

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA CARRERA
DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN
PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO”**

Resolución HCC N° 77/2021

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

Ing. Grover Mercado Condori
Univ. Yecir Edgar Quispe Huayhua

EL ALTO – BOLIVIA
2021

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico
RECTOR

Msc. Lic. Efraín Chambi Vargas
VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Roger Omar Llanque Villavicencio
DECANO DEL ÁREA DE INGENIERÍA

Ing. José Luis Berrios Soruco
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Ing. Benigno Prada Portillo
**COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACION
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa NRO 1-3494/2021

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre – 2021
El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

La presente investigación se desarrolló con el fin de proponer una alternativa de purificación del agua mediante la aplicación del simulador industrial Aspen Plus V.11 para el tratamiento de aguas residuales.

Los vertimientos de agua residuales domésticas, industriales y urbanas llegan a ser el problema latente en la ciudad de El Alto, ya que desembocan a municipios aledaños como Achocalla, provocando la contaminación de cuerpos de agua, suelo, y aire. Por tanto, van incidiendo en la desaparición de especies acuáticos, el zooplancton del río, de igual manera la contaminación en cultivos agrícolas con riego procedentes del río ya contaminado, también se ven afectadas las aguas dulces subterráneas, y finalmente afecta la salud de los habitantes del lugar.

Por tal motivo se desarrolla el “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO” para reducir la contaminación ambiental de los municipios aledaños.

Ing. Benigno Prada Portillo
COORDINADOR DE INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A las instituciones que apoyaron el presente trabajo de investigación: “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO”.

- ✓ Universidad Pública de El Alto
- ✓ Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología – DICyT – UPEA
- ✓ “Área de Ingeniería “Desarrollo Tecnológico Productivo”
- ✓ Ing. José Luis Berrios Soruco (DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL)
- ✓ Ing. Benigno Prada Portillo (COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL)
- ✓ Gobierno Autónomo de la Ciudad de El Alto

Ing. Grover Mercado Condori
DOCENTE INVESTIGADOR
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INDICE

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.2.1. Ciudad de El Alto	2
1.2.2. Crecimiento poblacional de la Ciudad de El Alto	3
1.2.3. Consumo de agua en la Ciudad de El Alto	4
1.3. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. Planteamiento del Problema	4
1.3.2. Formulación del Problema	5
1.4. JUSTIFICACIÓN	6
1.4.1. Justificación Académica	6
1.4.2. Justificación Social	6
1.4.3. Justificación Ambiental	6
1.5. OBJETIVOS	7
1.5.1. Objetivo General	7
1.5.2. Objetivos Específicos	7
1.6. ALCANCE DEL PROYECTO	7
1.6.1. Alcance Institucional	7
1.6.2. Alcance Territorial	7
1.6.3. Alcance en función al tiempo de duración	7
1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.7.1. Formulación de hipótesis	8
CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL	9
2.1. SIMULACIÓN DE PROCESOS	9
2.1.1. Aplicación de la simulación de procesos	9
2.1.2. Ventajas y desventajas de la simulación de procesos	10
2.2. SIMULADORES DE PROCESOS	10
2.2.1. Aspen Plus®	11
2.2.2. Modelos termodinámicos	12
2.3. CORRELACIONES MATEMÁTICAS	12
2.3.1. Non-Random-Two-Liquid (NRTL)	13
2.4. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA DE INVESTIGACIÓN	13
2.5. MENCIÓN DE PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES	17
2.6. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES	18
2.6.1. Fuentes primarias	18
2.6.2. Fuentes secundarias	18

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	19
3.1 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA	19
3.2 METODOLOGÍA	19
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	20
3.3.1 Técnicas de investigación	20
3.4 CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	21
3.4.1 Método Inductivo	21
3.4.2 Método Deductivo	21
3.4.3 Método Analítico	22
3.4.4 Método Sintético	22
3.4.5 Método Cuantitativo	22
3.4.6 Método Cualitativo	23
3.4.7 Método Mixto	26
3.5 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	28
3.6 TIPOS DE INVESTIGACIÓN	28
3.6.1. Nivel de Investigación	28
3.6.2. Diseño de Investigación	28
3.7 SELECCIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.8 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.9 POBLACIÓN Y MUESTRA	29
3.9.1 Población	29
3.9.2 Muestra	30
3.10 EL AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN	31
3.10.1 Técnicas e instrumentos	31
3.11 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	32
3.12 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE PROCESO	33
3.12.1 Diagrama de bloques	34
3.12.2 Diagrama de flujo del proceso seleccionado (PFD)	34
3.13 SIMULACION DE PROCESO DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES	35
3.13.1 Condiciones de alimentación	35
3.13.2 Simulación de Componentes de Proceso	35
3.13.3 Selección del Modelo Termodinámico	36
3.13.4 Selección de equipos en Aspen Plus V.11	38
3.13.4.1 Definición de corriente de alimentación	38
3.14 MODELAJE DE EQUIPOS DE PROCESO	39
3.14.1 Sistema de bombeo 1 (BOMB-1)	39
3.14.2 Decantador de fosfatos (DEC-1)	40
3.14.3 Tanque destilador (DEST-1)	42

3.15	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PROPUESTOS	43
3.15.1	Decantador de fosfatos (DEC-1)	43
3.15.2	Tanque destilador (DEST-1)	45
CAPITULO IV: RESULTADOS.....		46
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADO DE PROCESO.....	48
4.2	RESULTADOS DE LAS CORRIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	52
CAPITULO V: CONCLUSIONES.....		55
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES		56
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		
ANEXO A: RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3494/2021 (SENAPI)		
ANEXO B: INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		
ANEXO C: FOTOGRAFIAS DE LA PROBLEMÁTICA DE TRABAJO DE CAMPO		
ANEXO D: FOTOGRAFIAS DE LA TOMA MUESTRA PARA ANÁLISIS LABORATORIO		
ANEXO E: SELECCIÓN DEL PAQUETE TERMODINÁMICO		
ANEXO F: INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO SGLAB S.R.L. (INSPECCIÓN Y LABORATORIO DE CALIDAD)		
ANEXO G: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (PDF) PROPUESTO PARA SEPARACIÓN DE FOSFATOS Y N-AMONACAL DEL AGUA RESIDUAL		
ANEXO H: DIAGRAMA HIDRÁULICO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN CON ASPEN PLUS V11		
ANEXO I: REPORTE HIDRÁULICO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN (DEST-1)		
ANEXO J: REPORTE DE SIMULACIÓN CON ASPEN PLUS V11		

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Distritos que conforman el municipio de El Alto	3
Cuadro 2: Consumo de agua por Distritos Municipales	4
Cuadro 3: Ubicación referencial de muestreo	31
Cuadro 4: Lista de equipos en función al PFD de procesos	34
Cuadro 5: Variables independientes de proceso	35
Cuadro 6: Resultados de ensayos de parámetros del PO_4^{-3} y N-NH_3	35
Cuadro 7: Modelos de propiedades termodinámicas para el simulador	37
Cuadro 8: Equipos en Aspen Plus v11	38
Cuadro 9: Especificación de bomba centrífuga 1	40
Cuadro 10: Especificación del decantador (DEC-1)	41
Cuadro 11: Parámetros de operacionales (DEST-1)	42
Cuadro 12: Especificaciones del tanque destilador (DEST-1)	45
Cuadro 13: Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua	46
Cuadro 14: Resultados análisis de aguas 0325-21-MAB	46
Cuadro 15: Resultados de diseño del sistema de bombeo 1.....	49
Cuadro 16: Propiedades de los fluidos del destilador (DEST-1).....	50
Cuadro 17: Dimensiones del tanque destilador	52
Cuadro 18: Resultados de la simulación de tratamientos de aguas residuales con Aspen Plus V.11.	53
Cuadro 19: Flujos de concentración de entrada y salida de contaminantes	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del Distrito 8 de la Ciudad de El Alto	3
Figura 2: Eutrofización de la Bahía de Cohana	5
Figura 3: Simulador de Aspen Plus V.11	11
Figura 4: Esquema general para el tratamiento de agua amarga.	17
Figura 5: Enfoques de la investigación.....	27
Figura 6: Punto de muestreo para analisis de laboratorio	31
Figura 7: Diagrama de flujo metodología propuesto	33
Figura 8: Diagrama de bloque del propuesto	34
Figura 9: Diagrama de flujos de proceso (PFD)	34
Figura 10: Apertura de un caso en Aspen Plus v11.	36
Figura 11: Ventana para la selección de componentes de trabajo.	36
Figura 12: Ingreso del modelo termodinámico (NRTL)	37
Figura 13: Parámetros binarios (NRTL).....	38
Figura 14: Paleta de objetos en Aspen Plus v11.	39
Figura 15: Condiciones de alimentación del Flujo 1.	39
Figura 16: Selección de bomba centrífuga 1	39
Figura 17: Detalle de la bomba centrífuga 1 (BOMB-1).....	40
Figura 18: Especificaciones para la bomba 1 (BOMB-1)	40
Figura 19: Selección del decantador	41
Figura 20: Detalle del decantador de fosfatos (DEC-1)	41
Figura 21: Especificación de decantador (DEC-1).....	41
Figura 22: Selección de tanque destilador	42
Figura 23: Tanque destilador (DEST-1).....	42
Figura 24: Especificación del tanque destilador (DEST-1)	43
Figura 25: Dimencionamiento del decantador de fosfatos.....	44
Figura 26: Material de construccion del decantador de fosfatos.....	44
Figura 27: Comparación de resultados con límites permisibles.....	47
Figura 28: Diagrama de fase liquido vs temperatura	48
Figura 29: Envoltente del sistema decantación de fosfatos a 50°C y 1.013 Bar ..	49
Figura 30: Diagrama equilibrio amoníaco - agua a 50°C y 1.013 bar.	50
Figura 31: Temperatura de operación vs etapas en el destilador	51
Figura 32: Presión de operación vs etapas en la torre	51
Figura 33: Flujo de operación vs número de etapas del destilador.....	52
Figura 34: Diagrama de flujo de proceso (PFD)	53
Figura 35: Comparación concentraciones molares de entrada.....	54

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales es cada vez más importante, no solo con el fin de reducir las cargas contaminantes emitidas a diario y vertidas en los cuerpos de agua, sino además para evitar problemas en la salud pública e impactos ambientales directos global biota y abiótico en la fauna y flora.

El proyecto de investigación presenta el desarrollo de un modelo para la simulación del proceso de tratamiento de aguas residuales, utilizando el simulador procesador Aspen Plus V.11, en el Distrito 8 de la Ciudad de El Alto.

En el trabajo se establecen tres capítulos principales, en los cuales se consignaron informaciones, investigaciones, normatividad y tecnologías necesarias para el desarrollo de “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO”. Asimismo, se pudo recopilar información bibliográfica de fuentes confiables para determinar variables de P, T y V óptimas para ayudar la separación de nitrógeno amoniacal y fosfatos del agua residual.

El proyecto de investigación permite proponer la reducción de fosfatos y el nitrógeno amoniacal del agua residual mediante el Simulador Industrial Aspen Plus V.11, comenzando con la especificación del flujo de alimentación del agua residual a condiciones Ciudad de El Alto, asimismo la presión de flujo es incrementada por un sistema de bombeo centrifuga descargado a un sistema de decantador fosfatos. Asimismo, se incorpora un sistema de destilador atmosférico para lograr la separación de amoniaco y agua, con el fin de lograr una reducción de estos contaminantes en el área agrícola y pecuaria sana.

Palabras clave: simulación, tratamientos, aguas residuales, eutrofización.

ABSTRACT

The treatment of wastewater is increasingly important, not only in order to reduce the pollutant loads emitted daily and discharged into water bodies, but also to avoid public health problems and direct environmental impacts global biota and abiotic in the fauna and flora.

The research project presents the development of a model for the simulation of the wastewater treatment process, using the Aspen Plus V.11 processor simulator, in District 8 of the City of El Alto.

In the work, three main chapters were carried out, in which information, research, regulations and technologies necessary for the development of "DESIGN AND MODELING OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT THROUGH THE ASPEN PLUS V.11 INDUSTRIAL SIMULATOR OF DISTRICT 8 FROM THE CITY EL ALTO". Likewise, it was possible to collect bibliographic information from reliable sources to determine optimal P, T and V variables to help the separation of ammonia nitrogen and phosphates from wastewater.

The research project allows proposing the reduction of phosphates and ammoniacal nitrogen in wastewater using the Aspen Plus Industrial Simulator V.11, starting with the specification of the wastewater feed flow in the conditions of the City of El Alto, as well as the pressure flow is increased by a centrifugal pump system discharged to a phosphate decanter system. Likewise, an atmospheric still system is incorporated to achieve the separation of ammonia and water, in order to achieve a reduction of these pollutants in the healthy agricultural and livestock area.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El recurso agua es la fuente vital para los procesos biológicos llegando a ser indispensable para todo ser vivo, su cuidado y tratamiento es necesario, el cual se logra por medio de procesos de tratamiento de aguas residuales, así mismo los impactos a la salud derivados de las malas prácticas por la disposición final de aguas residuales es una problemática latente en muchas zonas aledañas de la ciudad del El Alto.

Por falta de sistemas de alcantarillados sanitarios las aguas residuales finalizan directamente sobre cuerpos de agua y zanjas naturales, sin un previo tratamiento de descontaminación generando contaminación ambiental a los habitantes que viven por el sector; esta contaminación indiscriminada motiva a la realización de actividades que minimicen los impactos y puedan garantizar la calidad de vida de los pobladores y visitantes, por ello se desarrollara el proyecto de investigación “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO”.

Para realizar el correcto desarrollo al proyecto de investigación se estructuran las siguientes actividades: En los antecedentes y justificación se mencionarán las características de la ciudad y el sistema que funciona actualmente, se considera el desarrollo de la ciudad y se indican los estudios previos existentes. En el planteamiento y formulación del problema, se indica la necesidad de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales óptimo a las necesidades de la Ciudad El Alto.

Los marcos conceptuales consideran los conceptos fundamentales para la comprensión de los procesos que se llevarán a cabo, se indican los parámetros y modelos matemáticos para la simulación del proceso. Así mismo los capítulos siguientes harán referencia a aquellas estrategias para el correcto desarrollo del proyecto de investigación, como las fases fundamentales para el trabajo de campo, las revisiones del documento y la estructuración del documento final.

La simulación del sistema de separación de fosfatos y amoníaco del agua residual mediante Aspen Plus V.11 está en función a la aplicación de variables operacionales del campo de estudio, de tal manera que en la actualidad es imprescindible el uso de softwares especializados para disminuir el margen de error y tener diseños más acordes a la realidad.

Por otra parte, hoy en día los usos de softwares permiten simular, diseñar, calcular y resolver balances de materia y energía, las cuales son fundamentales previo a la

construcción de cualquier proyecto industrial con el afán de tener mejores predicciones de lo que sucederá al montar la infraestructura y equipos. Así mismo el simulador aspen plus posibilita la variación de condiciones de operación de cada equipo para obtener modelos óptimos.

1.2. ANTECEDENTES

La contaminación por acumulación de las aguas residuales es un problema latente hoy en día, por lo cual en muchos países han establecido normas legales para proteger el Medio Ambiente.

Como es de conocimiento general dentro de los departamentos de Bolivia (La Paz, Santa Cruz y Cochabamba), es donde se acumula la mayor parte de la población, consecuencia de la migración desde el campo hacia la ciudad, y el asentamiento irregular y descontrolada en zonas que carecen de los servicios básicos (agua potable y alcantarillado sanitario). (MAMANI, 2018, pág. 4)

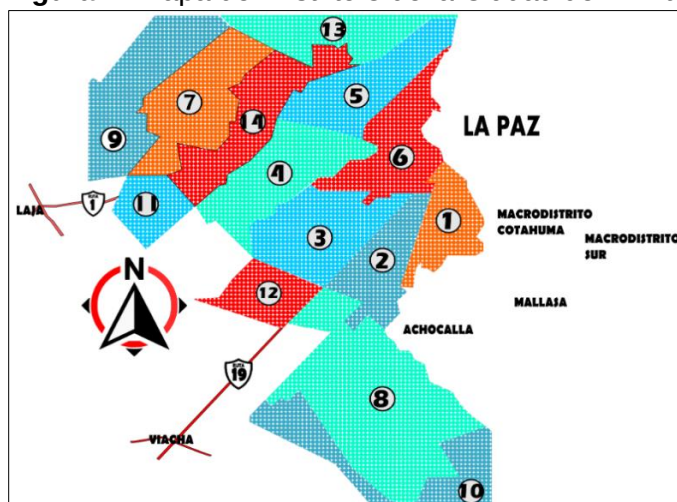
Para conseguir estos incrementos de servicios básicos, el gobierno boliviano, con ayuda de la cooperación extranjera, pretende invertir alrededor de 500 millones de dólares en el sector del agua de Bolivia en los próximos años, teniendo como áreas de preferencia las zonas rurales y las zonas periurbanas de las grandes ciudades. (MAMANI, 2018, pág. 4)

El Ministerio de Planificación del Desarrollo (MPD) del Estado Plurinacional de Bolivia, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAA) y CAF -banco de desarrollo de América Latina- suscribieron hoy un contrato de crédito por US\$ 11,5 millones, destinado a financiar la construcción y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Tacachira, que beneficiará inicialmente a 18.000 habitantes de los distritos 7,11 y 14 de El Alto, con la mejora de sus condiciones de salud y calidad de vida, al dotarles servicio de saneamiento básico y asegurar la recolección, reconducción y tratamiento de sus aguas servidas para luego descargarlas en el Río Seke. (CAF, 2020)

También se puede analizar que gran parte de Latinoamérica no realiza ningún tratamiento al agua residual. “lo cual impacta en la salud pública, el medio ambiente, los recursos naturales y en consecuencia en la productividad de las comunidades” (CAF, 2020), por tal motivo la CAF tiene objetivos de apoyar iniciativas orientadas a mejorar la calidad de vida de los pobladores.

1.2.1. Ciudad de El Alto

La Ciudad de El Alto es una de las ciudades más jóvenes del Estado Plurinacional de Bolivia que alberga a más 922,598 habitantes según datos de la (INE, 2018). Así mismo la ciudad de El Alto se encuentra ubicada al oeste del país, colindante con la Ciudad de La Paz, tal como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1: Mapa del Distrito 8 de la Ciudad de El Alto

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/El_Alto

1.2.2. Crecimiento poblacional de la Ciudad de El Alto

Según la (INE, 2018) El Alto, 6 de marzo de 2018.- Proyecciones poblacionales al 2018 señalan que el municipio de El Alto tiene 922.598 habitantes, mostrando un crecimiento de 10.392 personas respecto al 2017, informó el Instituto Nacional de Estadística al celebrar el 33 aniversario de este municipio.

Cuadro 1: Distritos que conforman el municipio de El Alto

Distritos	Población (Hab.) Censo de 2012	Categoría del Distrito	Superficie en Kilómetros Cuadrados	Densidad de Habitantes/km ²
Distrito 1	87 997	Urbano	10.23 km ²	8.601 hab/km ²
Distrito 2	73 939	Urbano	11.98 km ²	6.171 hab/km ²
Distrito 3	144 828	Urbano	17.74 km ²	8.163 hab/km ²
Distrito 4	107 147	Urbano	18.47 km ²	5.801 hab/km ²
Distrito 5	104 226	Urbano	15.76 km ²	6.613 hab/km ²
Distrito 6	90 538	Urbano	15.38 km ²	5.886 hab/km ²
Distrito 7	44 535	Urbano	29.86 km ²	1.487 hab/km ²
Distrito 8	121 843	Urbano	41.01 km²	2.971 hab/km²
Distrito 9	1 720	Rural	13.26 km ²	139 hab/km ²
Distrito 10	785	Rural	38.34 km ²	20 hab/km ²
Distrito 11	1 081	Rural	9.83 km ²	109 hab/km ²
Distrito 12	19 816	Urbano	8.30 km ²	2.387 hab/km ²
Distrito 13	2 085	Rural	180.91 km ²	11 hab/km ²
Distrito 14	47 912	Urbano	16.96 km ²	2.825 hab/km ²

Fuente: Datos obtenidos del Atlas del Órgano Electoral Plurinacional de Bolivia, 2021.

1.2.3. Consumo de agua en la Ciudad de El Alto

Cuadro 2: Consumo de agua por Distritos Municipales

Distritos	Población (Hab.)	Consumo del agua potable (litros/día*Hab)	Consumo del agua potable (m ³)
Distrito 1	87997	65	5719,805
Distrito 2	73939	65	4806,035
Distrito 3	144828	65	9413,82
Distrito 4	107147	65	6964,555
Distrito 5	104226	65	6774,69
Distrito 6	90538	65	5884,97
Distrito 7	44535	65	2894,775
Distrito 8	121843	65	7919,795
Distrito 9	1720	65	111,8
Distrito 10	785	65	51,025
Distrito 11	1081	65	70,265
Distrito 12	19816	65	1288,04
Distrito 13	2085	65	135,525
Distrito 14	47912	65	3114,28
TOTAL			55149,38

Fuente: Elaboración propia según datos del Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2021.

1.3. PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Planteamiento del Problema

En el área urbana de la ciudad alteña habitan aproximadamente más de 922,598 personas según la (INE, 2018), sin embargo, las nuevas edificaciones de apartamentos y viviendas han aumentado los caudales de aguas residuales generando vertimientos en lugares aledaños de la Ciudad de El Alto.

Se ha observado en la ciudad de El Alto la contaminación ambiental a causa del vertimiento de aguas residuales (aguas residuales domesticas). Con relación a la problemática identificada se puede evidenciar que, los contaminantes químicos presentes en las aguas residuales, como la materia orgánica, el nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), el fosfato (P-PO_4^{3-}) causan efectos tóxicos sobre los seres vivos y graves problemas de contaminación en los ecosistemas impactados según estudios realizados por (Elena, Cruz-Arias, & Durán, 2011).

La materia orgánica del agua residual al descomponerse va generando amoníaco en forma de iones amonio (NH_4^+). Ya que el amoníaco es tóxico para la vida acuática. Sin embargo, los fosfatos no se consideran tóxico para los humanos y los animales, pero pueden generar efectos negativos indirectos a través de la eutrofización de los cuerpos de aguas superficiales, lo que implica el crecimiento

explosivo de algas y el posterior abatimiento del oxígeno disuelto (Carpenter et al., 1998).

La eutrofización afecta la calidad de las aguas al aumentar la podredumbre y agotarse el oxígeno, porque las aguas adquieren un olor nauseabundo y pueden ocasionar retrasos o postergación del desarrollo económico del sector (turismo, producción agropecuaria, pescadería y entre otros), estas aguas residuales generan problemas respiratorios y sanitarios a las personas del lugar. Asimismo, el responsable de la Unidad de Limnología del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Rubén Marín, explicó que la contaminación en la laguna de Cohana se considera como altamente eutrofizada al estar enriquecida por las descargas orgánicas (aguas residuales domésticas) que se mezclan con otros contaminantes de residuos industriales”. (EJU, 2018)

Figura 2: Eutrofización de la Bahía de Cohana



Fuente: <https://www.granma.cu/mundo/2015-05-22/bolivia-inicia-plan-para-descontaminar-aguas-del-lago-titicaca>.

1.3.2. Formulación del Problema

Por lo expuesto anteriormente es importante contar con una planta de tratamiento de aguas residuales, determinando la necesidad de implementar soluciones técnicas a través del “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO” y así en un futuro se pueda llegar a reducir la contaminación generada por esos productos que día a día se van generando en la Ciudad de El Alto.

¿Con la propuesta de diseño y modelaje de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el simulador industrial Aspen Plus v.11 del Distrito 8 de la ciudad El Alto, se reduciría el nivel de concentración de contaminantes de estas aguas residuales domesticas?

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación Académica

El presente proyecto de investigación permite analizar eficazmente el proceso de tratamiento de aguas residuales para disminuir el nivel de concentración de contaminantes, como ser el nitrógeno amoniacal y fosfatos a través de la simulación y manipulación de la presión y temperatura, de este modo promoviendo la investigación mediante la aplicación de conocimientos de ingeniería en el área de tratamientos de aguas residuales.

También este proyecto de investigación puede ser utilizado como referencia para futuros proyectos que puedan llegar a ampliar la investigación.

1.4.2. Justificación Social

Este proyecto tiene la finalidad de contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes que viven en cercanía a las zanjas donde se depositan las aguas residuales.

También con el proyecto se pretende mejorar la producción agrícola para las poblaciones que se encuentran colindantes con la Ciudad de El Alto.

1.4.3. Justificación Ambiental

En la actualidad, el agua se considera una sustancia indispensable para la vida en el planeta. Para tal efecto la búsqueda de métodos y técnicas eficientes llegan a ser objetivos buscados para preservar el medio ambiente.

Las aguas residuales sean domesticas o industriales contienen fosfatos y amoniaco los cuales son dañinas para el medio ambiente y la salud humana, asimismo destruye el ecosistema de la flora y la fauna; por esta razón, es necesario proponer una alternativa para disminuir el impacto negativo al ciclo hidrológico del medio ambiente.

Por tal motivo se propone desarrollar el “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO” que cumpla con los parámetros permisibles en la Ley N° 1333 de Medio Ambiente.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Aplicar el simulador Aspen Plus V.11 para el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de El Alto.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros operacionales del simulador Aspen Plus V.11.
- Modelar la concentración de contaminantes mediante el simulador Aspen Plus V.11.

1.6. ALCANCE DEL PROYECTO

1.6.1. Alcance Institucional

Carrera de Ingeniería Ambiental del Área de Ingeniería “Desarrollo Tecnológico Productivo” por medio del Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería Ambiental.

1.6.2. Alcance Territorial

El proyecto de Investigación se realizará en el Estado Plurinacional de Bolivia - Departamento de La Paz – Ciudad de El Alto, con la toma de muestras para la investigación en el Distrito 8, Zona Senkata.

