frac{37,44 \frac{m^3}{dia} + 25,2 \frac{m^3}{dia}}{2}$$

$$Q_{med} = 31,32 \text{ m}^3/\text{dia}$$

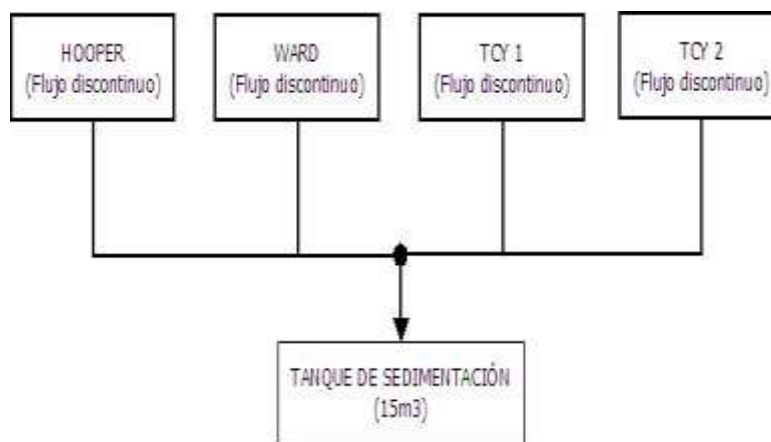
**Caudal mínimo ( $Q_{\min}$ ):**

$$17,5 \frac{lt}{min} \times \frac{m^3}{1000 lt} \times \frac{24 horas}{1 dia} \times \frac{60 min}{1 hora} = 25,2 m^3/dia$$

#### 4.1.1.5.2. Caudal del área de imprentas.

Este proceso es intermitente, por ende la cantidad de agua que genere esta área, depende del funcionamiento de las 4 clases de imprentas que existe actualmente en la empresa, ya que en cada cambio de pedido puede estar en funcionamiento una, dos, tres o las cuatros imprentas al mismo tiempo, esto dependerá de las tintas que se requiera para la impresión de la caja. El agua residual que genera cada imprenta se interconecta por medio de tuberías para obtener una sola salida como se muestra en el gráfico 33.

**Gráfico 33.** Interconexión de efluentes del área de imprentas.



**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Como el flujo de agua residual en esta área es discontinuo, el caudal ( $m^3/dia$ ) se obtuvo mediante el método de deducción, ya que se pudo constatar que el tanque de sedimentación que posee una capacidad de  $15 m^3$  se abastece para 2 días como se puede apreciar en el gráfico 34. Por ende se puede deducir que el caudal diario en el área de imprentas es aproximadamente de  **$7 m^3/dia$** .

**Gráfico 34.** Tanque de sedimentación.



**Fuente:** CARTOPEL S.A.I.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

**Conclusión del caudal de las fuentes de generación de las aguas residuales en la empresa:** Mediante el cálculo de los caudales de efluentes tanto en el área de corrugación como en el área de imprentas, se pudo determinar que el área que genera mayor caudal de aguas residuales, corresponde al área de corrugación, obteniendo un valor de  $37,44 \text{ m}^3/\text{día}$ , en comparación con el área de imprentas  $7 \text{ m}^3/\text{día}$ , en donde cabe recalcar que es el área en donde se identifica la problemática.

#### **4.1.1.6. Identificación de las áreas de producción, donde se consume agua potable.**

Las áreas de producción en donde se consume agua potable se presenta en la tabla 21:

**Tabla 21.** Áreas de producción de consumo de agua potable, en la empresa Cartopel S.A.I.

<b>ÁREA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL CONSUMO</b>	<b>FUENTE DE ABASTECIMIENTO</b>
Planta	Limpieza y aseo de la planta	<b>AGUA POTABLE</b>
Caldera	Alimentación para generar vapor a la corrugadora	
Cuarto de goma	Preparación de la goma (insumo)	
Impresión	Hidrolavado en cada cambio de pedido	
Corrugadora	Llave abierta en los rodillos engomadores para que no se solidifique la goma.	

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

**4.1.1.7. Cálculo del consumo diario de agua potable, en las áreas que se desea reutilizar el agua tratada.**

**4.1.1.7.1. Consumo de agua diario en la elaboración de la goma (m3).**

El consumo de agua potable por batch, se obtuvo mediante la fórmula ya establecida por la empresa para la elaboración de la goma (**Anexo 7**), el cual refleja que utilizan 1599 Kg de agua.

En donde:

EC: 7 
$$\rho = \frac{m}{v}$$

Despejando el volumen (v), se obtiene:

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{1599000gr}{1gr/cm^3} = 1599000 \text{ cm}^3 \text{ equivalente a } 1,6 \text{ m}^3.$$

**Tabla 22.** Promedio del consumo diario de agua potable, en la elaboración de la goma (m3).

DIAS	# DE BATCHS	CONSUMO POR BATCHS	TOTAL DE CONSUMO DIARIO
1	12	1,6	19,2
2	11	1,6	17,6
3	12	1,6	19,2
4	11	1,6	17,6
5	11	1,6	17,6
6	10	1,6	16
7	8	1,6	12,8
<b>PROMEDIO</b>			<b>17,14</b>

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En la tabla 22, se exhibe el promedio del consumo diario de agua potable, para elaborar goma, obteniendo un valor de 17,14 m<sup>3</sup>/día.

#### 4.1.1.7.2. Consumo de agua diario en los rodillos engomadores en la corrugadora.

En esta etapa, se genera una parte del agua residual en el área de corrugación, las cuales son provenientes de la flauta “C”, “B” y Glue machine. Para calcular el caudal promedio se emplea en cada una de las etapas mencionadas, el método volumétrico, ya que es el más utilizado para caudales pequeños. Con la ayuda de un balde con una capacidad aproximadamente de 35 litros, se procede a medir la cantidad de agua que acumula el balde durante 1 minuto.

- **Flauta “C”:** En esta etapa el caudal es constante, no depende de la producción que se realice, siempre se utilizará este tipo de flauta para la elaboración de tapa o base. Donde se calcula mediante la ecuación 1:

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

$$Q = \frac{6,5 \text{ lt}}{1 \text{ min}}$$

$$Q = 6,5 \text{ lt/min}$$

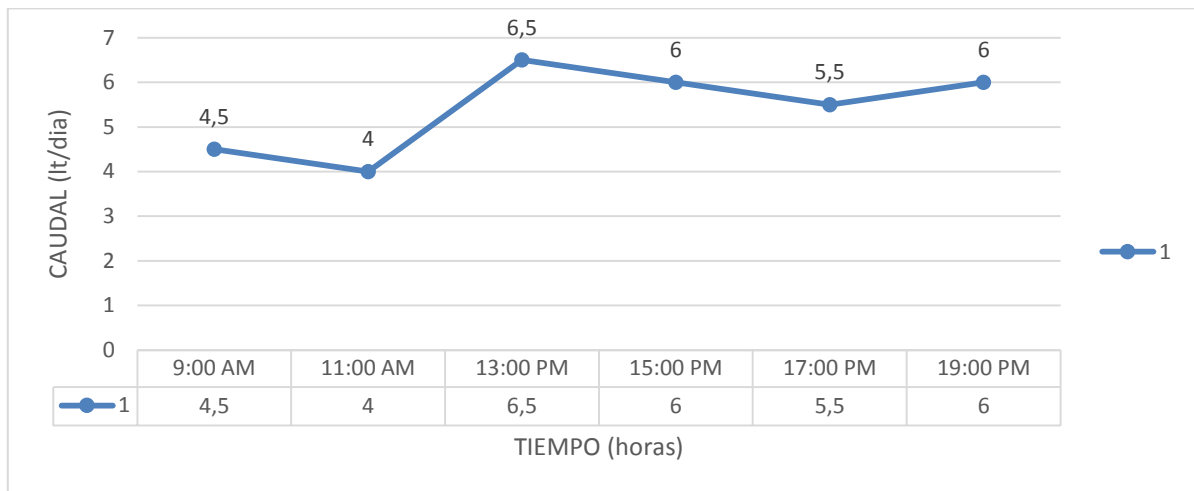
#### Conversión

$$6,5 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \times \frac{m^3}{1000 \text{ lt}} \times \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 9,36 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **Flauta “B”:** En esta etapa el caudal es discontinuo, depende de la producción que se realice, si se elabora base, esta etapa no interfiere durante el proceso ya que la base está formada por 3 papeles, liner interno y externo y el corrugado medio tipo flauta “C”.

Para conocer el caudal promedio de esta fase se ejecuta varios muestreos cada 2 horas durante un día, el cual se obtuvo los siguientes resultados, como se puede apreciar en el gráfico 35:

**Gráfico 35.** Variaciones de caudales según el tiempo en la flauta “B” de la corrugadora.



**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el siguiente gráfico 35, se puede observar el comportamiento del caudal generado en la flauta “B” en la máquina corrugadora (lt/min) con respecto al tiempo, durante 1 día, en donde refleja un caudal promedio de **5,5 lt/min**.

### Conversión

$$5,25 \frac{lt}{min} \times \frac{m^3}{1000 lt} \times \frac{24 horas}{1 dia} \times \frac{60 min}{1 hora} = 7,5 m^3/dia$$

- **Glue machine”:** En esta etapa el caudal es constante, no depende de la producción que se realice, debido a que si se requiere elaborar tapa o base, tiene que pasar por este proceso del pegado del liner externo para formar la lámina de cartón corrugado. Donde se calcula mediante la ecuación 1:

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

$$Q = \frac{6,5 lt}{1 min}$$

$$Q = 6,5 lt/min$$

### Conversión

$$6,5 \frac{lt}{min} \times \frac{m^3}{1000 lt} \times \frac{24 horas}{1 dia} \times \frac{60 min}{1 hora} = \mathbf{9,36 m^3/dia}$$

Donde el caudal total de consumo diario en los rodillos engomadores en la corrugadora se obtiene mediante la sumatoria de los caudales de la flauta “C”; flauta “B” y Glue machine.

**EC: 8**

$$Q_{total} = Q_{FC} + Q_{FB} + Q_{GM}$$

$$Q_{total} = 9,36 m^3/dia + 7,5 m^3/dia + 9,36 m^3/dia$$

$$Q_{total} = \mathbf{26,22 m^3/dia}$$

#### **4.1.2. Determinación de la dosis de coagulante y floculante más eficiente, para la utilización en el sistema de tratamiento de agua.**

En el presente proyecto de investigación se requiere diseñar un sistema para tratamiento de aguas residuales industriales, y así reutilizarlas en otros subprocesos de la empresa como en la elaboración del almidón (goma) y en los rodillos engomadores, para ello es de suma importancia conocer la calidad de agua que se requiere para su continuo uso.

##### **4.1.2.1. Análisis de los parámetros físico-químico del efluente no tratado.**

Con el fin de definir el tipo de tratamiento que se requiere, es necesario realizar un análisis físico-químico del efluente que se va a tratar. Los parámetros físicos y químicos principales así como lo señala [13] son:

- DBO (demanda bioquímica de oxígeno).
- DQO (demanda química de oxígeno).
- pH (Potencial de hidrógeno).
- Temperatura.
- Turbidez.

La toma de las muestras se las realiza en el punto de intersección de la flauta C, flauta B y Glue machine, considerando la Norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98. AGUA. CALIDAD DE AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRA. **(Ver anexo 8).**

Para la realización de los parámetros DBO y DQO, se contrató con los servicios profesionales del laboratorio Grupo Químico Marcos en la Ciudad de Guayaquil, **(Ver anexo 9)**. Los demás parámetros se los realizó en el laboratorio de la Empresa Cartopel S.A.I, como se muestra en el **anexo 10**. En donde se obtuvieron los siguientes resultados, como se puede apreciar en la tabla 23:

**Tabla 23.** Análisis físico-químico del efluente no tratado (agua residual proveniente del área de corrugación).

PARÁMETROS	UNIDADES	VALORES CUANTITATIVOS	LÍMITES PERMISIBLES (TABLA TULSMA)
<b>Turbidez</b>	NTU	142	5
<b>DBO</b>	mgO <sub>2</sub> /l	3030	250
<b>DQO</b>	mgO <sub>2</sub> /l	6062,8	500
<b>Temperatura</b>	(°C)	31,8	< 35
<b>pH</b>		6,73	5 a 9

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### Análisis.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis físicos-químicos del efluente no tratado (área de corrugación), se determinó que los parámetros: turbidez, DBO y DQO se encontraron por encima de los límites máximos permisibles de la tabla TULSMA, Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, en donde indica los límites permisibles de descarga al sistema de alcantarillado público, (**Ver anexo 11**).

Por ende es de suma importancia diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales y a su vez reutilizarlas, para obtener una mejor gestión de éstas.

#### 4.1.2.2. Relación DBO/DQO

Según [13], para diseñar un sistema de tratamiento de agua, se debe analizar el tipo de tratamiento a desarrollar (físico-químico o biológico) para ello:

- Si la relación (DBO/DQO) es  $> 0,6$  indica compuestos fácilmente degradables en el agua residual, el cual puede ser tratados mediante tratamientos biológicos.

- Si la relación (DBO/DQO) es < 0,6 indican compuestos pocos degradables el en agua residual, el cual es conveniente los tratamientos físico-químicos.

**Entonces:**

$$\text{EC: 9} \quad \frac{DBO}{DQO} = \frac{3030}{6062,8} = 0,49$$

**Análisis:** En la relación DBO/DQO se obtuvo como resultado 0.49, la cual indica que el agua residual contiene compuestos pocos degradables, lo que significa que el diseño del sistema consiste en un tratamientos físico-químico.

#### **4.1.2.3. Criterios de calidad para aguas de uso Industrial.**

Según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, dentro de su clasificación, presenta los criterios de calidad para aguas de uso industrial, donde señala que se deberán observar los diferentes requisitos de calidad, correspondientes a los respectivos procesos en donde se requiera utilizar el agua tratada. (**Ver anexo 12**).

##### **4.1.2.3.1. Calidad del agua requerida para la elaboración de almidón (goma).**

La calidad del agua requerida para el uso de elaboración de almidón (goma), según la revista El Empaque + Conversión, una de las revistas latinoamericanas donde realizan publicaciones acerca del cartón corrugado recomienda que la calidad del agua, posea un poco de color residual y material restantes, ya que la presencia de productos químicos, tiende a perder viscosidad y presentar alteraciones en la formulación de la goma. [26].

Por ello solo se requiere de un tratamiento preliminar, reutilizando el 50% de agua que se utiliza para elaborar la goma. Como se analizó anteriormente, el promedio del consumo diario de agua, para elaborar goma es de 17,14 m<sup>3</sup>/día. Como se puede reutilizar solo el 50% de agua entonces, el consumo para este proceso es de 8,5 m<sup>3</sup>/día.

### Conversión.

$$8,5 \frac{m^3}{dia} \times \frac{1000 \text{ lt}}{m^3} \times \frac{dia}{3 \text{ turnos}} = 2833,3 \text{ lt /turno}$$

#### 4.1.2.3.2. Calidad del agua requerida para los rodillos engomadores.

En la actualidad, la fuente de abastecimiento para mantener las llaves abiertas en los rodillos engomadores y evitar que se solidifique la goma, proviene del agua potable, por ello la calidad del agua que se requiere para ser reutilizada, se asemeja a ciertos requisitos de parámetros físico-químicos que debe tener el agua potable.

En los datos obtenidos del ensayo del test de jarras, que básicamente trata la simulación de 3 procesos básicos en el tratamiento físico químico (coagulación, floculación y sedimentación), se analiza y se compara con los requisitos de los parámetros físicos- químicos que debe tener el agua potable.

#### 4.1.2.4. Tratamiento estadístico de datos obtenidos en el test de jarras.

Los datos obtenidos en el ensayo, se los procesa en el programa estadístico InfoStat y Statgraphics, teniendo en cuenta 2 variables de respuesta, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 24.** Variables de respuesta en el ensayo del test de jarras.

VARIABLES DE RESPUESTAS	UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL (SI)	DESCRIPCIÓN
Turbiedad	NTU	Unidades Nefelométricas de turbidez
pH		ácido, alcalino o neutro

**Fuente:** Investigación experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.2.5. Resultados experimentales.

##### 4.1.2.5.1. Resultados de la concentración madre del coagulante.

La concentración madre de policloruro de aluminio se determina mediante un pre test de jarras, en donde se toma como referencia concentraciones madre al 0,5% y al 1% equivalentes a 5000 ppm y 10.000ppm respectivamente, para 1 litro de agua destilada, con concentraciones hijas de 50 mg/l y 100mg/l. obteniendo las siguientes dosificaciones para cada vaso de agua residual, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 25.** Dosis de coagulante PAC en ml, de diferentes concentraciones madres e hijas.

MUESTRAS	CANTIDAD DE PAC	CONCENTRACIÓN MADRE	CONCENTRACION HIJA	DOSIS
1	5000 mg	0,5%	50 mg/l	10ml
2			100mg/l.	20ml
3	10.000 mg	1%	50 mg/l	5ml
4			100 mg/l.	10ml

**Fuente:** Investigación Experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

**Gráfico 36.** Test de jarras con diferentes concentraciones madre de PAC.



**Fuente:** Investigación Experimental realizado en el laboratorio de aguas en la UG.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el gráfico 36, se puede determinar mediante el método de observación, que las muestras 1 y 2 presentan mayor clarificación de agua y flóculos mejor formados, en comparación a las demás muestras. Estas contienen una concentración del 0,5% equivalente a 5000ppm, en base a este resultado, se prepara la disolución óptima a una concentración madre del 0,5% equivalente a 5000 miligramos.

#### 4.1.2.5.2. Resultados de las concentraciones hijas (ensayo test de jarras).

A continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo del test de jarras, en base a las 2 variables de medición, con 3 réplicas. En el anexo 13 se puede apreciar el proceso del test de jarras, realizado en el laboratorio de aguas en la universidad de Guayaquil.

**Tabla 26.** Resultados del test de jarras, en función a las dos variables de medición (pH y turbidez).

TRATAMIENTOS	VARIABLES CUANTITATIVAS							
	pH inicial	Turbidez inicial	pH			TURBIDEZ		
			Réplicas			Réplicas		
			R1	R2	R3	R1	R2	R3
T1	6,73	142	5,67	5,68	5,67	1,50	1,49	1,50
T2	6,73	142	7,6	7,57	7,59	1,98	1,99	2
T3	6,73	142	6,02	6,03	6,04	0,97	0,97	0,98
T4	6,73	142	7,55	7,57	7,59	1,87	1,8	1,76
T5	6,73	142	6,45	6,46	6,44	0,79	0,78	0,78
T6	6,73	142	7,6	7,57	7,59	0,89	0,9	0,98
T7	6,73	142	6,81	6,8	6,8	1,2	1,2	1,21
T8	6,73	142	7,9	7,94	7,98	0,9	0,99	1
T9	6,73	142	6,71	6,7	6,59	1,64	1,64	1,65
T10	6,73	142	8,25	8,28	8,3	1,98	1,91	1,9
T11	6,73	142	6,71	6,71	6,72	2,45	2,46	2,45
T12	6,73	142	8,2	8,8	8,35	1,64	1,64	1,65
T13	6,73	142	6,81	6,80	6,82	6,09	6,09	6,08
T14	6,73	142	8,2	8,1	8,15	6,10	6,2	6,19
T15	6,73	142	6,9	6,91	6,92	6,5	6,51	6,49
T16	6,73	142	8,25	8,22	8,29	6,54	6,59	6,51

**Fuente:** Investigación Experimental realizado en el laboratorio de aguas en la UG.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.2.6. Resultados del Análisis de varianza en función a las variables físicas de estudio.

##### 4.1.2.6.1. Análisis de varianza del pH.

**Tabla 27.** Adeva en función de la variable de estudio pH, del agua tratada.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: FACTOR A	5,86131	7	0,837331	119,44	0,0000
B: FACTOR B	25,9161	1	25,9161	3696,65	0,0000
C: RÉPLICAS	0,0082125	2	0,00410625	0,59	0,5629
INTERACCIONES					
AB	0,820981	7	0,117283	16,73	0,0000
RESIDUOS	0,210321	30	0,00701069		
TOTAL (CORREGIDO)	32,8169	47			

Nivel de confianza:  $p < 0,05$ .

**Fuente:** Programa estadístico Statgraphics.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

**Interpretación:** El análisis de varianza (ADEVA) en función del pH, en el agua tratada, expuesto en la tabla 27, indica que existe diferencia significativa en el factor A (dosis del coagulante policloruro de aluminio); factor B (dosis del floculante poliacrilamida aniónica) y en la interacción AB, mientras que en las réplicas no existe diferencia significativa. Esto indica que los diferentes tipos de dosificaciones de coagulante y floculante tienen un efecto significativo sobre el pH.

#### 4.1.2.6.2. Análisis de varianza de la turbidez (NTU).

**Tabla 28.** Adeva en función de la variable de estudio turbidez (NTU), del agua tratada.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: FACTOR A	217,547	7	31,0781	30357,16	0,0000
B: FACTOR B	0,129169	1	0,129169	126,17	0,0000
C: RÉPLICAS	0,0004875	2	0,00024375	0,24	0,7896
INTERACCIONES					
AB	2,52121	7	0,360174	351,82	0,0000
RESIDUOS	0,0307125	30	0,00102375		
TOTAL (CORREGIDO)	220,229	47			

Nivel de confianza:  $p < 0,05$ .

**Fuente:** Programa estadístico Statgraphics.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

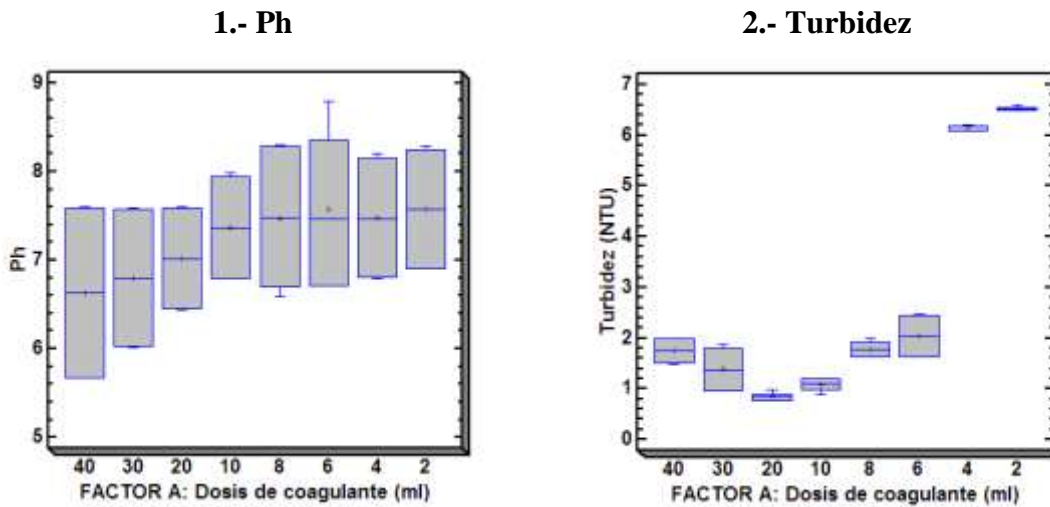
**Interpretación:** La tabla 28, muestra el análisis de varianza (ADEVA) del agua tratada en función de las unidades de turbidez nefelométrica (NTU), donde se observa que existe diferencia significativa en el factor A (dosis del coagulante policloruro de aluminio); factor B (dosis del floculante poliacrilamida aniónica) y en la interacción AB, mientras que en las réplicas no se encontró diferencia significativa. Esto indica que los diferentes tipos de dosificaciones de coagulante y floculante tienen un efecto significativo sobre la turbidez.

#### 4.1.2.7. Resultados de la prueba de significación (Tukey $p < 0,05$ ) en función a los análisis físicos del agua tratada.

##### 4.1.2.7.1. Resultados de las diferencias significativas encontradas en el factor A (dosis de del coagulante policloruro de aluminio).

Diferencias de medias entre los niveles ( $a_0$ : 40 ml;  $a_1$ : 30 ml;  $a_2$ : 20 ml;  $a_3$ : 10ml;  $a_4$ : 8ml;  $a_5$ : 6 ml;  $a_6$ : 4ml;  $a_7$ : 2ml) del factor A (dosis del coagulante policloruro de aluminio), mediante la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ), en las variables de estudio: 1.- Ph; 2.- Turbidez (NTU).

**Gráfico 37.** Diferencias de medias entre los niveles del factor A.



**Fuente:** Programa estadístico Statgraphics.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el gráfico 37 se presenta las diferencias significativas en los niveles del factor A, con un nivel de confianza del 95% con respecto a las variables de estudio pH y turbidez. En Ph, el mayor valor se obtuvo utilizando dosis de 2 ml o 6ml de coagulante (7,58), seguido de las dosis: 4ml (7,48); 8ml (7,47); 10ml (7,37); 20ml (7,02); 30ml (6,8) y el valor más bajo con dosis de 40ml (6,63). En turbidez se obtiene el valor más alto utilizando 2 ml de coagulante (6,52 NTU), seguido de las dosis 4ml (6,13 NTU); 6ml (2,04 NTU); 8ml (1,79 NTU); 40ml (1,74 NTU); 30ml (1,39 NTU); 10ml (1,08 NTU) y el valor más bajo con dosis de 20ml (0,85 NTU).

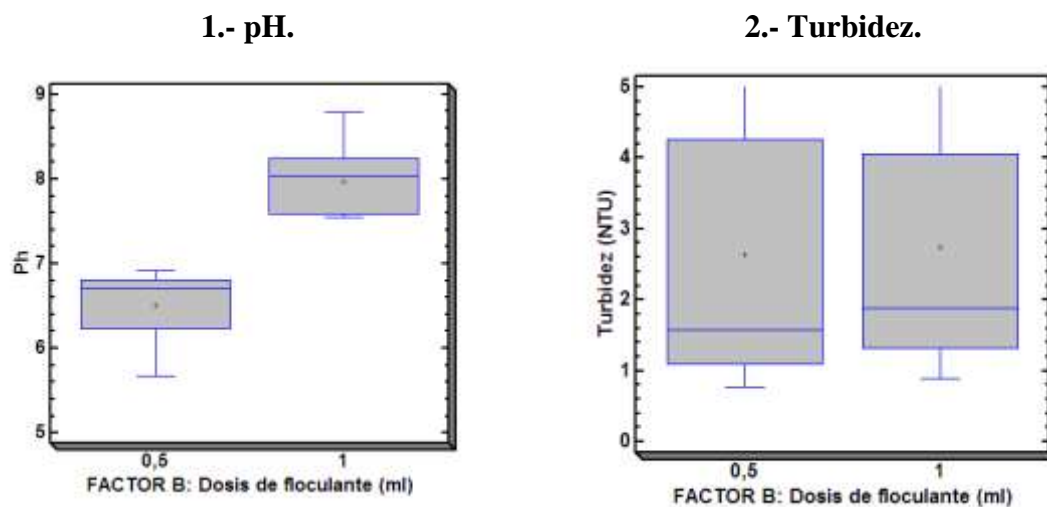
**Conclusión:** Con respecto al pH se concluye que utilizando cualquier tipo de dosis de coagulante se obtienen mejores respuesta, ya que se encuentra dentro de los parámetros permisibles de la norma INEN-1108. En relación a la turbidez se concluye que empleando dosis de 40 ml; 30 ml; 20 ml; 10 ml; 8ml; y 6ml, presentan resultados dentro del rango establecido por la norma antes mencionada (< 5 NTU).

**Recomendación:** Se recomienda utilizar como coagulante el policloruro de aluminio con una concentración madre del 0,5% y concentración hija de 50ppm (partes por millón), el cual es equivalente a una dosificación de 10 ml. Esta dosis fue determinada en base a la cantidad requerida de dosificación (a menor dosis menor costo de operación), valor de turbidez (1,08 NTU) y pH (7,37), los cuales son valores que están dentro de los parámetros permisibles en la norma INEN-1108.

#### 4.1.2.7.2. Resultados de las diferencias significativas encontradas en el factor B (dosis de del floculante poliacrilamida aniónica).

Diferencias de medias entre los niveles ( $b_0$ : 0,5 ml; y  $b_1$ : 1 ml), del factor B (dosis del floculante poliacrilamida aniónica), mediante la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) en las variables de estudio: 1.- pH; 2.- Turbidez (NTU).