1.6.3. Alcance en función al tiempo de duración

El proyecto de Investigación tendrá una duración aproximada de 8 meses a partir de la fecha de designación.

1.7. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis de la investigación se deriva del análisis del problema a investigar y se toma en cuenta la teoría propuesta en el proyecto de investigación. En cierta medida, la hipótesis es una respuesta provisional a la interrogante formulada en el planteamiento del problema y objetivos del proyecto basadas en variables de estudio.

1.7.1. Formulación de hipótesis

La aplicación del simulador industrial Aspen Plus V.11 para el diseño y modelaje del tratamiento de aguas residuales, bajo condiciones controladas de composición de entrada, flujo, presión y temperatura para obtener las separaciones óptimas de los componentes indeseables (Los contaminantes químicos presentes en las aguas residuales, como la materia orgánica, el nitrógeno amoniacal (N-NH_4^+), el fosfato (P-PO_4^{-3}) causan efectos tóxicos sobre los seres vivos y serios problemas de contaminación en los ecosistemas impactados con ellos), el cual permitirá reducir el impacto ambiental que genera estas aguas residuales.

CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL

2.1 SIMULACIÓN DE PROCESOS

La simulación de procesos es una técnica que utiliza gran cantidad de modelos matemáticos para evaluar e imitar la operación de un proceso real de una manera rápida, dicha simulación comprende la creación del escenario, manipulación y el análisis para detectar y evaluar los problemas que existan. La simulación es una herramienta indispensable en la actualidad para diversas plantas industriales, permite el análisis del proceso previo a la puesta en marcha, resuelve problemas existentes y es fundamental para la toma de decisiones en cuanto al diseño, y operación de un sistema complejo. (Martínez Sifuentes, Alonso Dávila, López Toledo, Salado Carbajal, & Rocha Uribe, 2000)

La herramienta permite la representación y el análisis de varias alternativas de un sistema productivo para ver cuál es la más rentable, la más beneficiosa o la que mejor se adapta a las condiciones del proceso (Zulma, Lage, & Dominighin, 2013). Por otra parte, permite cambiar y modificar valores de las distintas variables, para obtener mejores resultados del proceso o tener alternativas en la operación del sistema con distintos comportamientos.

Permite diseñar un modelo del sistema real, para ejecutar diversos experimentos por medio de los cuales se podrá comprender el funcionamiento y evaluar distintas estrategias tecnológicas como energéticas. (Zulma, Lage, & Dominighin, 2013)

2.1.1 Aplicación de la simulación de procesos

La simulación de procesos se comenzó a utilizar para crear modelos con el objetivo de analizar, manipular y optimizar distintos procesos productivos, esta herramienta fue introducida por grandes compañías alrededor de 1975, sin embargo, hasta la actualidad ha existido un gigantesco crecimiento en cuanto a simuladores de procesos. (Villanueva, 2008)

Actualmente, es imprescindible la simulación de procesos dentro de la industria química y petroquímica, puesto que permite un mejor análisis de todas las variables que influyen dentro del proceso y de tal manera permite ajustar, corregir o cambiar ciertos métodos y parámetros para obtener los mejores rendimientos y por tanto mayores ganancias. (Moreno, 2012, pág. 52)

La aplicación de simuladores de procesos dentro de Ingeniería Química ayuda en la solución de problemas industriales de alta complejidad, así como en el diseño preliminar de una planta, permitiendo realizarlo en menor tiempo y con mayor precisión. (Moreno, 2012, pág. 52)

2.1.2 Ventajas y desventajas de la simulación de procesos

Ventajas:

- Es una herramienta que permite la toma de decisiones dentro de procesos industriales, y estas decisiones generan cambios significativos en los sistemas productivos, con lo cual se pueden obtener grandes beneficios a nivel económico.
- Permite realizar análisis de los servicios energéticos para verificar eficiencia y rendimiento.
- Permite optimizar procesos, y recursos, así como una planificación adecuada para la mejora de las distintas secciones de planta.
- Mejora el rendimiento y eficiencia del complejo industrial.
- Ayuda en el ahorro energético, y en la minimización de costos de operación.

Desventajas:

- Las simulaciones por lo general son costosas tanto en dinero como en tiempo.
- Además, para las simulaciones se necesitan datos con los cuales en muchas industrias no se cuentan, por tanto, para el uso de la simulación se debe comenzar con la toma de datos que evidentemente generan costos. (Kellner, Madachy, & Raffo, 1999)

2.2 SIMULADORES DE PROCESOS

En la actualidad los simuladores de procesos se han convertido en una herramienta básica y fundamental para Ingeniería Química, debido a que el poder analizar y modificar las condiciones previo a la puesta en marcha de cualquier proyecto industrial es vital en términos de infraestructura, tiempo y principalmente económicos. Por ende, hoy en día en los proyectos de diseño industrial de alto nivel se utilizan los simuladores de procesos como base para la toma de decisiones (Dahm, Hesketh, & Savelski, 2014).

Un tema muy importante de los simuladores de procesos en la actualidad es la disponibilidad de las distintas propiedades termodinámicas y de transporte, las cuales son fundamentales para realizar los diferentes balances de materia y energía. De acuerdo a los tipos de propiedades con las que cuente el simulador se obtendrán resultados, por lo cual, si un software tiene un buen paquete de propiedades los resultados serán muy confiables (Martínez Sifuentes et al., 2000; Towler & Sinnott, 2012).

Los simuladores hoy por hoy permiten la selección de los modelos de propiedades termodinámicas más adecuados de acuerdo a la naturaleza de los componentes

químicos, y a las condiciones de operación del proceso (Martínez Sifuentes et al., 2000).

2.2.1 Aspen Plus®

ASPEN (Advanced System for Process ENgineering) es un software que permite la simulación de plantas industriales y se utiliza para modelar cuantitativamente un procesamiento químico, en el cual pueden existir reactores químicos, columnas de destilación, absorción, intercambiadores de calor y muchos otros procesos necesarios para la obtención de un producto (AL-MALAH, 2017; Schefflan, 2011).

Este simulador permite resolver balances de materia y energía de muchas operaciones y procesos unitarios en plantas industriales completas. Aspen posee herramientas que permiten la optimización de procesos, diseño y control de ciertas variables sobre los equipos e incluso permite realizar estudios económicos tanto de la implementación de la industria como de los servicios necesarios para la misma. También puede modelar y simular los procesos en donde se tenga flujo de materia y energía. (Schefflan, 2011)

Aspen Plus® puede utilizarse para una gran cantidad de industrias, sin embargo, está destinado fundamentalmente a la industria química, refinamiento del petróleo, procesamiento de gas, aceites, combustibles, generación de energía, polímeros, industria de papel, farmacéutica y biotecnología (F. Carrasco, 2012).

Aspen Plus® posee un banco de modelos de propiedades termodinámicas muy amplio, adecuadas para gran cantidad de componentes y para variadas condiciones de operación.

Figura 3: Simulador de Aspen Plus V.11



Fuente: aspenPLUSv11, Julio 2021.

2.2.2 Modelos termodinámicos

Los modelos termodinámicos son conjuntos de ecuaciones que ayudan en la estimación de muchas propiedades de sustancias puras como de mezclas entre ellas y sus respectivas interacciones. Así como también en el cálculo de las propiedades termodinámicas (fugacidades, entalpías, entre otras), cinéticas y de transporte (Aspentech, 2001). Algunas de las propiedades termodinámicas más relevantes son: entalpía, entropía, energía libre de Gibbs, coeficientes de fugacidad y actividad, factor de compresibilidad, presión de vapor, densidad, entre otras. Las propiedades de transporte más significativas son: viscosidad, coeficiente de difusión, conductividad térmica y tensión superficial (Gil, Guevara, Leguizamón, & García, 2011; Ramírez, 2005).

Los modelos de propiedades termodinámicas se calculan en base a ecuaciones de estado, modelos de coeficientes de actividad y modelos especiales.

- **Ecuaciones de Estado:** Estas son aplicables principalmente a fluidos normales, en sistemas no polares o de baja polaridad en todo el intervalo de presión; entre las ventajas de estos modelos está que en la región crítica son continuas, así como en la región de dos fases, y predicen el equilibrio vapor – líquido. Las ecuaciones de estado, sin embargo, no son aplicables a mezclas con componentes polares, electrolitos o moléculas grandes. (Martínez Sifuentes et al., 2000; Scenna et al., 1999)
- **Modelos de Coeficiente de actividad:** Describen un comportamiento no ideal de mezclas en fase líquida y a presiones bajas, estos modelos generalmente se utilizan en sistemas polares. (Martínez Sifuentes et al., 2000; Scenna et al., 1999)
- **Modelos Especiales:** Son aquellos basados en correlaciones empíricas, teóricas o híbridas. (Martínez Sifuentes et al., 2000)

Una de las decisiones claves para la simulación de un proceso es la selección adecuada del modelo termodinámico, ya que en función de este se obtendrán los resultados para todo el sistema en construcción. Para una correcta selección del modelo termodinámico se debe tomar en consideración tanto los componentes y sus respectivas propiedades como el objetivo de la simulación. (Towler & Sinnott, 2012)

2.3 CORRELACIONES MATEMÁTICAS

Son aquellas ecuaciones que relacionan las propiedades de estado. En este caso se aplicarán las variables de temperatura, presión y volumen.

$$F(p,v,t) = 0$$

Ec.1

2.3.1 Non-Random-Two-Liquid (NRTL)

La ecuación Non-Random-Two-Liquid (NRTL) es una extensión de la ecuación de Wilson. Utiliza la mecánica estadística y la teoría de la celda líquida para representar la estructura líquida. Es capaz de representar el comportamiento de fase VLE, LLE y VLLE. Además, el paquete de propiedades NRTL se utiliza para sistemas químicos y alquilación de HF con productos químicos altamente no ideales. (Herrera & Beltrán, 2012)

La ecuación NRTL en PLUS tiene la siguiente forma:

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n T_{ji} x_j G_{ji}}{\sum_{k=1}^n T_{ji} x_j G_{ji}} + \sum_{j=1}^n \frac{X_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^n X_k G_{kj}} \left(T_{ij} - \frac{\sum_{m=1}^n T_{mj} X_m G_{mj}}{\sum_{k=1}^n X_k G_{kj}} \right) \quad \text{Ec.2}$$

Dónde:

γ_i = Coeficiente de actividad del componente i .

X_i = Fracción molar del componente i .

T = Temperatura (K).

n = Número total de componentes

a_{ij} = Parámetro de energía no dependiente de la temperatura entre los componentes i y j (cal / gmol).

b_{ij} = Parámetro de energía dependiente de la temperatura entre los componentes i y j (cal / gmol-K).

α_{ij} = Constante de no aleatoriedad NRTL para interacción binaria, tenga en cuenta.

$\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$ para todos los binarios.

LLE = Sistema de modelado electrolítico.

En el diagrama presentado en el Anexo E, se indican los modelos de coeficientes de actividad NRTL. Además, el modelo matemático NRTL es aplicable para componentes polares y electrolíticos, adicionalmente este método de cálculo es uno de los más aplicados para la industria química. (Elliott & Lira, 1998; Godoy, Rodríguez, & Scenna, 2008)

2.4 MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA DE INVESTIGACIÓN

El diseño y modelaje de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el simulador industrial Aspen Plus v.11 del Distrito 8 de la Ciudad de El Alto” consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar

los contaminantes presentes en el agua residual. En este sentido la presente investigación se ha tomado como referencia los siguientes trabajos investigativos.

Según investigaciones de (Jimenez, Jahuira, & Faustino, 2016) tuvieron el objetivo de determinar los niveles de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) de las aguas contaminadas de la bahía interior de la ciudad de Puno, del sector denominado Isla Espinar, de la boca toma de muelle, sector Huaje, y evaluar la eficiencia de dos macrófitas, como el *Elodea Canadensis* Michax (Ilacho) y *Myriophyllum Quitensis* Kunth (hinojo) para la remoción del Nitrógeno y Fósforo. Para valorar las muestras, procedentes del sector Parinas de la Península de Chucuito, se trabajó en el Mega Laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno (UNA-Puno). Se consideraron para el estudio las aguas contaminadas de los sectores, con mezcla (agua patrón + agua del sector) y sin dilución, desde 00 a 30 días y desde 30 a 60 días. El nitrógeno total se determinó utilizándose el método Kjeldahl, y para la cuantificación del fósforo total se utilizó el método del ácido ascórbico. El diseño experimental fue de tipo factorial. Los resultados mostraron que el contenido medio de nitrógeno total fue de 2.21 mg NT/L; mientras que del fósforo total fue de 1.36 mg PT/L. Estos valores son altos respecto del nivel aceptable de las aguas de la bahía, lo que permite sostener que la bahía interior de la ciudad de Puno está eutrofizada. Por otra parte, la *Myriophyllum Quitensis*, analizados en acuarios, en aguas diluidas, es más eficiente para absorber el nitrógeno total (NT) hasta 35 días; mientras que la *Elodea Canadensis* es más eficaz para remover los iones de fósforo total (PT) a los 29 días y, sin diluir, hasta los 37 días. Este método es una alternativa para remediar las aguas de la bahía interior de la ciudad de Puno, Perú.

Desde la perspectiva de (Neveu, Desjobert, & Barbe, 2000) se produce una creciente exigencia en la eliminación de los nutrientes en las EDARS, para tener mayor control en la calidad de los vertimientos de aguas residuales, finalmente, la necesidad de prevenir los fenómenos de eutrofización en las mismas. Por ello resulta decisiva la reducción de la concentración de fósforo en los vertidos de aguas residuales depuradas, para lo cual es necesario conocer los procesos biológicos y fisicoquímicos implicados.

Por lo tanto, según (Alasino, 2009) el proceso de barros activados es el más usado para la remoción de nitrógeno y fósforo de aguas residuales municipales e industriales. Asimismo, esta investigación se ha concentrado mayoritariamente en la optimización de las estrategias de operación en el mejoramiento del diseño individual de partes constitutivas de las instalaciones. Sin embargo, en esta tesis trata sobre la optimización, síntesis y diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales por barros activados para eliminación biológica de nutrientes basados en modelos, aplicando técnicas de programación matemática. Además, a lo largo de la misma se desarrollan modelos matemáticos de complejidad y rigurosidad crecientes, cuyas soluciones y conocimientos adquiridos se utilizan sucesivamente para el planteo, representación, acotamiento del espacio de búsqueda de las soluciones.

Asimismo, Los aportes adicionales de nitrógeno amoniacal que alteran las concentraciones normales de este nutriente, implican una alteración perjudicial del medio al cual son vertidos, provocando entre otras consecuencias, la disminución de los niveles de oxígeno disuelto de los ríos, el cual es consumido en los procesos de degradación bacteriana de nitrógeno amoniacal. Provocando un ambiente anóxico, desencadenándose así una serie de reacciones químicas y microbianas que dan como resultado la disminución de la calidad del agua, muerte de especies que habitan en el sitio, entre otras consecuencias. (Gonzales, 2013, pág. 12)

Por tanto, (Ospina, 2007) presenta el informe de laboratorio de aguas de la Corporación Autónoma Regional del Quindío - CRQ, durante seis meses. La actividad primordial fue la realización de la validación de nitrógeno amoniacal por destilación teniendo en cuenta los ensayos en la prevalidación como el rango de trabajo. En la validación de la técnica se obtuvieron 16 datos por cada muestra analizada, se hallaron las variables necesarias (promedio estadístico y desviación estándar). Se calculó la exactitud, la precisión y la incertidumbre del método. Se demostró mediante los procedimientos estadísticos el límite de detección de método que se logró bajar de 5 a 3 partes por millón (ppm) demostrando así que el método es confiable y seguro. Asimismo, la importancia de validar la técnica de determinación de nitrógeno amoniacal por destilación otorga confianza a los resultados obtenidos en el laboratorio.

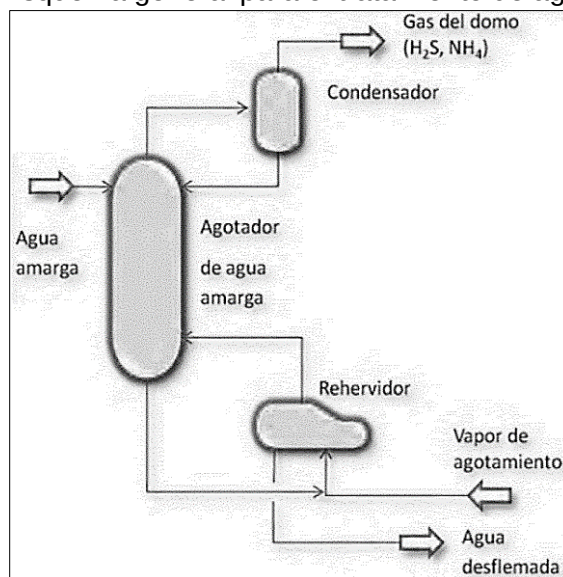
Además, una publicación de Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias de (Galicia Campos, Vidales Contreras, Salcedo Martínez, & García Gómez, 2018) hacen referencia a las actividades humanas, particularmente la agricultura y la urbanización que han ido provocado el incremento de nitrógeno y fósforo en sistemas de agua, provocando eutrofización que puede poner en peligro la salud humana, la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas. Por lo tanto, según este trabajo requieren tratamiento para eliminación de nutrientes antes de la descarga. Asimismo, esta investigación propone el aislamiento de microalgas a partir de agua residual municipal y la implementación de fotobiorreactores para su utilización en la remoción de ortofosfato y amonio. Finalmente obtuvo resultados en el sistema de remoción donde *Asterococcus limneticus* presento un promedio final de 1×10^{16} células mL^{-1} , con una remoción promedio final de 89% para PO_4^{3-} y 88% para NH_4^+ , mientras que *Chlorella vulgaris* obtuvo 4.73×10^6 células mL^{-1} , con una remoción promedio final de 16% para PO_4^{3-} y 90% para NH_4^+ .

Sin embargo, el estudio de (J. Caballero, 2017) refiere la importancia de recuperar componentes valiosos, como es el amoníaco, y poder reutilizarlos, por ejemplo, en la fabricación de fertilizantes usados en la agricultura. En los próximos años el número de habitantes en la tierra se prevé aumente en gran medida, teniendo que aumentar por ello la cantidad de alimento disponible. Además, la recuperación de nutrientes se evitaría la contaminación de dichas aguas, lo cual, genera un impacto negativo tanto en el medio ambiente como en los seres vivos, y la producción de fertilizantes a partir de nutrientes recuperados para el sector de la agricultura. Así

pues, el estudio se definió la tecnología de membrana como la más apropiada. Asimismo incorpora un sistema de destilación de membrana de fibras huecas de contacto directo siendo una tecnología con alto rendimiento en el proceso.

Mediante el trabajo de (Ortiz, 1994), se presenta el desarrollo de un modelo para la simulación del proceso de tratamientos de aguas residuales por medio de un sistema de lodos activados. aplicando un simulador de procesos de aspen plus. Por lo tanto, el modelo propuesto incluye tres etapas de tratamientos los cuales son: amortiguamiento del flujo, sedimentación primaria y tratamiento biológico. Para lo cual se desarrollan algoritmos numéricos que resultan del programa *FOLTRAN* con los cuales se incorporan subrutinas de usuario en el modelo de Aspen Plus. Asimismo, la etapa de tratamientos biológico involucra la creación de una subrutina para la definición de la cinética necesaria. En síntesis, el modelo resultante se evalúa para cada una de las etapas obteniéndose resultados satisfactorios en cada uno de los casos propuestos.

Finalmente (G. Hernandez, 2010) plantea la implementación de este sistema experimental basado en una columna de adsorción donde promueve el crecimiento de microorganismos. El diseño se realizó con base en las recomendaciones en la literatura y las pruebas preliminares que se realizaron en reactores por lotes. Además, en el proyecto se desarrollan tecnologías empleadas para la “Desorción de Aguas Amargas”; este método es aplicado cuando el afluente presenta una elevada carga de contaminantes (Armstrong et al., 1996). Por lo cual este proceso utiliza una columna (torre) ya sea empacada con algún tipo especial de anillos o de etapas (platos), el agua fluye a través de la altura de la columna, teniendo contacto permanente con vapor alimentado por el fondo. Este vapor puede provenir de una corriente adicional de alimentación o como producto del calentamiento de agua desflemada alimentada en el rehervidor de la columna, utilizando como medio de calentamiento vapor de baja presión (3.5 kg/cm²). La condensación a través de la torre agotadora, se lleva a cabo por medio de un sistema de reflujo circulante, extrayendo líquido en una etapa cerca del domo y retornándolo bajo previo enfriamiento tal como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 4: Esquema general para el tratamiento de agua amarga.

Fuente: (G. Hernandez, 2010, pág. 6), julio 2021.

2.5 MENCIÓN DE PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES

En este punto se ha tomado como referencia del punto de vista de los siguientes trabajos investigativos para definir algunas condiciones de trabajo:

(Jimenez, Jahuir, & Faustino, 2016) planteo el proceso de tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, por lo cual será de vital importancia extraer la información de variables operacionales de separación de fosfatos.

(Ortiz, 1994) realiza la simulación de procesos de tratamientos de aguas residuales con Aspen Plus para determinar eficiencia de separación. Por lo cual será de vital importancia extraer la información de ajustes operacionales óptimos en los equipos de trabajo.

(J. Caballero, 2017) realiza la recuperación componentes valiosos, como el amoníaco mediante la tecnología de membrana. Por tanto, la tecnología incorpora un sistema de destilación de membrana de fibras huecas en contacto directo. Por lo cual esta información es un precedente para el diseño del tanque destilador en el proyecto de investigación.

Finalmente, la investigación (G. Hernandez, 2010) plantea la implementación de un sistema experimental basado en una columna de adsorción donde promueve el diseño del mismo. Por lo cual esta información es la base de la aplicación del tanque destilador para extraer nitrógeno amoniacal con alta pureza.

2.6 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES

Para la identificación de las fuentes de información del trabajo de investigación se aplicó las fuentes primarias y secundarias con los cuales se obtuvieron datos de objetos de investigación.

2.6.1 Fuentes primarias

Esta información es obtenida mediante la siguiente secuencia metodológica.

- Observación (Extracción de datos del campo de estudio).
- Experimentación (Análisis de laboratorio para determinar las concentraciones de aguas residuales).
- Simulación (Modelación del diseño de tratamiento de aguas residuales).

2.6.2 Fuentes secundarias

También se aplicó fuentes primarias sintetizadas y organizadas por otros investigadores o instituciones oficiales sobre la temática del tratamiento de aguas residuales.

Para las fuentes de información secundarias indagaremos en las siguientes bases de datos:

- Universidades nacionales e internacionales
- Organismos internacionales
- Agencias de noticias
- Revistas indexadas y especializadas
- Normativas de diseño de plantas

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

En el presente acápite de la investigación se abordará y se planteará el marco metodológico donde tendrá lugar los siguientes elementos que darán un soporte fundamentado acorde a las características de la problemática abordada.

3.1 INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

“El término investigar lleva implícito las nociones de seguir pistas, encontrar, preguntar, sondear, inspeccionar. La tarea de investigar es una actividad sistemática que el hombre cumple con el propósito de incorporar nuevos contenidos sobre una materia, o, simplemente, con la finalidad de indagar sobre un tema que desconoce”. (Quintana Tejera, Luis, Métodos y técnicas de investigación 1, pág. 24)

Como sabemos, la investigación científica se fundamenta en el método científico; por lo tanto, la investigación es una actividad que tiene como objetivo alcanzar y crear conocimientos, y se caracteriza por ser: (Gómez, 2012, pág. 9)

- Racional.
- Metódica.
- Reflexiva.
- Constante.
- Ordenada.
- Controlada
- Crítica.

Según (Tamayo Tamayo, 2004, pág. 21) definen a la investigación como: “un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.” Por ello, la investigación por lo regular intenta encontrar soluciones para problemas de tipo educativo, social, científico, filosófico, etc.

3.2 METODOLOGÍA

“La metodología de la investigación ha aportado al campo de la educación, métodos, técnicas y procedimientos que permiten alcanzar el conocimiento de la verdad objetiva para facilitar el proceso de investigación”. (Gómez, 2012, pág. 7)

“Para responder a preguntas como ¿en dónde?, ¿quién?, ¿por dónde?, o ¿cómo encontrar el camino directo y adecuado en una investigación?, es necesario organizar nuestros pasos, y particularmente la metodología, para ello, primero definamos el concepto de método”. (Gómez, 2012, pág. 10)

Etimológicamente, la palabra método está formada por dos raíces griegas: META= camino, o lo largo de, ODOS= camino. Se entiende como:

- El camino o procedimiento para lograr un objetivo.
- La manera de ordenar una actividad para lograr un fin.
- El ordenar los acontecimientos para alcanzar una meta. (Herrera Vázquez, 2006, pág. 46)

Entonces, se puede decir que la metodología de la investigación es “la disciplina que se encarga del estudio crítico de los procedimientos, y medios aplicados por los seres humanos, que permiten alcanzar y crear el conocimiento en el campo de la investigación científica”. (Gómez, 2012, pág. 11)

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Por lo tanto, el método es una forma de ordenar y estructurar el trabajo, y si esto no se realiza de forma eficaz, obviamente se desperdiciarán tiempo y recursos.

Existen varias definiciones acerca del concepto de método, así se puede describir como el “modo de decir o hacer con orden”, también se define como el “modo de obrar o proceder, hábito o costumbre que cada uno tiene y observa”, o bien como un “procedimiento que se sigue en las ciencias para hallar la verdad y enseñarla”. (Asesoría, 2019)

3.3.1 Técnicas de investigación

Las técnicas de investigación más usuales son:

- La observación directa
- La encuesta
- La entrevista

Observación: Es el registro visual de lo que ocurre en una situación real, lo que se va a observar está determinado por lo que se está investigando. Por lo general se observan características y condiciones de los individuos, conductas o comportamientos, características ambientales, entre otros. Es un método que permite recolectar datos cuantitativos y cualitativos.

Encuesta: “La encuesta es una técnica de recogida de datos mediante la aplicación de un cuestionario a una muestra de individuos. A través de las encuestas se pueden conocer las opiniones, las actitudes y los comportamientos de los ciudadanos”. Asimismo, “en una encuesta se realizan una serie de preguntas sobre uno o varios temas a una muestra de personas seleccionadas siguiendo una serie de reglas científicas que hacen que esa muestra sea, en su conjunto, representativa de la población general de la que procede”. (CIS, 2017)

Entrevista: Es la comunicación interpersonal establecida entre el investigador y el sujeto de estudio con el propósito de obtener respuestas verbales a las interrogantes planteadas sobre el problema. (Amador, 2009)

3.4 CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Entre los métodos generales que apoyan a la investigación científica se encuentran los siguientes:

- Método Inductivo.
- Método Deductivo.
- Método Analítico.
- Método Sintético.
- Método Cuantitativo y Cualitativo
- Método Mixto

3.4.1 Método Inductivo

El método inductivo, “es el razonamiento que partiendo de casos particulares se eleva a conocimientos generales; o, también, razonamiento mediante el cual pasamos del conocimiento de un determinado grado de generalización a un nuevo conocimiento de mayor grado de generalización que el anterior”. (Stan, 1980) En este contexto, se mencionan dos formas de inducción:

- Inducción completa. Para que un razonamiento tenga la característica de inducción completa, es necesario conocer con exactitud el número de individuos o fenómenos que integran el estudio, para tener la certeza de que los datos incluidos en este estudio pertenecen a cada uno de los individuos o fenómenos en cuestión.
- Inducción incompleta. En la vida cotidiana, así como en las investigaciones científicas, el ser humano realiza con cierta frecuencia inferencias inductivas universales, con fundamento en el hecho de que observa un mismo fenómeno que conoce.

3.4.2 Método Deductivo

Este método, a diferencia del inductivo, es el procedimiento racional que va de lo general a lo particular. Posee la característica de que las conclusiones de la deducción son verdaderas, si las premisas de las que se originan también lo son. (Gómez, 2012)

3.4.3 Método Analítico

Este método “consiste en la extracción de las partes de un todo, con el objeto de estudiarlas y examinarlas por separado, para ver, por ejemplo, las relaciones entre éstas”, (Abbagnano, 1993, pág. 59) es decir, es un método de investigación, que consiste en descomponer el todo en sus partes.

3.4.4 Método Sintético

Su principal objetivo es lograr una síntesis de lo investigado; por lo tanto, posee un carácter progresivo, intenta formular una teoría para unificar los diversos elementos del fenómeno estudiado; a su vez, el método sintético es un proceso de razonamiento que reconstruye un todo, considerando lo realizado en el método analítico. (Gómez, 2012, pág. 16)

3.4.5 Método Cuantitativo

La metodología cuantitativa de acuerdo con (Tamayo, 2007), consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. Por lo tanto, para realizar estudios cuantitativos es indispensable contar con una teoría ya construida, dado que el método científico utilizado en la misma es el deductivo; mientras que la metodología cualitativa consiste en la construcción o generación de una teoría a partir de una serie de proposiciones extraídas de un cuerpo teórico que servirá de punto de partida al investigador, para lo cual no es necesario extraer una muestra representativa, sino una muestra teórica conformada por uno o más casos, y es por ello que utiliza el método inductivo, según el cual se debe partir de un estado nulo de teoría.

Las características que destacan en la metodología cuantitativa, en términos generales es que esta elige una idea, que transforma en una o varias preguntas de investigación relevantes; luego de estas deriva hipótesis y variables; desarrolla un plan para probarlas; mide las variables en un determinado contexto; analiza las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y establece una serie de conclusiones respecto de la (s) hipótesis.

La metodología cuantitativa utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

El Método cuantitativo tiene su base en el positivismo¹, que busca las causas mediante métodos tales como el cuestionario y producen datos susceptibles de análisis estadístico, por ello es deductivo. Para el positivismo, la objetividad es muy importante, el investigador observa, mide y manipula variables; además de que se desprende de sus propias tendencias y es que la relación entre éste y el fenómeno de estudio es independiente. Lo que no puede medirse u observarse con precisión se descarta como “objeto” de estudio. Cabe señalar que el primer enfoque a la investigación en desarrollarse fue el cuantitativo.

Según (Rodríguez, Peñuelas 2010, p.32), señala que el método cuantitativo se centra en los hechos o causas del fenómeno social, con escaso interés por los estados subjetivos del individuo. Este método utiliza el cuestionario, inventarios y análisis demográficos que producen números, los cuales pueden ser analizados estadísticamente para verificar, aprobar o rechazar las relaciones entre las variables definidas operacionalmente, además regularmente la presentación de resultados de estudios cuantitativos viene sustentada con tablas estadísticas, gráficas y un análisis numérico.

En este sentido, el método cuantitativo de acuerdo con (Hernández, Fernández y Baptista, 2010) manifiestan que usan la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías, además señalan que este enfoque es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos, el orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase y parte de una idea, que va acotándose y, una delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica.

3.4.6 Método Cualitativo

La metodología cualitativa, por lo común, se utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación. A veces, pero no necesariamente, se prueban hipótesis (Granell, 1997). Con frecuencia se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones. Por lo regular, las preguntas e hipótesis surgen como parte del proceso de investigación y éste es flexible, y se mueve entre los eventos y su interpretación, entre las respuestas y el desarrollo de la teoría. Su propósito consiste en “reconstruir” la realidad, tal y como la observan actores de un sistema social previamente definido.

Las características que destacan en el enfoque cualitativo, también son guiadas por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre la(s) pregunta(s) de investigación e hipótesis preceda (como en la

¹ En la publicación de 1849 del *Discurso sobre el espíritu positivo* del filósofo francés Auguste Comte, se inicia en las ciencias sociales un paradigma denominado “positivista”.

mayoría de los estudios cuantitativos, al menos en intención) a la recolección y el análisis de los datos, los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis. Con frecuencia estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes y, después para refinarlas y responderlas (o probar hipótesis). El proceso se mueve dinámicamente entre los hechos y su interpretación en ambos sentidos.

Según (Silverman, 1995), citado por (Rodríguez Peñuelas, 2005), hace un análisis comparativo de concepciones y críticas a la metodología cualitativa encontrando una nueva versión de esta metodología, señalando lo siguiente.

La preferencia por investigación cualitativa, usa palabras más que números.

La preferencia por información que sucede de manera natural y por observación, más que por experimentos y por entrevistas no estructuradas y no por las estructuradas, de cualquier modo, esto es relativo.

La preferencia por los símbolos, más que por los comportamientos o sea intentar, registrar el mundo desde el punto de vista de la gente que está siendo estudiada. El rechazo de las ciencias naturales como modelo, es relativo, porque hay diferentes clases de ciencias naturales, desde la botánica hasta la física teórica.

La preferencia por investigación inductiva generadora de hipótesis más que por aquella que se orienta a la prueba de hipótesis, y ese también es relativo reconociendo que deben de ser verificadas, si no se limitarían a meras especulaciones.

Como se puede observar, de alguna manera la metodología cualitativa es considerada como un modo de encarar el mundo empírico. Para efectos de esta metodología, se adopta la propuesta de Taylor y Bogan (1987), por considerarla interesante ya que describen con mayor amplitud la metodología cualitativa, el cual se puede distinguir por las siguientes características:

- ✓ La investigación cualitativa es inductiva. Los investigadores desarrollan conceptos y comprensiones partiendo de pautas de los datos y no recogiendo datos para evaluar modelos, hipótesis o teorías preconcebidos. Los investigadores siguen un diseño de investigación flexible, comenzando sus estudios con interrogantes vagamente formuladas.
- ✓ En la metodología cualitativa el investigador ve al escenario y a las personas en una perspectiva holística; las personas, los escenarios o los grupos no son reducidos a variables, sino considerados como un todo. Se estudia a las personas en el contexto de su pasado y las situaciones actuales en que se encuentran.

- ✓ Los investigadores cualitativos son sensibles a los efectos que ellos mismos han creado sobre las personas que son objeto de su estudio. El investigador interactúa con los informantes de un modo natural y no intrusivo.
- ✓ Los investigadores cualitativos tratan de comprender a las personas dentro del marco de referencia de ellas mismas. Desde un punto de vista fenomenológico y para la investigación cualitativa es esencial experimentar la realidad tal como otros la perciben. Siendo de esta manera que el investigador cualitativo se identifica con las personas que estudia para poder comprender como ven las cosas.
- ✓ El investigador cualitativo aparta sus propias creencias, perspectivas y predisposiciones. El investigador ve las cosas como si ellas estuvieran ocurriendo por primera vez. Nada da por sobrentendido, todo es un tema de investigación.
- ✓ Para el investigador cualitativo todas las perspectivas son valiosas. No busca la verdad o la moralidad, sino una comprensión detallada de las perspectivas de otras personas. A todas las ve como a iguales.
- ✓ Los métodos cualitativos son humanistas. Al estudiar a las personas cualitativamente, llegamos a conocerlas en lo personal y a experimentar lo que ellas sienten en sus luchas cotidianas en la sociedad o en las organizaciones. Aprendemos sobre conceptos tales como belleza, dolor, fe, sufrimiento, frustración y amor, cuya esencia se pierde en otros enfoques investigativos.
- ✓ El investigador cualitativo da énfasis a la validez en su investigación. Los métodos cualitativos nos permiten permanecer próximos al mundo empírico. Están destinados a asegurar un estrecho margen entre los datos y lo que la gente realmente dice y hace. Observando a las personas en su vida cotidiana, escuchándolas hablar sobre lo que tienen en mente y viendo los documentos que producen, el investigador cualitativo obtiene un conocimiento directo de la vida social, no filtrado por conceptos, definiciones operacionales y escalas clasificatorias.
- ✓ Para el investigador cualitativo, todos los escenarios y personas son dignos de estudio. Ningún aspecto de la vida social es demasiado trivial como para ser estudiado.
- ✓ La investigación cualitativa es un arte. Los investigadores cualitativos son flexibles en cuanto al método en que intentan conducir sus estudios, es un artífice. El científico social cualitativo es alentado a crear su propio método. Se siguen lineamientos orientadores, pero no reglas. Los métodos sirven al investigador; nunca es el investigador esclavo de un procedimiento o técnica.

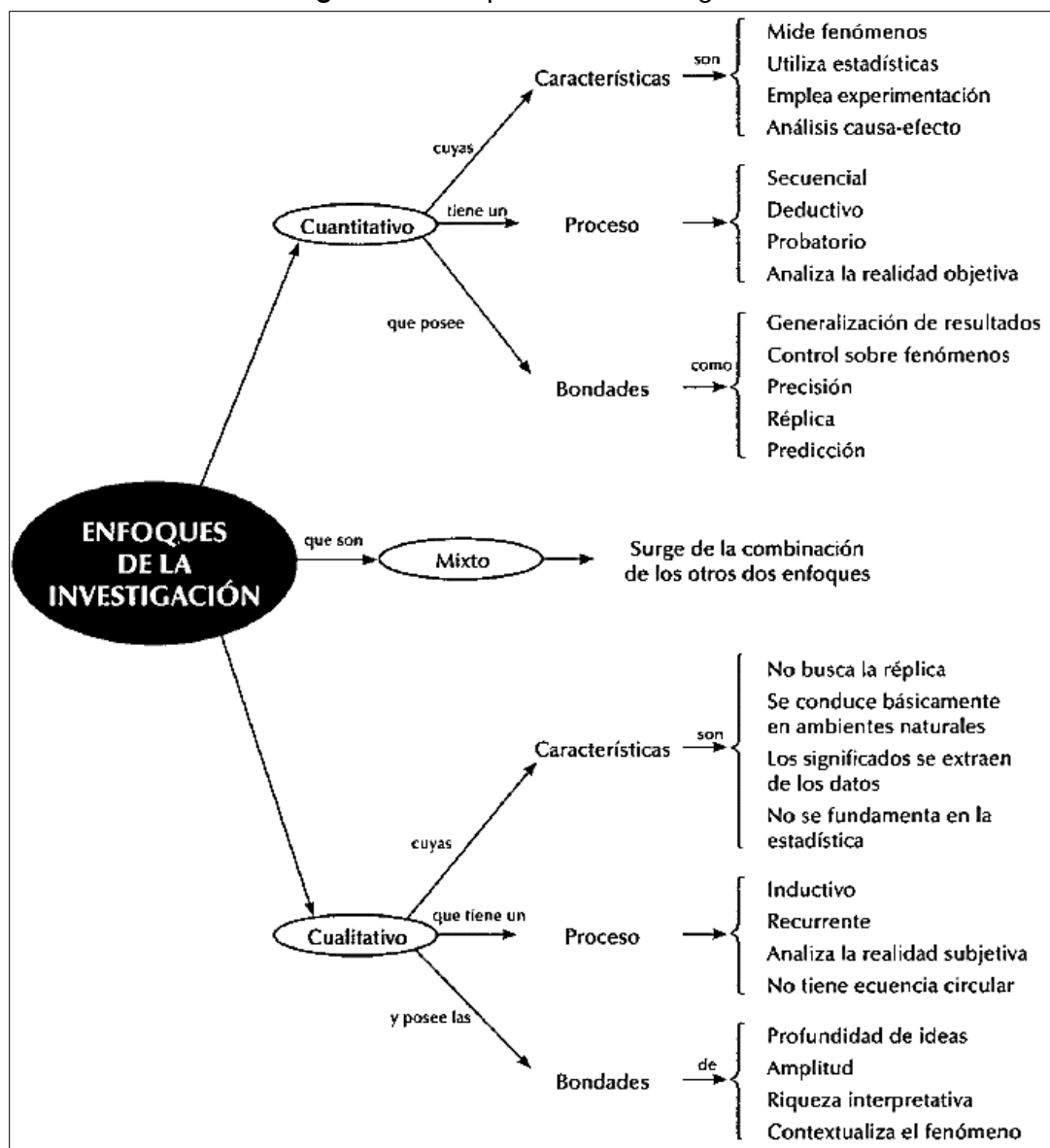
Bajo esta perspectiva, estos autores, de acuerdo con su experiencia en el estudio a profundidad de la metodología cualitativa llevan a cabo una gran diversidad de conceptos y características muy particulares que al investigador aportan herramientas necesarias para llevar a cabo este tipo de investigación, además son reconocidos por la comunidad científica en el campo de la metodología cualitativa.

3.4.7 Método Mixto

Antes de definir propiamente los métodos mixtos, hemos de comentar que éstos agregan cada año más adeptos y su desarrollo durante la primera década del siglo XXI ha sido vertiginoso. Han recibido varias denominaciones tales como investigación integrativa (*Johnson y Onwuegbuzie, 2004*), investigación multimétodos (*Hunter y Brewer, 2003; Morse, 2003*), métodos múltiples (*M. L. Smith, 2006; citado por Johnson, Onwuegbuzie y Turner, 2006*), estudios de triangulación (*Sandelowski, 2003*), e investigación mixta (*Tashakkori y Teddlie, 2009; Plano y Creswell, 2008; Bergman, 2008; y Hernández Sampieri y Mendoza, 2008*).

Algunas de las definiciones más significativas del enfoque mixto son las siguientes:

- a) Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (*Hernandez & Mendoza, 2008*)
- b) Los métodos de investigación mixta son la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una “fotografía” más completa del fenómeno. Éstos pueden ser conjuntados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales (“forma pura de los métodos mixtos”). Alternativamente, estos métodos pueden ser adaptados, alterados o sintetizados para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio (“forma modificada de los métodos mixtos”) (*Chen & Johnson, 2006*)
- c) En las definiciones anteriores queda claro que en los métodos mixtos se combinan al menos un componente cuantitativo y uno cualitativo en un mismo estudio o proyecto de investigación. *Johnson et al. (2006)* en un “sentido amplio” visualizan a la investigación mixta como un continuo en donde se mezclan las enfoques cuantitativo y cualitativo, centrándose más en uno de éstos o dándoles el mismo “peso”, donde cabe señalar que cuando se hable del método cuantitativo éste se abreviará como CUAN y cuando se trate del método cualitativo como CUAL).

Figura 5: Enfoques de la investigación

Fuente: (Hernandez Sampieri, Fernandez Collado, & Baptista Lucio, 2006).

El enfoque mixto un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (meta inferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. (Hernandez, Mendoza, Fernandez, & Baptista, 2010)

3.5 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque o el método de investigación aplicado en este proyecto es cuantitativo, ya que se requiere apreciar numéricamente los efectos de las diferentes variables de entrada sobre las variables de salida en los procesos de tratamiento de aguas residuales desde el mismo programa de simulación industrial Aspen Plus V.11. asimismo, se precisa ajustar condiciones de operación (presión y temperatura) para optimizar la simulación del tratamiento de aguas residuales (Ciudad de El Alto).

3.6 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Sobre el tipo de investigación, (Canales, 1996) señala: "Hay diferentes tipos de investigación, los cuales se clasifican según distintos criterios..." (p. 53).

Los criterios empleados en este libro para establecer los diferentes tipos, son el nivel de investigación el diseño de investigación. (Ver apéndice B, p. 94).

3.6.1. Nivel de Investigación

"El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno. Aquí se indicará si se trata de una investigación exploratoria, descriptiva o explicativa. En cualquiera de los casos es recomendable justificar el nivel adoptado". (Fidias, 1999, pág. 19)

Según lo expuesto en este proyecto de investigación se aplicó el nivel de investigación exploraría.

- **Investigación Exploratoria:** Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto.

3.6.2. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado. (Fidias, 1999, pág. 20). Asimismo, en esta sección se definirá y se justificará el tipo de según. el diseño o estrategia por emplear.

En este punto el diseño de investigación se definió una investigación descriptiva.

- **Investigación Descriptiva:** Proceso que consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

Se diferencia de la investigación de campo por la medición, manipulación y control de variables independientes.

3.7 SELECCIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN

Dada la naturaleza y carácter de la investigación, este se ubica en el tipo de investigación descriptiva con un nivel de investigación exploratoria, ya que durante el desarrollo del mismo se procederá a someter una muestra de aguas residuales a laboratorio para poder determinar su composición y tener datos de entrada para la aplicación del simulador Aspen Plus V.11. Prediciendo e identificando las relaciones que existen entre las variables de proceso, con el fin de extraer conclusiones significativas que ayuden a comprender el funcionamiento del simulador industrial Aspen Plus V.11. Así de esta manera se podrá optimizar variables de proceso en las diferentes secciones, con la finalidad de observar la reducción de concentración de contaminantes en las aguas residuales de salida.

3.8 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

a) Variable Independiente (Aguas residuales)

- ✓ **Composición Inicial:** Es la concentración de todas las sustancias presentes en una mezcla.
- ✓ **pH de la muestra:** Medida de la acidez y basicidad de una solución.
- ✓ **Caudal:** Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección de la línea de flujo de materia.

En este caso es la composición inicial y el pH se obtuvo de la muestra de aguas residuales tomada en la Zona Senkata, Distrito 8 de la Ciudad de El Alto.

b) Variable Dependiente (Simulador Industrial Aspen Plus)

- ✓ **Parámetros de Operación:** Refleja todas las condiciones de Operación del proceso de Tratamiento de Aguas Residuales.
- ✓ **Herramientas Lógicas:** Herramienta lógica para optimizar el proceso purificación del agua tratada.

3.9 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.9.1 Población

La población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación. (Morles, 1994, p. 17). De acuerdo a lo expresado, la Población de investigación será la Ciudad de El Alto.

3.9.2 Muestra

La muestra es un "subconjunto representativo de un universo o población." (Morles, 1994, p. 54). Asimismo, en esta sección se describirá la población, así como el tamaño y forma de selección de la muestra, es decir, el tipo de muestreo, en el caso de que exista.

"No obstante, este punto se omite en investigaciones bibliográficas y en estudios de caso único. Veamos por qué.

En el primer tipo, o sea en la investigación bibliográfica el universo equivale al tema de estudio.

Por otra parte, los estudios de caso se concentran en uno o pocos elementos que se asumen, no como un conjunto sino como una sola unidad".

En la toma de muestras se pueden encontrar diferentes tipos de muestreos como se muestra a continuación:

a) Muestreo Probabilístico

Según (Fidias, 1999, pág. 24) el proceso en el que se conoce la probabilidad que tiene cada elemento de integrar la muestra. Ese a su vez se clasifica en:

- i. **Muestreo al Azar Simple:** Procedimiento en el cual todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Dicha probabilidad, conocida previamente, es distinta de cero y de uno.
- ii. **Muestreo al Azar Sistemático:** Se basa en la selección de un elemento en función de una constante K. De esta manera se escoge un elemento cada k veces.
- iii. **Muestreo Estratificado:** Consiste en dividir la población en subconjuntos o estratos cuyos elementos poseen características comunes. Así los estratos son homogéneos internamente.
- iv. **Muestreo por Conglomerados:** Se basa en la división del universo en unidades menores, para determinar luego las que serán objeto de investigación, o donde se realizará la selección.

b) Muestreo no Probabilístico

Según (Fidias, 1999, pág. 24) el procedimiento de selección en el que se desconoce la probabilidad que tienen los elementos de la población para integrar la muestra. Este se clasifica en:

- i. **Muestreo Casual o Accidental:** Selección arbitraria de los elementos sin un juicio o criterio preestablecido.

- ii. **Muestreo Intencional u Opinático:** Selección de los elementos con base en criterios o juicios del investigador.
- iii. **Muestreo por Cuotas:** Se basa en la escogencia de los elementos en función de la población, de modo tal que se conformen grupos de cuotas correspondientes con cada característica.

Por lo tanto, para esta investigación se aplicó la muestra de tipo no probabilístico (Muestreo Intencional u Opinático), considerando como 1 punto de monitoreo de acuerdo a los criterios del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, Tal como se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 3: Ubicación referencial de muestreo

CÓDIGO DE MUESTRA	COORDENADAS			
	NORTE	ESTE	ALTURA msnm	DESCRIPCIÓN DEL LUGAR
01 Agua Residual	- 16,5648	- 68,1807	3750	Calle Rubén Darío y Jean Paul Sartre, y la Auto vía de La Paz - Oruro y la Avenida Panorámica

Fuente: Elaboración Propia en base Google Maps, septiembre 2021.

Figura 6: Punto de muestreo para análisis de laboratorio



Fuente: Elaboración Propia, septiembre 2021.

3.10 EL AMBIENTE DE INVESTIGACIÓN

3.10.1 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos de investigación aplicados son:

DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO

- a) **TECNICA:** Exploración del campo, muestreo, análisis, entrevistas, artículos científicos.
- b) **INSTRUMENTOS:** Material de campo, cámara, cuaderno de apuntes, Material de gabinete, Computadora y Programa de simulación Aspen Plus V.11.
- c) **PROCEDIMIENTO:** Medición de parámetros operacionales de planta, Selección del modelo matemático óptimo y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales.

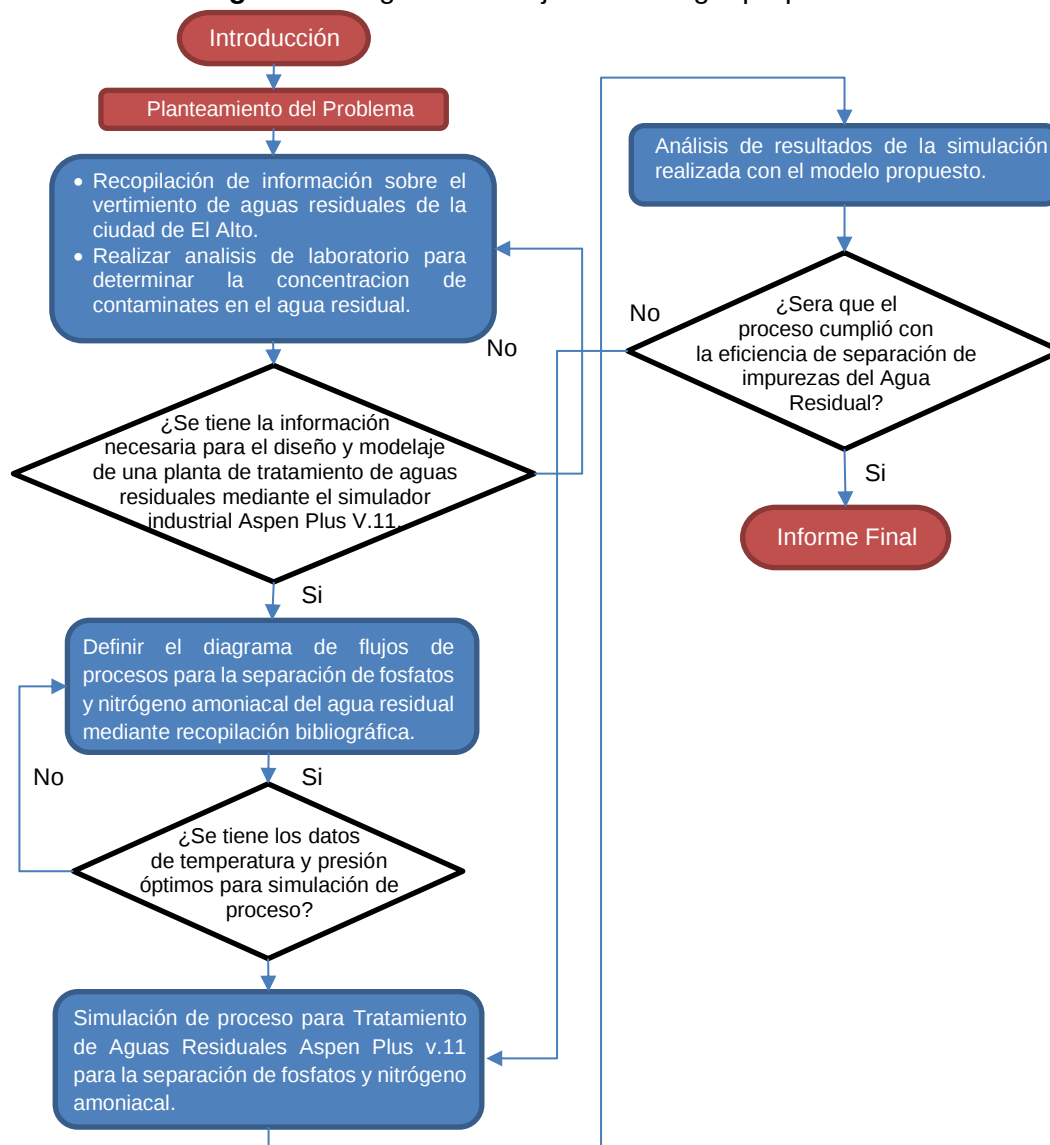
3.11 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida mediante la recopilación bibliográfica ha sido el punto de partida y parte fundamental del proceso de investigación para llegar a un modelo que se ajuste a las condiciones operativas del diseño propuesto. Teniendo en cuenta que para este caso se consideró tres componentes del agua residual.