**Gráfico 38.** Diferencias de medias entre los niveles del factor B.



**Fuente:** Programa estadístico Statgraphics.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

El gráfico 38, indica diferencias significativas en los niveles del factor B, con un nivel de confianza del 95% en relación a las variables de estudio: Con respecto al pH, se obtuvo mayor valor aplicando dosis de 1 ml (7,98) y menor valor utilizando 0,5 ml (6,51). En turbidez se obtiene el valor más alto empleando dosis de 1 ml de floculante (2,75 NTU) y el valor más bajo usando 0,5 ml (2,64 NTU).

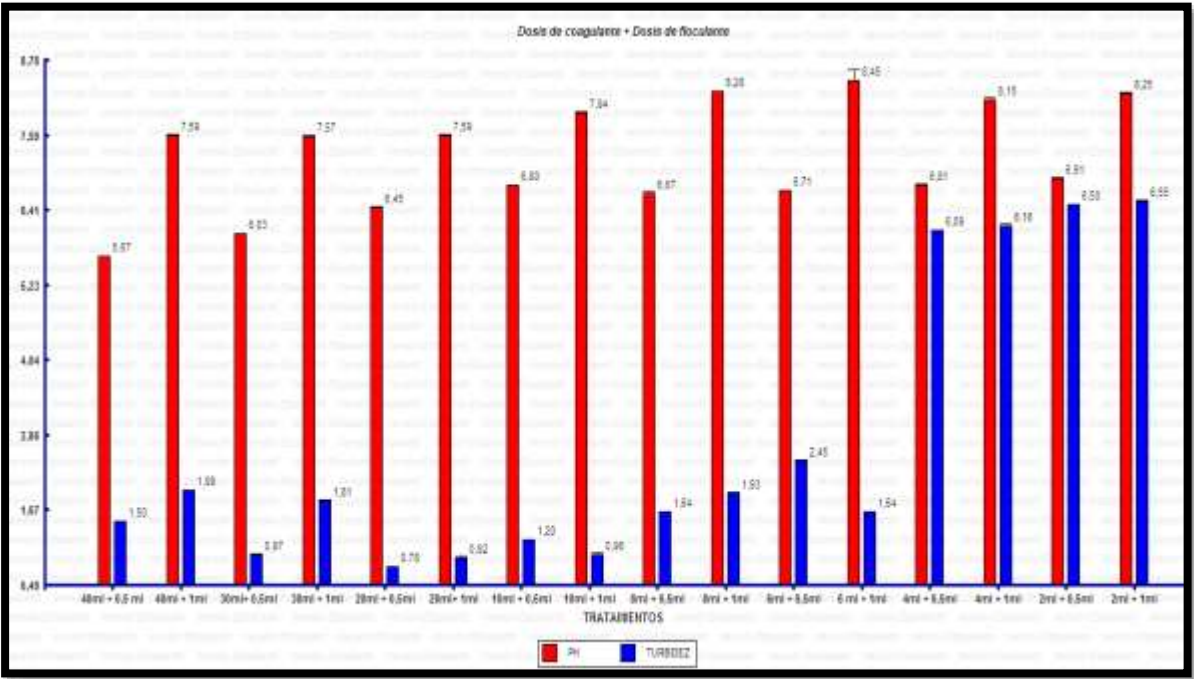
**Conclusión:** Se concluye que utilizando cualquier tipo de dosis de floculante (0,5 ml o 1 ml), muestran valores factibles tanto en pH como en turbidez, debido a que se encuentran dentro del rango establecido por la norma INEN-1108 (6,5 – 8,5 para pH) y ( $< 5$  NTU en turbidez).

**Recomendación:** Se recomienda aplicar dosis de 0,5 ml de poliacrilamida aniónica como floculante, debido al menor volumen requerido para el tratamiento de agua (menor dosis menor

costo de operación), presentando valores de turbidez (2,64 NTU) y pH (6,51), los cuales son valores que están dentro de los parámetros permisibles en la norma INEN-1108.

**4.1.2.8. Resultados en función a la interacción A\*B (dosis de coagulante\*dosis de floculante).**

**Gráfico 39.** Diferencias de medias entre los niveles de la interacción A\*B (dosis de coagulante\*dosis de floculante), mediante la prueba de tukey ( $p < 0,05$ ), en base a las variables de estudio: pH y turbidez.



**Fuente:** Programa estadístico InfoStat.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En el gráfico 39 se determina que el tratamiento 7 (combinación de 10ml de policloruro de aluminio + 0,5ml de poliacrilamida aniónica), presenta mejores resultados en comparación de los demás tratamiento. La dosis de coagulante y floculante se selecciona en base a 2 factores importantes: 1. Menor volumen de dosificación requerido para el tratamiento de agua (menor dosis, menor costo de operación) y 2. Los valores tanto del pH como turbidez se encuentran dentro de los parámetros permisibles de la norma INEN-1108.

#### 4.1.2.9. Rendimiento del proceso de tratamiento físico-químico.

Determinada las dosis óptimas de coagulante y floculante, mediante el tratamiento físico-químico a nivel laboratorio, se calcula el rendimiento obtenido, a partir de las variables de estudio.

$$\%_{\text{turbidez}} = \frac{\text{Turbidez}_o - \text{Turbidez}_f}{\text{Turbidez}_o} \times 100 \rightarrow \frac{142 - 1,20}{142} \times 100 \rightarrow \%_{\text{turbidez}} = \mathbf{99,15\%}$$

$$\%_{\text{pH}} = \frac{Ph_o - Ph_f}{Ph_o} \times 100 \rightarrow \frac{6,73 - 6,80}{6,73} \times 100 \rightarrow \%_{\text{pH}} = \mathbf{-1,04\%}$$

Se puede concluir que utilizando el tipo de dosis seleccionado, no presenta mayormente variaciones en pH, lo cual es factible debido a que se requiere agua con un pH neutro. Por otra parte en turbidez se obtiene el 99,15 % de partículas removidas, lo que hace que la dosificación determinada sea eficaz y eficiente en el tratamiento físico-químico del agua residual.

Mediante este ensayo se puede determinar que no es necesario continuar con procesos biológicos en la siguiente fase (tratamiento secundario), ya que en esta, se obtienen óptimos resultados. En base a esto se procede a efectuar un análisis químico de conductividad eléctrica, dureza y alcalinidad para constatar que el agua tratada está apta para ser reutilizada en el proceso de los rodillos engomadores en el área de corrugación.

En el Anexo 14, se puede observar los resultados obtenidos del análisis químico del agua tratada, otorgado por el laboratorio acreditado de aguas petróleo y medio ambiente de la facultad de ingeniería química en la universidad de Guayaquil. Obteniendo resultados positivos con respecto a la calidad de agua que se obtuvo mediante el ensayo de test de jarras.

### **4.1.3. Desarrollo de un análisis técnico del sistema a diseñar, que esté acorde a la calidad del agua que se requiere para su reutilización.**

#### **4.1.3.1. Etapas del sistema de tratamiento de agua residual.**

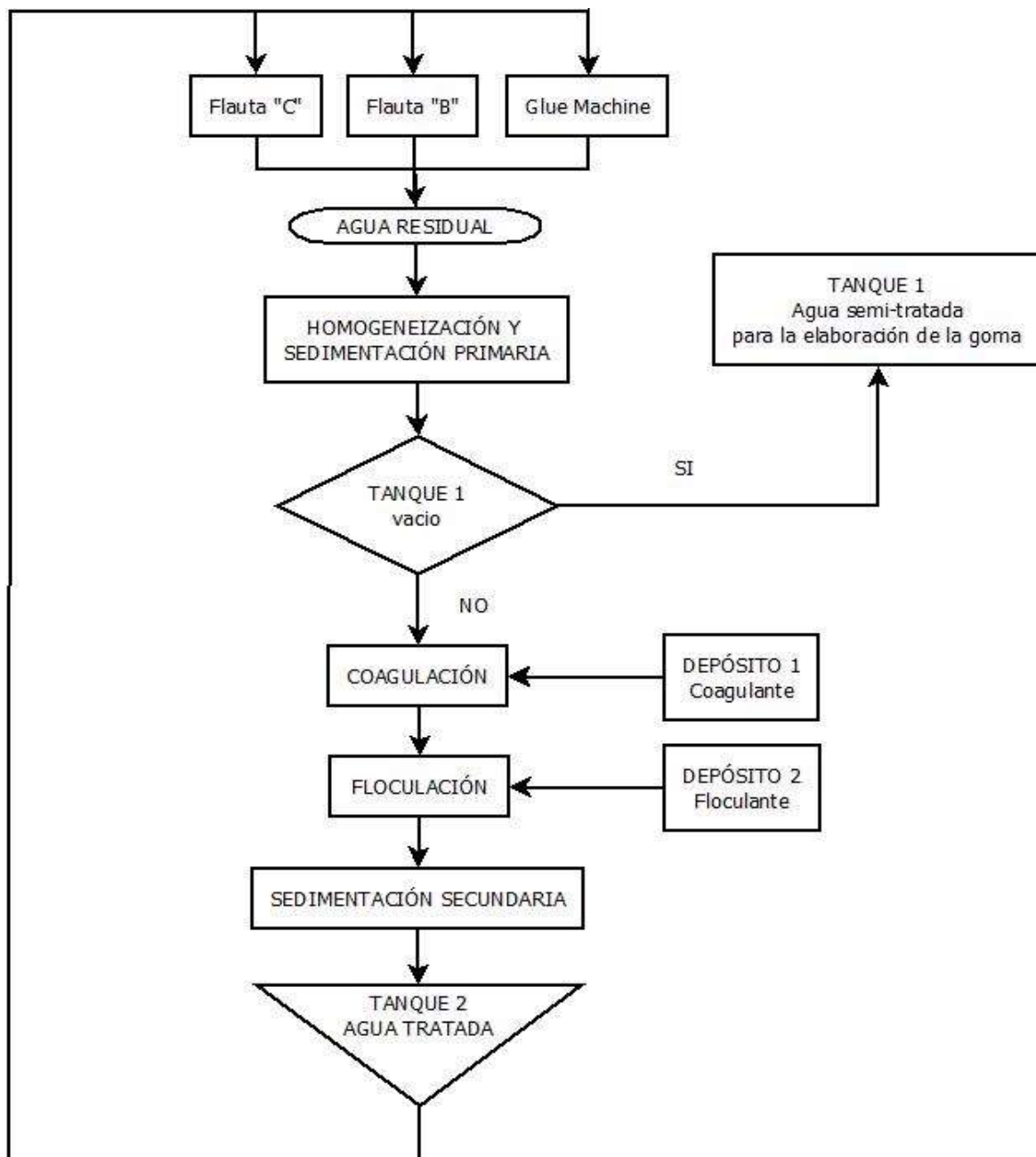
El sistema de tratamiento de agua residual industrial, está conformado por un conjunto de etapas y operaciones unitarias. Su selección se basa a criterios económicos, técnicos y a varios factores según la autora Farías, Bettys [11]. Tales como:

- **Características del agua a tratar:** Mediante la relación DBO/DQO, la cual se obtuvo un valor de 0.49, se pudo determinar que el tipo de sistema a tratar es físico-químico.
- **Caudal de agua a tratar:** Las etapas y equipos seleccionados deben de resistir al caudal a tratar 26 lt/min ( $38 \text{ m}^3/\text{dia}$ ), valor obtenido mediante el estudio de campo realizado.
- **Calidad del agua requerida para su reutilización:** Calidad del agua que se requiere para la elaboración de la goma y en la máquina corrugadora (Llave abierta en los rodillos engomadores para que no se solidifique la goma).
- **Simulación a nivel de laboratorio:** Mediante el test de jarra se pudo determinar la dosificación óptima de coagulante y floculante, obteniendo un rendimiento del 99,15% en cuanto a la turbidez (remoción de sólidos en suspensión). Donde significa que no es necesario pasar a la siguiente etapa (filtración).
- **Clima:** La temperatura es uno de los factores que no interfieren en el diseño del tanque de sedimentación primaria, en el desarrollo de esta investigación, debido al clima que presenta Guayaquil. En lugares de clima frío, si afecta la velocidad de sedimentación, reduciendo la eficiencia del proceso.
- **Distribución física de los elementos del sistema de tratamiento:** El área que dispone la empresa para el sistema propuesto es de 13 m de largo x 5 m de ancho, es decir cuenta con un área de  $65 \text{ m}^2$ .

- **Costos de ingeniería:** Optimización de los procesos, recursos para el funcionamiento del sistema y beneficios de la propuesta.

En el gráfico 40 se muestra las etapas que conforma el sistema de tratamiento de agua residual a proponer, señalando las áreas donde se requiere reutilizar el agua tratada.

**Gráfico 40.** Etapas del sistema de tratamiento de agua residual proveniente del área de corrugación.



**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

### 4.1.3.2. Cálculo de la instalación.

#### 4.1.3.2.1. Tanque de homogeneización y sedimentación primaria (Pre-tratamiento).

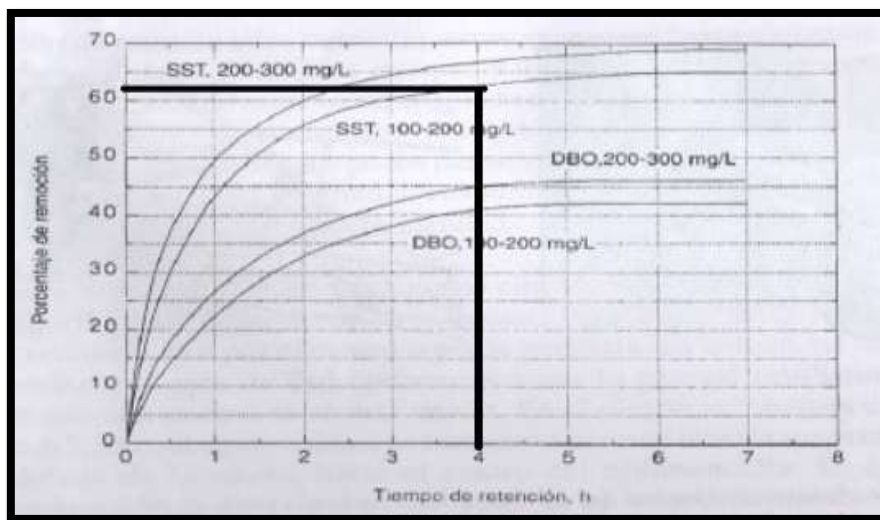
Existen diversas operaciones unitarias en esta etapa tales como: el tamizado, desbaste, cribado, desarenador, homogeneización y sedimentación. Debido a las características físicas que presenta el agua a tratar (partículas sólidas flotantes y sedimentables), se selecciona la homogeneización con el objetivo de regular las variaciones del caudal y de homogeneizar el agua residual que proviene de los rodillos engomadores y del hidrolavado de tuberías; al mismo tiempo realiza el proceso de sedimentación por rebose ya que este tanque se diseña con 3 compartimientos los cuales se llenan por rebose.

El parámetro principal para dimensionar el tanque de sedimentación primaria se basa en el tiempo de retención. [33].

- **Tiempo de retención.**

Es el lapso de tiempo que el agua residual se encuentra en el tanque de sedimentación. Según el gráfico 41, presenta que con un tiempo de retención de 4 horas se remueve aproximadamente el 63% de sólidos suspendidos totales (SST).

**Gráfico 41.** Porcentaje de remoción de SST vs al tiempo de retención.



**Fuente:** Libro WasteWater Engineering Treatment and reuse.

Donde el volumen total del tanque de homogeneización se calcula mediante la ecuación:

**EC: 10**

$$V_{TH} = Q_{AR} \times t$$

$$V_{TH} = 26 \text{ lt/min} \times 240 \text{ min}$$

$$V_{TH} = 6240 \text{ lt} \approx (6,24 \text{ m}^3)$$

**Donde:**

- $V_{TH}$  = Volumen del tanque homogeneizador. (lt).
- $Q_{AR}$  = Caudal del agua residual a tratar. (lt/min).
- $t$  = tiempo. (minutos).

Con el fin de sobredimensionar el equipo, se toma como referencia un factor de seguridad del 20%, el cual se obtiene un sedimentador primario con una capacidad de **7,5 m<sup>3</sup>**, equivalente a 7500 lt. Este, se encuentra dividido en 3 compartimientos (tanque 1 (25%); tanque 2 (25%); tanque 3 (50%)).

El tanque 1 con una capacidad de 1875lt donde llega el agua residual de los rodillos engomadores e hidrolavado de tuberías, por rebose pasa el agua al tanque 2 que tiene una capacidad de 1875lt; por lo consiguiente pasa al tanque 3 que tiene una capacidad de 3750lt, los cuales se llenan por rebose permitiendo que los sólidos de mayor tamaño se queden en los primeros tanques.

• **Dimensiones:**

Se propone una relación de largo/ancho de 4 a 1, debido al área que dispone la empresa, para la distribución de los elementos que conforman el sistema y una profundidad de 2m (valor recomendado según [33]). Entonces se obtiene las siguientes dimensiones:

**EC:11**

$$V_{TH} = (l)(a)(p)$$

$$7,5 \text{ m}^3 = (4a)(a)(2m)$$

$$\frac{7,5 \text{ m}^3}{2\text{m}} = 4a^2$$

$$0,9375 \text{ m}^2 = a^2$$

$$\sqrt{0,9375 \text{ m}^2} = a$$

$$a = 0,9682 \text{ m}$$

**EC:12**

$$l = 4a$$

$$l = 4 (0,9682\text{m})$$

$$l = 3,87 \text{ m}$$

**Donde:**

- $V_{TH}$  = Volumen del tanque homogeneizador incluido el factor de seguridad. ( $\text{m}^3$ )
- $l$  = largo del tanque homogeneizador. (m)
- $a$  = ancho del tanque homogeneizador. (m)
- $p$  = profundidad del tanque homogeneizador. (m)

Por lo tanto las dimensiones del tanque homogeneizador será de:

- Largo = 4 m
- Ancho = 1 m
- Profundidad = 2m

#### **4.1.3.2.2. Tanques para realizar el tratamiento físico-químico.**

Esta fase tiene el objetivo de aumentar el porcentaje de remoción de los sólidos en suspensión (turbidez), para mejorar la calidad del agua. Consta de 3 etapas (Coagulación, floculación y sedimentación).

#### 4.1.3.2.2.1. Etapa 1: Coagulación.

Proceso de mezcla rápida del agua que sale del sedimentador primario y el coagulante seleccionado (PAC), con el objetivo de desestabilizar y aglomerar las partículas coloidales (concentración de materia orgánica y microorganismos).

La energía de mezclado para producir la agitación puede ser mecánica o hidráulica, en esta propuesta se selecciona los mezcladores hidráulicos estáticos, debido a que presentan varias ventajas: no requieren de energía eléctrica para su funcionamiento, son óptimos para sistemas de tratamientos con bajos caudales, sus costos de instalación son bajos, mantenimiento sencillo y económico.

- **Dimensionamiento del mezclador estático.**

Para poder determinar el diámetro y longitud del mezclador estático, es de suma importancia conocer las características físicas de los 2 fluidos a mezclar, como se observa en la tabla 29. Los cálculos de estos valores se pueden apreciar en el Anexo 15:

**Tabla 29.** Características físicas de los fluidos a mezclar (agua a tratar y PAC).

FLUIDOS	CARACTERÍSTICAS		
	VISCOSIDAD DINÁMICA (Kg/m.sg) = (Pa.s)	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
AGUA RESIDUAL	$7,65 \times 10^{-4}$	1000	$4,398 \times 10^{-4}$
COAGULANTE (Policloruro de aluminio)	0,04	1200	$4,333 \times 10^{-6}$

**Fuente:** Cálculos realizados (anexo 15).

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Para determinar las dimensiones, es necesario realizar los siguientes cálculos:

- **El número de Reynolds (Re):**

Es un valor adimensional, el cual determina si el flujo es turbulento o laminar, utilizando la ecuación 3:

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

**Donde:**

- $\rho$  = Densidad del fluido que contiene mayor caudal ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).
- D= Diámetro nominal de la tubería (m). Anexo 16.
- v= Velocidad entrante al mezclador estático (m/s) Anexo 17.
- $\mu$  = Viscosidad dinámica del agua a tratar, ya que la cantidad de coagulante a añadir es insignificante a comparación de la cantidad de agua a tratar, por lo tanto se desprecia. (Pa.s) (Pascal por segundo).

**Entonces:**

$$Re = \frac{(1000)(0,56)(0,031)}{7,65 \times 10^{-4}}$$

$$Re = 22692,81$$

El flujo que ingresa al mezclador estático es turbulento, debido a que el número de Reynolds es mayor a 2 000. Por otra parte, el número de elementos requeridos es 6, según el gráfico 42.

**Gráfico 42.** Números de elemento requeridos en función del número Reynolds.

Numero Reynolds	Elementos requeridos
> 1000	6
500 a 1000	12
10 a 500	1
< 10	24

Fuente: Catálogo NOVATEC.

- **Longitud del mezclador estático.**

La longitud del mezclador estático se selecciona en función al diámetro de la tubería principal y el número de elementos, entonces: según el catalogo NOVATEC (Gráfico 43), la longitud es de 24" (24 pulgadas) equivalente a **0,6 m**.

**Conversión a (Kg/m<sup>3</sup>)**

$$24 \text{ in} \times \frac{2,540 \text{ cm}}{\text{in}} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0,6 \text{ m}$$

**Gráfico 43.** Especificaciones técnicas del mezclador estático en función del diámetro de la tubería y la longitud.

MODELO	A (SCH 40)	L (INCH)			CONEXIÓN			No. DE ELEMENTOS INTERNOS POR FT
					ROSCA	BRIDA	SANITARIO	
MX - 075	3/4"	12	18	24	3/4"NPT	3/4" SO	3/4"CLAMP	12
MX - 100	1 1/4"	12	18	24	1"NPT	1" SO	1"CLAMP	6
MX - 150	1 1/2"	12	18	24	1 1/2"NPT	1 1/2" SO	1 1/2"CLAMP	6
MX - 200	2"	12	18	24	2"NPT	2" SO	2"CLAMP	6
MX - 300	3"	12	18	24	3"NPT	3" SO	3"CLAMP	4
MX - 400	4"	12	18	24	4"NPT	4" SO	4"CLAMP	3
MX - 600	6"	-	25	50	6"NPT	6" SO	-	2
MX - 800	8"	-	25	50	8"NPT	8" SO	-	1.5

Fuente: Catálogo NOVATEC.

- **Número de Froude (Fr).**

El número Froude es un valor adimensional que relaciona las fuerzas de inercia con las fuerzas de gravedad que influyen sobre un fluido, por otra parte mediante este principio se puede determinar la posición del mezclador estático, para su rendimiento óptimo. [39]. Dando las siguientes condiciones:

- Si el número de Fr es  $\geq 20$  la posición es horizontal.
- Si el número de Fr es  $\leq 20$  la posición es vertical. [39].

**EC: 13** 
$$Fr = \frac{(\rho) (v^2)}{(\Delta\rho)(D)(g)}$$

**Donde:**

- $\rho$  = Densidad del coagulante a utilizar (policloruro de aluminio), ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ). Tabla 29
- $v$  = Velocidad entrante al mezclador estático, (m/s). Anexo 17.
- $\Delta\rho$  = Diferencia de densidades del coagulante y el agua residual ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ). Tabla 29
- $D$  = Diámetro de la tubería, (m).
- $g$  = Gravedad ( $9,8 \text{ m}/\text{s}^2$ ). [39].

$$Fr = \frac{(1200) (0,56)^2}{(1200-1000)(0,031) (9,8)}$$

**Fr= 6,2**

Ya que el número de Fr es menor a 20, la posición óptima para instalar el mezclador estático es vertical.

#### 4.1.3.2.2.2. Etapa 2: Floculación.

Proceso de mezcla lenta de agua coagulada y floculante, con el objetivo de formar flóculos de mayor tamaño y peso, para que estos puedan ser sedimentados con mayor facilidad y menor tiempo. La energía de mezclado para producir la agitación puede ser mecánica o hidráulica. En esta propuesta se selecciona los floculadores mecánicos debido a que los hidráulicos presentan parámetros de diseños para caudales altos (mayores a  $100 \text{ m}^3/\text{diarios}$ ).

- **Dimensionamiento del tanque de floculación.**

Una vez realizada la mezcla rápida en el mezclador estático, esta se alimenta al tanque de floculación donde se dosificará 0,5 ml de floculante (poliacrilamida aniónica) por cada litro de agua coagulada. Para calcular el volumen óptimo del tanque, se basa en el tiempo de retención del mismo. Mediante el método experimental se determinó un tiempo de retención recomendable de 15 minutos equivalente a 900 segundos. Para calcular el volumen se lo realiza mediante la ecuación 2:

$$V = (Q) (t)$$

**Donde:**

- V= volumen del tanque de floculación ( $\text{m}^3$ ).
- Q= Caudal de diseño + caudal del coagulante ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), se deprecia el caudal del floculante ya que es solo de 0,5ml por cada litro de agua coagulada. (anexo 16).
- t = tiempo de retención (s).

$$V = (4,398 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} + 4,333 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}) (900 \text{ s})$$

$$V = 0,4 \text{ m}^3$$

más un factor de seguridad del 20%

$$V = 0,48 \text{ m}^3$$

- **Selección del mezclador mecánico de floculación.**

La selección del mezclador mecánico se basa en función de la velocidad requerida para el proceso de floculación, es decir las revoluciones por minutos (rpm), dato que se obtuvo mediante el test de jarras dando un valor de 40 rpm.

**Gráfico 44.** Especificaciones técnicas del floculador en función de las rpm requeridas.



**Fuente:** Catálogo NOVATEC.

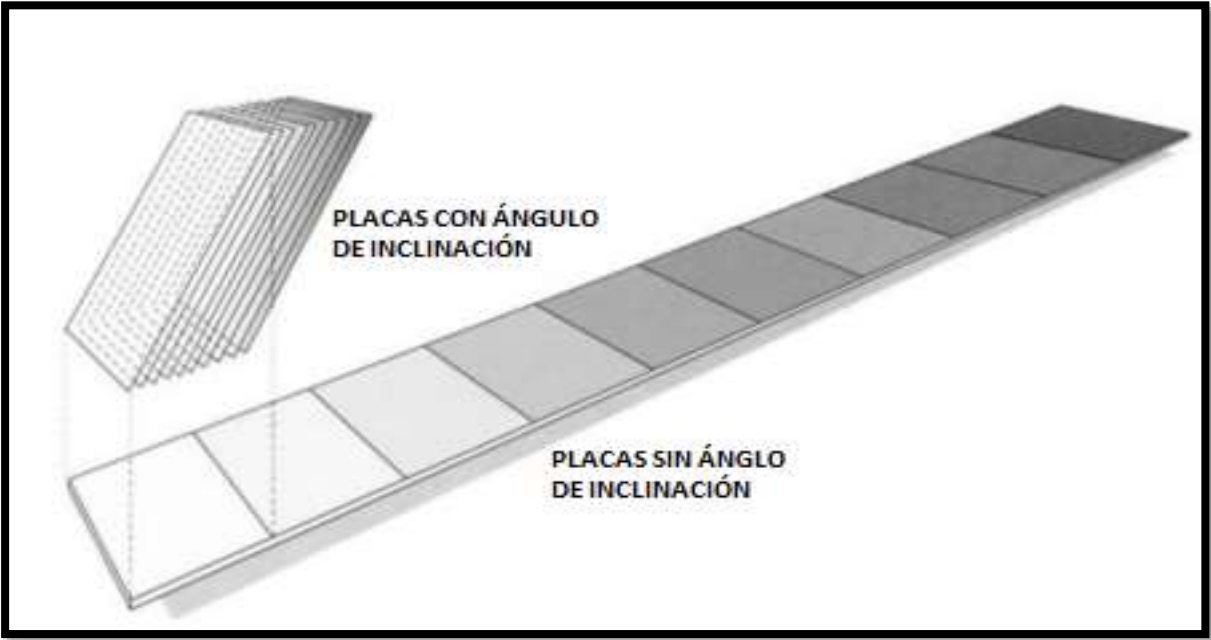
#### **4.1.3.2.2.3. Etapa 3: Sedimentación secundaria.**

La sedimentación es la última etapa del tratamiento físico-químico, se basa en la precipitación de los flóculos formados durante el proceso de floculación, los cuales se precipitan en el fondo del sedimentador formando lodos. Por la parte superior se obtiene la salida del agua tratada.