- ✓ Nitratos (Amoniaco)
- ✓ Fosfatos (Fosforo)
- ✓ Agua

La convergencia de la simulación con Aspen Plus V.11 permite establecer modificaciones en las variables para optimizar el proceso planteado. Además, el resultado de la simulación podrá establecer un diseño básico de ingeniera que proporcione especificaciones técnicas para obtener agua tratada de alta pureza.

En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo metodología para la modelación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Figura 7: Diagrama de flujo metodología propuesto

Fuente: Elaboración Propia, septiembre 2021.

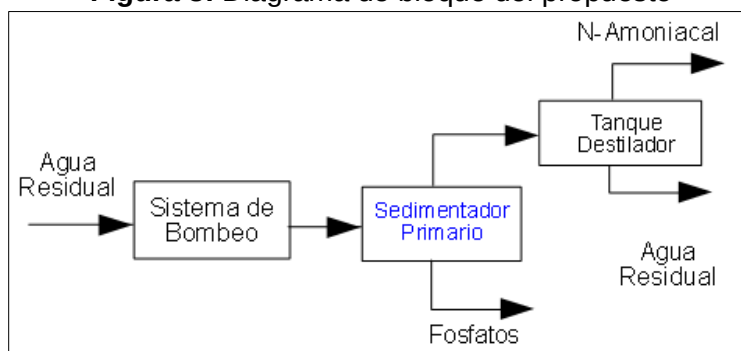
3.12 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE PROCESO

Según las investigaciones de (Galicia Campos, Vidales Contreras, Salcedo Martínez, & García Gómez, 2018), (J. Caballero, 2017) y (G. Hernandez, 2010) se propone un diagrama de proceso de separación de fosfatos y nitrógeno amoniacal del agua residual, asimismo se consideran aspectos operacionales de funcionamiento.

3.12.1 Diagrama de bloques

En la Figura 8 muestra un diagrama de bloques del proceso separación de contaminantes del agua residual de manera secuencial. Además, este diagrama denota la separación de contaminantes en cada equipo como se detalla en la siguiente figura.

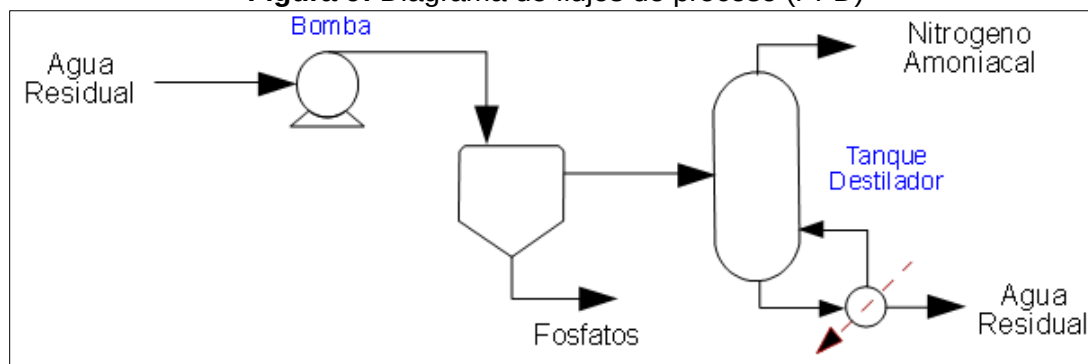
Figura 8: Diagrama de bloque del propuesto



Fuente: Elaboración Propia, octubre 2021.

3.12.2 Diagrama de flujo del proceso seleccionado (PFD)

Figura 9: Diagrama de flujos de proceso (PFD)



Fuente: Elaboración propia en base a investigaciones de. (Celi, Carranza, Fajardo, & Tahua, 2021)

Para la simulación se definió 2 etapas de separación (ver figura 9), tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 4: Lista de equipos en función al PFD de procesos

EQUIPOS	CODIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Sedimentador primario	SED-1	Separador horizontal de fosfatos
Tanque Destilador	DEST-1	Separador de fase vapor y liquido
Bomba	BOM1	Equipo para impulsar fluidos

Fuente: Elaboración propia en base a la figura 9, octubre 2021.

3.13 SIMULACION DE PROCESO DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

3.13.1 Condiciones de alimentación

a) Temperatura, Presión, Flujo Masico

La Ciudad de El Alto se encuentra a 4085 metros sobre el nivel del mar. Asimismo, según (Köppen & Geiger, s.f.) esta zona tiene un clima de tundra, lo que significa que incluso en los meses más cálidos, las temperaturas son muy bajas. Esta ubicación está clasificada como ET. Por tanto, la temperatura media anual es 7.2 °C en El Alto. Además, la Presión atmosférica un promedio es 495 mmHg. (Spielvogel, 2007)

Cuadro 5: Variables independientes de proceso

Parámetros	Valor	Descripción
Temperatura	7,20 (°C)	Temperatura Media Anual
Presión (Bar)	0,66 bar (495 mmHg)	Presión en condiciones El Alto
Flujo Volumétrico	1000 (litros/min)	Caudal de Agua residual
Fase de Flujo	Líquido	Fase de flujo de Agua Residual

Fuente: (Köppen & Geiger, s.f.) y (Spielvogel, 2007).

a) Composición Molar del Agua Residual

El análisis químico realizado del Aguas Residuales es detallado en el Cuadro 6 y el Anexo F.

Cuadro 6: Resultados de ensayos de parámetros del PO_4^{-3} y N-NH_3

ENSAYO	PO_4^{-3}	N-NH_3	pH
UNIDADES	mg/l	mg/l	-
AGUA RESIDUAL - EL ALTO	2.62	27,1	6.1
MÉTODO REF	HACH 8048	SM 4500 NH_3 C	SM 4500-H ⁺ B.

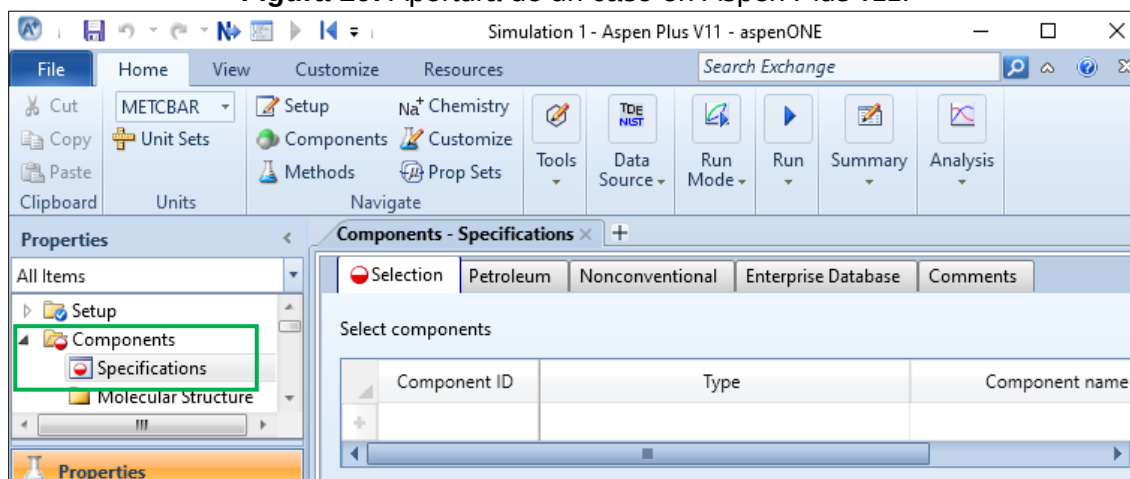
Fuente: Elaboración propia en base al análisis de laboratorio SGLAB S.R.L. (Inspección y Laboratorio de Calidad), octubre 2021.

3.13.2 Simulación de Componentes de Proceso

El primer paso para una simulación de un proceso normalmente es establecer las bases químicas para el diagrama de flujo de procesos propuesto. Esto consiste en adicionar componentes y el modelo termodinámico para la predicción de las propiedades físicas y el equilibrio de fases. (Espínola, 2017), Por lo tanto, en este

punto se apertura un caso nuevo en Aspen Plus V.11, ya que es un paso fundamental para adicionar los componentes de proceso.

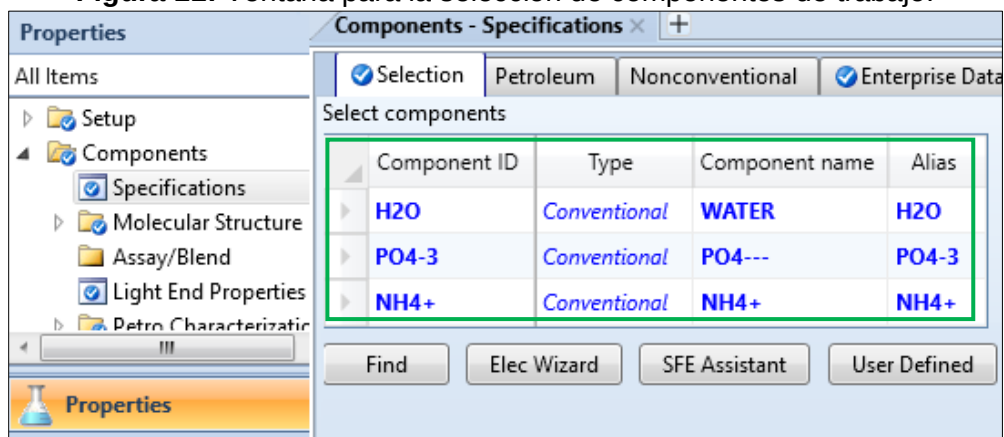
Figura 10: Apertura de un caso en Aspen Plus v11.



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Posteriormente se ingresa los componentes de trabajo, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 11: Ventana para la selección de componentes de trabajo.



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Además, en este punto se definió el sistema de unidades “METCBAR”.

3.13.3 Selección del Modelo Termodinámico

La selección del modelo termodinámico está en función a la polaridad de los contaminantes del agua residual. Asimismo, el modelo termodinámico definido en este caso es NRTL, ya que este modelo matemático que presenta un margen de error mínimo a comparación de otros modelos termodinámicos.

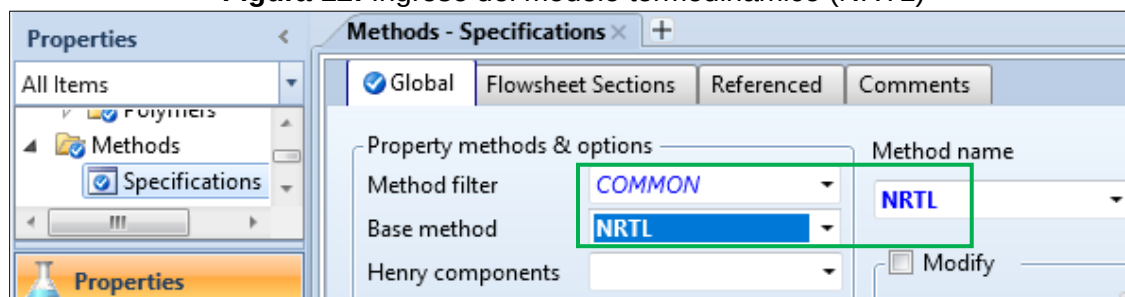
“El modelo termodinámico se utiliza para calcular las propiedades termodinámicas y de transporte de los componentes y sus mezclas de la simulación, como entalpía, entropía, densidad, calor específico, equilibrio L-V, etc.” (Espínola, 2017, pág. 34)

Cuadro 7: Modelos de propiedades termodinámicas para el simulador

Modelos de Propiedades Termodinámicas	
Ecuaciones de Estado	Benedict-Webb-Rubin (BWR)-Lee-Starling
	Hayden-O'Connell*
	Hydrogen-fluoride equation of state for hexamerization*
	Ideal gas law*
	Lee-Kesler (LK)
	Lee-Kesler-Plocker
	Peng-Robinson (PR)
	Perturbed-Hard-Chain
	Predictive SRK
	Peng-Robinson Stryjek-Vera (PRSV)
	Redlich-Kwong (RK)
	Redlich-Kwong-Soave (RKS)
Coeficiente de Actividad	Electrolyte NRTL
	Flory-Huggins
	NRTL
	Scatchard-Hildebrand
	UNIQUAC
	UNIFAC
	Van Laar
	Wilson
Especiales	API sour-water method
	Braun K-10
	Chao-Seader
	Grayson-Streed
	Kent-Eisenberg
	Steam Tables
	*No usado para fase líquida

Fuente: (Aspen Technology, 2000; Carlson, 1996).

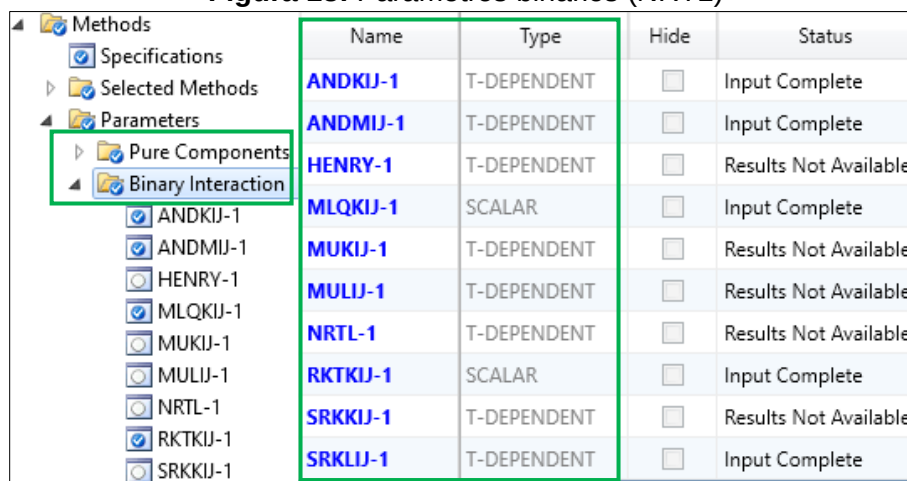
Figura 12: Ingreso del modelo termodinámico (NRTL)



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, Julio 2021.

Posteriormente se verifica las secciones de parámetros e iteraciones binarias para validar los componentes de trabajo. Además, el modelo matemático NRTL es aplicable para componentes polares y electrolíticos, adicionalmente este método de cálculo es uno de los más aplicados para la industria química. (Elliott & Lira, 1998; Godoy, Rodríguez, & Scenna, 2008).

Figura 13: Parámetros binarios (NRTL)



Name	Type	Hide	Status
ANDKIJ-1	T-DEPENDENT	☐	Input Complete
ANDMIJ-1	T-DEPENDENT	☐	Input Complete
HENRY-1	T-DEPENDENT	☐	Results Not Available
MLQKIJ-1	SCALAR	☐	Input Complete
MUKIJ-1	T-DEPENDENT	☐	Results Not Available
MULIJ-1	T-DEPENDENT	☐	Results Not Available
NRTL-1	T-DEPENDENT	☐	Results Not Available
RKTKIJ-1	SCALAR	☐	Input Complete
SRKKIJ-1	T-DEPENDENT	☐	Results Not Available
SRKLIJ-1	T-DEPENDENT	☐	Input Complete

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

3.13.4 Selección de equipos en Aspen Plus V.11

En la Cuadro 8 se define los equipos a emplearse en la ventana de simulación de Aspen Plus V.11.

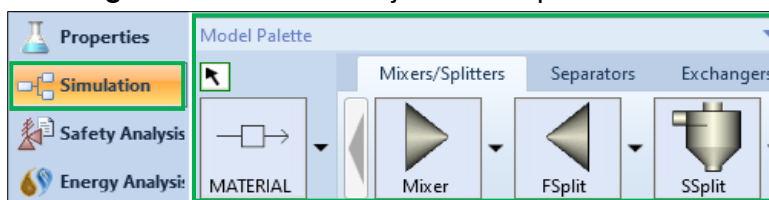
Cuadro 8: Equipos en Aspen Plus v11

SECCIÓN DEL PROCESO	EQUIPOS SELECCIONADOS EN ASPEN PLUS V.11	CODIFICACIÓN DE EQUIPOS
Equipo para incremento de presión	Bomba 1	BOM-1
Separador de FOSFATOS	Decantador	DEC-1
Separador bifásico (Vapor - Líquido)	Tanque Destilador	DEST-1

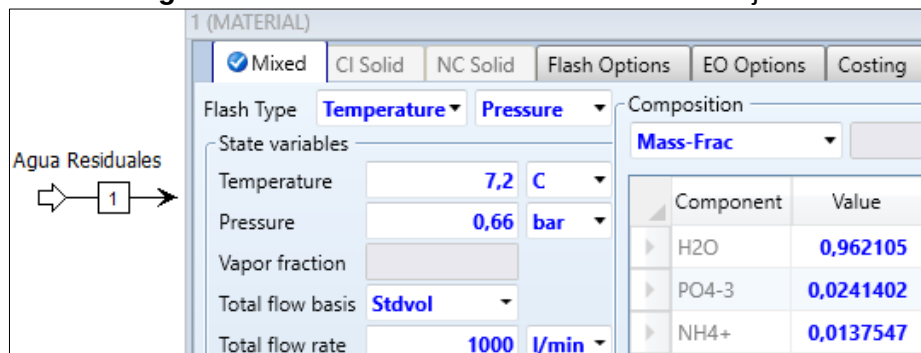
Fuente: Elaboración propia en base a Aspen PLUSv11, octubre 2021.

3.13.4.1 Definición de corriente de alimentación

Una vez seleccionado la opción “Simulación”, se agrega el flujo de alimentación 1 a la pantalla de simulación mediante la “Paleta de objetos”, tal como se observa en la Figura 14. Asimismo, se realiza la especificación de condiciones de alimentación 1 de acuerdo a los Cuadros 5 y 6, tal como se muestra en la Figura 15.

Figura 14: Paleta de objetos en Aspen Plus v11.

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Figura 15: Condiciones de alimentación del Flujo 1.

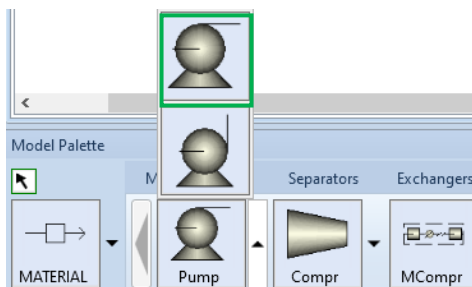
Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Para el inicio de la simulación se tomará un caudal referencial de 1000 litros/min de agua residual. Ya que este proyecto de investigación puede ser aplicado en distintos puntos de la Ciudad de El Alto con diferentes caudales. Asimismo, el diagrama de flujos de proceso es insertado posteriormente al flujo de alimentación 1 tal como se detalla en la Figura15.

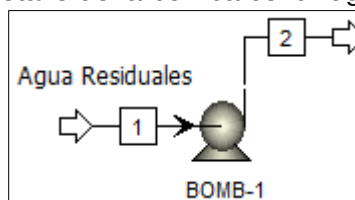
3.14 MODELAJE DE EQUIPOS DE PROCESO

3.14.1 Sistema de bombeo 1 (BOMB-1)

El flujo 1 de la Figura 15 es denominado como línea de alimentación del agua residual, posteriormente se especifica la bomba de centrífuga 1 en función al Cuadro 9. Asimismo, asumimos la eficiencia del sistema de bombeo en un 65%, debido a que la operación normal de bombas centrífugas es de 60 a 80%. (Mott, 2006)

Figura 16: Selección de bomba centrífuga 1

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

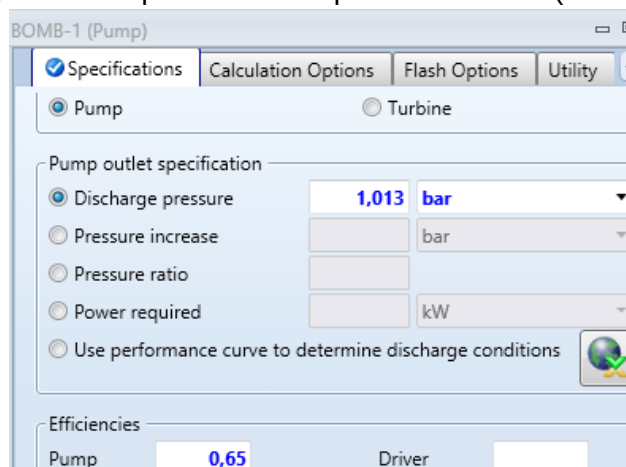
Figura 17: Detalle de la bomba centrífuga 1 (BOMB-1)

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Cuadro 9: Especificación de bomba centrífuga 1

Parámetro	Bomba 1
Modelo	Pump
Presión de descarga [bar]	1,013
Eficiencia de la bomba	0,65
Fase de Flujo	Líquido
Trabajo Requerido [kW]	0,12

Fuente: Elaboración propia en base a Aspen PLUSv11, octubre 2021.

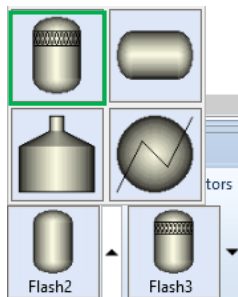
Figura 18: Especificaciones para la bomba 1 (BOMB-1)

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

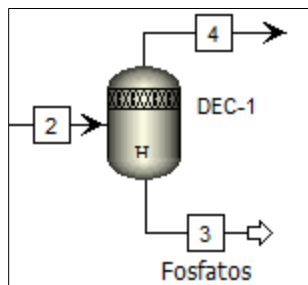
“El bloque (*Bomba*) realiza un balance de materia y energía a dos corrientes. Se necesita indicar las corrientes de entrada y salida, y se puede especificar la caída de presión a través de la bomba. Si sólo se especifica la presión de la corriente de salida, se calcula la temperatura a la salida mediante un flash isoentálpico, dado que la entalpía de entrada es conocida.” (Espínola, 2017, pág. 69)

3.14.2 Decantador de fosfatos (DEC-1)

En el proceso de decantación se logra separar los compuestos orgánicos (fosfatos). Para ello se especifica las variables operacionales de presión y temperatura como se muestra en Cuadro 10.

Figura 19: Selección del decantador

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Figura 20: Detalle del decantador de fosfatos (DEC-1)

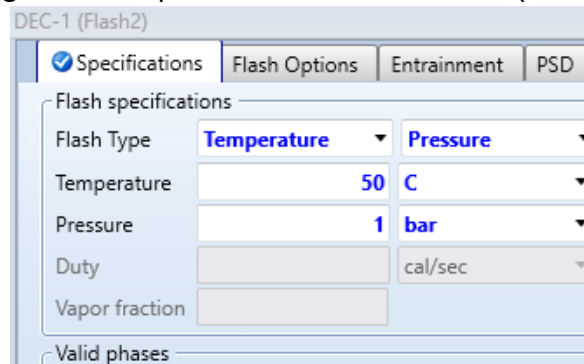
Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Cuadro 10: Especificación del decantador (DEC-1)

Parámetro	Separador Bifasico
Temperatura [°C]	30 - 50
Presión [bar]	1,013
Fases válidas	Vapor-Líquidos-Líquido

Fuente: Elaboración propia en base a Aspen PLUS v11, octubre 2021.

El decantador (DEC-1) tiene la función de separar los compuestos de fosfatos por la corriente 3, llegando a tener una eficiencia de 98,3%. Asimismo, la temperatura de 50°C logra facilitar la separación de fosfatos de agua residual.

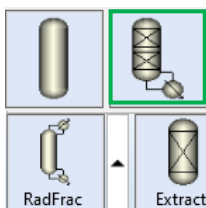
Figura 21: Especificación de decantador (DEC-1).

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

3.14.3 Tanque destilador (DEST-1)

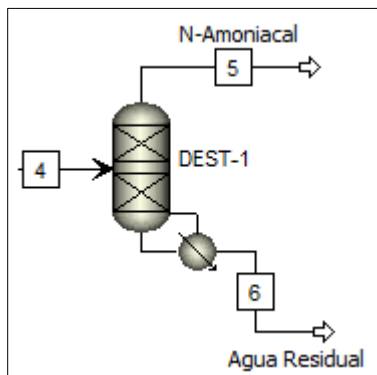
Para separar el nitrógeno amoniacal se utiliza un tanque destilador, mediante el modelo de “*RadFrac Destilation*”. Por tanto, la configuración de este equipo se considera variables operacionales de ajuste acordes a la Ciudad de El Alto. Asimismo, para la convergencia de este equipo se realizó una estimación inicial para determinar el número mínimo de etapas teóricas, la ubicación de la etapa de alimentación, la distribución de componentes, el reflujo, el calor del rehervidor, temperatura del destilado y la temperatura del fondo del destilador. (ver Cuadro 11)

Figura 22: Selección de tanque destilador



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Figura 23: Tanque destilador (DEST-1)



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

“La destilación es la operación de separación más importante en la Industria Química, basada en la transferencia de materia entre fases (líquido-vapor), parte de una fase inicial generando otra mediante calor o trabajo. Para el diseño de las columnas de destilación se necesitan los datos de equilibrio entre fases, por lo que Aspen dispone de ellos o estima dichos valores.” (Espínola, 2017, pág. 126)

Cuadro 11: Parámetros de operacionales (DEST-1)

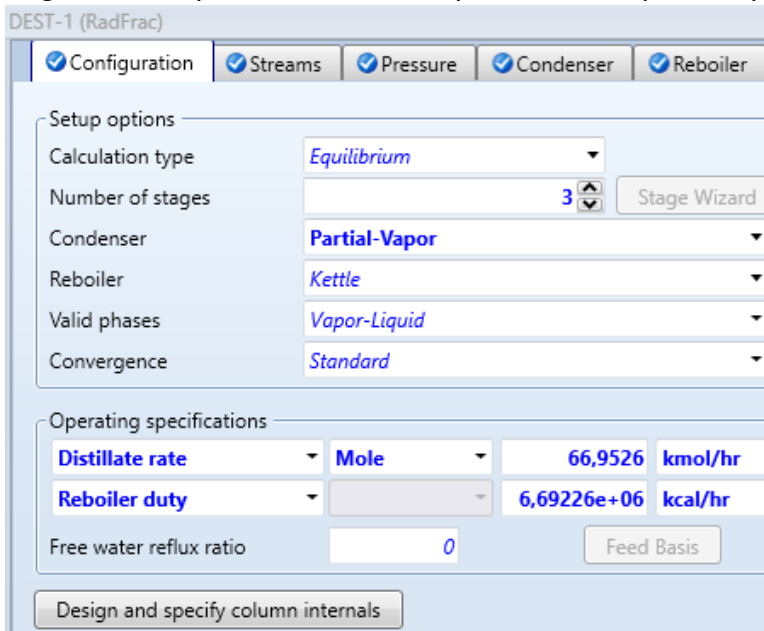
Parámetro	Tanque destilador
Modelo	<i>RadFrac</i>
Tipo de condensador	Reflux
Numero de platos	2
Fases de líquidos	vapor - líquidos

Tasa de destilado [kgmol/h]	57,88
Relación de reflujo [Molar]	0,3072

Fuente: Elaboración propia en base a Aspen PLUSv11, octubre 2021.

En la Figura 24 se muestran las especificaciones del bloque (DEST-1) para definir valores de ajuste. Asimismo, es importante indicar que la selección del rehervidor define la fase de estado de recuperación de agua residual de producto de fondo.

Figura 24: Especificación del tanque destilador (DEST-1)



DEST-1 (RadFrac)

Configuration Streams Pressure Condenser Reboiler

Setup options

Calculation type: Equilibrium

Number of stages: 3

Condenser: Partial-Vapor

Reboiler: Kettle

Valid phases: Vapor-Liquid

Convergence: Standard

Operating specifications

Distillate rate: Mole 66,9526 kmol/hr

Reboiler duty: 6,69226e+06 kcal/hr

Free water reflux ratio: 0

Design and specify column internals

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

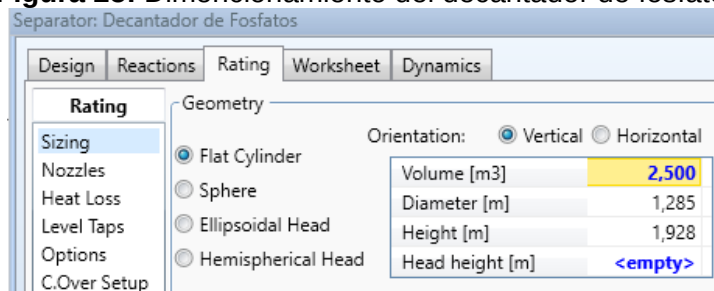
También es necesario hacer notar, que el destilador trabaja con 3 platos, esto se asemeja a un tanque separador bifásico. Asimismo, la incorporación de un rehervidor en el sistema es para optimizar la separación binaria entre el amoniaco y agua.

3.15 DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PROPUESTOS

Mediante el software de diseño Aspen Plus V. 11 se determinó las dimensiones del decantador de fosfatos y el tanque destilador, los cuales se ajustarán a los parámetros óptimos de separación de contaminantes.

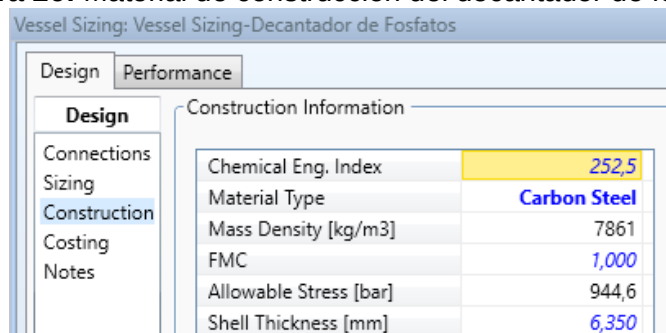
3.15.1 Decantador de fosfatos (DEC-1)

Una vez seleccionado la opción “Vessel Sizing”, se agrega el equipo decantador de fosfato, con lo cual se realiza la estimación del dimensionamiento y la selección del tipo de material de construcción, tal como se muestra en la Figura 25.

Figura 25: Dimencionamiento del decantador de fosfatos

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

En la Figura 26 muestra la selección del tipo de material de construcción óptimo para el decantador de fosfatos.

Figura 26: Material de construcción del decantador de fosfatos

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

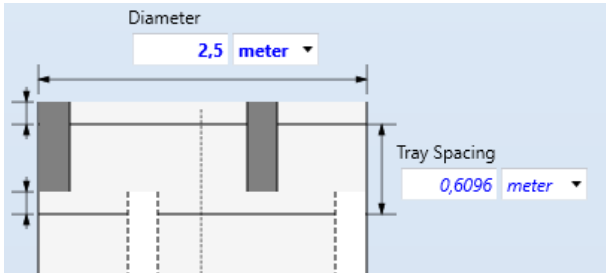
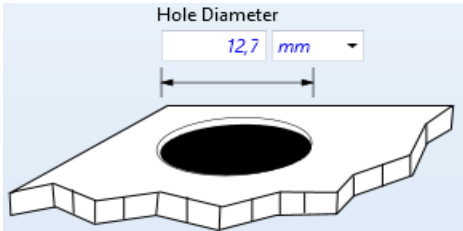
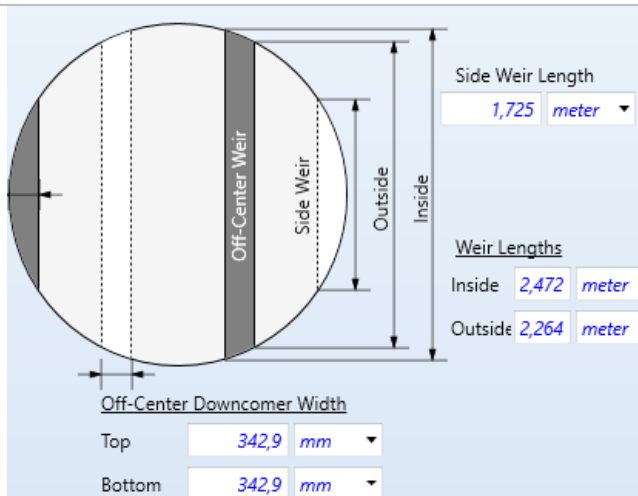
De acuerdo a la especificación de datos se obtuvieron los siguientes resultados de dimensionamiento del decantador de fosfatos (DEC-1).

- Temperatura de operación = 50 °C.
- Presión de operación = 1 Bar.
- Volumen del decantador = 2.5 m³.
- La razón o relación entre la longitud y diámetro para el decantador bifásico es de $L/D = 3 - 5$.

3.15.2 Tanque destilador (DEST-1)

El dimensionamiento del tanque destilador se estimó a partir del programa Aspen Plus V.11 como se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12: Especificaciones del tanque destilador (DEST-1)

Especificaciones del destilador (T-101)		
Numero de platos		3
Plato de alimentación		2
Zona de rectificación y agotamiento		
Longitud de la torre "m"		2,438
Diámetro del destilador "m" 0,2575		
Espacio entre platos "m" 0.6096		
Diámetro de los orificios "m" 0.0127		
Numero de orificios		1115
Grosor del plato "m" 0.2375	Superior	
	Inferior	
Longitud del vertedero lateral "m" 1.103		

Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Plus V.11, octubre 2021.

CAPITULO IV: RESULTADOS

Para la evaluación resultados del diseño y modelaje de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el simulador industrial Aspen Plus V.11 del distrito 8 de la ciudad el alto, se midió las concentraciones del agua residual provenientes de los vertimientos en el distrito 8 en (mg/l). Este proceso se realizó al inicio de la simulación para determinar la concentración de contaminantes de amoníaco y fosfatos del agua residual mediante el análisis de laboratorio por el método de referencia HACH 8048, SM 4500NH₃C y SM 4500-H+B. técnica de espectrofotometría regida por la norma estándar certificado por SGLAB (Inspección y Laboratorio de Calidad).

Posteriormente se realizó la comparación de resultados de laboratorio con los límites permisibles descritos en la Ley 1333 de Medio Ambiente, Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica y el RASIM (Reglamento Ambiental para el Sector Industrial Manufacturero).

El Cuadro 13 describe los parámetros y los límites permisibles para aguas:

Cuadro 13: Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos de agua

PARÁMETRO	UNID.	CANCERÍGENO	CLASE A	CLASE B	CLASE C	CLASE D
pH	-	No	6.0 a 8.5	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0
Amoníaco	mg/l	No	0.05c. NH ₃	1.0 c. NH ₃	2.0 c. NH ₃	4.0 c. NH ₃
Fosfato	mg/l	No	0.4 c. Ortofosfato	0.5 c. Ortofosfato	1.0 c. Ortofosfato	1.0 c. Ortofosfato

Fuente: RASIM D.S. 26736, octubre 2021.

La muestra de aguas residuales obtenida In Situ (Distrito 8 – Ciudad de El Alto) con las correspondientes normas y envases respectivos, fueron enviados a laboratorio para su análisis físico - químico. Cuyos resultados se describen en el siguiente cuadro:

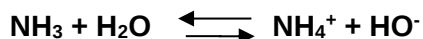
Cuadro 14: Resultados análisis de aguas 0325-21-MAB

Nº	ELEMENTO	RESULTADO	UNIDADES	METODO DE REFERENCIA
1	pH	< 6.1	mg/l	SM 4500-H+B.
2	PO ₄ ⁻³	< 2.62	mg/l	HACH 8048
3	N-NH ₃	< 27,1	mg/l	SM 4500 NH ₃ C

Fuente: Elaboración propia en base al análisis de laboratorio SGLAB S.R.L.
(Inspección y Laboratorio de Calidad), octubre 2021.

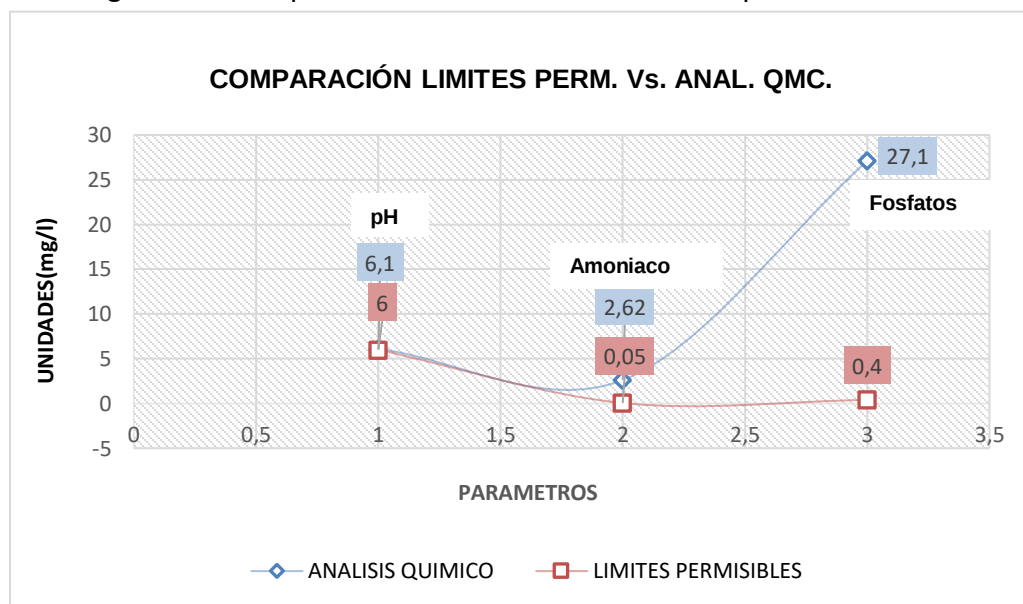
Con los resultados de laboratorio y los límites permisibles de la Ley 1333 de Medio Ambiente, se elabora la gráfica que muestra la variación entre los diferentes parámetros. Puesto que los fosfatos pueden tener efectos negativos indirectos a

través de la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, lo que implica el crecimiento explosivo de algas y el posterior abatimiento del oxígeno disuelto (Carpenter et al., 1998). Asimismo, el amoníaco es un compuesto químico (NH_3) se produce por la descomposición de la materia orgánica, debido a la acción de bacterias. Por tanto, se encuentra disuelto en el agua residual en forma de iones amonio (NH_4^+).



El amoníaco es tóxico para la vida acuática, y esta fue, entre otras, una de las razones por la cual en la segunda mitad del siglo XX se empezaron a desarrollar los sistemas de depuración con nitrificación, encaminados a eliminar el nitrógeno. Además, el amoníaco es uno de los compuestos susceptibles de generar malos olores en las depuradoras, aunque en menor proporción que el ácido sulfhídrico. Finalmente, también se puede hallar presente en el biogás, siendo perjudicial para los motogeneradores. (García, 2018)

Figura 27: Comparación de resultados con límites permisibles



Fuente: Elaboración propia embase a los cuadros 13 y 14, octubre 2021.

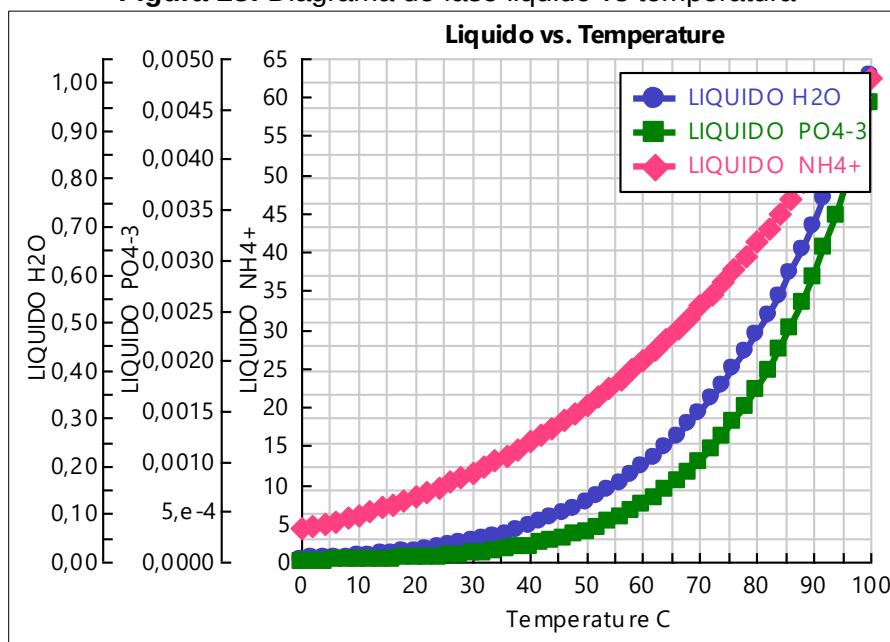
La Figura 27 muestra que los elementos NH_3 y PO_4^{3-} del análisis químico se encuentran por encima de los límites permisibles, lo que indica que los vertimientos del agua residual del distrito 8, está fuera de los límites permisibles de los compuestos mencionados, en cambio el PH se encuentra en los rangos permisibles, pero con una tendencia de basicidad.

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADO DE PROCESO

Al correr la simulación, es posible generar diagramas de fases de comportamiento en cada punto del proceso, esto para verificar la eficiencia de conversión de las secciones de cada equipo.

La Figura 28 muestra el comportamiento del agua residual en estado líquido en función a la temperatura de alimentación al diseño propuesto, además se puede observar que las curvas representativas están configuradas según sus puntos de ebullición para cada compuesto, para este caso los nitratos llegan a ser más ligeros, ya que está representado por el compuesto nitrógeno amoniacal. También podemos apreciar las curvas representativas del agua y los fosfatos que tienen un punto de ebullición más bajo.

Figura 28: Diagrama de fase liquido vs temperatura



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Nota:

- ◆ **LIQUID PL NH_4^+** (El nitrógeno amoniacal tiene un punto de ebullición $-33,43^\circ\text{C}$, motivo por el cual en la gráfica se muestra una curva ascendente en función a cada intervalo de temperatura).
- **LIQUID PL H_2O** (El agua tiene un punto de ebullición de 100°C , motivo por el cual en la gráfica se muestra una curva medio ascendente y el intervalo de temperatura).
- **LIQUID PL PO_4^{3-}** (Los fosfatos tienen un punto de ebullición de 280°C , motivo por el cual en la gráfica se muestra una curva ligeramente ascendente en función a la temperatura).

Posteriormente el agua residual incrementa la presión en el sistema de bombeo 1. Para lo cual el simulador Aspen Plus V.11 determina la presión óptima de salida del flujo 2 del proceso. Así mismo el valor de la eficiencia asumida para la bomba es 65% tal como se detalla en el Cuadro 15.

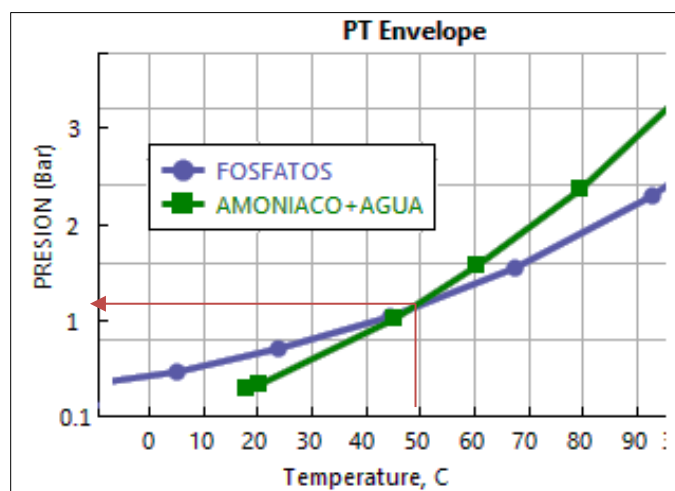
Cuadro 15: Resultados de diseño del sistema de bombeo 1

Blocks		Summary	Balance	Performance Curve
BOMB-1				
Setup	Fluid power	0,582644768	kW	
Performance Curve	Brake power	0,896377	kW	
User Subroutine	Electricity	0,896377	kW	
Dynamic	Volumetric flow rate	990,331	l/min	
Block Options	Pressure change	0,353	bar	
EO Modeling	NPSH available	6,68728	m-kgf/kg	
Results	NPSH required			
Stream Results	Head developed	3,63923	m-kgf/kg	
Summary	Pump efficiency used	0,65		
	Net work required	0,896377	kW	
	Outlet pressure	1,013	bar	
	Outlet temperature	7,21066	C	

Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Plus V.11, octubre 2021.

La Figura 29 representa la fase del equilibrio vs. fracción vapor en el decantador de fosfatos. Donde cada punto de la curva representa el salto térmico para definir la temperatura óptima decantación del fosfato para este caso en un valor de $\pm 50^{\circ}\text{C}$.

Figura 29: Envolvente del sistema decantación de fosfatos a 50°C y 1.013 Bar



Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Plus V.11, octubre 2021.

El flujo 4 de la Figura 17 representa la mezcla de amoníaco - agua como corriente de alimentación al tanque destilador de 3982,54 kg/h cuya composición es 94% agua y 6% amoníaco. De acuerdo con las especificaciones del programa de Aspen Plus V.11, se obtiene un destilado de 99% amoníaco y una corriente de fondos de agua residual los cuales detallan en el siguiente cuadro.

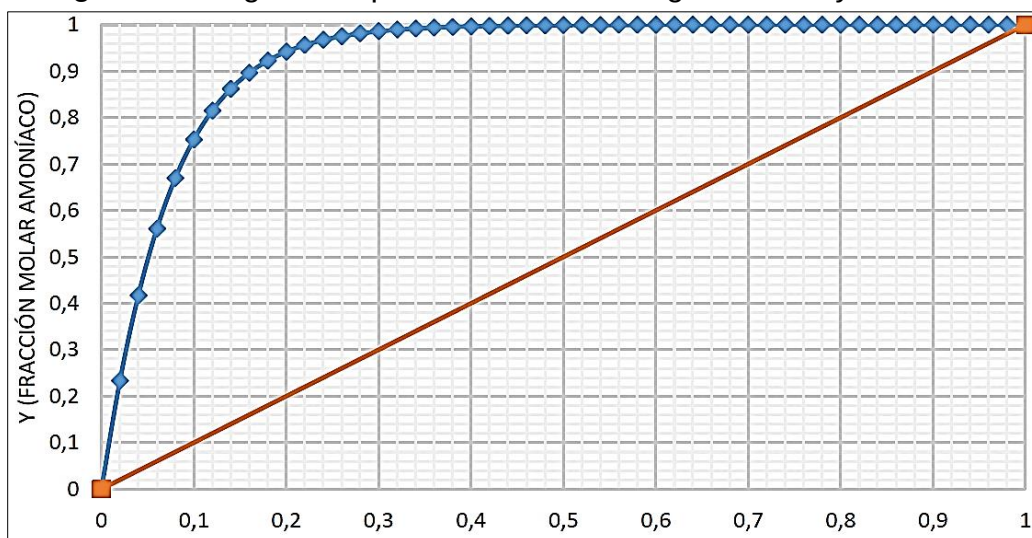
Cuadro 16: Propiedades de los fluidos del destilador (DEST-1)

Compuesto	Densidad	Peso Molecular
Amoníaco	0,0455lb/ft ³	17 lb/lbmol
Agua	62,427lb/ft ³	18 lb/lbmol
Alimentación	61,816lb/ft ³	17,99 lb/lbmol

Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Plus V.11, octubre 2021.

A partir de las condiciones iniciales del flujo de alimentación y utilizando el simulador se obtiene el diagrama de equilibrio que representa la eficiencia de separación del amoníaco respecto al agua. Tal como se muestra en la Figura 30.

Figura 30: Diagrama equilibrio amoníaco - agua a 50°C y 1.013 bar.



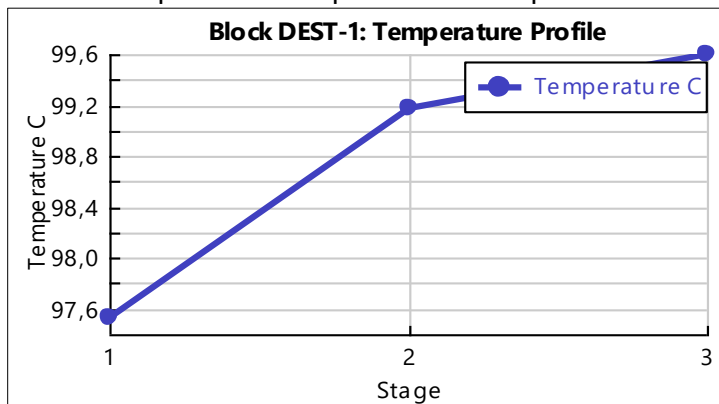
Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Plus V.11, octubre 2021.

La Figura 30 representa la fase del equilibrio de amoníaco donde se evidencia la volatilidad que tiene este compuesto a 50°C y 1.013 bar de presión en el tanque destilador.

La especificación de los parámetros de operacionales del tanque destilador se realiza mediante la iteración binaria. Por lo tanto, la Figura 31 muestra el comportamiento de la temperatura en cada etapa de proceso, iniciando de la etapa 1 al 3, cabe resaltar que el componente más volátil haciende a la parte superior del tanque destilador, en este caso es el amoníaco, en cual se encuentra en una menor

proporción que el agua, lo cual explica el perfil de temperaturas que se muestra en la siguiente figura.

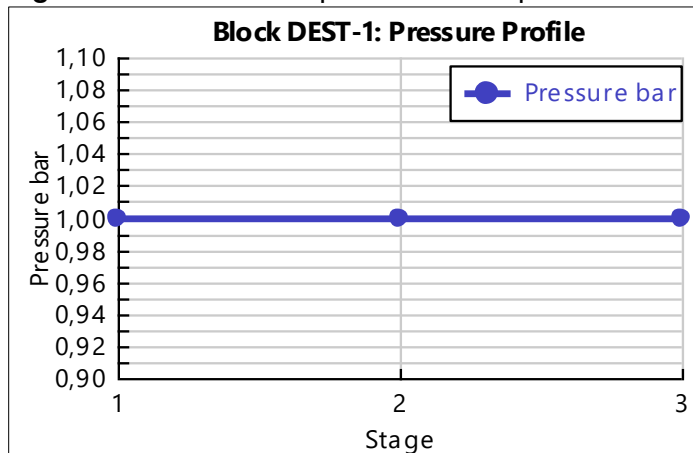
Figura 31: Temperatura de operación vs etapas en el destilador



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

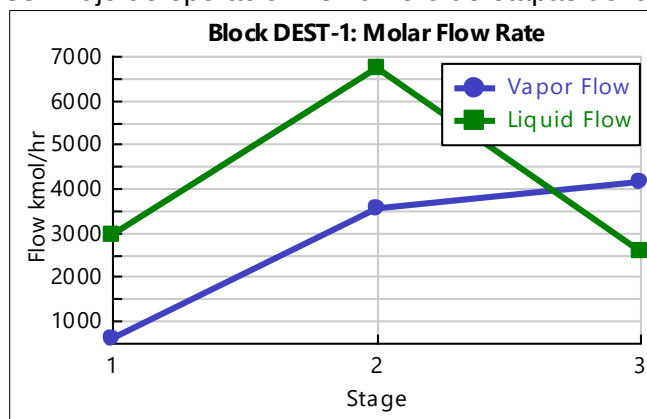
La Figura 32 muestra el perfil de presiones en las etapas del destilador, puesto que en el proceso se ajustó a una presión constante, es por ello que no existe una disminución sustancial de la presión.