Existen 2 tipos de sedimentadores para realizar dicho proceso: sedimentadores laminares de placas inclinadas y sedimentadores convencionales.

El área superficial de los sedimentadores laminares de placas inclinadas es la sumatoria del área de cada placa (placas con ángulo de inclinación), de igual manera para los sedimentadores convencionales con la diferencia que sus placas carecen de ángulo de inclinación [37], como se puede observar en el siguiente gráfico:

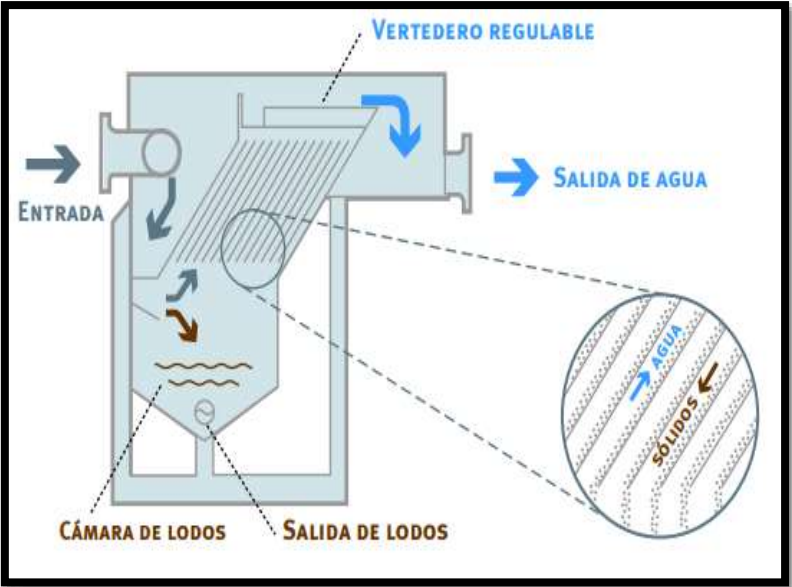
**Gráfico 45.** Comparación del área superficial de un sedimentador con placas inclinadas y un convencional.



Fuente: E, Martínez y J, Estrada.

Con el fin de optimizar espacio en la instalación de dichos elemento que conforman el sistema de tratamiento de agua residual, se selecciona el sedimentador laminar de placas inclinadas.

**Gráfico 46.** Sedimentador secundario con placas inclinadas.



Fuente: Catálogo NOVARSA.

Para su elección se toma como referencia el caudal que sale del proceso de floculación, como la dosificación del floculante es depreciable, debido a su mínimo flujo, se toma el caudal de la salida del mezclador estático ( $4,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ). Mediante el gráfico 47, se selecciona el modelo del sedimentador secundario.

### Conversión a ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$$4,44 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Gráfico 47.** Especificaciones técnicas del sedimentador con placas inclinadas.

Modelo	Area de sedimentación (1)	Caudal $\text{m}^3/\text{h}$ (2)		Peso en op.
		Min.	Max.	Kg
<b>SPI-5/6</b>	<b>1,5</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2.000</b>
SPI-10/6	10	6	25	3.600
SPI-20/12	20	12	50	5.100
SPI-30/12	30	19	75	7.300
SPI-40/12	41	25	100	9.500
SPI-50/12	51	31	125	11.700
SPI-60/12	61	37	150	13.900
SPI-70/12	71	44	175	16.000
SPI-80/24	81	50	200	17.300
SPI-100/24	102	62	249	21.500

Fuente: Catálogo NOVARSA.

- **Dimensionamiento del sedimentador secundario.**

Las dimensiones se encuentran establecidas en el plano emitido por NOVARSA (empresa donde se realiza la cotización del mismo), como se puede observar en el anexo 18. Por lo tanto las dimensiones del tanque homogeneizador será de:

Largo = 1,52 m

Ancho = 1,03 m

Profundidad = 1,74 m

#### **4.1.3.2.3. Tanques de almacenamiento del agua tratada.**

El sistema propuesto está conformado por 2 tanques que sirven como almacenamiento del agua tratada.

##### **4.1.3.2.3.1. Tanque 1 (Agua semi-tratada).**

Este tanque sirve para almacenar agua que se requiere para la elaboración de la goma, procedente del pre-tratamiento (tanque de homogeneización y sedimentación primaria). El lugar de instalación se encuentra en la planta alta (departamento de goma), aproximadamente a 4 metros de altura de la superficie.

- **Capacidad del tanque.**

La capacidad se basa a la demanda de agua que se requiera por cada turno, la Industria CARTOPEL produce las 24 horas del día, por ende consta de 3 turnos diarios. En la tabla 22, se puede apreciar que el mayor consumo de agua al día es de  $19,2 m^3$ , donde se deduce que por cada turno se consume  $6,4 m^3$  ( $19,2 m^3 / 3$  turnos).

Según Revista Corrugando, es recomendable utilizar solo el 50% de agua semi-tratada para la elaboración de goma, con el fin de no alterar la calidad de la goma debido a sustancias químicas (coagulantes y floculantes). Es por ello que el tanque se diseña con una capacidad de  $3,2 m^3$ .

#### **Conversión a litros**

$$3,2 m^3 \times \frac{1000 \text{ lt}}{m^3} = 3200 \text{ lt}$$

##### **4.1.3.2.3.2. Tanque 2 (Agua tratada).**

Este tanque sirve para almacenar el agua tratada procedente del proceso de sedimentación secundaria. El llenado del tanque se lo realiza por rebose.

- **Capacidad del tanque.**

Su volumen será la misma capacidad que tiene el tercer compartimiento del tanque de sedimentación primaria por rebose, debido a que el agua tratada retorna inmediatamente a los rodillos engomadores en el área de corrugación, formando un sistema cerrado. Donde la capacidad será de 3750lt aproximadamente **4000 lt.**

Las dimensiones de ambos tanques se basan al catálogo de Rotoplast. (Anexo 19).

**Tabla 30.** Dimensiones de los tanques de almacenamiento de aguas tratadas.

<b>DIMENSIONES</b>	<b>TANQUE 1</b>	<b>TANQUE 2</b>
<b>Diámetro</b>	256 cm	222 cm
<b>Altura</b>	297 cm	231 cm
<b>Espesor del tanque</b>	3,23 cm	3,23 cm

**Fuente:** Catálogo de Rotoplast.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### **4.1.3.2.4. Diseño de depósitos.**

##### **4.1.3.2.4.1. Depósito 1: Coagulante.**

Para la dosificación del policloruro de aluminio (coagulante), es necesario el dimensionamiento de un depósito para el almacenamiento de la disolución y posteriormente sea bombeada mediante una bomba dosificadora al mezclador estático (proceso donde se realiza la etapa de coagulación). El agua residual a tratar es de 38000 litros/diario, en donde 8500 litros/diario se envía al departamento de goma para que sea reutilizada, entonces la cantidad de agua que entra al proceso de coagulación es de  $(38000\text{lt} - 8500\text{lt} = 29500\text{lt})$ . Si se requiere de 10ml de solución de coagulante por cada litro de agua a tratar, entonces el volumen de coagulante que se requiere diariamente es de  $29500 \times 10\text{ml} = \mathbf{295 \text{ l/diario}}$ .

Dimensionando el depósito para que tenga una autonomía de 5 días (tiempo recomendado, ya que si es mayor tiempo la disolución tiende a desestabilizarse y perder sus propiedades), el volumen del depósito será de:

$$295000 \text{ ml} \times 5 \text{ dias} = 1475 \text{ litros} \approx \mathbf{1,48 \text{ m}^3}$$

#### 4.1.3.2.4.2. Depósito 2: Flocculante.

Para la dosificación de la poliacrilamida aniónica (floculante), es necesario el dimensionamiento de un depósito para el almacenamiento de la misma, posteriormente sea bombeada mediante una bomba dosificadora al tanque de floculación. La cantidad de agua que entra al proceso de floculación es de 29500lt. Si se requiere de 0,5ml de floculante por cada litro de agua a flocular, entonces el volumen de floculante que se requiere diariamente es de  $29500 \times 0,5\text{ml} = \mathbf{14,75 \text{ l/diario}}$ .

Dimensionando el depósito para que tenga una autonomía de 5 días (tiempo recomendado, ya que si es mayor tiempo la disolución tiende a desestabilizarse y perder sus propiedades), el volumen del depósito será de:

$$14750 \text{ ml} \times 5 \text{ dias} = 71,75 \text{ litros} \approx \mathbf{0,07 \text{ m}^3}$$

En el anexo 20 se puede apreciar las especificaciones técnicas de los depósitos seleccionados, con sus respectivas dimensiones y costos. En la tabla 31 se resume, las dimensiones de los depósitos tanto del coagulante como floculante.

**Tabla 31.** Dimensiones de los depósitos de almacenamiento de químicos.

DIMENSIONES	DEPÓSITO 1	DEPÓSITO 2
<b>Diámetro</b>	105 cm	46 cm
<b>Altura</b>	135 cm	46 cm

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.2.5. Tuberías.

Las tuberías son conductos que sirven para transportar el agua residual y los reactivos químicos (coagulante y floculante), a los equipos que intervienen en el sistema de tratamiento de agua propuesto. Los elementos que intervienen en el proceso del tratamiento físico-químico, el transporte de agua de un equipo a otro se lo realiza por rebose.

Las tuberías necesarias, se detallan a continuación en la tabla 32:

**Tabla 32.** Función de las tuberías que intervienen en el sistema de tratamiento de agua propuesto.

TUBERIAS	FUNCION
1	Conducción del agua residual industrial procedente del tanque de sedimentación primaria por rebose, al tanque 1 en el cuarto de goma.
2	Conducción del agua residual industrial procedente del tanque de sedimentación primaria, al mezclador estático (proceso de coagulación).
3	Conducción de la dosis de coagulante procedente del depósito 1 (tanque que contiene disolución del policloruro de aluminio), al mezclador estático (proceso de coagulación).
4	Conducción de la dosis de floculante procedente del depósito 2 (tanque que contiene disolución de poliacrilamida aniónica), al floculador hidráulico (proceso de floculación).
5	Conducción del agua tratada al área de corrugación (FC; FB; GM).

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

##### 4.1.3.2.5.1. Diámetro óptimo de las tuberías.

Para determinar el diámetro óptimo de las tuberías que intervienen en el sistema, se considera una velocidad promedio recomendada de 0,6 m/s para líquidos menos viscosos (agua residual industrial) y de 0,1 m/s para aquellos líquidos de mayor viscosidad (fluido del coagulante y

floculante) basadas en el libro [40]. En el anexo 16, se puede apreciar los cálculos de diámetros de tuberías, en donde los resultados obtenidos, se aproxima al valor más cercano del diámetro nominal estipulado por la norma INEN 2415.

**Tabla 33.** Resumen de los cálculos del diámetro óptimo para cada tubería que interviene en el sistema propuesto.

TUBERIAS	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD RECOMENDADA (m/s)	SECCIÓN DE LA TUBERÍA (m <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (pulgadas)	DIÁMETRO NOMINAL según las NTE INEN 2415 (pulgadas)
1	0,000433	0,6	0,000722	1,19	<b>1 1/4</b>
2	0,000433	0,6	0,000722	1,19	<b>1 1/4</b>
3	0,000004	0,1	0,000043	0,29	<b>1/2</b>
4	0,000000	0,1	0,000002	0,07	<b>1/2</b>
5	0,000304	0,6	0,000507	1,00	<b>1</b>

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.2.5.2. Material de las tuberías.

El material que se selecciona para las tuberías es de acero galvanizado, ya que el policloruro de aluminio (coagulante), tiende ser medio corrosivo como se puede observar en la ficha técnica del mismo. El acero galvanizado tiene como propiedad de ser resistente a fluidos semi-corrosivos y es más económico que el acero inoxidable.

En cuanto al espesor de cada tubería, se recomienda operar con número de cédula de 40 según las normas ASTM A53. Para la tubería 5 el material es de tipo PVC ya que transporta agua tratada.

En la tabla 34, se presenta el tipo de material para cada tubería, el diámetro nominal, los accesorios, la longitud estimada en función de la distancia que se encuentran los equipos y área disponible en la empresa para su distribución.

**Tabla 34.** Especificaciones técnicas de las tuberías que intervienen en el sistema propuesto.

TUBERIAS	MATERIAL	DIÁMETRO (pulgadas)	LONGITUD (m)	ACCESORIOS	
				CODOS	T
1	ACERO GALVANIZADO	1 1/4	11	4	1
2	ACERO GALVANIZADO	1 1/4	3	2	0
3	ACERO GALVANIZADO	1/2	6	2	0
4	ACERO GALVANIZADO	1/2	6	3	0
5	PVC	1	19	2	3

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.2.6. Cálculo de pérdidas de cargas totales en las tuberías ( $h_A$ ).

Consta de 3 factores: pérdidas por fricción en tuberías, pérdidas por los accesorios (válvulas, codos, t, ente otros) y cargas estáticas totales. La sumatoria de estos factores da como resultado pérdidas de cargas totales en las tuberías.

**EC: 14**

[22].

$$h_A = h_f + h_L + h_E$$

##### 4.1.3.2.6.1. Pérdidas por fricción en tuberías ( $h_f$ ).

Las pérdidas de cargas por fricción también conocida como pérdida de carga hidráulica en las tuberías, se calcula mediante la ecuación de Darcy Weisbach.

**EC: 15**

[22].

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

**Donde:**

- hf= Pérdida de presión o pérdida de carga hidráulica (m).
- f= factor de fricción. (adimensional)
- L= Longitud de la tubería. (m)
- D= Diámetro nominal de la tubería.
- v= velocidad del fluido que circula en la tubería (m/s)
- g= gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).

Para proceder con el cálculo mediante la ecuación de Darcy Weisbach, es necesario calcular el número de Reynolds para cada tubería, indicando si el flujo que transporta dicha tubería es laminar o turbulento. El número de Reynolds se lo calcula mediante la ecuación 3:

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

**Donde:**

- $\rho$  = Densidad del fluido que contiene mayor caudal (Kg/m<sup>3</sup>).
- D= Diámetro nominal de la tubería (m). Anexo 16.
- v= Velocidad del fluido (m/s) Anexo 17.
- $\mu$  = Viscosidad dinámica del agua a tratar, ya que la cantidad de coagulante a añadir es insignificante a comparación de la cantidad de agua a tratar, por lo tanto se desprecia. (Pa.s) (Pascal por segundo).

La tabla 35 representa el cálculo del número de Reynolds, en función a los datos que se requiere para calcular en cada tubería, utilizando la ecuación 3:

Ejemplo del cálculo de la tubería 1:

$$Re = \frac{(1000)(0,6) (0,032)}{0,000765}$$

$$Re = 24902$$

- Si  $Re < 2100$  el flujo es laminar.
- Si  $Re > 2100$  el flujo es turbulento.

**Tabla 35.** Número de Reynolds de cada tubería que interviene en el sistema a diseñar.

TUBERIAS	DENSIDAD DEL FLUIDO ( $\rho$ ) (kg/m <sup>3</sup> )	VISCOSIDAD DINÁMICA DEL FLUIDO (Pa . s)	VELOCIDAD RECOMENDADA (m/s)	DIÁMETRO NOMINAL (m)	NÚMERO DE REYNOLDS (Re)	DESCRIPCIÓN
1	1000	0,000765	0,6	0,032	24902,0	FLUJO TURBULENTO
2	1000	0,000765	0,6	0,032	24902,0	FLUJO TURBULENTO
3	1200	0,04	0,1	0,013	38,1	FLUJO LAMINAR
4	1200	0,04	0,1	0,013	38,1	FLUJO LAMINAR
5	1000	0,000765	0,6	0,025	19921,6	FLUJO TURBULENTO

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

- **Factor de fricción ( $f$ ).**

Una vez determinado el número de Reynolds en cada tubería, se puede calcular el factor de fricción ( $f$ ), dato que se requiere para utilizar la ecuación de Darcy. El factor de fricción es un parámetro adimensional y varía dependiendo al tipo de flujo (laminar o turbulento ( $Re$ )).

**Si el flujo es laminar, el factor de fricción se calcula mediante la siguiente ecuación:**

**EC: 16** 
$$f = \frac{64}{Re}$$
 [22].

**Como es el caso de la tubería 3 y 4, entonces:**

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{38,1} = 1,68$$

**Si el flujo es turbulento, el factor de fricción se calcula mediante el diagrama de Moody:**

Para utilizar el diagrama Moddy, es necesario calcular la rugosidad relativa ( $\epsilon$ ), mediante la siguiente ecuación ( $k/D$ ), donde  $k$  es una constante que depende del material de la tubería en

este caso, existen 2 tipos de materiales: las tuberías 1 y 2 son de acero galvanizado, donde  $k = 0,15\text{mm}$ , mientras que la tubería 5 es de PVC, donde  $k = 0,0015\text{mm}$ . Estos valores se reflejan en el Anexo 21.

### Tubería 1 y 2

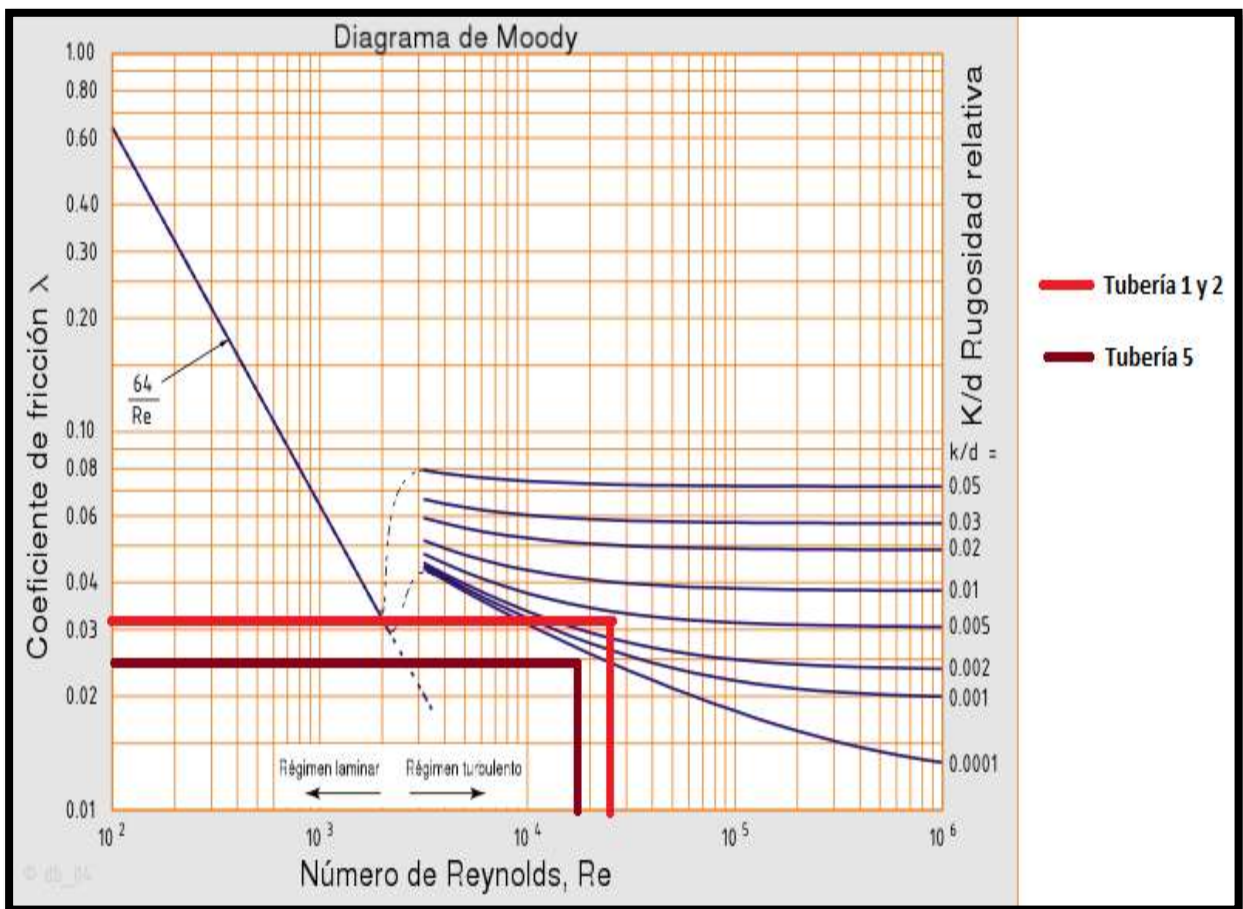
EC: 17 [22]. 
$$\epsilon = \frac{k}{D} = \frac{0,00015\text{m}}{0,03\text{m}} = 0,0049$$

### Tubería 4

$$\epsilon = \frac{k}{D} = \frac{0,0000015\text{m}}{0,025} = 0,00005$$

Los valores de la rugosidad relativa ( $\epsilon$ ), se encuentran a la derecha del gráfico 48, y en función de los números de Reynolds ( $Re$ ), se obtiene el valor del coeficiente de fricción ( $f$ ).

**Gráfico 48.** Diagrama de Moody.



Fuente: <https://docslide.com.br/documents/diagrama-de-moody-55f98f80b9e6d.html>.

A continuación, en la siguiente tabla, se resume los valores del factor de fricción ( $f$ ).

**Tabla 36.** Factor de fricción para cada tubería en el sistema propuesto.

NÚMERO DE REYNOLDS (Re)	DESCRIPCIÓN	RUGOSIDAD RELATIVA (k/D)	FACTOR DE FRICCIÓN
24902,0	FLUJO TURBULENTO	0,0049	0,031
24902,0	FLUJO TURBULENTO	0,0049	0,031
38,1	FLUJO LAMINAR	-	1,68
9,5	FLUJO LAMINAR	-	1,68
19921,6	FLUJO TURBULENTO	0,00005	0,025

**Fuente:** Cálculos elaborados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Entonces, las pérdidas de cargas en cada tubería se calculan mediante la ecuación 13:

### Tubería 1

$$hf = 0,031 * \frac{11 \text{ m}}{0,0318 \text{ m}} * \frac{(0,6 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)}$$

$$hf = 0,197 \text{ m}$$

En la tabla 37, se puede visualizar el resumen de las pérdidas de cargas en cada tubería que interviene en el sistema a diseñar.

**Tabla 37.** Pérdida de cargas por fricción en las tuberías que intervienen en el sistema a diseñar.

TUBERIAS	FACTOR DE FRICCIÓN (f)	LONGITUD DE TUBERIA (m)	DIÁMETRO NOMINAL (m)	VELOCIDAD RECOMENDADA (m/s)	GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	PERDIDA DE CARGAS SEGÚN DARCY WEISBACH (m)
1	0,031	11	0,0318	0,6	9,8	0,197
2	0,031	3	0,0318	0,6	9,8	0,054
3	1,680	6	0,0127	0,1	9,8	0,405
4	1,680	6	0,0127	0,1	9,8	0,405
5	0,025	19	0,0254	0,6	9,8	0,343

**Fuente:** Cálculos elaborados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.2.6.2. Pérdidas por accesorios en las tuberías ( $h_L$ ).

Llamadas pérdidas menores, son pérdidas de cargas producidas por los accesorios como válvulas de compuerta, de globo, T, codos de 90 grados, que forman parte del sistema de tuberías. Estas son proporcionales a la carga de la velocidad del fluido, al momento de pasar por un accesorio. Su cálculo se basa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{EC: 18} \quad h_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) [22].$$

**Donde:**

- $h_L$  = Pérdida de carga por accesorios (m).
- $K$  = coeficiente de resistencia (adimensional) Anexo 22.
- $v$  = velocidad del fluido que circula por los accesorios (m/s)
- $g$  = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).

A continuación, en la tabla 38, se muestra el número de accesorios que lleva cada tubería en el sistema.

**Tabla 38.** Tipos y números de accesorios que lleva cada tubería.

TUBERIA	ACCESORIOS			
	Válvulas de globo	Válvulas de compuerta	Codos de 90	T Estándar
1	1	1	7	1
2	0	1	2	0
3	0	1	2	0
4	0	1	2	0
5	1	0	5	2

**Fuente:** Cálculos elaborados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En base a los números y tipos de accesorios que contiene cada tubería, se procede a calcular las pérdidas de cargas, utilizando la ecuación 16, como se puede apreciar en el Anexo 23. En la tabla 39 se muestra las pérdidas de cargas que se obtiene en cada tubería debido a los accesorios.

**Tabla 39.** Pérdidas de carga por los accesorios que intervienen en cada tubería.

TUBERIAS	PÉRDIDAS DE CARGA EN CADA ACCESORIO				PÉRDIDAS TOTALES (m)
	Válvulas de globo (m)	Válvulas de compuerta (m)	Codos de 90 (m)	T Estándar (m)	
1	0,194	0,005	0,080	0,011	<b>0,29</b>
2	0,000	0,005	0,023	0,000	<b>0,03</b>
3	0,000	0,007	0,034	0,000	<b>0,04</b>
4	0,000	0,007	0,034	0,000	<b>0,04</b>
5	0,156	0,000	0,046	0,018	<b>0,22</b>

**Fuente:** Cálculos elaborados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.2.6.3. Carga estática total ( $h_E$ ).

Es la sumatoria de las pérdidas por las diferencias de altura de descarga-succión, con las pérdidas de diferencias de presiones de descarga-succión. La cual está dada por la siguiente ecuación:

**EC: 19**  
[22].

$$h_E = h_D - h_S + \frac{PD - PS}{\gamma}$$

**Donde:**

- $h_D$  = Altura de descarga (m).
- $h_S$  = Altura de succión (m).
- $PD$  = Presión de descarga (Pa).
- $PS$  = Presión de succión (Pa).
- $\gamma$  = Peso específico del fluido ( $N/m^3$ ). Estos valores se obtienen multiplicando la densidad del fluido por la gravedad ( $9,81 m/s^2$ ). La densidad del fluido que transporta la tubería 1,2 y 5 es igual a  $1000 \text{ Kg}/m^3$  y de la tubería 3 y 4 es igual a  $1200 \text{ Kg}/m^3$ .

La altura de descarga y la altura de succión se obtienen mediante la localización de cada equipo (bombas, tanques, depósitos, mezclador estático, floculador mecánico). La presión de succión es negativa, debido a que el nivel del líquido que se va a bombear se encuentra por debajo del centro de succión de la bomba.

Tanto la presión de succión como la de descarga se estima haciendo referencia del libro de mecánica de fluidos de Robert Moot. En la tabla 40, se resume los datos que se requiere para calcular las cargas estáticas totales y aplicando la ecuación 17, se obtienen sus valores por cada tubería. Dando un ejemplo del cálculo de la primera tubería.

$$h_E = 6\text{m} - 0\text{m} + \frac{275000\text{Pa} - (-28000)}{9810}$$

$$h_E = 36,89 \text{ m}$$

**Tabla 40.** Pérdidas de cargas estáticas totales en cada tubería del sistema propuesto.

TUBERIAS	Altura de descarga (m)	Altura de succión (m)	Presión de descarga (Pa)	Presión de succión (Pa)	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Cargas estáticas totales (m)
1	6	0	275000	-28000	9810	<b>36,89</b>
2	-2	0	275000	-28000	9810	<b>28,89</b>
3	-2	0	275000	-28000	11772	<b>23,74</b>
4	-2	0	275000	-28000	11772	<b>23,74</b>
5	8	0	275000	-28000	9810	<b>38,89</b>

**Fuente:** Cálculos elaborados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Entonces, las pérdidas de cargas totales en cada una de las tuberías se obtienen mediante la ecuación 12, en donde se puede observar el resumen de cada una de las tuberías en la tabla 41.

$$h_A = h_f + h_L + h_E$$

$$h_A = 0,20\text{m} + 0,29\text{m} + 36,89\text{m}$$

$$h_A = 37,37 \text{ m}$$

**Tabla 41.** Pérdidas de cargas totales en cada tubería del sistema propuesto.

TUBERIAS	PÉRDIDAS POR FRICCIÓN (hf)	PÉRDIDAS POR ACCESORIOS (hL)	CARGAS ESTÁTICAS (hE)	PÉRDIDAS DE CARGAS TOTALES (hA)	UNIDAD
1	0,20	0,29	36,89	<b>37,37</b>	<b>metro</b>
2	0,05	0,03	28,89	<b>28,97</b>	<b>metro</b>
3	0,40	0,04	23,74	<b>24,19</b>	<b>metro</b>
4	0,40	0,04	23,74	<b>24,19</b>	<b>metro</b>
5	0,34	0,22	38,89	<b>39,45</b>	<b>metro</b>

**Fuente:** Cálculos elaborados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.2.7. Potencia que requiere las bombas.

La potencia, es la rapidez con que se transfiere la energía, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

**EC: 20**  
[22].

$$P_A = h_A \gamma Q$$

**Donde:**

- $P_A$  = Potencia requerida (Watt) J/s.
- $h_A$  = Pérdidas de cargas totales (m).
- $\gamma$  = Peso específico del fluido que circula a través de la bomba ( $N/m^3$ ). (densidad del fluido por la gravedad, donde la gravedad=  $9,81 \text{ m/s}^2$ ). En la tabla 29 se encuentra la densidad de los fluidos.
- $Q$  = Caudal ( $m^3/s$ ). (anexo 16).

El sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto, se encuentra integrado por 2 tipos de bombas:

##### 4.1.3.2.7.1. Bombas centrífugas periféricas.

Son utilizadas en las industrias debido a su bajo costo, fácil mantenimiento y diseño. Se diferencian de las demás, por su aplicación, ya que estas son ideales para caudales bajos y para aquellas que denotan mayores pérdidas de cargas totales, (mayor altura).

##### 4.1.3.2.7.2. Bombas dosificadoras.

Diseñadas para inyectar o bombear químicos en estado líquido (coagulantes y floculantes) en pequeñas cantidades, con un control preciso de volumen añadido en el proceso que se requiera. Las bombas que se utilizarán en el diseño propuesto, se encuentra distribuida de la siguiente manera, como se puede observar en la tabla 42.

**Tabla 42.** Distribución de las bombas que intervienen en el sistema propuesto.

SIMBOLOGÍA	BOMBAS	TUBERIAS	DESCRIPCIÓN
BP1	Bomba Centrífuga periférica 1	1	La BP1, bombea el fluido tanto para el tanque 1 en el departamento de goma, como para el mezclador estático.
		2	
BD1	Bomba dosificadora 1	3	La BD1, bombea coagulante al mezclador estático.
BD2	Bomba dosificadora 2	4	La BD2, bombea floculante al floculador mecánico.
BP2	Bomba Centrífuga periférica 2	5	La BP2, bombea agua tratada al área de reutilización (corrugadora).

**Fuente:** Investigación de campo.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

- **Cálculo de potencia requerida por la BC1.**

Como la BC1, abastece el bombeo de agua tanto para el área del departamento de goma, como para el tratamiento físico-químico, entonces se analizará el caso más extremo, suponiendo que las 2 válvulas se encuentren abiertas, por ende en el cálculo se tomará en cuenta la sumatoria de las pérdidas de cargas totales de las 2 tuberías, como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$P_A = h_A \gamma Q$$

$$P_A = (37,37 + 28,97) \left( 9810 \frac{N}{m^3} \right) (0,0004398 m^3/s)$$

$$P_A = 288 \text{ Watt} \approx 0,4 \text{ HP}$$

- **Cálculo de potencia requerida por la BC2.**

$$P_A = h_A \gamma Q$$

$$P_A = (39,45m) \left( 9810 \frac{N}{m^3} \right) (0,000304 m^3/s)$$

$$P_A = 120 \text{ Watt} \approx 0,16 \text{ HP}$$

#### 4.1.3.2.8. Selección de las bombas.

- **Bombas centrífugas periféricas.**

La selección de las bombas BP1 Y BP2 se basa en la potencia calculada (la BP1 requiere de una potencia de 0,5 HP y la BP2 de 0,25HP). En el anexo 24, se puede observar la altura máxima que ofrece cada tipo de bomba seleccionada, una de ellas ofrece 70m, el cual cubre el valor de las pérdidas de cargas totales calculadas, 65,78 m para la BP1 y 39,45 m para la BP2.

- **Bombas Dosificadoras.**

Para la selección de las BD1 y BD2, se debe de tomar en cuenta varios factores importantes: El tipo de químicos que será bombeado es decir que características presenta (corrosivo o no), el flujo volumétrico en lt/h, la presión sobre la línea que se bombea (esta deberá ser mayor a la presión de descarga del fluido con el que se requiere mezclar, para que el coagulante o floculante sea inyectado con eficiencia).

Mediante cálculos antepuestos, se determinó que se requiere un flujo de **295 litros /diario** de solución de policloruro de aluminio (coagulante) y **14,75 litros /diario** de solución de poliacrilamida aniónica (floculante).

#### **Conversiones:**

$$295 \frac{l}{dia} \times \frac{dia}{24h} = \mathbf{12,2 \text{ lt/h.}}$$

$$14,75 \frac{ml}{dia} \times \frac{dia}{24h} = \mathbf{0,6 \text{ lt/h.}}$$

A continuación en la tabla 43, se presenta los factores de que se requiere para la elección de las bombas dosificadoras.

**Tabla 43.** Factores y características del fluido para la selección de bombas dosificadoras.

BOMBAS	QUÍMICOS	CARACTERÍSTICAS	FLUJO (lt/h)	PRESIÓN DE DESCARGA (Pa) (Tabla 40)
BD1	Policloruro de aluminio	semi-corrosivo	12,2	275000
BD2	Poliacrilamida aniónica	semi-corrosivo	0,6	275000

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.3.3. Otros elementos de la instalación.

##### 4.1.3.3.1. Boyas de nivel.

Estas sirven de seguridad en el sistema de tratamiento de aguas residuales, para evitar el rebosamiento en los tanques y daños por la ausencia de líquido en los mismos, al momento de succionar agua mediante una bomba. Se seleccionan 2 boyas, utilizadas en el tanque de sedimentación primaria y en el tanque 2 donde se almacena el agua tratada.

**Gráfico 49.** Interruptor automático de nivel actuado por flotador.



**Fuente:** <http://www.importecnia.com/p6.html>.

#### 4.1.3.3.2. Caudalímetro.

Este equipo permite conocer el flujo volumétrico (caudal). Se selecciona 1 Caudalímetro de acero galvanizado, localizado en la tubería que conduce del sedimentador primario al mezclador estático, de esta manera se verifica el caudal con el que se está trabajando.

Su selección se basa en el máximo caudal de medición y diámetro de la tubería.

**Gráfico 50.** Caudalímetro de acero galvanizado.



**Fuente:** <https://www.interempresas.net>.

La tabla 44 representa el resumen de las dimensiones de los equipos que intervienen en el sistema propuesto, basados en los cálculos antepuestos y cotizaciones que se han realizado, las cuales presentan cada una de ellas sus dimensiones estandarizadas, como se puede observar en los anexos.

**Tabla 44.** Dimensiones de los equipos que intervienen en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

<b>TANQUE DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA</b>		<b>MEZCLADOR ESTÁTICO</b>		<b>FLOCULADOR MECÁNICO</b>	
<b>Largo:</b>	4 m	<b>Diámetro</b>	1,25 pulgadas	<b>Volumen</b>	0,5 m <sup>3</sup>
<b>Ancho:</b>	1 m	<b>Largo</b>	0,6 m	<b>Diámetro</b>	0,8 m
<b>Profundidad:</b>	2 m	<b>Posición</b>	vertical	<b>Profundidad:</b>	1 m
<b>TANQUE DE SEDIMENTACIÓN SECUNDARIA</b>		<b>TANQUE 1 (Agua semi-tratada)</b>		<b>TANQUE 2 (Agua tratada)</b>	
<b>Largo:</b>	1,52 m	<b>Volumen</b>	3200 litros	<b>Volumen</b>	4000 litros
<b>Ancho:</b>	1,03 m	<b>Diámetro</b>	2,5 m	<b>Diámetro</b>	2,2 m
<b>Profundidad:</b>	1,74 m	<b>Profundidad:</b>	2,9 m	<b>Profundidad:</b>	2,31 m
<b>DEPÓSITO 1 (Coagulante)</b>		<b>DEPÓSITO 2 (Floculante)</b>			
<b>Volumen</b>	1,4 m <sup>3</sup>	<b>Volumen</b>	0,07 m <sup>3</sup>		
<b>Diámetro</b>	1 m	<b>Diámetro</b>	0,46 m		
<b>Profundidad:</b>	1,35 m	<b>Profundidad:</b>	0,46 m		

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### **4.1.4. Análisis económico-financiero para la factibilidad y rentabilidad de la implementación del sistema para tratamiento de aguas.**

A continuación se presenta el análisis económico y financiero del sistema de tratamiento de agua residual planteado. Para ello se realiza la estimación de la inversión que se requiere para llevar a cabo dicha propuesta, en base a los cálculos desarrollados de cada uno de los equipos, herramientas y accesorios que conforma el sistema.

Por otra parte se analiza los beneficios, ahorros, factibilidad y rentabilidad del proyecto, mediante 4 indicadores económicos, TIR (tasa interna de retorno), VAN (valor actual neto), periodo de recuperación y beneficio/costo.

##### **4.1.4.1. Costos de inversión fija.**

En la tabla 45, se presentan los costos de las obras civiles, equipos, tuberías, accesorios y reservorios que intervienen en el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales, estimados en base a sus dimensionamientos y capacidades de trabajo. Las cotizaciones realizadas se encuentran en los anexos 18, 20, 24, 25, y 26.

**Tabla 45. Costo de inversión fija.**

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
OBRA CIVIL	Excavación (13m X 5m X 2,5m).	162,5	metros cúbicos	\$ 17,22	\$ 2.798,25
	Construcción del sedimentador primario (4m X 1m X 2m).	1	unidad	\$ 900,00	\$ 900,00
	Instalación eléctrica del sistema.	1	unidad	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
	Costo de montaje	1	-	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
	Fiscalización o Supervisión	1	-	\$ 650,00	\$ 650,00
	Costos de Ingeniería	1	-	\$ 500,00	\$ 500,00
EQUIPOS	Planchas de acero A-36, para el sedimentador primario (1,22m X 2,44m)	19	planchas	\$ 109,00	\$ 2.071,00
	Mezclador estático	1	unidad	\$ 1.020,00	\$ 1.020,00
	Floculador mecánico	1	unidad	\$ 918,00	\$ 918,00
	Sedimentador con placas inclinadas	1	unidad	\$ 3.950,00	\$ 3.950,00
	Bomba centrífuga periférica 1	1	unidad	\$ 160,00	\$ 160,00
	Bomba centrífuga periférica 2	1	unidad	\$ 120,00	\$ 120,00
	Bomba dosificadora 1	1	unidad	\$ 142,50	\$ 142,50
	Bomba dosificadora 2	1	unidad	\$ 120,00	\$ 120,00
TUBERÍAS	Tuberías de acero galvanizado de 1 1/4"	3	6m	\$ 17,02	\$ 51,06
	Tuberías de acero galvanizado de 1/2"	2	6m	\$ 12,10	\$ 24,20
	Tuberías PVC de 1"	4	6m	\$ 10,00	\$ 40,00
ACCESORIOS	Válvulas de compuerta acero galvanizado de 1 1/4"	2	unidad	\$ 26,00	\$ 52,00
	Válvulas de compuerta acero galvanizado de 1/2"	2	unidad	\$ 23,00	\$ 46,00
	Válvulas de globo acero galvanizado de 1 1/4"	1	unidad	\$ 35,00	\$ 35,00
	Válvula de globo PVC de 1"	1	unidad	\$ 18,00	\$ 18,00
	T en material acero galvanizado 1 1/4"	1	unidad	\$ 11,66	\$ 11,66
	T en material PVC 1"	2	unidad	\$ 5,00	\$ 10,00
	Codos de 90 en material acero galvanizado 1 1/4"	13	unidad	\$ 21,00	\$ 273,00
	Codos de 90 en material PVC 1"	5	unidad	\$ 6,00	\$ 30,00
	Caudalímetro	1	unidad	\$ 78,00	\$ 78,00
	Boya de nivel para agua residual	1	unidad	\$ 66,00	\$ 66,00
Boya de nivel para agua limpia	2	unidad	\$ 12,00	\$ 24,00	
RESERVIORIOS	Tanque 1 de plástico de 3200 lt	1	unidad	\$ 370,00	\$ 370,00
	Tanque 2 de plástico para 4000 lt	1	unidad	\$ 428,00	\$ 428,00
	Depósito del coagulante	1	unidad	\$ 120,00	\$ 120,00
	Depósito del floculante	1	unidad	\$ 50,00	\$ 50,00
<b>TOTAL DE INVERSIÓN</b>					<b>\$ 19.076,67</b>

**Fuente:** Cotizaciones.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.4.2. Depreciación de la inversión.

La depreciación de los activos fijos (equipos y accesorios que intervienen en el sistema), se realizan de acuerdo a la naturaleza de los bienes y duración de su vida útil. Según la ley del régimen tributario interno, las instalaciones, maquinarias, equipos y muebles, la depreciación es del 10% anual, con una vida útil de 10 años y un valor de salvamento de 0.

#### 4.1.4.2.1. Método de línea recta.

La depreciación por el método de línea recta se calcula mediante la siguiente ecuación:

**EC: 21**  
[24].

$$D_t = \frac{P-VS}{n}$$

**Donde:**

- $D_t$  = Cargo por depreciación en el año t.
- P= Costo inicial (inversión fija).
- VS= Valor de salvamento.
- n= Vida útil de la instalación.

$$D_t = \frac{\$ 19,076,67 - 0}{10}$$

$$D_t = \$ 1,907,66$$

Como el valor de salvamento es 0, entonces la depreciación \$ 1,907,66, será igual en todos los periodos, durante los 10 años de vida útil.

#### 4.1.4.3. Costos de operación.

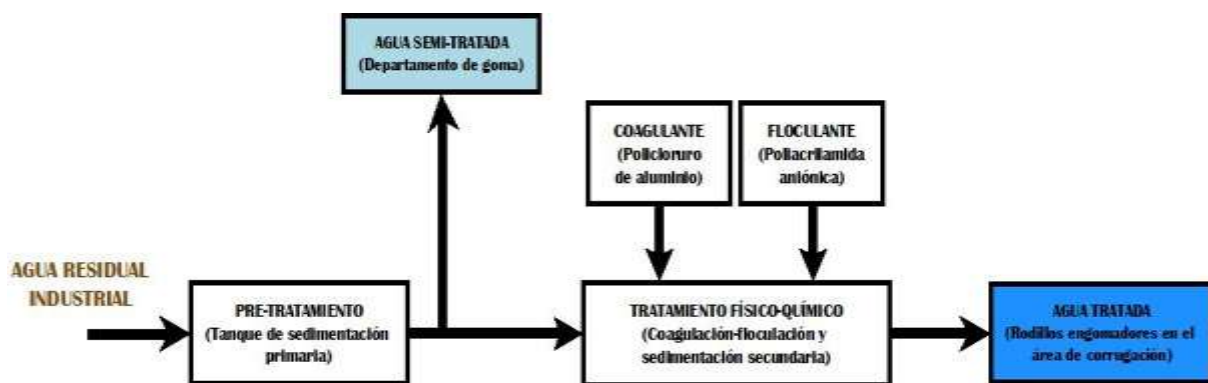
Estos costos corresponden a la materia prima que básicamente son los químicos (coagulante y floculante), energía eléctrica y costos de mantenimiento. Los costos de personal se omiten, debido a que el sistema cuenta con boyas de niveles en el tanque de sedimentación primaria y en tanques de almacenamiento de agua tratada, para evitar rebosamiento.

El tanque donde se almacena el agua semi tratada en el área del departamento de goma, se diseñó con capacidad de abastecimiento para cada turno, con el objetivo, que el operador encargado verifique y manipule las válvulas al inicio de su turno.

Para analizar los costos de operación del agua a tratar, es necesario conocer las etapas por las que circula la misma para obtener la calidad de agua requerida y reutilizarlas en sus respectivas áreas (departamento de goma y en los rodillos engomadores).

En el gráfico 51 se puede apreciar que para obtener agua semi-trada (agua reutilizada en el departamento de goma), solo necesita de un pre-tratamiento, por otra parte, para la obtención de agua tratada (agua reutilizada en los rodillos engomadores en el área de corrugación), requiere de un posterior tratamiento (físico-químico). Por ende los costos de operación del agua a tratar son diferentes, ya que se requiere de distintas calidades de agua para su posterior reutilización.

**Gráfico 51.** Etapas del sistema propuesto donde circula el agua residual y áreas en el cual se reutilizará.



**Fuente:** Investigación experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.4.3.1. Costo de materia prima (coagulantes y floculantes).

Mediante el test de jarras se determinó las dosificaciones óptimas de coagulante y floculante para el tratamiento de agua.

##### 4.1.4.3.1.1. Costo de coagulante por cada metro cúbico de agua a tratar (\$/m<sup>3</sup>).

El coagulante Policloruro de aluminio (PAC), se presenta comercialmente en estado sólido, como se puede apreciar en la ficha técnica, mediante el test de jarras se estableció una

concentración madre del 5% (5 gramos de PAC en 1 litro de agua destilada), a partir de esta solución, la dosificación óptima fue de 10 ml para cada litro de agua a tratar y efectuar el proceso de coagulación. Entonces:

1 lt de agua a tratar → 10 ml de PAC  
 1000 lt de agua a tratar → X

$$\frac{(1000 \text{ lt})(10 \text{ ml})}{1 \text{ lt}} = 10.000 \text{ ml de PAC para cada } m^3 \text{ de agua a tratar.}$$

La solución a concentración madre del 5 %, requiere de 5gr de PAC en 1 litro de agua destilada, como se necesita 10.000 ml equivalentes a 10 lt de PAC para cada  $m^3$  de agua a tratar, entonces:

1 lt de solución → 5 gr de PAC  
 10 lt de solución → X

$$\frac{(10 \text{ lt})(5 \text{ gr})}{1 \text{ lt}} = 50 \text{ gr de PAC para cada } m^3 \text{ de agua a tratar.}$$

En el anexo 26, se puede apreciar que el costo por tonelada de PAC es de \$365,00, donde:

1000 Kg de PAC → \$ 365,00  
 0,05 Kg de PAC → X

$$\frac{(0,05 \text{ Kg})(\$365,00)}{1000 \text{ Kg}} = 0,02 \text{ ctvs es el costo de operación para tratar cada } m^3.$$

#### **4.1.4.3.1.2. Costo de floculante por cada metro cúbico de agua a tratar (\$/m<sup>3</sup>).**

El floculante poliacrilamida aniónica, se presenta comercialmente en emulsión, como se puede apreciar en la ficha técnica, mediante el test de jarra se determinó que la dosificación óptima es de 0,5 ml por cada litro de agua coagulada. Entonces:

1 lt de agua coagulada → 0,5 ml  
 1000 lt de agua coagulada → X

$$\frac{(1000 \text{ lt})(0,5 \text{ ml})}{1 \text{ lt}} = 500 \text{ ml de floculante para para cada } m^3 \text{ de agua a tratar.}$$

En el anexo 26, se puede apreciar que el costo por metro cúbico de poliacrilamida aniónica es de \$750,00. Donde:

1000 lt de floculante → \$ 750,00  
 0,5 lt de floculante → X

$$\frac{(0,5 \text{ lt})(\$750,00)}{1000 \text{ lt}} = \mathbf{0,38 \text{ ctvs es el costo de operación para tratar cada } m^3}.$$

En la tabla 46, se describe el valor en  $\$/m^3$  de cada uno de los químicos utilizados para el tratamiento físico-químico.

**Tabla 46.** Costo de materia prima (coagulante y floculante).

QUÍMICOS	PRESENTACIÓN COMERCIAL	PRECIO COMERCIAL	DOSIS REQUERIDA PARA CADA m <sup>3</sup>	COSTO DE AGUA A TRATAR ( \$/m <sup>3</sup> )
Policloruro de	En toneladas	\$ 365,00	0,05 Kg	\$ 0,02
Poliacrilamida aniónica	En metros cúbicos	\$ 750,00	0,5 lt	\$ 0,38
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 0,4</b>

**Fuente:** Cotizaciones de Yixing Bluwat Chemicals Co., Ltd.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.4.3.2. Costos de energía eléctrica y mantenimiento.

La tabla 47 muestra el consumo de energía eléctrica de los equipos que intervienen en el sistema propuesto, en función a la potencia utilizada de cada equipo y a las horas de trabajo. Según CONELEC (Consejo nacional de electricidad) la tarifa que se le da a las empresas industriales es 0,0933 USD por kWh.

**Tabla 47.** Costo de energía eléctrica anual del sistema propuesto.

EQUIPOS	CONSUMO (kW)	TRABAJO (horas)	kWh	PRECIO POR kWh	COSTO DIARIO	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
Floculador mecánico	0,60	16	9,6	\$ 0,10	\$ 0,95	\$ 28,60	\$ 343,18
BP1	0,37	16	5,92	\$ 0,10	\$ 0,59	\$ 17,64	\$ 211,63
BD1	0,37	16	5,92	\$ 0,10	\$ 0,59	\$ 17,64	\$ 211,63
BD2	0,37	16	5,92	\$ 0,10	\$ 0,59	\$ 17,64	\$ 211,63
BP2	0,37	16	5,92	\$ 0,10	\$ 0,59	\$ 17,64	\$ 211,63
<b>TOTAL</b>				\$ 0,50	\$ 3,30	\$ 99,14	\$ <b>1.189,69</b>

**Fuente:** CONELEC.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Los costos de mantenimiento, se estiman anualmente la cantidad de \$ 1.300,00. A continuación se presenta el resumen de los costos de energía eléctrica y de mantenimiento anual y diario.

**Tabla 48.** Costos de energía eléctrica y de mantenimiento.

DESCRIPCIÓN	\$/anual	\$/dia
Costo de energía eléctrica	\$ 1.189,69	\$ 3,30
Costo de mantenimiento	\$ 1.200,00	\$ 3,33
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 5.405,05</b>	<b>\$ 15,01</b>

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

#### 4.1.4.4. Financiamiento de la inversión.

Por motivo de escaso capital para invertir en dicha propuesta, se requiere de una entidad financiera, el cual cubra el 100% de la inversión fija (\$ 19.076,67), donde se analizan las tasas de intereses en varias entidades, obteniendo como la mejor alternativa en el banco Central del Ecuador con una tasa de interés anual de 8,91%, como se puede apreciar en el anexo 27, en un lapso de tiempo de 24 meses.

Para ello es necesario realizar una tabla de amortización tipo francés (cuotas constantes), como se detalla en la tabla 49.

**Tabla 49.** Datos para el cálculo de las cuotas para el financiamiento de la propuesta.

PRÉSTAMO BANCARIO	INVERSIÓN	100% MONTO	PLAZO (meses)	INTERÉS ANUAL	INTERÉS MENSUAL	CUOTA
Bco. Central del Ecuador	\$ 19.076,67	\$ 19.076,67	24	8,91%	0,74%	<b>\$870,46</b>

**Fuente:** Banco Central del Ecuador.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

En dónde la cuota se calcula mediante la siguiente ecuación:

**EC: 22**  
[24].

$$A = P * \left( \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

**Donde:**

- A=Cuota.
- P= valor presente (inversión).
- i= tasa de interés anual.
- n= tiempo.

$$A = \$ 19.076,67 * \left( \frac{0,0074(1+0,0074)^{24}}{(1+0,0074)^{24} - 1} \right)$$

$$A = \$ 870,46$$

**Tabla 50.** Tabla de amortización tipo francesa con pagos mensuales.

<b>TABLA DE AMORTIZACIÓN CON CUOTAS CONSTANTES</b>					
<b>PERIODO (Meses)</b>	<b>SALDO INICIAL</b>	<b>CUOTAS</b>	<b>INTERÉS</b>	<b>CAPITAL</b>	<b>SALDO FINAL</b>
1	\$19.076,67	\$870,46	\$141,17	\$729,30	\$18.347,37
2	\$18.347,37	\$870,46	\$135,77	\$734,69	\$17.612,68
3	\$17.612,68	\$870,46	\$130,33	\$740,13	\$16.872,55
4	\$16.872,55	\$870,46	\$124,86	\$745,61	\$16.126,95
5	\$16.126,95	\$870,46	\$119,34	\$751,12	\$15.375,82
6	\$15.375,82	\$870,46	\$113,78	\$756,68	\$14.619,14
7	\$14.619,14	\$870,46	\$108,18	\$762,28	\$13.856,86
8	\$13.856,86	\$870,46	\$102,54	\$767,92	\$13.088,94
9	\$13.088,94	\$870,46	\$96,86	\$773,60	\$12.315,33
10	\$12.315,33	\$870,46	\$91,13	\$779,33	\$11.536,01
11	\$11.536,01	\$870,46	\$85,37	\$785,10	\$10.750,91
12	\$10.750,91	\$870,46	\$79,56	\$790,91	\$9.960,00
13	\$9.960,00	\$870,46	\$73,70	\$796,76	\$9.163,24
14	\$9.163,24	\$870,46	\$67,81	\$802,65	\$8.360,59
15	\$8.360,59	\$870,46	\$61,87	\$808,59	\$7.551,99
16	\$7.551,99	\$870,46	\$55,88	\$814,58	\$6.737,42
17	\$6.737,42	\$870,46	\$49,86	\$820,61	\$5.916,81
18	\$5.916,81	\$870,46	\$43,78	\$826,68	\$5.090,13
19	\$5.090,13	\$870,46	\$37,67	\$832,80	\$4.257,34
20	\$4.257,34	\$870,46	\$31,50	\$838,96	\$3.418,38
21	\$3.418,38	\$870,46	\$25,30	\$845,17	\$2.573,21
22	\$2.573,21	\$870,46	\$19,04	\$851,42	\$1.721,79
23	\$1.721,79	\$870,46	\$12,74	\$857,72	\$864,07
24	\$864,07	\$870,46	\$6,39	\$864,07	<b>\$0,00</b>
<b>TOTAL DE INTERÉS</b>			<b>\$</b>	<b>1.814,44</b>	
<b>PAGO TOTAL DEL PRÉSTAMO (INVERSIÓN + INTERÉS)</b>			<b>\$</b>	<b>20.891,11</b>	

**Fuente:** Cálculos realizados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

La tabla 50, muestra que se cancelará cuotas mensuales de \$ 870,46 durante 2 años, para cancelar el préstamo de la inversión.

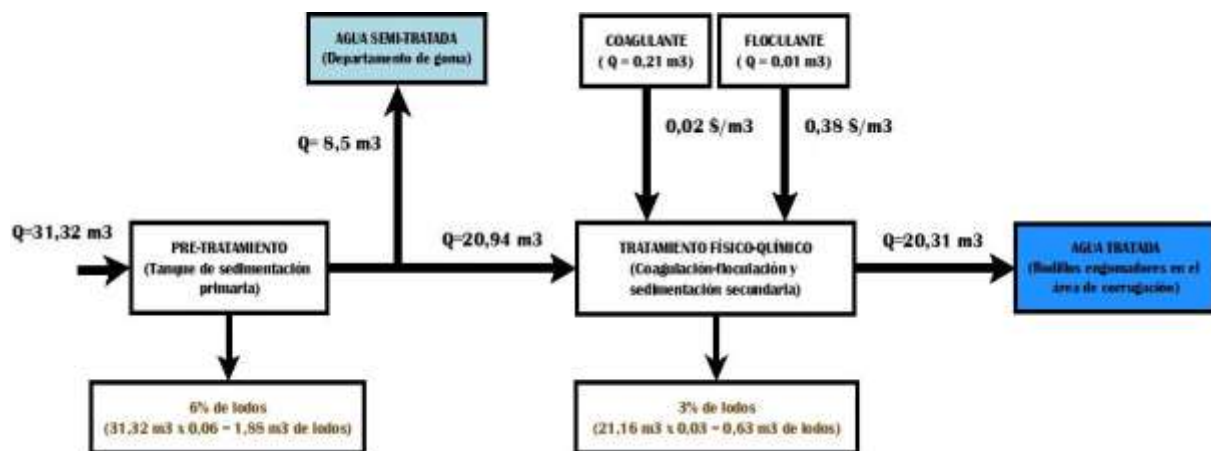
#### 4.1.4.5. Beneficios del proyecto.