Figura 32: Presión de operación vs etapas en la torre



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

La Figura 33 muestra el comportamiento del perfil de flujos en fase líquida y vapor a lo largo del tanque destilador, teniendo en cuenta que la etapa de alimentación corresponde al número 2. Asimismo, la cantidad de amoníaco que hay en la mezcla se introduce al destilador por la sección de los fondos para posteriormente separar el nitrógeno amoniacal por la parte superior y el agua residual por la parte inferior.

Figura 33: Flujo de operación vs número de etapas del destilador

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Mediante el diseño del destilador en simulador Aspen Plus V.11 se obtuvo los siguientes parámetros operacionales tales como el diámetro, la altura de la torre, el espaciamiento entre platos. Los cuales son detallados en el siguiente cuadro.

Cuadro 17: Dimensiones del tanque destilador

Tanque destilador	
Altura total (m)	2.438
Tipo de platos	Sieve
N° de etapas teóricas	3
Sección del plato	
Diámetro (m)	0.32
Separación entre platos (m)	0.61
especificación del equipo	
Relación de reflujo	2,604
Flujo destilado (kgmol/h)	24,4808
Reflux Rate (kgmol/h)	63,7515
Flujo de Fondo (kgmol/h)	1361
Comp Pureza top (Amoniaco)	0.999
Temperatura de tope (°C)	20,4118
Temperatura de fondo (°C)	96,9849
Heat duty (KJ/Seg)	7783,09

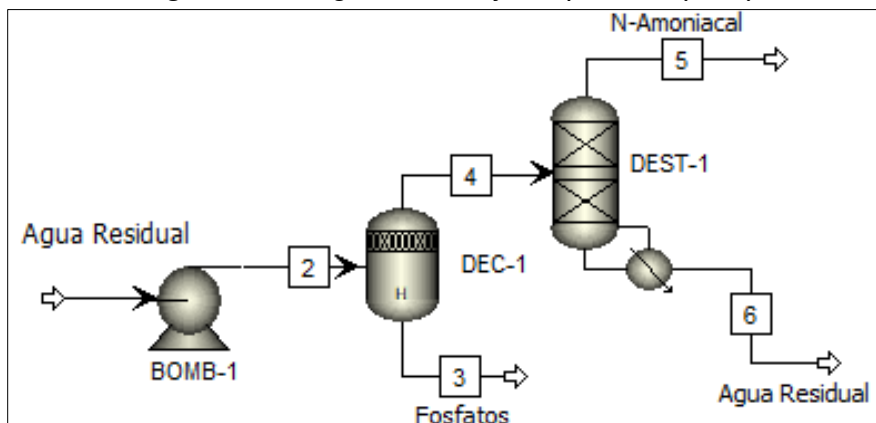
Fuente: Elaboración propia a partir de Aspen Plus V.11, octubre 2021.

4.2 RESULTADOS DE LAS CORRIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El Cuadro 18 detalla los resultados de temperatura, presión, fracción de vapor, fracción de líquido, flujo molar, fracciones molares, flujo másico y fracciones másicas obtenidos en el software luego de correr la simulación de la planta de

tratamiento de aguas residuales, Además, los nombres de cada uno de los flujos se encuentran detalladas en la Figura 34.

Figura 34: Diagrama de flujo de proceso (PFD)



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

Cuadro 18: Resultados de la simulación de tratamientos de aguas residuales con Aspen Plus V.11.

VARIABLE OPERACIONALES	Units	1 (Agua Residual)	3 (Fosfatos)	4 (Agua + N-Amoniacal)	5 (N - Amoniacal)	6 (Salida de Agua Residual)
Fase		Liquid Phase	Liquid Phase	Liquid Phase	Vapor Phase	Liquid Phase
Temperatura	C	7,2000	50,0000	50,0000	20,4118	96,9849
Presión	bar	0,66	1,013	1,013	1	1
Flujo Masico	kg/hr	58772,7576	1431,1060	57341,6515	417,1270	56924,5245
Flujo Molar	kmol/hr	3232,0299	3232,0298	3232,0298	24,4787	3161,0023
pH	-	6,1	-	-	-	6.99
H ₂ O	kg/hr	56545,5696	5,6545	56539,9150	4,4099	56535,5051
PO ₄ ⁻³	kg/hr	1418,7860	1417,3674	1,4188	trace	1,41877
NH ₄ ⁺	kg/hr	808,4017	8,0840	800,3177	412,7170	387,6006
Fracción Masico (Partes por millón)						
H ₂ O		962105 PPM	3951,18 PPM	986018 PPM	10572,1 PPM	993166 PPM
PO ₄ ⁻³		24140,2 PPM	990400 PPM	24,7427 PPM	trace	24,924 PPM
NH ₄ ⁺		13754,7 PPM	5648,79 PPM	13957 PPM	989428 PPM	6809,03 PPM
Fracción Masico						
H ₂ O		0,9621051	0,00395118	0,98601825	0,0105721	0,99316605
PO ₄ ⁻³		0,0241402	0,99040003	2,47E-05	Trace	2,49E-05
NH ₄ ⁺		0,0137547	0,00564879	0,013957	0,989428	0,00680
Flujo Molar Parcial						
H ₂ O	kmol/hr	3138,7560	0,31387	3138,4422	0,2448	3138,1974
PO ₄ ⁻³	kmol/hr	45,8061	45,7602	0,0458	trace	0,0458
NH ₄ ⁺	kmol/hr	47,4677	0,4746	46,9930	24,2339	22,7591

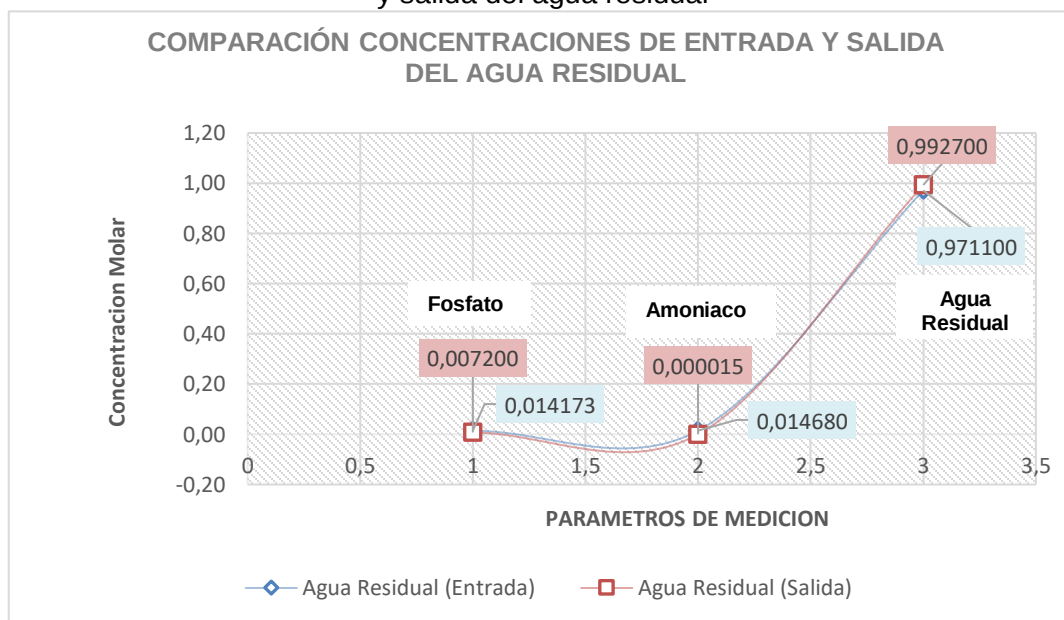
Fracción Molar (Partes por millón)						
H ₂ O		971141 PPM	6742,93 PPM	985233 PPM	10000 PPM	992786 PPM
PO ₄ ⁻³		14172,5 PPM	983060 PPM	14,3796 PPM	trace	14,491 PPM
NH ₄ ⁺		14686,7 PPM	10197,4 PPM	14752,3 PPM	990000 PPM	7199,97 PPM
Fracción Molar						
H ₂ O		0,9711408	0,00674293	0,98523336	0,0001	0,99278554
PO ₄ ⁻³		0,01417254	0,98305966	1,44E-05	0,0000	1,45E-05
NH ₄ ⁺		0,01468666	0,0101974	0,01475226	0,9990	0,00719997

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, octubre 2021.

En el Cuadro 18 muestra los resultados obtenidos de la simulación con Aspen Plus V.11 donde en la sección de “*Fracción Molar*” se evidencia la disminución de fosfatos y nitrógeno amoniacal del agua residual. A comparación el agua residual tiene una separación con alta eficiencia en este proceso planteado.

La Figura 35 muestra una disminución de fosfatos de 99% y amoniaco al 51%, lo que indica que los vertimientos del agua residual del Distrito 8 pueden ser tratado eficientemente con el fin de reducir el impacto ambiental del lugar, en cambio el flujo de salida del agua residual llega a tener una alta pureza de separación.

Figura 35: Comparación concentraciones molares de entrada y salida del agua residual



Fuente: Elaboración propia embace a los cuadros 18 en la sección de fracción molar, noviembre 2021.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- Se logró analizar los parámetros operacionales de alimentación al simulador industrial Aspen Plus V.11 con una toma de muestras en el distrito 8 de la Ciudad de El Alto. mediante el laboratorio *SGLAB S.R.L. (Inspección y Laboratorio de Calidad)* para cuantificar las proporciones de concentración de fosfato, amoníaco en el agua residual.
- Se puntualizó el proceso de tratamiento de aguas residuales en Aspen Plus V.11 a través de una revisión bibliográfica para definir los equipos y parámetros operacionales que intervienen en este caso de estudio
- Se propuso el diseño y modelaje de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante el simulador industrial aspen plus v.11 del Distrito 8 de la Ciudad el Alto, realizando la especificación del flujo de alimentación del agua residual a condiciones Ciudad de El Alto, para ello se estimó la presión de salida en la bomba, lo cual descarga en el decantador de fosfatos, posteriormente el agua residual es insertado a un tanque destilador de agua y amoníaco con alta eficiencia, así de esta manera cumplir con el objetivo planteado.
- Se pudo establecer los parámetros operación y diseño proporcionados por el simulador Aspen Plus V.11 que permitieron alcanzar los valores óptimos de convergencia para la presente investigación, como se detallan en la siguiente tabla.

Cuadro 19: Flujos de concentración de entrada y salida de contaminantes

VARIABLE OPERACIONALES	FLUJO DE ENTRADA 1 (Agua Residual)	FLUJO DE SALIDA 6 (Salida de Agua Residual)	PORCENTAJE DE SEPARACIÓN
Fracción Molar			%
H ₂ O	0,9711408	0,99278554	-
PO ₄ ⁻³	0,01417254	1,45E-05	99
NH ₄ ⁺	0,01468666	0,00719997	51

Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, noviembre 2021.

En el Cuadro 19 muestra los resultados obtenidos en la simulación del Aspen Plus V.11 donde la fracción molar evidencia la disminución de fosfatos de 99% y amoníaco al 51% de flujos de entrada y de salida del agua residual. Así de esta manera se cumple el objetivo de reducción de contaminantes del agua residual.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

Para el presente proyecto de investigación se tienen las siguientes recomendaciones:

- Realizar un análisis técnico - económico del proyecto de investigación para ver la factibilidad económica de implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales en los puntos de vertimientos de aguas residuales de la Ciudad de El Alto.
- Contrastar la aplicación del simulador Aspen Plus V.11 para el tratamiento de aguas residuales, en otros municipios que también se ven afectados por la contaminación que generan estas aguas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbagnano, N. (1993). *Diccionario de filosofía*. Mexico: Universitaria Europea.
- Alasino, N. (2009). Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Tesis. Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe. Obtenido de <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/119/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Amador, M. G. (29 de Mayo de 2009). *Metodología de la investigación*. Obtenido de La entrevista en Investigación: http://manuelgalan.blogspot.com/2009_05_24_archive.html
- Asesoría, s. e. (5 de Noviembre de 2019). Recuperado el 20 de Octubre de 2021, de El Método Científico: Concepto: <https://documenta.pe/2019/11/05/metodo-cientifico-concepto/>
- CAF. (05 de Marzo de 2020). *Planta de tratamiento de aguas residuales Tacachira beneficiará a 18.000 habitantes de El Alto*. Obtenido de Banco de Desarrollo America Latina: <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2020/03/caf-financia-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-tacachira-que-beneficiara-a-18000-habitantes-de-el-alto/>
- Celi, K. F., Carranza, M. M., Fajardo, J. A., & Tahua, P. L. (Junio - Agosto de 2021). Nitrógeno amoniacal en aguas residuales domesticas utilizando sedimentador primario con diferentes condiciones hidráulicas, marca 2019. *Revista Multidisciplinar Ciencia Latina*. Obtenido de file:///C:/Users/GROVER/Downloads/621-Texto%20del%20art%C3%ADculo-2338-1-10-20210723.pdf
- Chen, & Johnson. (2006).
- CIS. (2017). *Centro de Investigaciones Sociológicas*. Obtenido de http://www.cis.es/cis/opencms/es/1_encuestas/comosehacen/queesunaencuesta.html
- Clasificacionde.org. (s.f.). *Tipos de métodos de investigación*. Obtenido de Clasificacionde.org: <https://www.clasificacionde.org/tipos-de-metodos-de-investigacion/>
- Dold. (1980).
- EJU. (10 de Junio de 2018). *Descargas orgánicas ocasionan pérdida de especies del Titicaca*. Obtenido de eju.tv: <https://eju.tv/2018/06/descargas-organicas-ocasionan-perdida-de-especies-del-titicaca/>
- Elena, M., Cruz-Arias, M., & Durán, M. d. (2011). Efectos ambientales de contaminantes. *Revista Cubana de Química*, vol. XXIII., 87.
- Espínola, L. F. (2017). *Tutorial de Aspen Plus*. España: Techné. Obtenido de https://www.unebook.es/es/libro/tutorial-de-aspen-plus_49971
- Fidias, G. A. (1999). *El proyecto de investigación*. Caracas: Episteme. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/27288131_El_Proyecto_de_Investigacion_Guia_para_su_Elaboracion

- G. Hernandez, R. (2010). aplicación de un sistema de carbón activado asistido biológicamente para la depuración de agua amargas pretratadas en un proceso de desorción. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Galicia Campos, S. C., Vidales Contreras, J., Salcedo Martínez, S., & García Gómez, C. (2018). Microalgas aisladas de agua residual municipal para la remoción de ortofosfato y amonio. *Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 794-802. Obtenido de <https://rlac.buap.mx/sites/default/files/9%2821%29-54.pdf>
- Gómez, B. S. (2012). *Metodología de la investigación*. Estado de México: Ma. Eugenia Buendía López. Obtenido de https://www.academia.edu/35808506/Metodologia_de_la_investigacion_Sergio_Gomez_Bastar_1_
- Gonzales, L. (Diciembre de 2013). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación*. Obtenido de Revista Ingeniería Química: <file:///C:/Users/GROVER/Downloads/334-Texto%20del%20art%C3%ADculo-482-1-10-20160721.pdf>
- Henze. (1987).
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodologia de la investigaci6n*. México: McGraw-Hill. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Herrera Vázquez, M. A. (2006). *Métodos de investigación 1*. México: Esfinge.
- Herrera, C. M., & Beltrán, H. J. (2012). Uso de coeficientes de actividad experimentales a dilución infinita para validar simulaciones de proceso. *Tecnología Ciencia Educación*, 69-79.
- IAGUA. (11 de abril de 2018). *Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones*. Obtenido de IAGUA MAGAZINE 36: <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>
- INE. (6 de Marzo de 2018). *Población de El Alto alcanza a más de 922 mil habitantes*. obtenido de Instituto Nacional de Estadística: <https://www.ine.gob.bo/index.php/poblacion-de-el-alto-alcanza-a-mas-de-922-mil-habitantes/>
- J. Caballero, M. S. (2017). Tecnologías de membrana. *Tecnologías de membrana para recuperar el nitrógeno amoniacal procedente de aguas residuales urbanas*. SIBI DOMWVM + SAPIENTIA ADIFICAVIT. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/26104/TFM-I-756.pdf;jsessionid=E469C8C439D5F64ABF49E0A930D33A64?sequence=1>
- Jimenez, M. L., Jahuir, H. F., & Faustino, A. V. (Octubre-Diciembre de 2016). Tratamiento de aguas eutrofizadas de la bahía interior de Puno, Perú, con

- el uso de dos Macrófitas. *Investigaciones Altoandinas*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v18n4/a03v18n4.pdf>
- Kellner, M., Madachy, R., & Raffo, D. (15 de abril de 1999). *Software process simulation modeling : Why ? What ? How ?* Obtenido de ELSEVIER: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121299000035>
- Köppen, & Geiger. (s.f.). *climate-data.org*. Obtenido de Clima de El Alto: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/bolivia/la-paz/el-alto-4879/>
- M., H. (2003).
- MAMANI, E. C. (2018). *Uso de la Totora en Planta de Tratamiento*. La Paz: UMSA.
- Martínez Sifuentes, V., Alonso Dávila, P., López Toledo, J., Salado Carbajal, M., & Rocha Uribe, J. (2000). *Simulación de Procesos en Ingeniería Química*. Mexico: (Plaza y Valdez, Ed.).
- Metcalf, & Eddy. (1991).
- Morenilla, & Martinez. (2008).
- Moreno, D. J. (2012). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas amargas proveniente de la refinación del petróleo aplicando el simulador Aspen Plus®. (*Trabajo de Grado de Licenciatura*). Universidad de Cuenca: Facultad de Ciencias Químicas: Carrera de Ingeniería Química, ECUADOR.
- Mott, R. (2006). *Mecanica de fluidos*. México: Pearson Educación. Obtenido de <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>
- Neveu, G., Desjobert, C., & Barbe, J. (2000). *Eliminación de fosfatos en aguas residuales urbanas*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=82151>
- Ortiz, E. A. (1994). Simulación de procesos de tratamientos de aguas residuales. *Tesis de Maestría*. Instituto Tecnológico de Celaya, Celaya, México. Recuperado el 9 de Noviembre de 2021, de <http://www.iqcelaya.itc.mx/~richart/TesisMaestría/1994%20ortiz%20estevez.pdf>
- Ospina, V. D. (2007). *Validación de nitrógeno amoniacal por destilación como continuidad a la estandarización de los parámetros ejecutados en el laboratorio de aguas de la corporación autónoma regional del quindío crq*. universidad del quindío, facultad de ciencias básicas y tecnologías, programa de química, regional quindío. Obtenido de <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/6016/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Spielvogel, H. (Julio de 2007). Presión Arterial Pulmonar y altura. *Scielo*, vol.52, s.f. Recuperado el viernes de octubre de 2021, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1652-67762007000200016
- Stan, A. (1980). *Lógica formal y simbólica*. Mexico.
- Tamayo Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (Vol. Cuarta Edición). México: 4a.ed. Recuperado el 20 de Octubre de 2021, de <https://books.google.com.mx/books?id=BhymmEqkkJwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- Villanueva, J. C. (2008). Manufacturing Simulation, key in decision-making. *la Simulación de Procesos, clave en la toma de decisiones*, 221-227.
- Zulma, C., Lage, F. J., & Dominighin, C. (2013). Fundamentos para el uso de simulaciones en la enseñanza. *Revista Informática Educativa y Medios Audiovisuales*, 8-16. Obtenido de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/101017/A2mar2013.pdf>

ANEXOS

ANEXO “A” RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3494/2021 (SENAPI)



2021-TLIT-1435-D-2

**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3494/2021
La Paz, 22 de Diciembre del 2021

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **21 de Diciembre del 2021**, por **BENIGNO PRADA PORTILLO**, con C.I. N° **2769373 OR**, con número de trámite **DA-E 300376/2021**, señala la pretensión de inscripción de la Obra Escrita titulada: **"DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.



Oficina Central - La Paz
Av. Argentina, N° 1914,
Edif. Angélica María, entre
Villalobos y Díaz Romero,
zona Miraflores.
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza
zona Central - Noreste.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 58,
zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie).
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 242,
Primer Piso, Of. 17.

www.senapi.gob.bo



Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

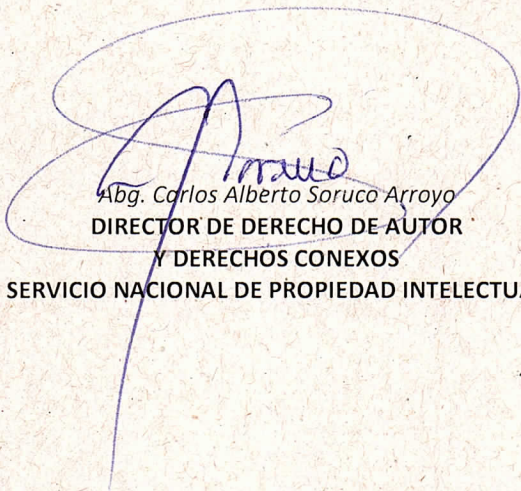
POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Obra Escrita titulada: **"DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO"**, a favor de los autores: **GROVER MERCADO CONDORI** con C.I. N° 7004256 LP, **YECIR EDGAR QUISPE HUAYHUA** con C.I. N° 7054876 LP y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA**, con NIT N° 122025022, representado legalmente por **CARLOS CONDORI TITIRICO**, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS**
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/erbf
c.c.Arch.

Oficina Central - La Paz
Av. Argentina, N° 1914,
Edif. Angélica María, entre
Villalobos y Díaz Romero,
zona Miraflores.
Telfs.: 2115700 - 2119276
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Chuquisaca, N° 649,
Piso 2, entre Antezana y Lanza.
zona Central - Noreste.
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Ltda. Piso 2, Of. 58,
zona 16 de Julio.
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Urriolagoitia,
zona Parque Bolívar.
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija
Calle Ingavi, N° 385
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa.
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre,
N° 5837, entre Ayacucho
y Junín, Galería Central,
Of. 14 (Ex Banco Fie).
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 262,
Primer Piso, Of. 17.