Los beneficios de esta propuesta son de carácter económico y ambiental, ya que al tratar aguas residuales y reutilizarlas en otros subprocesos, permite una mejor gestión de las mismas, reducir el consumo de agua potable, evitar sanciones y multas por verter los efluentes al alcantarillado sin un posterior tratamiento y por ende contribuir a la preservación del medio ambiente, el cual representa un ahorro económico para la empresa.

##### 4.1.4.5.1. Ahorro de consumo de agua potable.

Para estimar el ahorro significativo de agua potable, se toma como referencia el caudal medio de agua residual que vierte el área de corrugación, el cual se obtuvo mediante cálculos antepuestos un valor de  $31,32 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Gráfico 52. Ahorro significativo de agua potable diario.



**Fuente:** Investigación experimental.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

El gráfico 52 muestra que al tratar  $31,52 \text{ m}^3/\text{dia}$  de agua residual, se recupera  $(8,5 \text{ m}^3/\text{dia} + 20,31 \text{ m}^3/\text{dia} = 28,81 \text{ m}^3/\text{dia})$ , la cual representa el ahorro de agua potable al día que se obtiene en la empresa. Los caudales de inyección de coagulante y floculante se obtienen mediante la dosis óptima ya establecida (10ml de PAC y 0,5 ml de floculante para cada litro de agua a tratar). Entonces:

### **Coagulante**

1 lt de agua a tratar → 10 ml de PAC

20940 lt de agua a tratar → X

$$\frac{(20940 \text{ lt})(10 \text{ ml})}{1 \text{ lt}} = \mathbf{209.400 \text{ ml de PAC equivalente a } 0,21 \text{ m}^3} .$$

### **Floculante**

1 lt de agua a tratar → 0,5 ml de PAC

20940 lt de agua a tratar → X

$$\frac{(20940 \text{ lt})(0,5 \text{ ml})}{1 \text{ lt}} = \mathbf{10.470 \text{ ml de poliacrilamida equivalente a } 0,01 \text{ m}^3} .$$

Los cálculos de los porcentajes de lodos obtenidos, en la etapa del pre-tratamiento y en el tratamiento físico-químico, se encuentran en el anexo 28.

#### **4.1.4.5.2. Ahorro económico por el consumo de agua potable.**

Para las empresas industriales en la Ciudad de Guayaquil, la tarifa de agua potable se basa en función a los metros cúbicos de agua consumidos, según la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG).

Mediante la investigación de campo se identificó que el diámetro de la conexión principal de agua potable es de 3", la cual indica que la empresa Cartones Nacionales Cartopel se encuentra en el rango de  $301 \text{ m}^3$  a  $2500 \text{ m}^3$ , donde el valor por metro cúbico es de \$ 1,60 como se aprecia en la tabla 51.

**Tabla 51.** Tarifa de agua potable en la Ciudad de Guayaquil.

RANGO DE CONSUMO (metros cúbicos)	UDS/M3	VALOR CARGO FIJO (UDS/M3)	DIÁMETRO DE LA CONEXIÓN
0-15	0,31	1,24	½"
16-30	0,46	8,24	¾"
31-60	0,66	21,19	1"
61-100	0,87	35,31	1 ½"
101-300	0,98	35,31	2"
301-2500	1,6	58,86	3"
2501-5000	2,09	176,56	4"
> 5000	3,53	235,41	6" o más

**Fuente:** EMAPAG.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

Actualmente la empresa, por utilizar **28,81 m<sup>3</sup>/día**, de agua potable al día gasta (28,81 m<sup>3</sup> X 1,60 \$/m<sup>3</sup> = **\$46,10**), si esta cantidad de agua se reutilizara, mediante el sistema propuesto en esta investigación, los beneficios serán en función a los costos de operación del agua a tratar.

Los costos de operación que se consideran en los **8,5 m<sup>3</sup>** de agua semi-tratada que se obtiene para ser reutilizada en el departamento de goma son: energía eléctrica y los costos de mantenimiento, debido a que no se utiliza insumos para su tratamiento. Por otra parte los costos de operación que se analizan en los **20,31 m<sup>3</sup>** de agua tratada son: energía eléctrica, costos de mantenimiento y costos de insumos químicos. (Ver gráfico 52).

**Ahorro económico por consumo de agua potable = (Costo por m<sup>3</sup> de agua potable) – (costo de operación del agua semi-tratada) – (costo de operación del agua trata).**

Los costos de los insumos se encuentra en el gráfico 52 y los costos de energía eléctrica y mantenimiento se encuentran en la tabla 48.

$$1,60 \frac{\$}{m^3} - \left( \frac{3,30\$/día + 3,33\$/día}{10,38 m^3/día} \right) - \left( \frac{3,30\$/día + 3,33\$/día + 0,40\$/día}{20,94 m^3/día} \right) = \mathbf{0,63 \$/m^3}.$$

Donde se puede concluir, que el ahorro económico de agua potable que se obtiene por tratar cada metro cúbico de agua residual es de **\$ 0,63 \$/m<sup>3</sup>**.

#### **4.1.4.5.3. Ahorro económico de sanciones y multas.**

Son las infracciones relacionadas con la descarga de efluentes sin previo tratamiento, es decir con el incumplimiento de los parámetros físicos-químicos permisibles según la norma de calidad ambiental TULSMA.

Según el Reglamento interno de manejo de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial en el cantón Guayaquil, de ECAPAG (Empresa cantonal de agua potable y alcantarillado de Guayaquil), estipula en el anexo II que la sanción económica será de 50 veces el cargo fijo, como se puede apreciar en el anexo 29. El cargo fijo según EMAPAG es de \$58,86, como se puede apreciar en la tabla 51. Entonces:

$$\mathbf{\$58,86 \times 50 = \$2.943}$$

Los **\$2.943**, representa el valor de la infracción por cada demanda que tenga la empresa, a causa de la descarga de efluentes sin previo tratamiento.

#### **4.1.4.6. Evaluación económica (TIR, VAN).**

##### **4.1.4.6.1. Tasa interna de retorno (TIR).**

La tasa Interna de retorno es la tasa que indica la ganancia anual que tiene la empresa por haber invertido en el proyecto. Los cálculos para determinar el TIR se realiza mediante la hoja de Cálculo del Programa Microsoft Excel.

##### **4.1.4.6.2. Valor neto Actual (VAN).**

El Valor neto actual, permite traer del futuro al presente cantidades monetarias a su valor equivalente. Para cumplir con este fin, a los flujos futuros se le aplica una tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), esta tasa la establece el inversionista (empresa), en función a la tasa de inflación más un porcentaje de riesgo de la inversión. Para este proyecto la TMAR es:

EC: 23

TMAR = Tasa de inflación + porcentaje de riesgo.

[24].

$$\text{TMAR} = 2,8\% + 9$$

$$\text{TMAR} = 11,8\%$$

#### 4.1.4.6.3. Flujo de Efectivo.

El flujo de efectivo constituye a la diferencia de los ingresos con los egresos, a lo largo de la vida útil de un proyecto, el cual permite determinar la rentabilidad de la inversión.

Para calcular el beneficio que se obtiene en cada año, debido a la variabilidad del caudal, se estima con el caudal medio  $31,32 \text{ m}^3/\text{diario}$  de agua residual, donde se recupera  $28,81 \text{ m}^3/\text{dia}$ , (gráfico 52), el cual equivale a  $10.296 \text{ m}^3/\text{anual}$ , entonces:

$$10.371,60 \text{ m}^3/\text{anual} \times 0,63 \text{ \$/m}^3 = \mathbf{6.534,11 \text{ \$/anual.}}$$

Tabla 52. Flujo de efectivo.

PERIODO	INGRESOS	EGRESOS			FLUJO DE EFECTIVO
	BENEFICIO	INVERSIÓN	DEPRECIACIÓN	INTERÉS	
0		\$ 19.076,67			\$ -19.076,67
1	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ 1.328,89	\$ 3.297,45
2	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ 485,55	\$ 4.140,79
3	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
4	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
5	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
6	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
7	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
8	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
9	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
10	\$ 6.534,00	\$ -	\$ 1.907,66	\$ -	\$ 4.626,34
<b>TIR</b>					<b>18%</b>
<b>VAN</b>					<b>\$5.701,49</b>

Fuente: Cálculos realizados en Microsoft Excel.

Elaborado por: Vera Kasandra, [2018].

De acuerdo al flujo de efectivo expuesto en la tabla 52, los indicadores económicos considerados en esta investigación para la inversión del sistema propuesto, son:

- A. Tasa interna de retorno:** 18%, el cual indica que si es factible, ya que esta es mayor a la tasa mínima aceptable de rendimiento (11,8%).
- B. Valor actual neto:** Se puede apreciar en la tabla 52, que es mayor que 0, lo que significa que la empresa ganará si pone en marcha la propuesta planteada en la presente investigación.
- C. Periodo de recuperación:** En la tabla 53, se puede apreciar que aproximadamente en el quinto periodo se recupera la inversión de la propuesta, exactamente en 4 años 7 meses.

**Tabla 53.** Periodo de recuperación de la inversión.

PERIODO	FLUJO DE EFECTIVO	ACUMULADO
0	-\$19.076,67	
1	\$3.297,45	\$ 3.297,45
2	\$4.140,79	\$ 7.438,24
3	\$4.626,34	\$ 12.064,58
4	\$4.626,34	\$ 16.690,92
5	\$4.626,34	\$ 21.317,26
6	\$4.626,34	\$ 25.943,60
7	\$4.626,34	\$ 30.569,94
8	\$4.626,34	\$ 35.196,28
9	\$4.626,34	\$ 39.822,62
10	\$4.626,34	\$ 44.448,96

**Fuente:** Cálculos realizados en Microsoft Excel.

**Elaborado por:** Vera Kasandra, [2018].

- D. Coeficiente Beneficio/Costo:** Es el último indicador económico que se ha considerado para la evaluación de la propuesta, el cual se lo calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{EC: 24} \quad \text{COEFICIENTE BENEFICIO/COSTO} = \frac{\text{VAN}}{\text{INVERSIÓN INICIAL}}$$

[24].

$$\text{COEFICIENTE BENEFICIO/COSTO} = \frac{\$ 5.701,49}{\$ 19.076,67}$$

$$\text{COEFICIENTE BENEFICIO/COSTO} = 0,30$$

Se refiere que por cada dólar que serán invertidos en la propuesta se obtiene \$0,30, por ello se pone en evidencia la viabilidad de la propuesta.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones.

- ✓ Al realizar el recorrido en el área de producción de la Empresa Cartopel S.A.I, se concluye que las áreas que generan aguas residuales son: área de corrugación e impresión. El área de corrugación genera un caudal máximo de **38 m<sup>3</sup>/dia**, el cual es bombeada directamente a los sistemas de alcantarillado y ríos, esta agua residual es generada por 2 razones: de las llaves que permanecen abiertas para evitar la solidificación de la goma en los rodillos engomadores y del hidrolavado en las tuberías que se realiza en cada cambio de pedido. El área de impresión genera un caudal de **7 m<sup>3</sup>/dia** aproximadamente, el cual es direccionada hacia la planta de tratamiento de agua residual existente para ser descargadas con los límites máximos permisibles.

Por otra parte, mediante el cálculo del caudal que demanda el área del departamento de goma (**8,5 m<sup>3</sup>/dia**), se concluye que el caudal de agua residual es mayor, por ende se puede seguir tratando el caudal restante, para reutilizarlo en los rodillos engomadores en el área de corrugación.

- ✓ En base al ensayo de test de jarras realizado (simulación del sistema a nivel laboratorio), se concluye que utilizando la mezcla de 10ml de policloruro de aluminio a una concentración madre del 0,5%, más 0,5ml de poliacrilamida aniónica, presentan mejores resultados en comparación de los demás tratamientos realizados, obteniendo una remoción del 99,15 % en turbidez y un pH casi neutro (6,80), lo que significa que no es necesario continuar con procesos biológicos.
- ✓ Posteriormente de realizar un estudio bibliográfico minucioso, analizar ciertos parámetros físicos-químicos de la calidad del agua que se requiere para su reutilización, se concluye que las etapas del sistema propuesto están conformadas por un pre-tratamiento seguida de un tratamiento físico químico. El sistema inicia con la sedimentación primaria el cual está dividido por 3 secciones, estas se llenan por rebose quedando las partículas de mayor tamaño en cada sección, consecutivamente se envía **8,5 m<sup>3</sup>** de agua semi-tratada al departamento de goma para su posterior reutilización, dejando el 6% de lodos en el sedimentador primario. Los metros cúbicos restantes son bombeados a la segunda etapa

del tratamiento (coagulación, floculación y sedimentación secundaria), con el objetivo de tener agua tratada y enviarla al tanque de almacenamiento para su reutilización en los rodillos engomadores en el área de corrugación.

Los cálculos de instalación, selección y dimensionamiento de los equipos se diseñaron de acuerdo al caudal máximo a tratar que se obtuvo mediante el método volumétrico ( $38 \text{ m}^3/\text{diario}$ ), ocupando un área de  $65 \text{ m}^2$  con una profundidad de 2,5 m, ya que se propone que el montaje de los mismos sea embebido, debido al área que dispone la empresa.

- ✓ Mediante los indicadores económicos considerados en esta investigación, se concluye que la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales es totalmente viable, debido a que la tasa interna de retorno (TIR), se obtuvo un porcentaje del 18% (mayor a la TMAR=11,8%), el valor neto actual (\$ 5.701,49) es mayor que 0, con un periodo de recuperación de inversión de aproximadamente 5 años. Por otra parte, cada dólar que serán invertidos en la propuesta se obtiene \$0,30.

## 5.2. Recomendaciones.

Se plantea las siguientes recomendaciones a la empresa Cartones Nacionales Cartopel S.A.I.

- ✓ Realizar un estudio en las demás áreas, acerca de otras fuentes que generen aguas residuales, con el propósito de tratarlas y reutilizarlas en otros posibles procesos o actividades de la misma entidad.
- ✓ Analizar el comportamiento del agua residual proveniente del área de corrugación, con distintos tipos de coagulantes y floculantes, mediante el test de jarras y verificar la eficiencia y eficacia de los mismos en función de los costos y remoción de turbidez.
- ✓ Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para cada uno de los equipos que intervienen en el sistema como son: sedimentador primario, mezclador estático, floculador mecánico, sedimentador secundario, bombas y tuberías, con el fin de prevenir el desgaste prematuro de piezas, equipos y obtener un desarrollo óptimo en el sistema de tratamiento y recuperación de agua.
- ✓ Considerar la implementación del sistema, ya que presenta beneficios económicos, sociales y ambientales, que aportarían a la obtención de la certificación de la norma ambiental ISO 14001, ya que al reutilizar aguas residuales industriales, disminuye el consumo de agua potable, por ende reducen los costos de producción, lo cual conlleva a que la empresa sea más rentable y al mismo tiempo colabore con el medio ambiente.

## **CAPÍTULO VI**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] UNESCO, «Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos "Aguas Residuales el recurso Desaprovechado",» place de Fontenoy, París, 2017.
- [2] 3. Decreto Ejecutivo, «TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE,» Registro Oficial Edición Especial 2 Última modificación: 29-mar.-2017, Ecuador-Quito, 2017.
- [3] P. ambientum.com, «Clasificación de aguas residuales industriales,» *Ambientum*, 2002.
- [4] M. Espigares y A. Pérez, «Aguas Residuales, Composición,» España, 2016.
- [5] E. C. LTDA., «GLOSARIO DE TERMINOS. SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO ALTERNATIVO PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL,» Guayaquil, 2017.
- [6] L. Cabrera Pérez, Operaciones Unitarias, México: Universidad autónoma metropolitana unidad Azcapotzaico, 2009.
- [7] C. y. S. (. Asociación de Corrugadores del Caribe, «Manual de elaboración del cartón ondulado,» *Revista Corrugando*, 2015.
- [8] P. Snyder, «Avances en adhesivo para corrugados de base almidón,» *El empaque+Conversión*, nº 1, pp. 1-3, 2001.
- [9] R. Tandazo y R. Quevedo, «TRATABILIDAD DEL EFLUENTE INDUSTRIAL DE LA INDUSTRIA DE CARTÓN,» Guayaquil, 2011.
- [10] R. A. T. (. S. p. l. P. y. e. T. d. A. Residuales), «MANUAL DE TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES EN TRATAMIENTO DE AGUAS,» Morató, J; Peñuela, G., Barcelona, 2016.
- [11] B. Farias de Marquez, «iagua,» Aqualia, 6 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/factores-evaluar-eleccion-y-seleccion-operaciones-y-procesos-diseno-plan>. [Último acceso: 25 Febrero 2018].

- [12] M. Aguilar, J. Sáez, M. Lloréns, A. Soler y J. Ortuño, «Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación,» Universidad de Murcia, España, 2002.
- [13] S. Teichert, F. Carrasco y W. Platzer, «Estudio de tecnologías de tratamiento de aguas residual y concentración en la industria.,» Fraunhofer, Chile, 2017.
- [14] A. Marin y M. Oses, «Operacion y mantenimiento de plantas de tratamientos de aguas residuales en el proceso de lodos activados,» México, 2013.
- [15] A. Noyola, J. Morgan y L. Guereca, «Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales,» México, 2013.
- [16] J. Ríos, Depuración de las aguas residuales, J. M. Gavira, 2013.
- [17] R. Galvín, Características físicas, químicas y biológicas de las aguas, 2008.
- [18] R. Claramunt, D. Cornago, S. Santos, F. M, M. Pérez y D. Sanz, Principales compuestos químicos, Madrid, 2013.
- [19] AWT, «Water quality association,» A. W. Treatment, USA, 2015.
- [20] CHINAFLOC, «CHINAFLOC,» CHINAFLOC "Expert of water - soluble copolymer", 26 Febrero 2016. [En línea]. Available: [http://www.chinafloc.com/es/El-uso-de-poliacrilamida-catinica--aninica-y-no-inica\\_1004.html](http://www.chinafloc.com/es/El-uso-de-poliacrilamida-catinica--aninica-y-no-inica_1004.html). [Último acceso: 1 Marzo 2018].
- [21] D. Noel, *Fabricante y Exportador de productos químicos*, China, 2017.
- [22] M. Robert, *Mecánica de fluidos*, México: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [23] 5. minutos.es, *El Diagrama de Ishikawa "Solucionar los problemas desde su raíz"*, LEPETITLITTERAIRE, 2016.
- [24] G. Baca, *Fundamentos de Ingeniería Económica*, México: Mc Graw-Hill, 2017.


- [25] J. Cogollo, «CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO,» *DYNA*, vol. 78, nº 165, pp. 18-27, 2011.
- [26] C. Rothstrom, «Impacto posible de las aguas residuales en el adhesivo de almidón para el corrugado,» *El Empaque + Conversión*, 2001.
- [27] R. Q. E. Tandazo, «TRATABILIDAD DEL EFLUENTE INDUSTRIAL DE LA INDUSTRIA CARTÓN,» Guayaquil, 2011.
- [28] V. Cerón, «UDENAR,» 2016. [En línea]. Available: [http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg\\_vcp.pdf](http://sired.udenar.edu.co/3769/1/tg_vcp.pdf). [Último acceso: 20 Febrero 2018].
- [29] N. Navarro, «ISA "Ingeniería y Servicios Ambientales",» 2015. [En línea]. Available: <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>. [Último acceso: 20 Febrero 2018].
- [30] F. Oviedo, «Escuela Superior Politécnica del Litoral,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/39152/D-103235.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [Último acceso: 18 Marzo 2018].
- [31] E. Florencia, «RiuNet,» 2016. [En línea]. Available: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/71959/y1241812x\\_TFG\\_14734050761311264996433947215002.pdf?sequence=2](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/71959/y1241812x_TFG_14734050761311264996433947215002.pdf?sequence=2). [Último acceso: 18 Marzo 2018].
- [32] Fundamentos2014kabe, «blogdiario.com Hispavista,» 30 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <http://fundamentos2014kabe.blogspot.es/1419924291/parte-3-operaciones-unitarias-pretratamiento-de-aguas-residuales/>. [Último acceso: 1 Abril 2018].
- [33] Metcalf y Eddy, *WasteWater Engineering Treatment and reuse*, McGraw-Hill , 2003.
- [34] I. L. d. Vargas, «BVSDE (Biblioteca virtual de BVSDE),» [En línea]. Available: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cinco.pdf>. [Último acceso: 1 Abril 2018].

- [35] C. NOVATEC, «Novatecfs.com,» [En línea]. Available: [http://novatecfs.com/images/stories/contenido/catalogos/pdf/mezcladores\\_estaticos\\_novatec.pdf](http://novatecfs.com/images/stories/contenido/catalogos/pdf/mezcladores_estaticos_novatec.pdf). [Último acceso: 7 Abril 2018].
- [36] I. Y. A. Cárdenas, «SEDAPAL,» Abril 2000. [En línea]. Available: [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154). [Último acceso: 10 Abril 2018].
- [37] E. Martínez y J. Estrada, «Sedimentador laminar en el tratamiento de agua para consumo humano,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- [38] ISA, «ISA (INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES),» [En línea]. Available: <http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/como-elegir-una-bomba-dosificadora>. [Último acceso: 2018 Abril 2018].
- [39] A. Cordón Orellana, «biblioteca.usac.edu,» Mayo 2013. [En línea]. Available: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1328\\_Q.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1328_Q.pdf). [Último acceso: 28 Abril 2018].
- [40] W. McCabe, J. Smith y P. Harriott, Operaciones unitarias en ingeniería química, España: McGraw-Hill, 1991.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

## Anexo 1. Ficha técnica del policloruro de aluminio (coagulante).

	<b>FICHA TECNICA</b> <b>POLICLORURO DE ALUMINIO - PAC</b> <b>QUIMIPAC</b>	<b>FTP-</b> <b>PAG. 1 DE 1</b> <b>VERSION: 1</b>
---	---	--

### 1. PROPIEDADES

FÓRMULA:  $Al_n(OH)_m Cl_{3-n-m}$

SINONIMOS: PAC, QUIMIPAC

PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol

### 2. REGULACIONES

RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo



### 3. USOS PRINCIPALES

EL Policloruro de Aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.

### 4. PROPIEDADES TÍPICAS

Apariencia:	Sólido Amarillo
pH (1% Stn)	3.5 - 5
Basicidad %:	75-90
$Al_2O_3$ %	30±1
Insolubles %	Máx. 5

### 5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El QUIMIPAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol. El QUIMIPAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación.

El producto se comercializa en bolsas de 25 kg.

### 6. PRECAUCIÓN

Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto. En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua. En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua. En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco. En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar. Si respira dificultosamente se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos. En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.

## Anexo 2. Ficha técnica de la poliacrilamida aniónica (floculante).



### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

Nombre del Producto: POLIACRILAMIDA  
Fecha de Revisión: SEP 2013. Revisión N°01



NFPA

#### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

##### PRODUCTO

Nombre Químico: Poliacrilamida aniónica  
Uso indicado/recomendado: Tratamiento químico del agua  
Número CAS: (Ver sección 2)  
Sinónimos: SUPERFLOC® A-130HMW

**COMPañIA:** GTM

##### Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00  
Guatemala: +502 6628 5858  
El Salvador: +503 2251 7700  
Honduras: +504 2540 2520  
Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395  
Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028  
Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1  
Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)  
Perú: +511 614 65 00  
Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1  
República Dominicana +809 682 2000  
Argentina +54 115 031 1774

#### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

**INGREDIENTES PELIGROSOS:** No hay componentes peligrosos

#### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: No aplica  
Clasificación NFPA: Salud: 0 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0

**EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:** ninguno

**Peligros Especiales:** No hay Peligros especiales conocidos.

#### SECCION 4 : MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

<b>Inhalación:</b>	No se anticipa que el material sea lesivo por inhalación. Retirar la víctima al aire libre.
<b>Contacto Dérmico:</b>	Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón.
<b>Contacto Ocular:</b>	Enjuagar inmediatamente con abundancia de agua por lo menos durante 15 minutos.
<b>Ingestión:</b>	No se anticipa que el material sea lesivo por ingestión. No son necesarias medidas especiales de primeros auxilios.

#### SECCION 5 : MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

<b>Agente de Extinción:</b>	Utilizar agua rociada, bióxido de carbono o un agente químico seco.
<b>Procedimientos especiales:</b>	Aislar el área de riesgo. Evacuar al personal no capacitado o sin protección. Refrigerar los recipientes que estuvieran expuestos al fuego, rociando agua sobre los mismos.
<b>Equipo de protección para la Emergencia:</b>	Los bomberos y otras personas que pudieran estar expuestas deben usar aparatos respiratorios autónomos.

#### SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

<b>Medidas de emergencia:</b>	Refiérase a la Sección 8 (Protección Personal/Controles de Exposición) para el Equipo de Protección Personal
<b>Método de control y limpieza:</b>	Resbaladizo cuando está mojado. Barrer y colocarlo en recipientes para descarte. Enjuagar con agua el área del derrame. Si permanece resbaladizo, aplicar más compuesto para barrido en seco. Evitar que el líquido ingrese a desagües sanitarios.

#### SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

<b>Condiciones de almacenaje:</b>	Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo. No utilizar contenedores ni equipo de hierro, cobre o aluminio.
<b>Embalajes recomendados:</b>	No utilizar contenedores ni equipo de hierro, cobre o aluminio.

### **Anexo 3. Procedimiento para determinar la concentración madre óptima.**

- Calcular la masa a utilizar para cada concentración madre.
- Diluir la masa encontrada en 1 litro de agua destilada.
- Calcular el volumen de dosificaciones en base a las concentraciones hijas establecidas y con la ayuda de una pipeta medir el volumen requerido y vaciar en un matraz Erlenmeyer de 100ml.
- Vaciar 1 litro de agua residual en cada vaso de precipitación.
- Homogeneizar el agua residual con la utilización del equipo test de jarras, mezclando a una velocidad rápida (100rpm), durante 3 minutos.
- Vaciar el volumen de dosificaciones contenidos en el matraz Erlenmeyer al mismo tiempo durante 1 minuto.
- Observar y seleccionar el vaso de precipitación donde se formaron mayor flóculos e identificar la dosificación y concentración madre utilizada.

## Anexo 4. Normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) D2035-13.



Designation: D2035 – 13

### Standard Practice for Coagulation-Flocculation Jar Test of Water<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D2035; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

#### 1. Scope

1.1 This practice covers a general procedure for the evaluation of a treatment to reduce dissolved, suspended, colloidal, and nonsettling matter from water by chemical coagulation-flocculation, followed by gravity settling. The procedure may be used to evaluate color, turbidity, and hardness reduction.

1.2 The practice provides a systematic evaluation of the variables normally encountered in the coagulation-flocculation process.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard.

1.4 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

D1129 Terminology Relating to Water

D1193 Specification for Reagent Water

D1293 Test Methods for pH of Water

D3370 Practices for Sampling Water from Closed Conduits

D6855 Test Method for Determination of Turbidity Below 5 NTU in Static Mode

D7315 Test Method for Determination of Turbidity Above 1 Turbidity Unit (TU) in Static Mode

#### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology D1129.

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D19 on Water and is the direct responsibility of Subcommittee D19.03 on Sampling Water and Water-Formed Deposits, Analysis of Water for Power Generation and Process Use, On-Line Water Analysis, and Surveillance of Water.

Current edition approved Jan. 1, 2013. Published February 2013. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2008 as D2035–08. DOI: 10.1520/D2035-13.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

#### 4. Summary of Practice

4.1 The coagulation-flocculation test is carried out to determine the chemicals, dosages, and conditions required to achieve optimum results. The primary variables to be investigated using the recommended practice include, but are not limited to:

4.1.1 Chemical additives,

4.1.2 pH,

4.1.3 Temperature, and

4.1.4 Order of addition and mixing conditions.

#### 5. Significance and Use

5.1 This practice permits the evaluation of various coagulants and coagulant aids used in the treatment of water and waste water for the same water and the same experimental conditions.

5.2 The effects of concentration of the coagulants and coagulant aids and their order of addition can also be evaluated by this practice.

#### 6. Interferences

6.1 There are some possible interferences that may make the determination of optimum jar test conditions difficult. These include the following:

6.1.1 *Temperature Change (During Test)*—Thermal or convection currents may occur, interfering with the settling of coagulated particles. This can be prevented by temperature control.

6.1.2 *Gas Release (During Test)*—Flotation of coagulated floc may occur due to gas bubble formation caused by mechanical agitator, temperature increase or chemical reaction.

6.1.3 *Testing-Period*—Biological activity or other factors may alter the coagulation characteristics of water upon prolonged standing. For this reason the period between sampling and testing should be kept to a minimum, with the time being recorded.

#### 7. Apparatus

7.1 *Multiple Stirrer*—A multiposition stirrer with continuous speed variation from about 20 to 150 rpm should be used. The stirring paddles should be of light gage corrosion-resistant material all of the same configuration and size. An illuminated base is useful to observe the floc formation. Precautionary

powdered aids to the dissolving water rather than the reverse, and add slowly to the shoulder of a vortex created by stirring. If a vortex is not formed, the dry powder will merely collect on the surface of the water in gummy masses and become very difficult to dissolve. Dissolving time may vary from several minutes to several hours. Suggested manufacturers' procedures for wetting, dissolving, and storing should be followed when available. Liquid forms can be readily prepared to the above strength without difficulty.<sup>4</sup>

**9. Sampling**

9.1 Collect the water sample under test in accordance with the applicable Practices D3370.

**10. Procedure**

10.1 Measure equal volumes (1000 mL) of sample into each of the jars or 1500-mL Griffin beakers. As many sample portions may be used as there are positions on the multiple stirrer. Locate beakers so that the paddles are off-center, but clear the beaker wall by about 6.4 mm (¼ in.). Record the sample temperature at the start of the test.

10.2 Load the test chemicals in the reagent racks. Use one rack for each series of chemical additions. Make up each tube in the rack to a final volume of 10 mL, with water, before using. There may be a situation where a larger volume of reagent will be required. Should this condition prevail, fill all tubes with water to a volume equal to the largest volume of reagent in the reagent rack. When adding slurries, it may be necessary to shake the rack to produce a swirling motion just prior to transfer.

10.3 Start the multiple stirrer operating at the "flash mix" speed of approximately 120 rpm. Add the test solution or suspensions, at predetermined dosage levels and sequence. Flash mix for approximately 1 min after the additions of chemicals. Record the flash mix time and speed (rpm).

10.4 Reduce the speed as necessary to the minimum required to keep floc particles uniformly suspended throughout

the "slow mix" period. Slow mix for 20 min. Record the time for the first visible floc formation. Every 5 min (during the slow mix period), record relative floc size and mixer speed (rpm). If coagulant aids are used, mixing speed is critical because excessive stirring tends to break up early floc formation and may redisperse the aid.

10.5 After the slow mix period, withdraw the paddles and observe settling of floc particles. Record the time required for the bulk of the particles to settle. In most cases this time will be that required for the particles to settle to the bottom of the beaker; however, in some cases there may be interfering convection currents. If so, the recorded settling time should be that at which the unsettled or residual particles appear to be moving equally upward and downward.

10.6 After 15 min of settling, record the appearance of floc on the beaker bottom. Record the sample temperature. By means of a pipet or siphon, withdraw an adequate sample volume of supernatant liquor from the jar at a point one half of the depth of the sample, to conduct color,<sup>5</sup> turbidity, pH and other required analyses, (Note 1) determined in accordance with Test Methods D6855 or D7315 (for turbidity) and D1293 (for pH). A suggested form for recording results is appended (see Fig. 2).

NOTE: 1—Tests for residual chemicals should be included, for example, alum; residual Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; copperas; residual Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; etc.

10.7 Repeat steps 10.1-10.6 until all pertinent variables have been evaluated.

10.8 The times given in 10.3, 10.4, and 10.6 are only suggestions.

**11. Reproducibility**

11.1 It is recognized that reproducibility of results is important. To demonstrate reproducibility, the so-called 3 and 3 procedure is suggested. In this procedure, duplicate sets of 3 jars each are treated simultaneously with the same chemical dosages in jars 1 and 4, 2 and 5, and 3 and 6.

**12. Keywords**

12.1 coagulation; flocculation; jar tests

<sup>4</sup> A periodically updated "Report on Coagulant Aids for Water Treatment" is published by the Environmental Protection Agency Office of Water Supply, Cincinnati, Ohio 45268, listing coagulant aids that may be used in water treatment without adverse physiological effects on those using the water, based on information submitted by the manufacturers or distributors, or both.

<sup>5</sup> For the color determination, reference is made to *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, Fourteenth edition, American Public Health Association, Inc., New York, NY, 1975, pp. 64-71.

## Anexo 5. Parámetros permisibles del agua potable, según norma INEN 1108.



Quito – Ecuador

**NORMA  
TÉCNICA  
ECUATORIANA**

**NTE INEN 1108**  
Quinta revisión  
2014-01

**AGUA POTABLE. REQUISITOS**

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

---

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

---

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.  
ICS: 13.060.20

10 Páginas
---------------

## PARÁMETROS DE CALIDAD Y LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES

El agua potable, también llamada para consumo humano, debe cumplir con las disposiciones legales nacionales, a falta de éstas, se toman en cuenta normas internacionales. Los límites máximo permisibles (LMP) referenciales (\*\*) para el agua potable de los parámetros que se controlan actualmente, se indican en el cuadro siguiente.

LIMITES MAXIMO PERMISIBLES (LMP) REFERENCIALES  
DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA

PARAMETRO	LMP	Referencia
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	(1)
Bacterias heterotróficas, UFC/ml	500	(1)
pH	6,5 – 8,5	(1)
Turbiedad, UNT	5	(1)
Conductividad, 25° C us/cm	1500	(2)
Color, UCV – Pt-Co	20	(2)
Cloruros, mg/L	250	(2)
Sulfatos, mg/L	250	(2)
Dureza, mg/L	500	(3)
Nitratos, mg NO <sub>3</sub> /L (*)	50	(1)
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) (2)
Aluminio, mg/L	0,2	(1)
Cobre, mg/L	3	(2)
Plomo, mg/L (*)	0,1	(2)
Cadmio, mg/L (*)	0,003	(1)
Arsénico, mg/L (*)	0,1	(2)
Mercurio, mg/L (*)	0,001	(1)
Cromo, mg/L (*)	0,05	(1)
Flúor, mg/L	2	(2)
Selenio, mg/L	0,05	(2)

Notas:

- (1) Valores tomados provisionalmente de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (1995)
- (2) Valores establecidos en la norma nacional "Reglamento de Requisitos Oficiales físicos, químicos y bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables", aprobado por Resolución Suprema del 17 de Diciembre de 1946
- (3) En el caso de los parámetros de conductividad y dureza, considerando que son parámetros que afectan solamente la calidad estética del agua, tomar como referencia los valores indicados, los que han sido propuestos para la actualización de la norma de calidad de agua para consumo humano especialmente para aguas subterráneas.
- (\*) Compuestos tóxicos

## Anexo 6. Tipos de ácidos para disminuir la alcalinidad del agua (Ph).

Ácido	% de ingrediente activo	Mililitros/379 litros (onza líquida/100 galones) de agua para neutralizar 50 ppm de alcalinidad	ppm de elemento suministrado	Seguridad relativa*	Costo**
Ácido cítrico (H <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> )	50 %	52,64 ml (1,78 oz)	Ninguno	1	\$\$\$
Ácido nítrico (H <sub>2</sub> NO <sub>3</sub> )	67 %	25,73 ml (0,87 oz)	14,3 ppm de N	5	\$\$
Ácido fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	75 %	27,80 ml (0,94 oz)	27,5 ppm de P	3	\$\$
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	35 %	41,99 ml (1,42 oz)	16,1 ppm de S	3	\$

\*Seguridad relativa: 1 = bastante seguro; 5 = muy peligroso \*\*Costo: \$ = menor precio; \$\$\$ = mayor precio

**Fuente:** Catálogo Pro-Mix.

Anexo 7. Formulación para elaborar la goma.

**CARTOPEL**  
INDUSTRIAS QUIMICAS GUAYACIL

20 de marzo de 2017

**FORMULA DE GOMA HARPER LOVE – CARTOPEL GUAYAQUIL**

PASO	ITEN	UNIDAD	CANTIDAD	%	OBSERVACIONES
1	Agua	kg	804	36.47%	
2	Calentar a	°C	25		177 Galones Imperiales +/- 10 litro + dependiendo SA
3	Almidón Perla	kg	100	4.54%	
4	Mezclar	segundos	30		+/- 5 kg dependiendo la SA
5	Soda Caustica 50%	kg	26	1.18%	13 kg. soda y 13 kg. De agua = 26 kg.
6	Mezclar	segundos	300		300 SEGUNDOS = 5 MINUTOS
7	Bórax (10 MOL)	kg	2	0.09%	
8	Mezclar	segundos	120		120 segundos = 2 minutos
9	Agua	kg	450	20.41%	187 46 Galones Imperiales
10	Bórax (10 MOL)	kg	3	0.14%	
11	Agua	kg	345	15.65%	77 75 Galones Imperiales
12	Multibond LA	kg	34	1.54%	RESINAS DE HARPER LOVE
13	Mezclar	segundos	40		
14	Almidón	kg	440	19.96%	+/- 5 kg dependiendo la SA
15	Mezclar	segundos	300		300 SEGUNDOS = 5 MINUTOS
16	Penetrante XM5	kg	0.6	0.03%	
	<b>PESO</b>	kg	2204.6	100%	

\* Sem. total de mezcla

**SODA CAUSTICA DILUIR EN 13 Kg DE AGUA**  
transferir a tanque de almacenamiento  
Nota: En las unidades de agua y XM5 (1kg = 1 litro).  
1 gal imperial = 4.546 litros.

PARAMETROS FINALES		
	Unidades	batch
VISCOSIDAD (copa Stein Hall)	segundos	25-45
TEMPERATURA	°C	35 - 40
PUNTO GEL	°C	60 +/- 1
PESO BATCH	kg	2204.6
PESO DE SOLIDOS NETOS	kg	592.0
PESO DE SOLIDOS COMERCIALES	kg	605.6
% DE SOLIDOS NETOS	%	26.9%
% DE SOLIDOS COMERCIALES	%	27.5%
GALONES POR BATCH	galones	354
KILOS PRODUCTO POR GALON	kg/gal	1.71

25-26

\*Penetrante se adiciona 600 ml al final de la mezcla

Gerente de Planta

Sr. Daniel Villa  
Control de Calidad

**Anexo 8. Toma, manejo y conservación de la muestra (agua residual industrial) según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 169:98.**

**INEN**

**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA      NTE INEN 2 169:98**

---

**AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y  
CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.**

**Primera Edición**

WATER. WATER QUALITY. SAMPLING. HANDLING AND MAINTENANCE OF SAMPLES.

First Edition

---

DESCRPTORES: Agua, calidad, muestreo, muestras para el análisis, preservación, manejo, condiciones generales.  
AL 01.06-202  
CCL: 614.777.620.113  
CIIU: 42.420.4200  
ICS: 13.080.01

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.</b>	<b>NTE INEN 2 169:98 1998-11</b>
<p><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece las precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar muestras de agua y describe las técnicas de conservación más usadas.</p> <div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; text-align: center;"><p><b>2. ALCANCE</b></p><p>2.1 Esta norma se aplica particularmente cuando una muestra (simple o compuesta) no puede ser analizada en el sitio de muestreo y tiene que ser trasladada al laboratorio para su análisis.</p></div> <p><b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p>3.1 Las aguas, particularmente las aguas superficiales y sobre todo las aguas residuales, son susceptibles a cambios en diferente grado como resultado de las reacciones físicas, químicas o biológicas, las cuales tienen lugar desde el momento del muestreo y durante el análisis. La naturaleza y el rango de estas reacciones son tales que, si no se toman precauciones antes y durante el transporte, así como durante el tiempo en el cual las muestras son conservadas en el laboratorio antes del análisis, las concentraciones determinadas en el laboratorio serán diferentes a las existentes en el momento del muestreo.</p> <p>3.2 Principalmente en casos de duda, se debe consultar al analista y/o al especialista que interpretará los resultados, antes de decidir sobre el método preciso de conservación y manipulación.</p> <p>3.3 Las causas de variación son numerosas, algunas de ellas son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Las bacterias, algas y otros microorganismos pueden consumir ciertos elementos presentes en la muestra; pueden modificar la naturaleza de los constituyentes para producir nuevos. Esta actividad biológica afecta, por ejemplo: al contenido de oxígeno disuelto, al dióxido de carbono, a los compuestos de nitrógeno, fósforo y algunas veces al silicio.</li><li>b) Ciertos compuestos pueden ser oxidados por el oxígeno disuelto contenido en las muestras o por el oxígeno atmosférico, por ejemplo: compuestos orgánicos, hierro (II), sulfatos, etc.</li><li>c) Ciertas sustancias pueden precipitar, por ejemplo: calcio, carbonatos, metales y compuestos metálicos como: hidróxido de aluminio <math>Al(OH)_3</math>, fosfato de magnesio <math>Mg_3(PO_4)_2</math>; o perderse en la fase gaseosa (por ejemplo: oxígeno, cianuro, mercurio).</li><li>d) El pH, la conductividad, el contenido de dióxido de carbono, etc. pueden modificarse por la absorción del dióxido de carbono del aire.</li><li>e) Los metales disueltos o en estado coloidal así como ciertos compuestos orgánicos pueden ser absorbidos o adsorbidos irreversiblemente sobre la superficie de los recipientes o por los materiales sólidos contenidos en la muestra.</li><li>f) Los productos polimerizados pueden despolimerizarse; lo contrario los compuestos simples pueden polimerizarse.</li></ul> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, muestras para el análisis, preservación, manejo, condiciones generales.</p>		

**4.1.5** Las precauciones son necesarias en cualquier caso, para prevenir que los recipientes que anteriormente hayan estado en contacto con muestras de alta concentración de algún elemento, contaminen posteriormente muestras de baja concentración. Los recipientes desechables son adecuados, si son económicos para prevenir este tipo de contaminación pero no se recomiendan para determinaciones de parámetros especiales como los de pesticidas organoclorados.

**4.1.6** Las muestras blanco de agua destilada deben tomarse, conservarse y analizarse como un control de la elección del recipiente y del proceso de lavado.

**4.1.7** Cuando las muestras son sólidas o semisólidas, se deben usar jarras o botellas de boca ancha.

## **4.2 Preparación de recipientes**

### **4.2.1 Recipientes de muestras para análisis químicos**

**4.2.1.1** Para el análisis de trazas de constituyentes químicos, de agua superficial o residual, es necesario lavar los recipientes nuevos con el fin de minimizar la contaminación de la muestra; el tipo de limpiador usado y el material del recipiente varían de acuerdo a los constituyentes a ser analizados.

**4.2.1.2** El recipiente nuevo de vidrio, se debe lavar con agua y detergente para retirar el polvo y los residuos del material de empaque, seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada.

**4.2.1.3** Para el análisis de trazas, los recipientes se deben llenar con una solución 1 mol/l de ácido clorhídrico o de ácido nítrico y dejarlos en contacto por un día, luego enjuagar completamente con agua destilada o desionizada.

**4.2.1.4** Para la determinación de fosfatos, sílice, boro y agentes surfactantes no se deben usar detergentes en la limpieza de los recipientes.

**4.2.1.5** Para el análisis de trazas de materia orgánica puede ser necesario un pretratamiento especial de las botellas (ver 4.2.2).

### **4.2.2 Recipientes de muestras para determinación de pesticidas, herbicidas y sus residuos.**

**4.2.2.1** Se deben usar recipientes de vidrio (preferiblemente ámbar), debido a que los plásticos, excepto el politetrafluoroetileno (PTFE), pueden introducir interferencias que son significativas en el análisis de trazas.

**4.2.2.2** Todos los recipientes, se deben lavar con agua y detergente, seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada, secados en estufa a 105 °C por 2 h y enfriados antes de enjuagarlos con el disolvente de extracción que se usará en el análisis. Finalmente se deben secar con una corriente de aire purificado o de nitrógeno.

**4.2.2.3** A los recipientes que han sido usados anteriormente, se debe realizar una extracción con acetona por 12 h seguido de un enjuague con hexano y de un secado como el descrito en el párrafo anterior.

### **4.2.3 Recipientes de muestras para análisis microbiológico.**

**4.2.3.1** Deben ser aptos para resistir la temperatura de esterilización de 175 °C durante 1 h y no deben producir o realizar cambios químicos a esta temperatura que inhiban la actividad biológica; inducir la mortalidad o incentivar el crecimiento.

**4.2.3.2** Cuando se usa la esterilización a bajas temperaturas (por ejemplo: esterilización con vapor) se pueden usar recipientes de policarbonato y de polipropileno resistente al calor. Las tapas y otros sistemas de cierre deben ser resistentes a la misma temperatura de esterilización.

**4.2.3.3** Los recipientes deben estar libres de ácidos, álcalis y compuestos tóxicos. Los recipientes de vidrio se deben lavar con agua y detergente seguido de un enjuague con agua destilada; luego deben ser enjuagados con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 10% (v/v), seguido de un enjuague con agua destilada para remover cualquier residuo de metales pesados o de cromatos.

**4.2.3.4** Si las muestras contienen cloro, se debe adicionar tiosulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) antes de la esterilización de los recipientes (ver tabla 3). Con esto se elimina la inactivación de las bacterias debida al cloro.

### **4.3 Llenado del recipiente**

**4.3.1** En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se convierten a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tiende a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).

**4.3.2** En las muestras que se van a utilizar en el análisis microbiológico, los recipientes, no deben llenarse completamente de modo que se deje un espacio de aire después de colocar la tapa. Esto permitirá mezclar la muestra antes del análisis y evitar una contaminación accidental.

**4.3.3** Los recipientes cuyas muestras se van a congelar como método de conservación, no se deben llenar completamente (ver 4.4).

### **4.4 Refrigeración y congelación de las muestras**

**4.4.1** Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó. Los recipientes se deben llenar casi pero no completamente.

**4.4.2** La refrigeración o congelación de las muestras es efectiva si se la realiza inmediatamente luego de la recolección de la muestra. Se debe usar, cajas térmicas o refrigeradores de campo desde el lugar del muestreo.

**4.4.3** El simple enfriamiento (en baño de hielo o en refrigerador a temperaturas entre  $2^\circ\text{C}$  y  $5^\circ\text{C}$ ) y el almacenamiento en un lugar oscuro, en muchos casos, es suficiente para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio y por un corto período de tiempo antes del análisis. El enfriamiento no se debe considerar como un método de almacenamiento para largo tiempo, especialmente en el caso de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales industriales (ver tabla 1).

**4.4.4** El congelamiento ( $-20^\circ\text{C}$ ) permite un incremento en el período de almacenamiento, sin embargo, es necesario un control del proceso de congelación y descongelación a fin de retomar a la muestra a su estado de equilibrio inicial luego del descongelamiento. En este caso, se recomienda el uso de recipientes de plástico (cloruro de polivinilo). Los recipientes de vidrio no son adecuados para el congelamiento. *Las muestras para análisis microbiológico no se deben congelar.*

### **4.5 Filtración y centrifugación de muestras**

**4.5.1** La materia en suspensión, los sedimentos, las algas y otros microorganismos deben ser removidos en el momento de tomar la muestra o inmediatamente después por filtración a través de papel filtro, membrana filtrante o por centrifugación. La filtración no es aplicable si el filtro es capaz de retener unos o más de los componentes a ser analizados. También es necesario que el filtro no sea causa de contaminación y que sea cuidadosamente lavado antes del uso, pero de manera compatible con el método final de análisis.

TABLA 1 - Técnicas generales para la conservación de muestras - análisis fisico-químico.

Parámetros	Tipo de recipiente P = plástico V = vidrio VB = vidrio borosilicatado	Técnicas de Conservación	Lugar del Análisis	Tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis. (Si no se especifica el periodo, es que no es importante. "1 mes" indica que se conserva sin dificultad)	Recomendaciones	Método de Ensayo NTE INEN
Acidez y alcalinidad	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	De preferencia analizar en el punto de muestreo (especialmente para muestras con altos contenidos de gases disueltos)	
Aluminio disuelto <sup>1)</sup>	P	Filtración en el lugar del muestreo y acidificación del filtrado a pH < 2	Laboratorio	1 mes	El aluminio disuelto <sup>1)</sup> y el adherido a la materia en suspensión se pueden determinar en la misma muestra.	
total		Acidificación a pH < 2	Laboratorio	1 mes		
Amonio, libre e ionizado	P o V	Acidificar a pH < 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h		
		Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	6 h		
AOX Haluros orgánicos absorbibles	V	Acidificar a pH < 2 con ácido nítrico, refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad	Laboratorio	3 días	Analizar tan pronto sea posible. Referir a Normas Internacionales para detalles relevantes para tipos especiales de agua.	
Arsénico	P o V	Acidificar a pH < 2	Laboratorio	1 mes	El HCl se emplea, si el método de análisis es de la técnica de hidruro.	980
Bario	P o VB		Ver	Aluminio	No usar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
DBO (demanda bioquímica de oxígeno)	P o V (es preferible vidrio para concentraciones bajas de DBO)	Refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h		
Fluoruro y boratos	P		Laboratorio	1 mes		
Bromuros y sus compuesto	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	Las muestras se deben proteger de la luz directa del sol	
Cadmio	P o VB		Ver	Aluminio		982
Calcio	P o V	--	Laboratorio	24 h	Hasta 48 h es posible, pero extremando las precauciones para muestras con una conductividad mayor a 70 mS/m.	1107
		Acidificar a pH < 2	Laboratorio	1 mes	La acidificación (no con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), permite la determinación en la misma muestra de calcio y de otros metales.	
Dióxido de carbono	P o V	--	En el sitio	--		

1) Disuelto: implican a los que pasan a través de un filtro de 0,45 µm de diámetro de poro.

(Continuación tabla 1)

Carbono orgánico	V	Acidificar a pH < 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , refrigerar a 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad.	Laboratorio	1 semana	La técnica de conservación depende del método de análisis usado. El análisis se debe realizar lo más pronto posible.	
	P	Congelar a -20°C	Laboratorio	1 mes	El congelamiento a -20°C se usa en ciertos casos.	
Cloruros	P o V	--	Laboratorio	1 mes		976
Cloro residual	P o V	--	En el sitio	--	Transportar en oscuridad. Realizar el análisis lo antes posible.	977
Clorofila	P o V	Refrigerar a 4°C	Laboratorio	24 h	Transportar en oscuridad.	
		Luego de filtrar refrigerar el residuo.	Laboratorio	1 mes		
Cromo (VI)	P o VB	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h		983
Cromo total	P o VB			Ver	Aluminio	
Cobalto	P o VB			Ver	Aluminio	
DQO (demanda química de oxígeno)	P o V (preferible vidrio para contenidos bajos de DQO)	Acidificar a pH < 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , refrigerar entre 2°C y 5°C, guardar en la oscuridad.	Laboratorio	5 días		
	P	Congelar a -20 °C	Laboratorio	1 mes		
Color	P o V	--	En el sitio	--		970
Conductividad	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C y guardar en la oscuridad	Laboratorio	24 h	El análisis de preferencia realizarlo en el sitio	
		Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h		
Cobre	P o VB			Ver	Aluminio	984
Cianuro, liberado fácilmente	P	la técnica de conservación de			depende del método análisis usado	
Cianuro total	P	la técnica de conservación de			depende del método análisis usado	
Detergentes				Ver	Surfactantes	
Residuo seco				Ver	Residuo Total	972
Fuoruros	P pero no PTFE	--	Laboratorio	1 mes		985
Grasas, aceites, hidrocarburos	Vidrio lavado con el solvente usado en la extracción.	Cuando sea posible extraer en el sitio y refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	Se recomienda adicionar el agente de extracción inmediatamente luego de recoger la muestra; o realizar la extracción en el sitio (seguir las regulaciones locales sobre seguridad).	
Metales pesados (excepto mercurio)	P o VB			Ver	Aluminio	
Hidrazina	V	Acidificar con HCl (100 cm <sup>3</sup> por litro de muestra) y guardar en oscuridad.	Laboratorio	24 h		
Hidrocarburos				Ver	Grasas	
Hidrogen-carbonatos				Ver	Alcalinidad	

## Anexo 9. Análisis químico DBO y DQO.



INFORME DE ENSAYOS  
70549-1



70549-1 14/02/18 09:00:35 Luis

VERA GALARZA KASANDRA ADRIANA  
Representante Legal: VERA GALARZA KASANDRA ADRIANA  
Mucho Lote Tercera Etapa, Guayaquil Guayas. Tel. 0990052803  
Atención: Ing. Kasandra Vera

Guayaquil, 14 DE FEBRERO DEL 2018

### DATOS DE MUESTREO

Fecha/Hora/Lugar de Muestreo: 31/01/18 14:35 Guayaquil - Cartopel  
Fecha/Hora Recepción Muestras: 31/01/18 14:57  
Punto e Identificación de la Muestra: Interconexión entre Glue machine flauta B y flauta C ( área de la corrugadora)  
Matriz de la muestra: AGUA RESIDUAL  
Muestreo por/Muestreador/Tipo de Muestreo: VERA GALARZA KASANDRA ADRIANA / Cliente / Simple  
Duración de Muestreo:  
Coordenadas Geográficas: ---  
Norma Técnica de muestreo: N/A---  
Muestreo Actividad Acreditada: Muestreo de Aguas Naturales y Residuales. Parámetros: DBO, DQO, Aceites y Grasas, TPH, Fenoles, ST y SST.

### AGREGADOS ORGANICOS:

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U K=2	MÉTODO	ANALIZADO POR
Demanda Bioquímica de Oxígeno	3030,00	mgO2/l	145,44	PEE-GQM-FQ-05	01/02/18 LS
Demanda Química de Oxígeno	6062,80	mgO2/l	748,15	PEE-GQM-FQ-16	01/02/18 LS

### SIMBOLOGÍA:

---- No. Aplica  
< LD Menor al Límite Detectable  
N.E. No Efectuado

U K=2 Incertidumbre  
E.P.A. Environmental Protection Agency  
S.M. Standard Methods

L.M.P. Límite Máximo Permisible  
P.E.E. Procedimiento Específico de Ensayo

### NOMENCLATURA:

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada Cap. 5 Manual de Calidad de GQM
- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.
- (4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)

Q. F. FERNANDO MARCOS V.  
Director Técnico

Q. F. LAURA YANQUI M.  
Coordinadora de calidad

### IMPORTANTE:

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA la reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

**Anexo 10. Toma de muestras y medición de parámetros físicos.**



**Toma de muestra del efluente  
proveniente del área de  
corrugación.**



**Medición de temperatura.**



**Medición del Ph.**



**Medición de la turbidez.**

## **Anexo 11. Descarga de efluentes al sistema de alcantarillado según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente).**

### **5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado**

**5.2.3.1** Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. Las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 9.

**5.2.3.2** Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental competente que corresponda.

**5.2.3.3** Cuando los sujetos de control, aún cumpliendo con las normas de descarga, contribuyan con una concentración que afecte a la planta de tratamiento, la Entidad Prestadora de Servicio podrá exigirles valores más restrictivos en la descarga, previo a los estudios técnicos que deberán realizar para justificar esta decisión.

**5.2.3.4** Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros:

- a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
- c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- e) Cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno y sustancias tóxicas.

**5.2.3.5** La EPS podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma.

La EPS deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

TABLA 9. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables.	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>6+</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables		ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	220,0
Sólidos totales		mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

**Anexo 12. Criterios de calidad para aguas de uso Industrial según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua TULSMA (Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente).**



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Es toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, que utilice agua tomada directamente de una fuente natural o red pública.

**2.48 Valores de línea de base**

Parámetros o indicadores que representan cuantitativa o cualitativamente las condiciones de línea de base.

**2.49 Valores de fondo**

Parámetros o indicadores que representan cuantitativa o cualitativamente las condiciones de línea de fondo.