ANEXO “B” INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



El Alto, 14 de diciembre 2021

Cite: II-IA-54/2021

INFORME TECNICO

A : Dr. Antonio S. Lopez Andrade Ph.D.
DIRECTOR DICYT
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

De : Ing. Benigno Prada Portillo
COORDINADOR DE INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Fecha : El Alto, 14 de diciembre de 2021

Ref. : **INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN DE PROYECTO “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO”**



1.- BASE LEGAL

De acuerdo a Resolución N° 77/2021, de fecha 12 de mayo 2021, se aprueba el tema de investigación “DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO”, a cargo del Ing. Grover Mercado Condori quien a partir de fecha 12/05/2021 es designado como DOCENTE INVESTIGADOR con Nombramiento Docente Investigador AMB.INSDEINV.34.174.244.INV.11.M.A/1. (Adj. Copia de Resolución N° 77/2021 y Nombramiento Docente)

2.- EVALUACION DE PROYECTO

Título del Proyecto de Investigación	DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO
Investigadores	Ing. Grover Mercado Condori Univ. Yecir Edgar Quispe Huayhua





CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterios	Calificación		Justifique su calificación
Título El título de Proyecto de Investigación debe ser claro, preciso y concreto el cual permita identificar el problema a ser investigado.	Coherente		El título de proyecto de investigación no se enmarca en lo propuesto, puesto que la investigación está centrada en la aplicación del simulador ASPEN PLUS v.11, bajo las condiciones de la ciudad de El Alto, el mismo no presenta el diseño y menos el modelaje del trabajo, por tanto el proyecto está dirigido específicamente a aplicar el Software de simulación, para el tratamiento de aguas residuales.
	Poco coherente	*	
	Incoherente		
Resumen El trabajo presenta el desarrollo de un modelo de simulación para el tratamiento de aguas residuales, con la aplicación del software de simulador. Ya que el resumen debe estar descrito de manera clara y concreta, debiendo incluir de manera precisa el objetivo de proyecto de investigación, con resultados y las principales conclusiones.	Coherente	*	Este punto resalta la aplicación del simulador para simular principalmente 2 elementos contaminantes que son los fosfatos y el compuesto amoniacal.
	Poco coherente		
	Incoherente		
El problema de investigación El problema planteado concretamente es "Aplicar el simulador al tratamiento de aguas residuales", puesto que el mismo es un software diseñado para el estudio en la especialidad de petróleos. En la formulación del problema se debe tenerse explícitas las variables que serán relacionadas durante la investigación.	Coherente		El problema investigación fue desarrollada en base al simulador, puesto que solamente el mismo funcionó para el caso en 2 contaminantes, los fosfatos y el nitrógeno amoniacal, los cuales vienen presentes en los residuos más que todo de origen sanitario, que provocan la eutrofización de los cuerpos de agua donde son descargados los mismos, generando consecuencias posteriores los cuales afectan al ecosistema de zonas aledañas. Asimismo, la formulación del problema plantea una interrogante que es demostrable con la aplicación del simulador de Aspen Plus.
	Poco coherente	*	
	Incoherente		
Objetivos de Investigación Aplicar el simulador Aspen Plus V.11 para el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de El Alto.	Coherente	*	En función del objetivo de investigación, el mismo se fundamenta en los objetivos específicos, que son la determinación de los parámetros operacionales del simulador y aplicar las concentraciones reales de los contaminantes con base en análisis químicos de las aguas residuales.
	Poco coherente		
	Incoherente		
Marco Teórico El marco teórico refleja con claridad la revisión actualizada de la bibliografía consultada sobre el tema de investigación.	Coherente	*	El marco teórico muestra el desarrollo concretamente el contenido del simulador, brindando el modelo matemático aplicado para el software del simulador.
	Poco coherente		
	Nada coherente		



Metodología de la Investigación El proyecto debe aplicar el método analítico descriptivo, puesto que el software trabajo con parámetro supuestos, y en algunos casos con parámetros reales, ya que el simulador predice el futuro resultado, que se asemeje a la realidad.	Coherente		El desarrollo del trabajo no muestra con claridad cuáles son las principales variables que pueden ser analizados y manejados durante el proceso de la simulación, puesto que la contaminación de aguas residuales conlleva una ampulosa variedad de compuestos y elementos contaminantes.
	Poco coherente	*	
	Incoherente		
Resultados Los resultados de la investigación muestran claramente que con la aplicación de 2 parámetros: reducción en la concentración de fosfatos y nitrógeno amoniacal funcionan en un 99 y 51 %, respectivamente.	Coherente	*	En los resultados describen de manera concisa los resultados obtenidos mediante el simulador, donde se evidencia la disminución de fosfatos de 99% y amoniaco del 51%.
	Poco coherente		
	Incoherente		
Conclusiones y recomendaciones El trabajo describe las conclusiones importantes del proyecto, más que todo muestra el logro del propósito en los 2 parámetros con los cuales se ejecutó la simulación.	Coherente	*	Las conclusiones del trabajo describen con claridad que el simulador es un software diseñado exclusivamente para casos especiales en el tratamiento de explotaciones petroleras y su tratamiento de aguas contaminadas, para verificar la composición de los residuos empetrolados.
	Poco coherente		
	Incoherente		
Bibliografía La bibliografía se encuentra detallada de acuerdo a requerimiento de los resultados del proyecto, citadas bajo normas APA	Coherente		Las citas bibliográficas no están acorde al tema propuesto, ya que la mayor incidencia está en la aplicación de metodologías para el tratamiento de aguas residuales, y no así en la bibliografía especializada en simulación que describa las variables principales con las que el simulador funcione perfectamente.
	Poco coherente	*	
	Incoherente		
Aspectos formales de Proyecto de Investigación Bajo las condiciones, formatos y el Reglamento para docentes Investigadores la presentación del trabajo cumple con lo estipulado en las mismas.	Coherente	*	Cumple los formatos 1 y 2 de presentación según reglamento de DICyT.
	Poco coherente		
	Incoherente		

3.- CONCLUSIÓN

Realizada la evaluación exhaustiva del proyecto de investigación titulado "DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO", el trabajo adjunto muestra algunas etapas del proyecto con resultados reales, prueba de ello es los documentos adjuntos del laboratorio de análisis químico, con los que se llegó a resultados satisfactorios, aplicando el simulador Aspen Plus V.11. Como recomendación para futuros proyectos la DICyT deberá analizar y sugerir las observaciones en la problemática del proyecto de acuerdo a criterio técnico profesional, con el objetivo de que los trabajos tengan la calidad necesaria y óptima en su conclusión.





Universidad Pública de El Alto

Creada por Ley 2115 del 5 de septiembre de 2000 y Autónoma por Ley 2556 del 12 de noviembre de 2003

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN INGENIERIA AMBIENTAL



se concluye dar el siguiente dictamen:

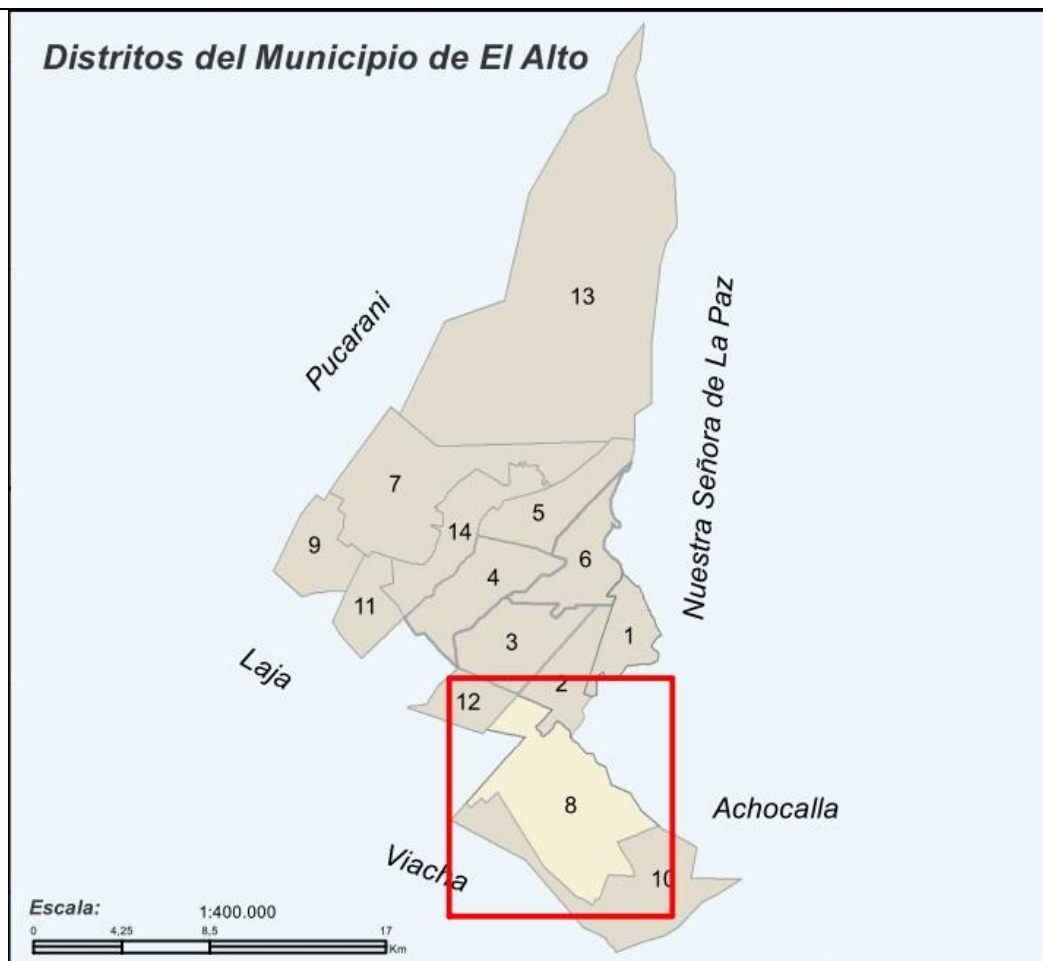
☒	Aprobado el proyecto de investigación
☐	Rechazado el proyecto de investigación

Es cuanto informo para los fines que corresponda.

Ing. Benigno Prada Portillo
COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
INGENIERIA AMBIENTAL



ANEXO “C” FOTOGRAFIAS DE LA PROBLEMÁTICA DE TRABAJO DE CAMPO

DISTRITOS DE LA CIUDAD DE EL ALTO

Fuente: <https://www.elaltoesnoticia.com/elalto-es-noticia/distrito-8-busca-desmarcarse-de-el-alto-y-convertirse-en-nuevo-municipio.html>.

UBICACIÓN: EL ALTO – DISTRITO 8

AREA APROXIMADA: 41,01 KM²

COORDENADAS UTM: 16°37'00" S
67°58'33" O

DESCRIPCION:

Senkata es una zona de El Alto, la segunda ciudad más poblada de Bolivia según informes del INE. Se ubica en las zonas laterales de la av. 6 de marzo de la ciudad de El Alto carretera Oruro, es conocida a nivel local como centro de ubicación de la planta de Gas.

LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN LA CIUDAD DE EL ALTO

Fuente: <https://www.noticiasfides.com/nacional/sociedad/la-precipitacion-pluvial-es-continua-en-el-alto-y-supera-registros-normales-en-cinco-ciudades-403568>

UBICACIÓN: EL ALTO – AVENIDA 6 DE MARZO	ANCHO DE VIA: 40 m Aprox.
COORDENADAS UTM: 16°58'15" S 68°18'51" O	
DIA Y HORA: Miércoles, 20 de Junio de 2021, 15:32:05	
DESCRIPCION: En la presente ilustración se evidencia que en las épocas de lluvia existe inundaciones en la avenida, esto a causa de la acumulación de residuos sólidos que tapan el drenaje de las aguas.	

CARRETERA VIACHA – REBALSE PLUVIAL

Fuente: <https://web.senado.gob.bo/prensa/noticias/cr%C3%A9dito-con-el-bid-financiar%C3%A1-programa-de-drenaje-pluvial-para-las-ciudades>.

UBICACIÓN: CAMINO A VIACHA ACRIBOL**LONGITUD:** 5,92 KM**COORDENADAS UTM:** 16°33'27" S
68°12'24" W

DESCRIPCION: En la imagen ilustrada se puede observar avenidas inundadas, esta ocasionada por los drenajes tapados en las avenidas.

A falta de conciencia en la población al no saber dónde depositar los residuos ocasionan estas problemáticas ambientales en épocas pluviales.

LAGO TITICACA – AGUAS CONTAMINADAS

Fuente: <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/lago-titicaca-sobreviviendo-en-medio-de-la-contaminacion/38562/>

UBICACIÓN: PROVINCIA LOS ANDES LA PAZ LAGO TITICACA

COORDENADAS UTM: 15° 54' 56" S
18°06 00"W

DESCRIPCION: En la presente imagen ilustrada se puede observar la poca conciencia que tiene la población cuando sale de día de campo, a consecuencia de estos actos los pobladores del lugar sufren estas problemáticas ambientales en el lugar. A su vez esta problemática ocasiona que las especies marinas se contaminen por los desechos que la población deposita a los alrededores haciendo que esta que no sean aptos para el consumo humano.

AGUAS RESIDUALES DE RIO SECO - EL ALTO

Fuente: <https://web.senado.gob.bo/prensa/noticias/cr%C3%A9dito-con-el-bid-financiar%C3%A1-programa-de-drenaje-pluvial-para-las-ciudades-de-la>

UBICACIÓN: RIO SECO EL ALTO ZONA LIBERTAD (DISTRITO 4)

COORDENADAS UTM: 16°31'01" S
12°59'00" W

DESCRIPCION: La imagen ilustrada es una gran muestra de la problemática actual y que se ha vivido todo el transcurrir de los años, a causa de empresas de curtiembres y aguas de mataderos municipales. Asimismo, al no tener una planta de tratamiento ideal estas aguas, estas no son aprovechadas ocasionando problemáticas ambientales severos a corto y largo plazo.

FLUJO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO 8

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mercado, agosto 2021.

UBICACIÓN: EL ALTO – DISTRITO 8 FERIA
SENKATA LUNES- DOMINGOS

ANCHO DE VIA: 10 m Aprox.

COORDENADAS UTM:

17°37'00" S
67°58'33" O

DIA Y HORA:

Jueves, 08 de Julio de 2021, 15:32:05

DESCRIPCIÓN:

En la imagen ilustrada se observa la presencia de aguas residuales en el sector, que recorren varios kilómetros a los sectores aledaños.

RECORRIDO DE LAS AGUAS RESIDUALES – DISTRITO 8

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mercado, agosto 2021.

UBICACIÓN:

EL ALTO – DISTRITO 8

ANCHO DE VIA: 2 m Aprox.

COORDENADAS UTM:

16°61'14" S

68°20'55" O

DIA Y HORA: Jueves, 08 de Julio de 2021, 15:45:25

DESCRIPCION:

En la presente ilustración se evidencia que estas aguas se trasladan constantemente por todo el sector, debido a estos sucesos es necesario adoptar nuevas formas de tratar estas aguas.

AGUAS RESIDUALES ALMACENADAS SIN NINGUN TRATAMIENTO

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mercado, agosto 2021.

UBICACIÓN:

EL ALTO – DISTRITO 8

COORDENADAS UTM:

16°31'60" S

68°16'00" O

DESCRIPCION:

El problema principal del sector es la fuente de contaminación que ocasiona la actividad humana, que ha consecuencia ocasiona que las aguas tengan mayor concentración de diferentes metales y materia orgánica presente en su composición.

AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS DE ACHOCALLA

***fuentes:** elaboración propia, ing. mercado, agosto 2021.*

UBICACIÓN: EL ALTO – DISTRITO 8

ANCHO DE CANAL 2M aprox.

COORDENADAS UTM:

16°31'60" S

68°16'00" O

DESCRIPCION:

En la presente ilustración se puede observar que el sector presenta arroyos de agua residual sin ser tratadas, estas a su vez transcurren un curso sin fin donde existe la posibilidad de dañar la salud de varios animales de campo que consumen este líquido vital elemento.

ANEXO “D” FOTOGRAFIAS DE LA TOMA MUESTRA PARA ANÁLISIS LABORATORIO

**VERIFICACIÓN Y TOMA DE MUESTRAS DE LAS AGUAS RESIDUALES
DESCENDIENTES DEL DISTRITO 8**



Fuente: Elaboración propia, agosto 2021.

UBICACIÓN: EL ALTO DISTRITO 8

COORDENADAS UTM: 16°33'27" S
68°12'24" W

DESCRIPCION: Se hizo la llegada al lugar de estudio donde se procedió a la verificación y toma de muestras, para luego continuar con la observación sobre el transcurso de las aguas residuales

VERIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO 8

Fuente: Elaboración propia, agosto 2021.

UBICACIÓN: EL ALTO DISTRITO 8

ANCHO DE CANAL 2 M aprox

COORDENADAS UTM: 15° 54' 56" S
18°06 00"W

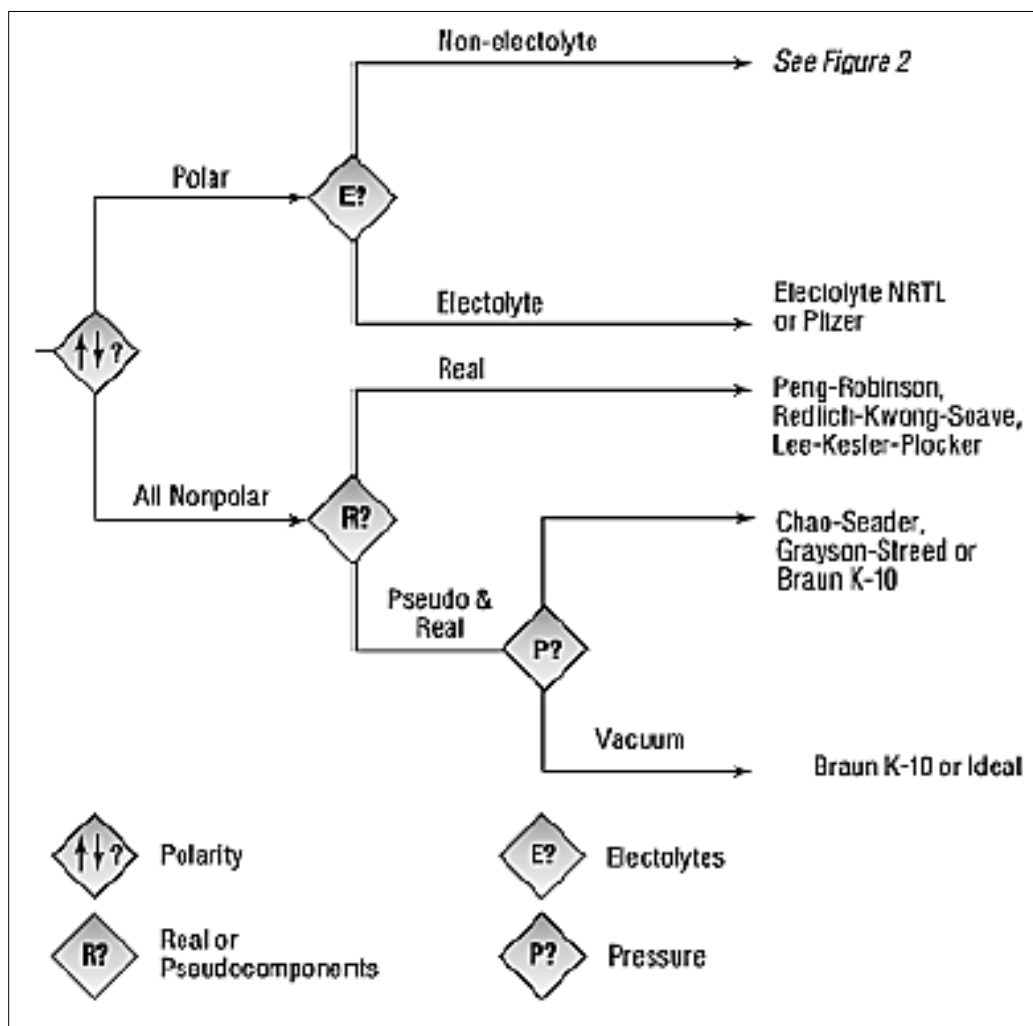
DESCRIPCION: Se hizo la llegada al lugar de estudio donde se procedió a la toma de la primera muestra de agua residual del sector.

AGUAS RESIDUALES (SEGUNDO PUNTO DE MUESTREO)**UBICACIÓN:** EL ALTO DISTRITO 8**COORDENADAS UTM:** 16°31'01" S
13°59'00" W

DESCRIPCION: En la presente ilustración se puede evidenciar que el flujo de agua residual es constante, las cuales ocasionan charcos de agua y excesivo humedecimiento de las tierras del sector. Este estudio se pudo lograr ya que se hizo un peritaje al sector de estudio que duro aproximadamente 3 horas.

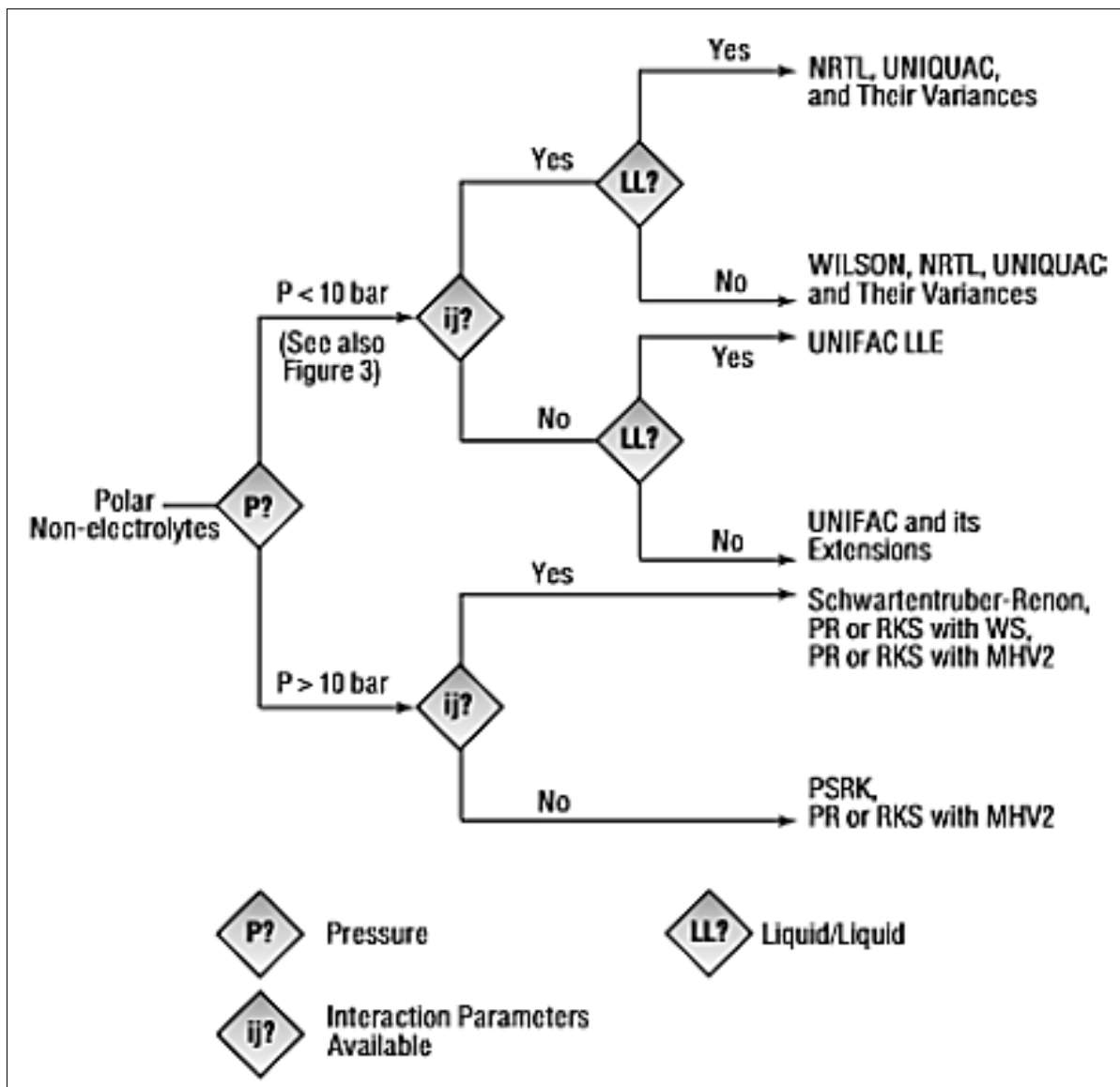
ANEXO “E” SELECCIÓN DEL PAQUETE TERMODINÁMICO

SELECCIÓN DEL PAQUETE TERMODINÁMICO



Fuente: CARLSON, E. *Don't Gamble With Physical Properties For Simulation Chemical Engineering Progress*. 1996. p.36.

PROPIEDADES FÍSICAS PARA COMPONENTES POLARES Y NO ELECTROLÍTICOS



Fuente: CARLSON, E. Don't Gamble With Physical Properties For Simulation Chemical Engineering Progress. 1996. p.38.

**ANEXO “F”
INFORME DE ENSAYO
DE LABORATORIO
SGLAB S.R.L. (INSPECCIÓN Y
LABORATORIO DE CALIDAD)**



**SGLAB S.R.L. INSPECCION
Y LABORATORIO DE CALIDAD**
AV. CHARAÑA #1045
ZONA COSMOS 79
EL ALTO-LA PAZ
TEL. (591-2) 2125918

Pág. 1 de 1

N° REGISTRO FORM

FT-008

INFORME DE ENSAYO

ORDEN N°: 0325-21-MAB

FECHA EMISIÓN: 2021-10-14

CLIENTE : GROVER MERCADO CONDORI
DIRECCION : VILLA TEJADA TRIANGULAR
PRODUCTO : AGUA RESIDUAL
NUESTRA REFERENCIA :
SU REFERENCIA :
ENSAYOS SOLICITADOS : PO_4^{3-} N-NH_3 pH
FECHA DE ENSAYO : 2021-10-07 al 2021-10-14
FECHA RECEPCION LABORATORIO : 2021-10-07

RESULTADOS

ENSAYO	PO_4^{3-}	N-NH_3	pH
UNIDADES	mg/l	mg/l	
AGUA RESIDUAL - EL ALTO	2,62	27,1	6,1
Método Ref.	HACH 8048	SM 4500 NH3 C	SM 4500-H+ B.

Observaciones:

Muestra recepcionada en laboratorio

ADVERTENCIA

- 1.-Se informa a cualquier persona que tenga en su poder este documento, que el contenido del mismo, refleja los hallazgos de SGLAB solo al momento de su intervención y dentro de los límites de las instrucciones del cliente si hubiera alguna. La compañía es únicamente responsable ante su cliente y este documento no exime a las partes de una transacción de ejercer todos sus derechos y obligaciones en virtud de los documentos de la transacción.
- 2.-Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables serán procesados con el máximo rigor de la ley.
- 3.-Los resultados NO constituyen garantía de la representatividad de la muestra del (o los) bienes y estrictamente están relacionadas con la(s) muestra(s). SGLAB NO asume ninguna responsabilidad en relación con el origen o fuente extralínea. Los resultados de los ensayos presentados, se refieren exclusivamente a las muestras enviadas/entregadas por el interesado.
- 4.-La muestra o muestras se conservaran por un lapso no mayor a 90 días. Las responsabilidades de la SGLAB se limitan únicamente a la ejecución de estos ensayos dentro de normas técnicas adecuadas.
- 5.- SGLAB solo reconoce como válidos Informes de Ensayo emitidos en Soporte Físico con el debido sello en tinta y seco del personal autorizado

1 1 0



[Firma]
Ing. M. Mamani C.
ORDINADOR DE LABORATORIO
SGLAB

[Firma]
A. Nirvang Adrian R.
ANALISTA - INSPECTOR
SGLAB

FG -L7.8-01
Versión: 03
Fecha de Emisión: 2021-09-20

**DISEÑO Y MODELAJE DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES MEDIANTE EL SIMULADOR INDUSTRIAL ASPEN PLUS V.11 DEL
DISTRITO 8 DE LA CIUDAD EL ALTO**

	SOLICITUD DE SERVICIOS	FG-L7.107.1.5-03
		VERSIÓN: 03
		FECHA: 2019-07-01

Registro: 0325-21-MAB /

NOTA: El presente contrato tiene validez de 30 días, a partir de la fecha de recepción.