**2.50 Zona de mezcla**

Es el área técnicamente determinada a partir del sitio de descarga, indispensable para que se produzca una mezcla homogénea en el cuerpo receptor.

**3 CLASIFICACION**

**3.1 Criterios de calidad por usos**

1. Criterios de calidad para aguas destinadas al consumo humano y uso doméstico, previo a su potabilización.
2. Criterios de calidad para la preservación de flora y fauna en aguas dulces frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuarios.
3. Criterios de calidad para aguas subterráneas.
4. Criterios de calidad para aguas de uso agrícola o de riego.
5. Criterios de calidad para aguas de uso pecuario.
6. Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.
7. Criterios de calidad para aguas de uso estético.
8. Criterios de calidad para aguas utilizadas para transporte.
9. Criterios de calidad para aguas de uso industrial.



## PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

Las aguas que sean usadas para uso estético, tendrán que cumplir con los siguientes criterios de calidad:

- a) Ausencia de material flotante y de espumas provenientes de la actividad humana.
- b) Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- c) Ausencia de sustancias productoras de color, olor, sabor, y turbiedad no mayor a 20 UTN.
- d) El oxígeno disuelto será no menor al 60% del oxígeno de saturación y no menor a 6 mg/l.

### 4.1.8 Criterios de calidad de las aguas para transporte

Se entiende el uso del agua para transporte, su empleo para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales inocuos por contacto directo.

El único parámetro a regular será el Oxígeno disuelto, que deberá ser mayor a 3 mg/l.

### 4.1.9 Criterios de calidad para aguas de uso industrial

Se entiende por uso industrial del agua su empleo en actividades como:

- a) Procesos industriales y/o manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos o complementarios;
- b) Generación de energía y
- c) Minería.

Para el uso industrial, se deberán observar los diferentes requisitos de calidad correspondientes a los respectivos procesos, aplicando el criterio de tecnología limpia que permitirá la reducción o eliminación de los residuos (que pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos).

### 4.2 Criterios generales para la descarga de efluentes

#### 4.2.1 Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua

4.2.1.1 El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor.

**Anexo 13. Simulación a nivel laboratorio del tratamiento físico-químico.**



Preparación de la solución de policloruro de aluminio en 1 lt de agua destilada (concentración madre del 5%)



Homogeneización (cada vaso contiene 1lt de agua residual)



Medición de soluciones hijas mediante una pipeta



Agregación de la poliacrilamida aniónica (floculante)



Turbidímetro (NTU)



Peachímetro

Anexo 14. Resultados de los análisis químicos del agua tratada comparado con los del agua potable.

 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	 <b>UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>LABORATORIOS</b> <b>AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE</b> Facultad de Ingeniería Química Universidad de Guayaquil C/ta. Universitaria Salvador Allende Teléfono: 2292949 - FAX: 2294772 Guayaquil - Ecuador	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO</b>  <b>POR EL SAE CON ACREDITACIÓN</b>  <b>N° OAE LE C 08-003</b>
---	--	--

**INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO**

		INFORME N°: LA / 030 / 18
<b>CUMPLE CITADO POR:</b>	KASANDRA VERA	
<b>EMPRESA:</b>	-	
<b>DIRECCIÓN:</b>	Quevedo vía Valencia	
<b>Fecha de inicio de análisis:</b>	2018 / 03 / 09	<b>Fecha de recepción:</b>
<b>Fecha de culminación de análisis:</b>	2018 / 03 / 09	2018 / 03 / 08

**IDENTIFICACIÓN DE LOS ANALISIS TABULADOS**

<b>A: MUESTRA AGUA DE LA CORRUGADORA TRATADA.</b>	<b>TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL<sup>(1)</sup></b>
	<b>FECHA DE MUESTREO: 2018 / 03 / 08<sup>(2)</sup></b>

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	incert.	Límites Máximos Permisibles <sup>(2)</sup>	Método
			A	U (k=2)		
*Conductividad		µs/cm	255	± 36.35	CUMPLE	2510 B
*Alcalinidad	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	52	-	CUMPLE	2320 B S.M.
*Dureza	CaCO <sub>3</sub>	mg/l	80	-	CUMPLE	2340 B S.M.

**OBSERVACIONES:**

\*Los ensayos marcados (\*) NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE.

<sup>(1)</sup> Dato proporcionado por la empresa.

<sup>(2)</sup> Agua Potable, requisitos NTE ENEN 1108 quinta revisión 2014-01, Tabla 1.

 <b>ING. MARLON RAMIREZ</b> DIRECTOR TÉCNICO	<b>Fecha de emisión:</b> 2018 / 03 / 12
---	--

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE 23RD EDITION

\* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.  
 Nota: \* Queda prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Anexo 15. Cálculos de los valores estipulados en la tabla 29 (Características físicas de los fluidos a mezclar).

## AGUA RESIDUAL

### a) Viscosidad dinámica

Este valor se toma en función a la temperatura del agua residual (32 °C valor obtenido del análisis físico-químico), como se puede observar en el siguiente gráfico el valor es de **0,000765 Kg/m.s** (kilogramo/metros por segundo), equivalente a Pa.s (Pascal por segundo).

Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)	Temperatura °C	Viscosidad dinámica kg / (m·s)
0	0,001792	34	0,000734	68	0,000416
1	0,001731	35	0,000720	69	0,000410
2	0,001674	36	0,000705	70	0,000404
3	0,001620	37	0,000692	71	0,000399
4	0,001569	38	0,000678	72	0,000394
5	0,001520	39	0,000666	73	0,000388
6	0,001473	40	0,000653	74	0,000383
7	0,001429	41	0,000641	75	0,000378
8	0,001386	42	0,000629	76	0,000373
9	0,001346	43	0,000618	77	0,000369
10	0,001308	44	0,000607	78	0,000364
11	0,001271	45	0,000596	79	0,000359
12	0,001236	46	0,000586	80	0,000355
13	0,001202	47	0,000576	81	0,000351
14	0,001170	48	0,000566	82	0,000346
15	0,001139	49	0,000556	83	0,000342
16	0,001109	50	0,000547	84	0,000338
17	0,001081	51	0,000538	85	0,000334
18	0,001054	52	0,000529	86	0,000330
19	0,001028	53	0,000521	87	0,000326
20	0,001003	54	0,000512	88	0,000322
21	0,000979	55	0,000504	89	0,000319
22	0,000955	56	0,000496	90	0,000315
23	0,000933	57	0,000489	91	0,000311
24	0,000911	58	0,000481	92	0,000308
25	0,000891	59	0,000474	93	0,000304
26	0,000871	60	0,000467	94	0,000301
27	0,000852	61	0,000460	95	0,000298
28	0,000833	62	0,000453	96	0,000295
29	0,000815	63	0,000447	97	0,000291
30	0,000798	64	0,000440	98	0,000288
31	0,000781	65	0,000434	99	0,000285
32	0,000765	66	0,000428	100	0,000282
33	0,000749	67	0,000422		

### b) Densidad

La densidad se la relaciona con la densidad del agua (1 gr /cm<sup>3</sup>).

Conversión a (Kg/m<sup>3</sup>)

$$1 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{Kg}{1000gr} \times \frac{(100 cm)^3}{m^3} = 1000 Kg/m^3$$

### c) Caudal

Mediante la investigación de campo se determinó el caudal máximo, obteniendo un valor de  $38 \text{ m}^3/\text{dia}$ , entonces:

#### Conversión a ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$$38 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times \frac{\text{dia}}{24 \text{ h}} \times \frac{\text{h}}{60 \text{ min}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 4,398 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

## COAGULANTE

### a) Viscosidad dinámica y densidad

Estos valores fueron tomados de la ficha técnica del coagulante policloruro de aluminio.

Densidad	1,2 gr/cm <sup>3</sup>
Solubilidad (es)	Soluble en agua en todas proporciones
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	No aplicable
Temperatura de auto-inflamación	No auto-inflamable
Temperatura de descomposición	Dato no disponible
Viscosidad	40 cps (aprox.)
Propiedades explosivas	NO
Propiedades comburentes	No

#### Conversión a ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) (densidad)

$$1,2 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{(100 \text{ cm})^3}{\text{m}^3} = 1200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

#### Conversión a ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) (viscosidad) (CP= centipoise)

$$40 \text{ CP} \times \frac{\text{Pa}\cdot\text{s}}{1000 \text{ CP}} = 0,04 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

### b) Caudal.

El valor es de  $4,333 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ , como se puede observar en el anexo 16.

## Anexo 16. Cálculos de caudales y diámetros de tuberías.

Para determinar el diámetro óptimo de las tuberías que intervienen en el sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto, se calcula en función del caudal y velocidad del fluido, la cual se recomienda para líquidos menos viscosos (agua residual a tratar) una velocidad de promedio de entrada de **0,6 m/s** y para aquellos líquidos de mayor viscosidad (fluido del coagulante y floculante) de **0,10 m/s**, como se presenta en la tabla 51, según [40].

**Tabla 54.** Velocidad recomendada de los fluidos en una tubería.

Fluido	Tipo de Flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0.5 – 1	0.15 – 0.30
	Entrada de bomba	1 – 3	0.3 – 0.9
	Salida de bomba	4 – 10	1.2 – 3
	Línea de Conducción	4 – 8	1.2 – 2.4
Líquidos viscosos	Entrada de bomba	0.2 – 0.5	0.06 – 0.15
	Salida de bomba	0.5 – 2	0.15 – 0.6
Vapor de Agua		30 – 50	9 – 15
Aire o gas		30 – 100	9 – 30

Fuente: Libro de W. McCabe, J. Smith y P. Marriot.

### a. Cálculo de los caudales en cada tubería.

**Tubería 1 y 2:** Por estas tuberías circula el agua que sale del sedimentador primario, el caudal se toma como referencia al caudal máximo que se obtuvo mediante la investigación de campo, dando como resultado 26lt/min equivalente a  **$4,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$** .

$$26 \frac{\text{lt}}{\text{min}} \times \frac{\text{m}^3}{1000\text{lt}} \times \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} = 4,33 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}.$$

**Tubería 3:** Conducción del caudal del coagulante que se bombea al mezclador estático, para realizar el proceso de coagulación, mediante el test de jarras se determinó la cantidad óptima de coagulante, dando un valor de 10ml por cada litro de agua, equivalente a 0,01 litros por cada litro de agua a tratar. El caudal máximo a tratar es de  $38 \text{ m}^3/\text{dia}$  equivalente a 26 lt/min.

Entonces:

$$26 \frac{lt}{min} \times 0,01 = 0,26 \text{ lt } /min.$$
$$0,26 \frac{lt}{min} \times \frac{m^3}{1000lt} \times \frac{min}{60 s} = 4,333 \times 10^{-6} \text{ m}^3/s$$

**Tubería 4:** Conducción del caudal del floculante que se bombea para realizar el proceso de floculación, mediante el test de jarras se determinó la cantidad óptima de floculante, dando un valor de 0,5ml por cada litro de agua, equivalente a 0,0005 litros por cada litro de agua a tratar. El caudal que sale del proceso de coagulación es:  $26 \text{lt}/\text{min} + 0,26 \text{lt}/\text{min} = 26,26 \text{lt}/\text{min}$ .

Entonces:

$$26,26 \frac{lt}{min} \times 0,0005 = 0,0131 \text{ lt } /min$$
$$0,0131 \frac{lt}{min} \times \frac{m^3}{1000lt} \times \frac{min}{60 s} = 2,2 \times 10^{-7} \text{ m}^3/s$$

**Tubería 5:** Conducción del caudal del agua tratada al área de corrugación, a las fases que se requiere reutilizar (flauta C; Flauta B; Glue Machine), en donde se determinó que el consumo de agua diariamente en esta área es de  $26,22 \text{ m}^3$ . Entonces:

$$26,22 \frac{m^3}{dia} \times \frac{dia}{24 h} \times \frac{h}{3600 sg} = 3,04 \times 10^{-4} \text{ m}^3/s$$

#### b. Cálculo de la sección de la tubería.

Obteniendo los datos del caudal y la velocidad de cada tubería, se procede a calcular el área de cada una de ellas y posteriormente el diámetro.

$$A = \frac{Q}{v}$$
$$A = \frac{0,000433 \text{ m}^3/s}{0,6 \text{ m}/sg}$$
$$A = 0,0007216 \text{ m}^2$$

### Cálculo del diámetro de la tubería ( $\Phi$ )

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,0007216 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,0151 \text{ m}$$

$$\Phi = 2r$$

$$\Phi = 2 (0,0151 \text{ m})$$

$$\Phi = 0,031 \text{ m}$$

### Conversión a pulgadas (in)

$$0,031 \text{ m} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \times \frac{\text{in}}{2,54 \text{ cm}} = 1,19 \text{ in} \approx 1\frac{1}{4}''$$

En la tabla 32 se aprecia el resumen de los cálculos del diámetro de tuberías, realizados en cada una de ellas, tomando como referencia al que más se acerque al diámetro nominal.

**Tabla 32:** Resumen de los cálculos del diámetro óptimo para cada tubería que interviene en el sistema propuesto.

TUBERIAS	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDAD RECOMENDADA (m/s)	SECCIÓN DE LA TUBERÍA (m <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (pulgadas)	DIÁMETRO NOMINAL según las NTE INEN 2415 (pulgadas)
1	0,000433	0,6	0,000722	1,19	1 1/4
2	0,000433	0,6	0,000722	1,19	1 1/4
3	0,000004	0,1	0,000043	0,29	1/2
4	0,000000	0,1	0,000002	0,07	1/2
5	0,000304	0,6	0,000507	1,00	1

**Fuente:** Microsoft Excel.

**Autor:** Vera Kasandra, [2018].

**Anexo 17. Cálculo del área de tubería, en función al diámetro nominal seleccionado y velocidad entrante al mezclador estático.**

**Área de tubería (A) en  $m^2$**

Una vez obtenido el diámetro nominal de cada tubería, como se calculó en el anexo 16, se determinó que el diámetro (D), que conduce a la entrada del mezclador es de  $1\frac{1}{4}$  "(pulgada), entonces mediante este dato se calcula el área de la tubería.

$$A = \pi (D/2)^2$$

$$A = \pi (1,25/2)^2$$

$$A = 1,23 \text{ in}^2$$

$$1,23 \text{ in}^2 \times \frac{(2,54 \text{ cm})^2}{\text{in}^2} \times \frac{\text{m}^3}{(100 \text{ cm})^2} = 7,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

**Velocidad entrante al mezclador estático (v) en m/s.**

Mediante cálculos antepuestos, se determinó que el caudal (Q) del agua residual y del coagulante son de:  $4,398 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  y  $4,333 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  consecutivamente. Entonces mediante estos datos se calcula la velocidad entrante al mezclador estático.

$$v = \frac{Q_{AGUA RESIDUAL} + Q_{COAGULANTE}}{A}$$

$$v = \frac{4,398 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} + 4,333 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}}{7,94 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v = 0,56 \text{ m/s}$$

**Anexo 18. Cotización del mezclador estático y del sedimentador laminar de pantallas inclinadas a la empresa NOVARSА.**

**Elementos no incluidos en esta oferta**

- Bombas de alimentación de líquido a tratar, válvulas.
- Descarga en destino.
- Instalación y montaje
- Piping
- Bombas de extracción de lodos sedimentados
- Obras civiles. Bases y techos protectores.
- Alimentación eléctrica
- Otros materiales componentes o servicios no explícitamente incluidos en el volumen de suministro.
- Dosificador de productos químicos.

**Precio**

Clarificador **Novarsa** modelo IPS +2, de acuerdo a volumen de suministro  
Cantidad: 1  
Precio unitario: u\$s 3.950,00 EXW

Opinión:

Mezclador estático  
Cantidad: 1  
Precio unitario: u\$s 1.020,00 EXW

**Plazo de entrega**

45/60 días EXW, de recibida la orden de compra y acreditado el anticipo.

**Forma de pago**

50% de anticipo, saldo contra entrega.

**Lugar de entrega**

EXW en nuestra planta de Gran Buenos Aires, Argentina.

**Validez de la oferta**

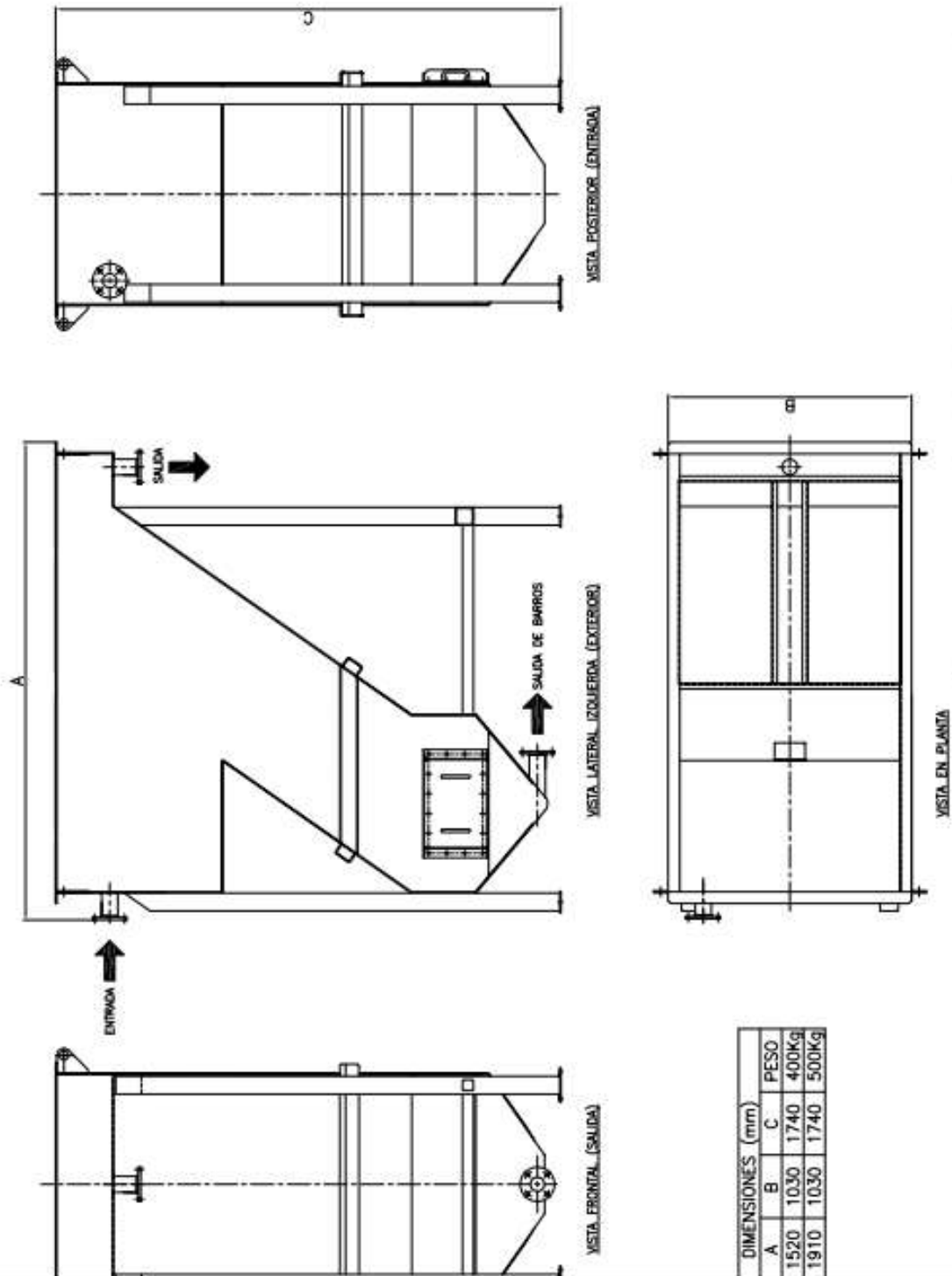
30 días corridos.

Quedamos a su disposición para cualquier consulta o ampliación

Atentos saludos,

**NOVARSA S.A.**





DIMENSIONES (mm)				
IPS	A	B	C	PESO
+2	1520	1030	1740	400Kg
+4	1910	1030	1740	500Kg

**Anexo 19. Dimensiones de los tanques de almacenamiento de aguas tratadas, del catálogo de Rotoplast.**



Medidas aproximadas en cms

Capacidad Lts	A	B	C	D
150	65	40	81	90
250	88	58	74	83
500	108	70	96	108
750	125	92	102	116
1000	137	90	125	140
2000	157	116	157	175
3000	181	141	168	185
5000	222	165	210	231
10000	256	225	248	297

**Anexo 20. Selección de los depósitos que contienen la disolución de químicos (coagulante y floculante). Catálogo Klinwass.**

### DEPÓSITOS DISOLUCIÓN GRADUADOS



Depósito 120 litros

- > Depósitos cilíndricos con tapa roscada.
- > Boca roscada inspección de 150 mm.
- > Construidos en polipropileno traslúcido o negro.

CÓDIGO	COLOR	VOLUMEN (l)	ALTURA (mm)	DIÁMETRO (mm)	PESO	P.V.P.	
2150030350	TRASLÚCIDO	70	460	460	4	50,00 \$	SL
2150030351	TRASLÚCIDO	125	870	460	6	55,00 \$	SL
2150030352	TRASLÚCIDO	250	790	675	8	63,00 \$	CD
2150030353	TRASLÚCIDO	200	800	600		69,00 \$	CD
2150030354	TRASLÚCIDO	350	1.070	675	12	75,00 \$	CD
2150030355	TRASLÚCIDO	550	1.300	780	18	85,00 \$	CD
2150030356	TRASLÚCIDO	1.500	1.350	1.055	40	120,00 \$	CD

**Anexo 21. Valores típicos de coeficientes de rugosidad absoluta de acuerdo al tipo de material.**

Material	Coefficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams $C_H$	Coef. Rugosidad Absoluta e (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	--	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
Plástico (PVC)	0.009	150	0.0015
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

**Fuente:** Computer applications in Hydraulic Engineering, 5<sup>th</sup> Edition, Haestad Methods.

**Anexo 22. Cálculo del coeficiente de resistencia (K) en las pérdidas de cargas, en función de los accesorios.**

Para determinar el coeficiente de resistencia K se basa en la siguiente ecuación:

$$K = (Le/D)f$$

Donde:

- Le= Longitud equivalente.
- D= Diámetro interior real de la tubería.
- *f*= Factor de fricción en la tubería a la que está conectada el accesorio (se utilizan los mismos valores calculados mediante la tabla de Moody).

En la siguiente tabla se presenta el valor (*Le/D*), llamado relación de longitud equivalente y se considera constante para un tipo dado de accesorios. Los utilizados en la presente propuesta son: válvulas de globo, válvulas de compuertas, codos de 90 grados y T.

**Tabla:** Resistencia de accesorios, expresada como longitud equivalente en diámetros de tubería (*Le/D*).

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería <i>Le/D</i>
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
—¼ abierta	35
—½ abierta	160
—¾ abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

**Fuente:** Libro de Crane Valves, Signal Hill, CA.

Entonces, reemplazando valores en la ecuación que se requiere para calcular el valor de  $K$ , se presenta los resultados en función de cada accesorio, en la siguiente tabla de resumen.

<b>EN VÁLVULAS DE GLOBO</b>			
<b>TUBERIA</b>	<b>FACTOR DE FRICCIÓN (<math>f</math>)</b>	<b>(<math>L_e/D</math>) EN VÁLVULAS DE GLOBO</b>	<b><math>K</math></b>
1	0,031	340	<b>10,54</b>
2	0,031	340	<b>10,54</b>
3	1,680	340	<b>571,2</b>
4	6,740	340	<b>2291,6</b>
5	0,025	340	<b>8,5</b>
<b>EN VÁLVULAS DE COMPUERTA</b>			
<b>TUBERIA</b>	<b>FACTOR DE FRICCIÓN (<math>f</math>)</b>	<b>(<math>L_e/D</math>) EN VÁLVULAS DE COMPUERTA</b>	<b><math>K</math></b>
1	0,031	8	<b>0,248</b>
2	0,031	8	<b>0,248</b>
3	1,680	8	<b>13,44</b>
4	6,740	8	<b>53,92</b>
5	0,025	8	<b>0,2</b>
<b>EN CODOS DE 90 GRADOS</b>			
<b>TUBERIA</b>	<b>FACTOR DE FRICCIÓN (<math>f</math>)</b>	<b>(<math>L_e/D</math>) EN CODOS DE 90</b>	<b><math>K</math></b>
1	0,031	20	<b>0,62</b>
2	0,031	20	<b>0,62</b>
3	1,680	20	<b>33,6</b>
4	6,740	20	<b>134,8</b>
5	0,025	20	<b>0,5</b>
<b>EN T ESTÁNDAR</b>			
<b>TUBERIA</b>	<b>FACTOR DE FRICCIÓN (<math>f</math>)</b>	<b>(<math>L_e/D</math>) EN T ESTÁNDAR</b>	<b><math>K</math></b>
1	0,031	20	<b>0,62</b>
2	0,031	20	<b>0,62</b>
3	1,680	20	<b>33,6</b>
4	6,740	20	<b>134,8</b>
5	0,025	20	<b>0,5</b>

### Anexo 23. Cálculo de las pérdidas de cargas por cada accesorio.

Su cálculo se basa mediante la ecuación:

$$h_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde:

- $h_L$  = Pérdida de carga por accesorios (m).
- $K$  = coeficiente de resistencia (adimensional) Anexo 22.
- $v$  = velocidad del fluido que circula por los accesorios (m/s). Tabla
- $g$  = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).

#### a) Pérdida de carga en la válvula de globo.

TUBERIA	$K$	VELOCIDAD DEL FLUIDO (m/s)	GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	$h_L$
1	10,54	0,6	9,8	0,19
2	10,54	0,6	9,8	0,19
3	571,2	0,1	9,8	0,29
4	571,2	0,1	9,8	0,29
5	8,5	0,6	9,8	0,16

#### b) Pérdida de carga en la válvula de compuerta.

TUBERIA	$K$	VELOCIDAD DEL FLUIDO (m/s)	GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	$h_L$
1	0,248	0,6	9,8	0,00
2	0,248	0,6	9,8	0,00
3	13,44	0,1	9,8	0,01
4	13,44	0,1	9,8	0,01
5	0,2	0,6	9,8	0,00

c) Pérdida de carga en los codos de 90 grados.

TUBERIA	$K$	VELOCIDAD DEL FLUIDO (m/s)	GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	$h_L$
1	0,62	0,6	9,8	0,01
2	0,62	0,6	9,8	0,01
3	33,6	0,1	9,8	0,02
4	33,6	0,1	9,8	0,02
5	0,5	0,6	9,8	0,01

d) Pérdida de T estándar.

TUBERIA	$K$	VELOCIDAD DEL FLUIDO (m/s)	GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	$h_L$
1	0,62	0,6	9,8	0,01
2	0,62	0,6	9,8	0,01
3	33,6	0,1	9,8	0,02
4	33,6	0,1	9,8	0,02
5	0,5	0,6	9,8	0,01

## Anexo 24. Selección de bombas mediante catálogos.

### a) Selección de la bomba BP1, catálogo TRUPER.

Periféricas 1/2 HP		PRETUL	Ultracraft
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impulsor de latón</li> <li>- Ø Entrada / salida: 1 NPT</li> <li>- Tensión / Frecuencia: 120 V / 60 Hz</li> <li>- Motor cerrado con ventilación externa</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impulsor de aluminio</li> <li>- Ø Entrada / salida: 1 NPT</li> <li>- 120 V / 60 Hz</li> <li>- Motor cerrado con ventilación externa</li> </ul>
<b>Código:</b>	10068	20168	42030
<b>Clave:</b>	BOAP-1/2	BOAP-1/2P	BOAP-1/2U
<b>Motor:</b>	 Bobinas de cobre 2x Mayor durabilidad	Bobinas de aluminio	Bobinas de aluminio
<b>Altura máxima:</b>	70 m	35 m	25 m
<b>Máxima profundidad:</b>	8 m	8 m	6 m
<b>Ciclo de trajo:</b>	50 min. de trabajo x 20 min. de descanso	30 min. de trabajo x 20 min. de descanso	20 min. de trabajo x 15 min. de descanso
<b>Máximo diario:</b>	6 Horas	6 Horas	6 Horas
<b>Dimensiones:</b>	B 12 x A 16 x F 26 cm	B 12 x A 15 x F 25 cm	B 12 x A 15 x F 25 cm
<b>Peso:</b>	5.5 kg	4.6 kg	3.5 kg
<b>Empaque:</b>	CAJA 1 / MASTER 4	CAJA 1 / MASTER 4	CAJA 1 / MASTER 4
<b>Subdis.:</b>			
<b>Mayoreo:</b>	\$ 160 / NC 2	\$ 140 / NC 1	\$ 110 / NC 1
<b>Público:</b>			


[+ VER GRANDE](#)

### b) Selección de la bomba BD1, catálogo Klinwass.

BOMBA DOSIFICADORA KCL				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Bomba dosificadora electromagnética-ajustable manualmente 0-100%.</li> <li>&gt; Alimentación estándar 90-265 Vac (24-48 Vac bajo pedido).</li> <li>&gt; Kit instalación completo compuesto por: válvulas de pie, válvula inyección, tornillos y soporte fijación, tubo aspiración PVC, tubo impulsión PE.</li> <li>&gt; PTFE diagram. Entrada de nivel (accesorio no suministrado).</li> </ul>			
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRESIÓN bar</b>	<b>CAUDAL (l/h)</b>	<b>P.V.P.</b>
2150030010	KCL 603 PVDF	8	5	130
BOMBA DOSIFICADORA AKS				
	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Válvulas de doble bola en cerámica.</li> <li>&gt; Carcasa en PP.</li> <li>&gt; Cabezal y válvulas en PVDF.</li> <li>&gt; Membrana de teflón.</li> <li>&gt; Peso: 3 kg.</li> <li>&gt; Medidas: 119 x 231 x 149,4 mm.</li> </ul>			
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>				
Alimentación eléctrica 100-240 Vac 50/60Hz		Temperatura de trabajo de 5° a 60 °C		
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRESIÓN bar</b>	<b>CAUDAL (l/h)</b>	<b>P.V.P.</b>
2150030015	AKS603 PVDF	8	12	142,5
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>P.V.P.</b>		
2150030440	SONDA DE NIVEL (OPCIONAL)	26,6		

c) Selección de la bomba BD2, catálogo Klinwass.

**BOMBA DOSIFICADORA AKS**



- > Válvulas de doble bola en cerámica.
- > Carcasa en PP.
- > Cabezal y válvulas en PVDF.
- > Membrana de teflón.
- > Peso: 3 kg.
- > Medidas: 119 x 231 x 149 mm.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- Alimentación eléctrica 100-240 Vac 50/60Hz
- Temperatura de trabajo: de 5° a 60 °C.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRESIÓN bar	CAUDAL (l/h)	P.V.P.
2150030015	AKS603 PVDF	6	0,8	120

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	P.V.P.
2150030440	SONDA DE NIVEL (OPCIONAL)	19,5

d) Selección de la bomba BP2, catálogo TRUPER.

**Periféricas 1/4 HP**

- Impulsor de latón
- Ø Entrada / salida: 1 NPT
- 120 V / 60 Hz
- Motor cerrado con ventilación externa




10069	20169
<b>BOAP-1/4</b>	<b>BOAP-1/4P</b>
Bobinas de cobre 2x Mayor durabilidad	Bobinas de aluminio
43m	43m
50 min. de trabajo x 20 min. de descanso	30 min. de trabajo x 20 min. de descanso
6 Horas	6 Horas
B14 x A 18 x F 29 cm	B13 x A 17 x F 29 cm
8.4 kg	7.9 kg
CAJA 1	CAJA 1 / MASTER 4
\$ 120 / NC 2	\$ 98 / NC 2

## Anexo 25. Selección y cotización de tuberías.

El sistema propuesto está diseñado con 2 tipos de materiales de tuberías, acero galvanizado y PVC, la siguiente tabla indica la cantidad en metros que se requiere y el diámetro nominal de cada tubería, para poder realizar la cotización.

TUBERIA	MATERIAL	LONGITUD DE TUBERIA (m)	TOTAL (m)
1	Acero galvanizado de 1 1/4 "	11	14
2		3	
3	Acero galvanizado de 1/2 "	6	12
4		6	
5	PVC de 1"	19	19

A continuación se indica para tuberías de 1 1/4", de acuerdo al catálogo NOVACERO.



### NORMAS TÉCNICAS:

NTE INEN 2415

### LONGITUDES:

6 metros  
Otras longitudes bajo pedido.

### TOLERANCIA:

Diámetro exterior:  
< 50.80 mm +/- 0.50 mm  
≥ 50.80 mm +/- 0.75 mm  
Longitud: -6 mm; +13 mm (para tubería de 6 m)

### RECUBRIMIENTO:

Galvanizado

### Tubo redondo 1 1/4" o 1.1mm - NOVACERO

Sea el primero en dejar una reseña para este producto

Tubo redondo 1 1/4" o 1.1mm, peso= 6.92kg cada U

**17,02 \$**

Disponibilidad: En existencias

Escribe un Email a un amigo

Como se necesitan 14m de tubo de acero galvanizado de 1 1/4", serían 3 tubos cada uno de 6m, lo que en dólares simboliza (3 x \$17,02 = **\$51,06**).

Para las tuberías de acero galvanizado de 1/2", se cotizó en PROMAINCA, donde el valor es de \$12,10 cada tubo de 6m. Como se necesitan 12m, serían 2 tubos, lo que en dólares representa (2 x \$12,10 = **\$24,20**). Para las tuberías PVC con diámetro de 1", el costo es de \$10, tubos de 6m.

## Anexo 26. Cotizaciones de los equipos e insumos que intervienen en el sistema propuesto.

### Cotizaciones de los insumos (coagulante y floculante).

TDS PAC SERIES PAC-03... 369 KB | TDS PAC SERIES PAC-01... 326 KB | TDS PAC SERIES PAC-02... 332 KB | TDS EAÉ 157 KB

Mostrar todos 4 archivos adjuntos (1 MB) | Descargar todo | Guardar todo en OneDrive - Personal

Querida Kasandra Vera:

Buen día para ti, soy Eric, gerente de ventas, muchas gracias por tu correo.

Tenemos policloruro de aluminio en polvo blanco y amarillo, también lo llamamos cloruro de polialuminio, aquí está el precio FOB:  
 PAC-01 polvo blanco, USD480 / ton, embalado en bolsa tejida de 25kgs con bolsa de papel higiénico, total de 25 toneladas en un contenedor de 20'.

Polvo amarillo pálido PAC-02, USD425 / ton, empaquetado en una bolsa tejida de 25kgs con bolsa de papel higiénica interna, un total de 22 toneladas en un contenedor de 20'.

PAC-031, grado industrial de polvo amarillo, USD 365 / ton, embalado en bolsa tejida de 25kgs con bolsa de papel higiénica interna, total de 22 toneladas en un contenedor de 20'.

Y nuestra poliácilamida aniónica, tenemos productos en polvo y en emulsión, el precio FOB del producto en emulsión es USD 750 / m3,

Por favor, amablemente encuentre nuestras especificaciones técnicas adjuntas, y déjenme saber sus comentarios.

Mi whatsapp: 86-13861499902.

Fuente: Yixing Bluwat Chemicals Co., Ltd.

### Cotización de la excavación por $m^3$ .

Rubro	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Excavación para formación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m. en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión.					
1	h	Equipo y maquinaria Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW.	0,332	47,70	15,84
			Subtotal equipo y maquinaria:		15,84
2	h	Mano de obra Peón de albañil.	0,256	4,05	1,04
			Subtotal mano de obra:		1,04
3	%	Herramienta menor Herramienta menor	2,000	16,88	0,34
Costos directos (1+2+3):					17,22
<b>Pliego de condiciones</b>					
<b>RUBRO ADE010: EXCAVACIÓN DE ZANJAS Y POZOS.</b>					
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b> Excavación para formación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m. en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.					
<b>CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO</b> Volumen medido sobre las secciones teóricas de la excavación, según documentación gráfica de Proyecto, sin duplicar esquinas ni encuentros.					

Fuente: [http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/calculaprecio.asp?](http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?)

Cotización de planchas acero A-36, con 6mm de espesor 48 Kg/m<sup>2</sup>.

Dimensión estándar: (1,22m X 2,44 m).



**PLANCHA ASTM A-36**

Es un acero estructural de baja resistencia, con una resistencia mecánica aproximadamente de 400 Mpa distribuido uniformemente de muy buena conformabilidad en frío y soldabilidad

**Usos**

- Orejas de Levante
- Bastidores para maquinaria
- Rastras para Sedimentadores y/o Clarificadores
- Construcción de depósitos
- Empresa de construcción de edificios y/o galpones

**Formato de venta**

- Plancha
- Espesores que fluctúan entre los 6 y 100 mm
- Dimensiones estándar y cortes especiales

Fuente: Promainca.

Cotización del floculador mecánico.



**Serie NFRE-3000 - Floculador**

Propela curva tripala o bipala  
Ø 300 hasta 3 600 mm  
Velocidad: desde 8 hasta 70 rpm  
Potencia: desde 0,37 hasta 1,1 kW  
Volumen del depósito: desde 500 l hasta 700 m3  
Aplicación: floculación  
Precio: \$918

Fuente: Catálogo NOVARSA.

**Cotización de válvula de compuerta.**


<b>VÁLVULAS DE COMPUERTA</b>		
Código	Artículo	
<b>VÁLVULAS DE COMPUERTA</b>		
	• Cuerpo	
	• Compuerta de latón	
AA 01 041	Rosca 1/2"	5,42
AA 01 042	Rosca 3/4"	5,58
AA 01 043	Rosca 1"	8,20
AA 01 044	Rosca 1-1/4"	14,04
AA 01 045	Rosca 1-1/2"	16,61
AA 01 046	Rosca 2"	26,62
AA 01 047	Rosca 2-1/2"	54,48
AA 01 048	Rosca 3"	87,36
AA 01 049	Rosca 4"	153,58




Fuente: Catálogo Salvador Escoda S.A.


**Cotización de válvula de globo.**

Código	Artículo	
<b>VÁLVULAS PRESIÓN MÁX.: 25 BAR - TEMPERATURA: -10 / + 130°C</b>		
AA 03 799	Rosca 1/4"	4,25
AA 03 800	Rosca 3/8"	4,55
AA 03 801	Rosca 1/2"	5,34
AA 03 802	Rosca 3/4"	7,76
AA 03 803	Rosca 1"	12,15
AA 03 804	Rosca 1-1/4"	18,20
AA 03 805	Rosca 1-1/2"	26,00
AA 03 806	Rosca 2"	43,40
AA 03 689	Rosca 2-1/2"	84,52
AA 03 690	Rosca 3"	119,00
AA 03 691	Rosca 4"	184,56




Fuente: Catálogo Salvador Escoda S.A.

**Cotización de accesorios de tuberías.**

	AA 25 109	Rosca 2"	20,50
	<b>CODO - 90° HEMBRA-HEMBRA</b>		
	AA 25 111	Rosca 3/8"	1,98
	AA 25 112	Rosca 1/2"	2,95
	AA 25 113	Rosca 3/4"	4,28
	AA 25 114	Rosca 1"	6,63
	AA 25 115	Rosca 1-1/4"	21,94
	AA 25 118	Rosca 2"	41,14

Fuente: Catálogo Salvador Escoda S.A.

		TE - 90° SOLDAR	
		Ref. 130	
 <p>130</p>	AA 25 167	TE HHH 15-3/8"-15	2,90
	AA 25 168	TE HHH 15-1/2"-15	3,06
	AA 25 169	TE HHH 16-1/2"-16	3,42
	AA 25 170	TE HHH 18-1/2"-18	3,82
	AA 25 171	TE HHH 18-3/4"-18	6,36
	AA 25 172	TE HHH 22-1/2"-22	5,04
	AA 25 173	TE HHH 22-3/4"-22	6,36
	AA 25 174	TE HHH 28-3/4"-28	9,20
	AA 25 175	TE HHH 28-1"-28	11,66

Fuente: Catálogo Salvador Escoda S.A.

### Cotización de boyas de nivel.



**BOYA NIVEL AGUAS RESIDUALES AKO 53124 10 MTS**

- Para **aguas residuales**
- Sistema sencillo para controlar el nivel de agua
- Longitud del cable **10 mts.**

**66,89 \$**

● En existencias



**BOYA NIVEL AGUAS LIMPIAS 3 MTS ICH10A**

- con **3 metros de cable**
- **AGUAS LIMPIAS**

**12,21 \$**

● En existencias

Fuente: <http://www.bombasymotores.es>.

**Anexo 27. Tasa de interés para el financiamiento del Banco Central del Ecuador.**

<b>Tasas de Interés</b>			
<b>mayo - 2018</b>			
<b>1. TASAS DE INTERÉS ACTIVAS EFECTIVAS VIGENTES PARA EL SECTOR FINANCIERO PRIVADO, PÚBLICO Y, POPULAR Y SOLIDARIO</b>			
<b>Tasas Referenciales</b>		<b>Tasas Máximas</b>	
<b>Tasa Activa Efectiva Referencial para el segmento:</b>	<b>% anual</b>	<b>Tasa Activa Efectiva Máxima para el segmento:</b>	<b>% anual</b>
Productivo Corporativo	8.03	Productivo Corporativo	9.33
Productivo Empresarial	8.91	Productivo Empresarial	10.21
Productivo PYMES	10.75	Productivo PYMES	11.83
Comercial Ordinario	7.86	Comercial Ordinario	11.83
Comercial Prioritario Corporativo	6.67	Comercial Prioritario Corporativo	9.33
Comercial Prioritario Empresarial	9.59	Comercial Prioritario Empresarial	10.21
Comercial Prioritario PYMES	11.02	Comercial Prioritario PYMES	11.83
Consumo Ordinario	16.67	Consumo Ordinario	17.30
Consumo Prioritario	16.62	Consumo Prioritario	17.30
Educativo	9.47	Educativo	9.50
Inmobiliario	10.44	Inmobiliario	11.33
Vivienda de Interés Público	4.97	Vivienda de Interés Público	4.99
Microcrédito Minorista <sup>1</sup>	26.81	Microcrédito Minorista*	28.50
Microcrédito de Acumulación Simple <sup>1</sup>	23.82	Microcrédito de Acumulación Simple*	25.50
Microcrédito de Acumulación Ampliada <sup>1</sup>	20.28	Microcrédito de Acumulación Ampliada*	23.50
Inversión Pública	8.23	Inversión Pública	9.33

1. Las tasas de interés para los segmentos Microcrédito Minorista, Microcrédito de Acumulación Simple y Microcrédito de Acumulación Ampliada se calculó con información del sector financiero privado y de la economía popular y solidaria (cooperativas de ahorro y crédito del segmento 1 y mutualistas).

**Fuente:** Banco Central del Ecuador.

## **Anexo 28. Obtención de lodos del tratamiento de agua residual proveniente del área de corrugación, a nivel laboratorio.**

Para simular el pre-tratamiento, se tomó una muestra del agua residual y se dejó reposar el agua residual industrial en un balde de 15 litros durante 4 horas. Posteriormente se separa el agua sedimentada del agua residual, con el objetivo de medir la cantidad de lodos (sólidos sedimentados), que se obtuvo durante las 4 horas. Donde se obtuvo aproximadamente 1 litro de lodos como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



### **Entonces:**

15 lt de agua residual → 100%

0,95 lt de lodo → X

$$\frac{(0,95 \text{ lt})(100\%)}{15 \text{ lt}} = 6 \% \text{ de lodos en el pre - tratamiento.}$$

Esta agua separada de los lodos primarios, es el agua con la que se realiza el test de jarra, como se puede apreciar en el siguiente gráfico.



En cada vaso precipitado se encuentra 1 litro de agua a tratar, una vez determinado las dosificaciones óptimas de coagulante y floculante, se deja reposar durante 15 minutos para que se sedimenten los sólidos (lodos), simulando la sedimentación secundaria, donde se obtuvo 30 ml de sólidos sedimentados.

**Entonces:**

1 lt de agua residual           →    100%  
 0,03 lt                            →    X

$$\frac{(0,03 \text{ lt})(100\%)}{1 \text{ lt}} = 3 \% \text{ de lodos en la simulación de tratamiento físico – químico.}$$

Obteniendo como resultado:



**Agua semi-tratada  
 (Obtenida después del pre-tratamiento)**



**Agua tratada  
 (Obtenida después del tratamiento  
 físico-químico)**

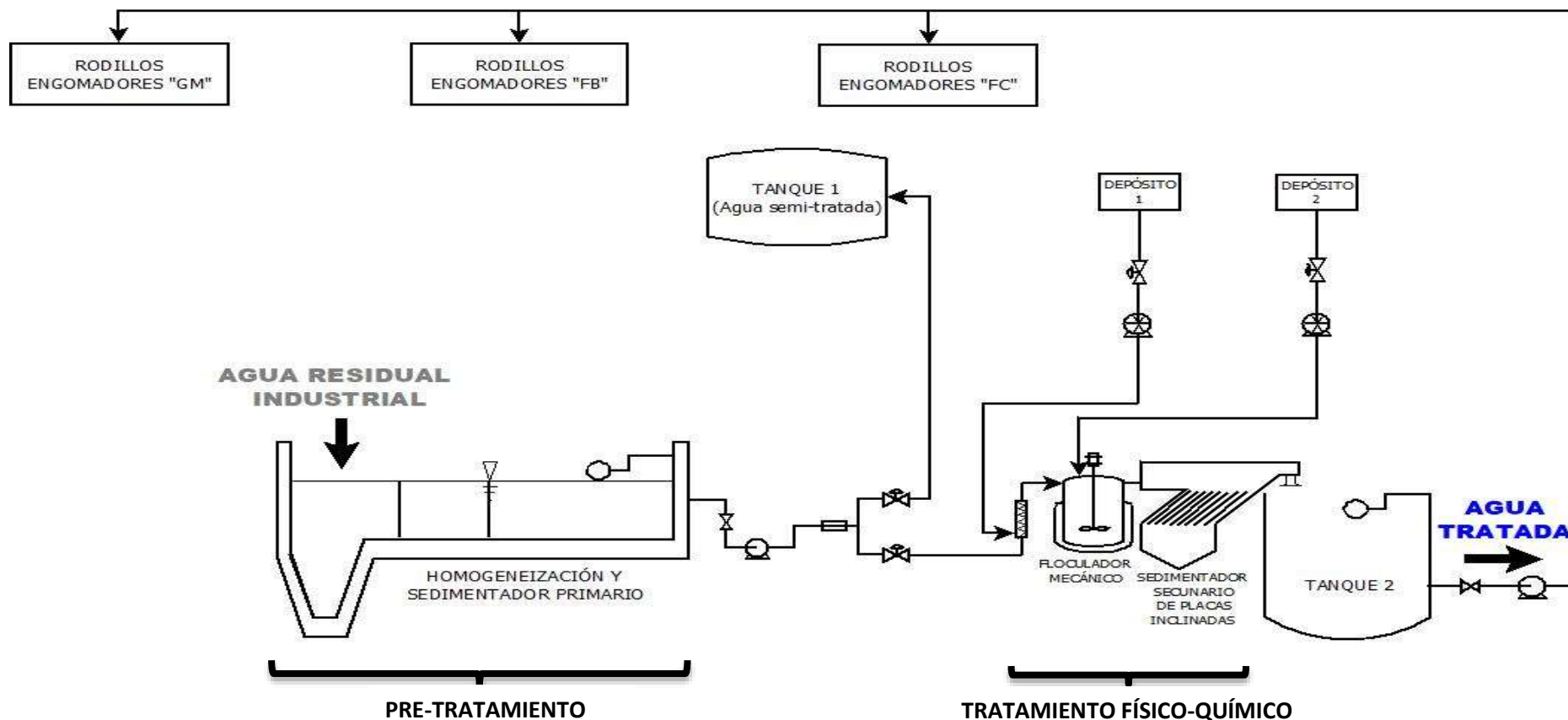
**Anexo 29. Reglamento interno de manejo de los servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial en el cantón Guayaquil.**








**ANEXO II INFRACCIONES Y**

**SANCIONES A LOS USUARIOS**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR DE LA SANCIÓN</b>
1. Uso de conexión clandestina o cambio de diámetro no autorizado.	<p>a) 10 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 W y su consumo registrado mensual es hasta 30 metros cúbicos.</p> <p>b) 20 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 Vi" y su consumo registrado mensual es superior a 30 metros cúbicos.</p> <p>c) 30 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es entre 3/4" y 1.5".</p> <p>d) 50 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es mayor a 1.5".</p> <p>Esto sin perjuicio de lo previsto en el artículo 20 del Reglamento de Servicios.</p>
2. Cambio o retiro de medidor no autorizado.	<p>a) 10 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 W y su consumo registrado mensual es hasta 30 metros cúbicos.</p> <p>b) 20 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 Vi" y su consumo registrado mensual es superior a 30 metros cúbicos.</p> <p>c) 30 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es entre 3/4" y 1.5".</p> <p>d) 50 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es mayor a 1.5".</p>
3. Violación del sello de seguridad del medidor de agua potable o del precinto de seguridad, o uso de dispositivos que alteren el registro del medidor o que tiendan a evitar el registro de consumos.	<p>a) 10 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/2" y su consumo registrado mensual es hasta 30 metros cúbicos.</p> <p>b) 20 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/4" y su consumo registrado mensual es superior a 30 metros cúbicos.</p> <p>c) 30 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es entre 3/4" y 1.5".</p> <p>d) 50 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es mayor a 1.5".</p>
4. Daños en el medidor imputable al cliente.	<p>a) 10 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/4" y su consumo registrado mensual es hasta 30 metros cúbicos.</p> <p>b) 20 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/2" y su consumo registrado mensual es superior a 30 metros cúbicos.</p> <p>c) 30 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es entre 3/4" y 1.5".</p> <p>d) 50 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es mayor a 1.5".</p>
5. Captación directa de agua potable mediante bombas u otros dispositivos, cuando exista presión y caudal adecuados.	<p>a) 10 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/4" y su consumo registrado mensual es hasta 30 metros cúbicos.</p> <p>b) 20 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/2" y su consumo registrado mensual es superior a 30 metros cúbicos.</p> <p>c) 30 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es entre 3/4" y 1.5".</p> <p>d) 50 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es mayor a 1.5".</p>
6. Ilegal reconexión del servicio de agua potable.	<p>a) 10 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/4" y su consumo registrado mensual es hasta 30 metros cúbicos.</p> <p>b) 20 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es igual a 0 1/2" y su consumo registrado mensual es superior a 30 metros cúbicos.</p> <p>c) 30 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es entre 3/4" y 1.5".</p> <p>d) 50 veces el valor del cargo fijo, si la conexión encontrada es mayor a 1.5".</p>
7. Evacuación de aguas servidas en sectores no autorizados.	<p>a) En caso de usuario: 20 veces el cargo fijo; y,</p> <p>b) Autoproveído: 20 veces el cargo fijo de la categoría máxima.</p>
8. Evacuación a las alcantarillas de sustancias, líquidos y desechos tóxicos o peligrosos.	<p>a) En caso de usuario: 50 veces el cargo fijo; y,</p> <p>b) Autoproveído: 50 veces el cargo fijo de la categoría máxima.</p>

Anexo 30. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto.



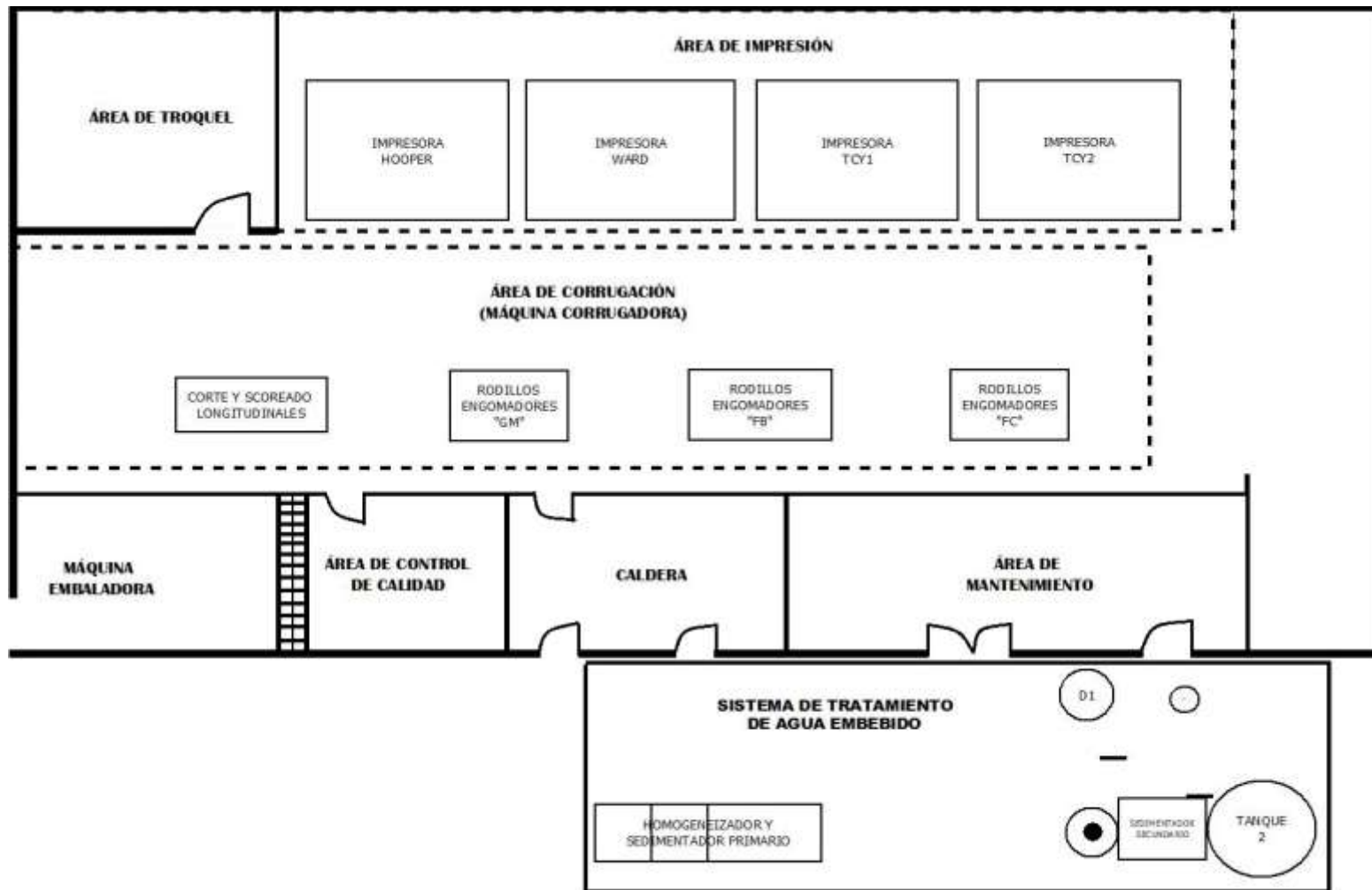
	BOMBA PERIFÉRICA		MEZCLADOR ESTÁTICO		BOMBA DOSIFICADORA
	VÁLVULA DE GLOBO		BOYA DE NIVEL	<b>DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES PROPUESTO.</b>	
	VÁLVULA DE COMPUERTA		CAUDALÍMETRO		

Anexo 31. Distribución de planta del sistema propuesto.



D1	DEPÓSITO 1: COAGULANTE		TANQUE FLOCULADOR CON EL MEZCLADOR		MEZCLADOR ESTÁTICO POSICIÓN VERTICAL
D2	DEPÓSITO 2: FLOCULANTE	TANQUE 2	TANQUE QUE CONTIENE AGUA TRATADA	<b>DIMENSIONES DEL ÁREA QUE OCUPA EL SISTEMA PROPUESTO</b> <b>LARGO:</b> 13 m <b>ANCHO:</b> 5 m <b>ÁREA:</b> 66 m <sup>2</sup>	

Anexo 32. Distribución de planta del sistema propuesto planta baja.



**Anexo 33. Distribución de planta del sistema propuesto planta alta.**