Solicitante: GROVER MERCADO CONDORI

Dirección: VILLA TEJADA TRIANGULAR

Contacto: YECIR EDGAR QUISPE HUAYHUA

Teléfono/Celular/Fax:

77297885

Email: yecirhuayhua@gmail.com

N°

1

Fecha de recepción:

2021-10-07

Informe de Ensayo/ Inspección		Facturación	
Entregar a:	YECIR EDGAR QUISPE HUAYHUA	Nombre Factura:	GROVER MERCADO CONDORI
Empresa:		NIT:	7004256
Fecha prevista de entrega:	2021-10-15	Numero de Fact:	
Entrega en:		Costo Total:	245,00 Bs
	Lab. ☒ Of. SGLAB ☐ Otro ☐	A Cuenta:	245,00 Saldo: 0,00
Otro:		Efectivo:	☐ Cheque: ☐
Descripción de (las) muestra (s):		Matriz de la muestra (s):	
MUESTRA EN ENVASE PLASTICO APROX 1 LITRO		AGUA RESIDUAL	

# DE MUESTRA		PRECIO	1																SUBTOTAL
PARÁMETRO SERVICIO	METODO		S/REF.																
			AGUA RESIDUAL - EL ALTO																
Fosfato	HACH 8048	100,0	X																100
N-NH3	SM 4500 NH3 C Ed 22	120,0	X																120
pH	SM Edición 23 - 4500-H+ B.	25,0	X																25



TOTAL Bs. 245

DESCUENTO Bs.

TOTAL A PAGAR Bs. 245

Los resultados de los ensayos, se refieren exclusivamente a las muestras enviadas/entregadas por el interesado. Las responsabilidades de SGLAB se limitan unicamente a la ejecución de ensayos dentro de normas técnicas adecuadas.

Observaciones: Muestra recepcionada en laboratorio / CTZ 337-21-MAB

Se cuenta con los recursos?

Si

☒☐

Recibido por (Nombre y Firma)

Original con muestra

Nirvana Adrian R
ANALISTA INSPECTOR
SGLAB

Número y descripción de folios

Entregado por (Firma)

Copia Cliente

Yecir Edgar Quispe H.

SGLAB
INSPECCION Y LABORATORIO DE CALIDAD SGLAB S.R.L.
Casa Matriz
Avenida Charaña Nro. 1045
Zona/Barrio: Cosmop 79
Teléfonos: 2125918-68939678
El Alto
La Paz-Bolivia

NIT: 333290028
FACTURA N°: **1145**
AUTORIZACION N°: 281601000015742

ORIGINAL

SERVICIOS AGRÍCOLAS

FACTURA

Lugar:	EL ALTO - LA PAZ, 7 de octubre de 2021	NIT/CI: 7004256
Señor(es):	GROVER MERCADO CONDORI	
DETALLE		SUBTOTAL
SERVICIO DE ANALISIS EN AGUA RESIDUAL - SEGUN ORDEN DE SERVICIO NO. 0325-21-MAB		245.00
TOTAL BS		245.00
Son: DOSCIENTOS CUARENTA Y CINCO 00/100 BOLIVIANOS.		

Código de Control: D2-38-39-EF
Fecha Límite de Emisión: 07/10/2021

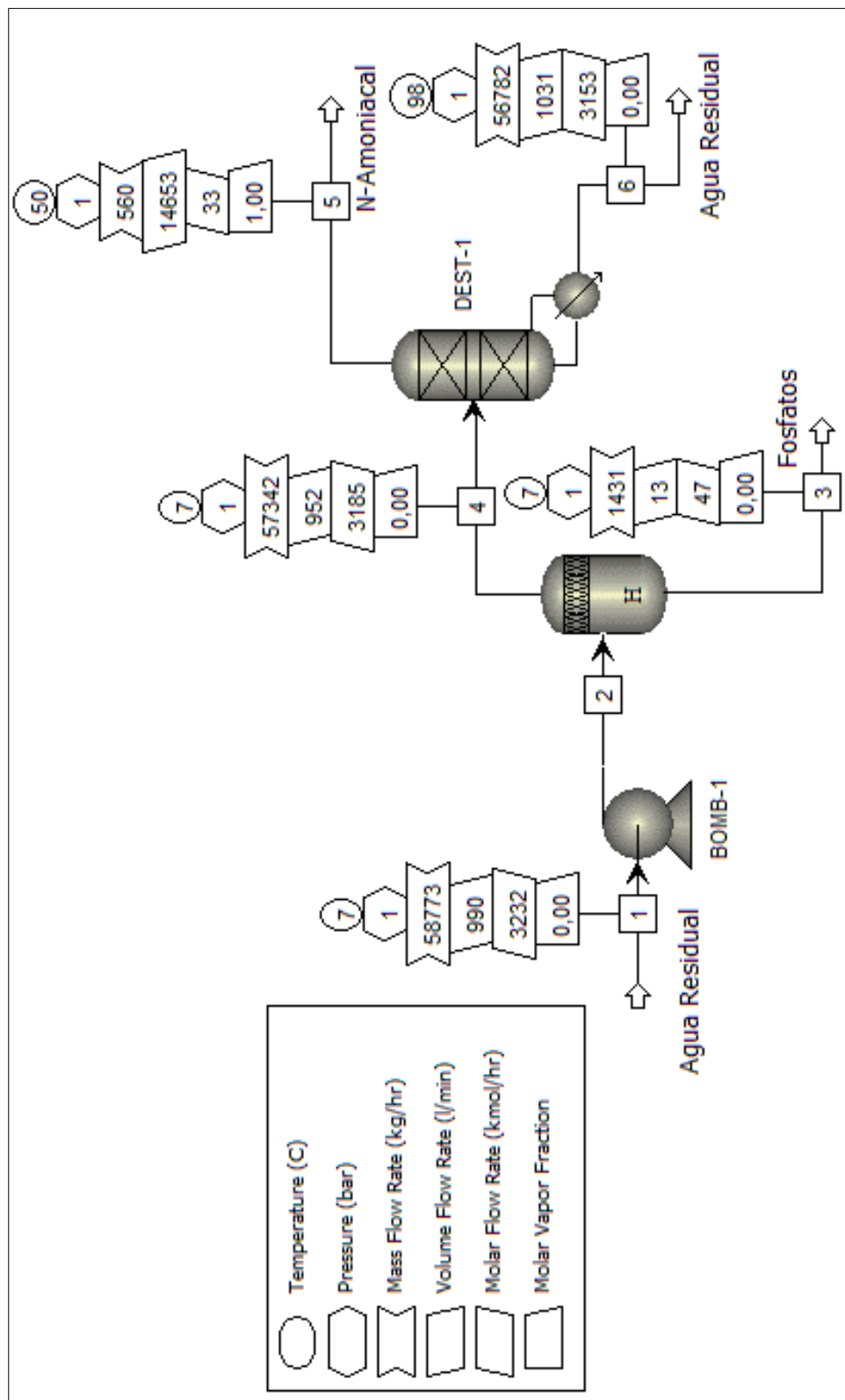


ESTA FACTURA CONTRIBUYE AL DESARROLLO DEL PAIS, EL USO ILICITO DE ESTA SERA SANCIONADO DE ACUERDO A LA LEY.
Ley N° 453: En caso de incumplimiento a lo ofertado o convenido, el proveedor debe reparar o sustituir el servicio.

ANEXO “G”

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (PDF) PROPUESTO PARA SEPARACIÓN DE FOSFATOS Y N-AMONiacal DEL AGUA RESIDUAL

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (PFD)

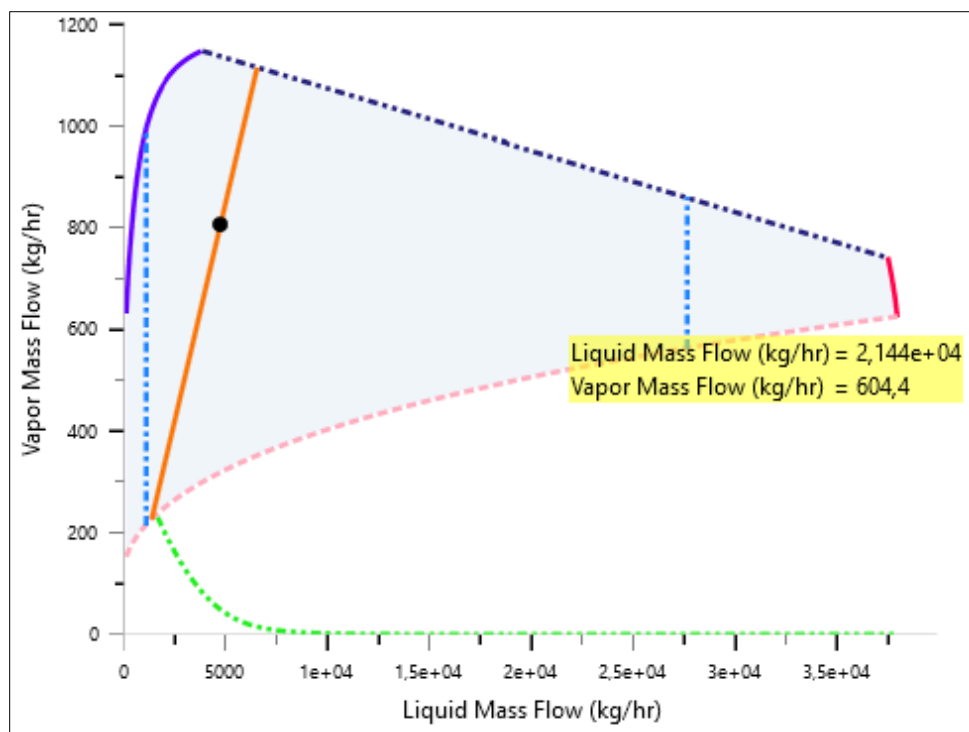
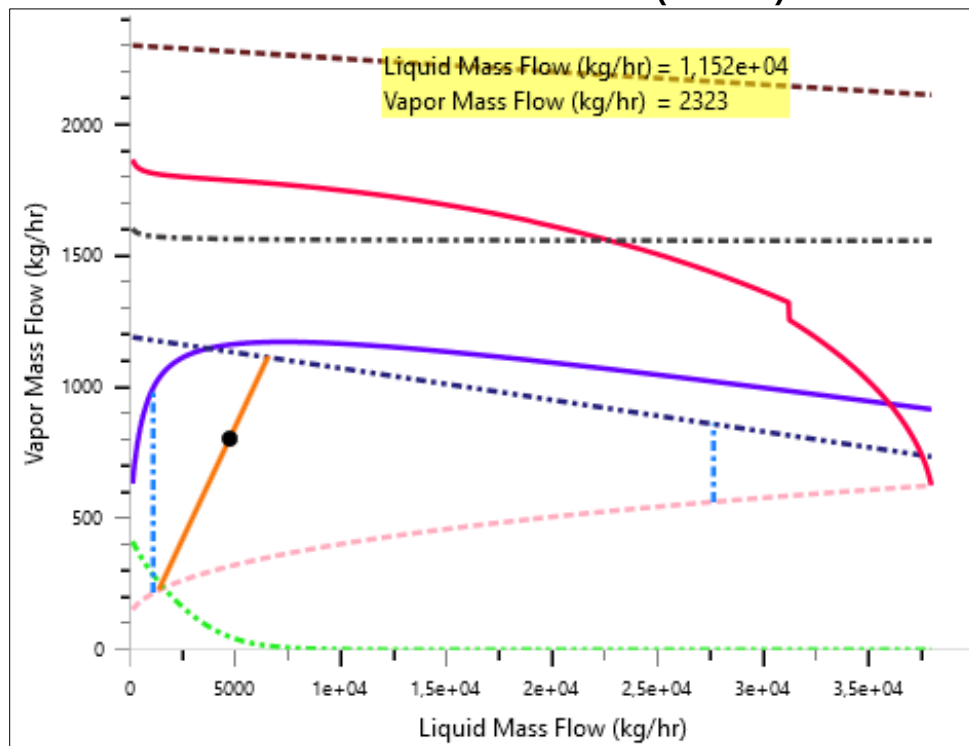


Fuente: Aspen PLUS v.11, Mercado, noviembre 2021.

ANEXO “H”

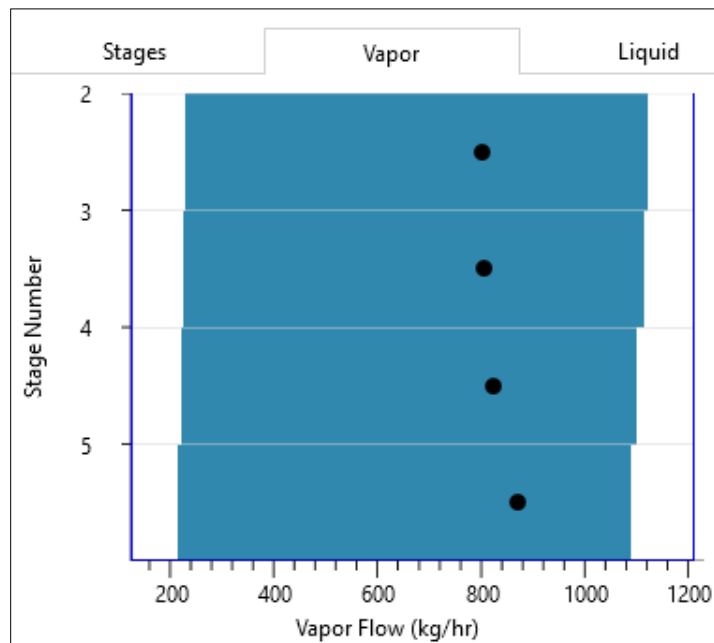
DIAGRAMA HIDRÁULICO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN CON ASPEN PLUS V11

EFICIENCIA DE DESTILACIÓN (DEST-1)



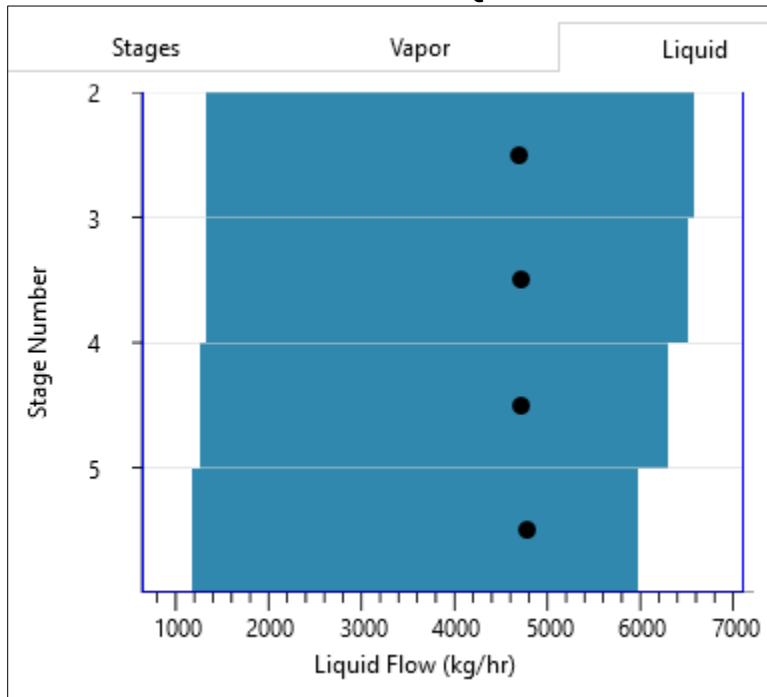
Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, noviembre 2021.

CONVERSIÓN VAPOR



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, noviembre 2021.

CONVERSIÓN LIQUIDO



Fuente: Aspen Plus V.11, Mercado, noviembre 2021.

ANEXO “I” REPORTE HIDRÁULICO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN (DEST-1)

Hydraulic Analysis Report - DEST-1 : INT-1

User Name:

Job Code:

Project:

Description:

1. Column Internals Summary

Summary

Property	Value	Units
Number of Trayed/Packed stages	2	
Total height	1,2192	meter
Total head loss (Hot liquid height)	0,191338	meter
Total pressure drop	0,0171699	bar
Number of sections	1	
Number of diameters	1	
Total residence time	0,00106775	hr

Sections

Column 1	Start Stage	End Stage	Diameter (meter)	Section Height (meter)	Internals Type	Tray or Packing Type	Section Pressure Drop (bar)	% Approach to Flood	Limiting Stage
CS-1	2	3	1,77098	1,2192	Trayed	SIEVE	0,0171699	80,0006	3

Hydraulic Analysis Report - DEST-1 : INT-1

User Name:

Job Code:

Project:

Description:

2. Feed/Draw Summary

Feed/Draw Summary

Stage	Stream	Feed/Draw
1	5	Draw
2	4	Feed
4	6	Draw

Hydraulic Analysis Report - DEST-1 : INT-1

User Name:

Job Code:

Project:

Description:

3. CS-1

3.1. Tray Geometry

Section

Property	Value	Units
Tray type	SIEVE	
Diameter	1,77098	meter
Tray spacing	0,6096	meter
Number of passes	1	
Hole diameter	0,0127	meter
Hole area / Active area	0,1	
Number of Holes	1556	
Deck gauge thickness	10 GAUGE	
Deck gauge thickness value	3,4	mm
Cross-sectional area	2,46329	sqm
Active area	1,97063	sqm
Net area	2,21696	sqm

Downcomer geometry

Property	Side	Units
Downcomer clearance	0,0381	meter
Downcomer width top	0,277115	meter
Downcomer width bottom	0,277115	meter
Downcomer area top	0,246329	sqm
Downcomer area bottom	0,246329	sqm

Weir geometry

Property	Side	Units
Weir height	0,0508	meter
Weir length	1,28681	meter

Panels

Hydraulic Analysis Report - DEST-1 : INT-1

User Name:

Job Code:

Project:

Description:

Property	A	Units
Flow path length	1,21675	meter
Bubbling area	1,97063	sqm

Hydraulic Analysis Report - DEST-1 : INT-1

User Name:

Job Code:

Project:

Description:

3.2. Results Summary

Summary

Property	Value	Units
Section starting stage	2	
Section ending stage	3	
Calculation Mode	Sizing	
Tray type	SIEVE	
Number of passes	1	
Tray spacing	0,6096	meter
Section Diameter	1,77098	meter
Section height	1,2192	meter
Section pressure drop	0,0171699	bar
Section head loss (Hot liquid height)	0,191338	meter
Trays with weeping	None	
Section residence time	0,00106775	hr

Limiting conditions

Property	Value	Units	Tray	Location
Maximum % jet flood	80,0006		3	
Maximum % downcomer backup (aerated)	40,8475		3	
Maximum downcomer loading	305,669	cum/hr/sqm	3	Side
Maximum % downcomer choke flood	50,0121		3	Side
Maximum weir loading	58,5129	cum/hr-meter	3	Side
Maximum aerated height over weir	0,178579	meter	3	
Maximum % approach to system limit	30,3937		3	
Maximum Cs based on bubbling area	0,074727	m/sec	3	

ANEXO “J”

REPORTE DE SIMULACIÓN CON ASPEN PLUS V11

```

+++++
++          ASPEN PLUS CALCULATION REPORT          ++
+++++
ASPEN PLUS IS A TRADEMARK OF      HOTLINE:
ASPEN TECHNOLOGY, INC.            U.S.A. 888/996-7100
781/221-6400                      EUROPE (44) 1189-226555
PLATFORM: WIN-X64                 NOVEMBER 14, 2021
VERSION: 39.0 Build 116           SUNDAY
INSTALLATION:                     11:04:59 P.M.
BLOCK: B5    MODEL: SEP

```

```

-----
INLET STREAM:      2
OUTLET STREAMS:    S3      S4
PROPERTY OPTION SET: NRTL    RENON (NRTL) / IDEAL GAS
*** MASS AND ENERGY BALANCE ***
      IN      OUT      RELATIVE DIFF.
TOTAL BALANCE
MOLE(KMOL/HR )      3232.03      3232.03      0.00000
MASS(KG/HR )        58772.8      58772.8      -0.247596E-15
ENTHALPY(CAL/SEC )  -0.593966E+08 -0.593976E+08  0.174129E-04
*** CO2 EQUIVALENT SUMMARY ***

```

```

FEED STREAMS CO2E      0.00000    KG/HR
PRODUCT STREAMS CO2E    0.00000    KG/HR
NET STREAMS CO2E PRODUCTION 0.00000    KG/HR
UTILITIES CO2E PRODUCTION 0.00000    KG/HR
TOTAL CO2E PRODUCTION    0.00000    KG/HR

```

*** INPUT DATA ***

```

FLASH SPECS FOR STREAM S3
TWO PHASE TP FLASH
PRESSURE DROP      BAR                      0.0
MAXIMUM NO. ITERATIONS      30
CONVERGENCE TOLERANCE      0.000100000
FLASH SPECS FOR STREAM S4
TWO PHASE TP FLASH
PRESSURE DROP      BAR                      0.0
MAXIMUM NO. ITERATIONS      30
CONVERGENCE TOLERANCE      0.000100000
FRACTION OF FEED
SUBSTREAM= MIXED
STREAM= S3      CPT= H2O      FRACTION=      0.000100000
      PO4-3      0.99900
      NH4+      0.0100000

```

*** RESULTS ***

```

HEAT DUTY      CAL/SEC      -1034.3
COMPONENT = H2O
STREAM  SUBSTREAM  SPLIT FRACTION
      S3      MIXED      0.000100000
      S4      MIXED      0.99990
COMPONENT = PO4-3

```

STREAM	SUBSTREAM	SPLIT FRACTION
	S3	MIXED 0.99900
	S4	MIXED 0.00100000

COMPONENT = NH4+

STREAM	SUBSTREAM	SPLIT FRACTION
	S3	MIXED 0.0100000
	S4	MIXED 0.99000

BLOCK: BOMB-1 MODEL: PUMP

INLET STREAM: 1

OUTLET STREAM: 2

PROPERTY OPTION SET: NRTL RENON (NRTL) / IDEAL GAS

*** MASS AND ENERGY BALANCE ***

	IN	OUT	RELATIVE DIFF.
TOTAL BALANCE			
MOLE(KMOL/HR)	3232.03	3232.03	0.00000
MASS(KG/HR)	58772.8	58772.8	0.00000
ENTHALPY(CAL/SEC)	-0.593968E+08	-0.593966E+08	-0.360450E-05

*** CO2 EQUIVALENT SUMMARY ***

FEED STREAMS CO2E	0.00000	KG/HR
PRODUCT STREAMS CO2E	0.00000	KG/HR
NET STREAMS CO2E PRODUCTION	0.00000	KG/HR
UTILITIES CO2E PRODUCTION	0.00000	KG/HR
TOTAL CO2E PRODUCTION	0.00000	KG/HR

*** INPUT DATA ***

OUTLET PRESSURE BAR	1.01300
PUMP EFFICIENCY	0.65000
DRIVER EFFICIENCY	1.00000
FLASH SPECIFICATIONS:	
LIQUID PHASE CALCULATION	
NO FLASH PERFORMED	
MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS	30
TOLERANCE	0.000100000

*** RESULTS ***

VOLUMETRIC FLOW RATE L/MIN	990.331
PRESSURE CHANGE BAR	0.35300
NPSH AVAILABLE M-KGF/KG	6.68728
FLUID POWER KW	0.58264
BRAKE POWER KW	0.89638
ELECTRICITY KW	0.89638
PUMP EFFICIENCY USED	0.65000

NET WORK REQUIRED KW	0.89638
HEAD DEVELOPED M-KGF/KG	3.63923

BLOCK: DEST-1 MODEL: RADFRAC

INLETS - 4	STAGE 2
OUTLETS - 5	STAGE 1
6	STAGE 4

PROPERTY OPTION SET: NRTL RENON (NRTL) / IDEAL GAS

*** MASS AND ENERGY BALANCE ***

	IN	OUT	RELATIVE DIFF.
TOTAL BALANCE			
MOLE(KMOL/HR)	3185.48	3185.48	0.00000
MASS(KG/HR)	57341.7	57341.7	0.126888E-15
ENTHALPY(CAL/SEC)	-0.601805E+08	-0.584854E+08	-0.281672E-01

*** CO2 EQUIVALENT SUMMARY ***

FEED STREAMS CO2E	0.00000	KG/HR
PRODUCT STREAMS CO2E	0.00000	KG/HR
NET STREAMS CO2E PRODUCTION	0.00000	KG/HR
UTILITIES CO2E PRODUCTION	0.00000	KG/HR
TOTAL CO2E PRODUCTION	0.00000	KG/HR

**** INPUT DATA ****

**** INPUT PARAMETERS ****

NUMBER OF STAGES	4
ALGORITHM OPTION	STANDARD
ABSORBER OPTION	NO
INITIALIZATION OPTION	STANDARD
HYDRAULIC PARAMETER CALCULATIONS	NO
INSIDE LOOP CONVERGENCE METHOD	BROYDEN
DESIGN SPECIFICATION METHOD	NESTED
MAXIMUM NO. OF OUTSIDE LOOP ITERATIONS	25
MAXIMUM NO. OF INSIDE LOOP ITERATIONS	10
MAXIMUM NUMBER OF FLASH ITERATIONS	30
FLASH TOLERANCE	0.000100000
OUTSIDE LOOP CONVERGENCE TOLERANCE	0.000100000

**** COL-SPECS ****

MOLAR VAPOR DIST / TOTAL DIST	1.00000
MOLAR DISTILLATE RATE	KMOL/HR
REBOILER DUTY	CAL/SEC
	66.9526
	1,858,960.

**** PROFILES ****

P-SPEC STAGE 1 PRES, BAR 1.00000

**** RESULTS ****

*** COMPONENT SPLIT FRACTIONS ***

OUTLET STREAMS

COMPONENT:	5	6
H2O	0.97308E-03	0.99903
PO4-3	0.10476E-07	1.0000
NH4+	0.63055	.36945

*** SUMMARY OF KEY RESULTS ***

TOP STAGE TEMPERATURE	C	50.3716
BOTTOM STAGE TEMPERATURE	C	97.6128
TOP STAGE LIQUID FLOW	KMOL/HR	55.6404
BOTTOM STAGE LIQUID FLOW	KMOL/HR	3,152.80
TOP STAGE VAPOR FLOW	KMOL/HR	32.6854
BOILUP VAPOR FLOW	KMOL/HR	682.306
MOLAR REFLUX RATIO		1.70230
MOLAR BOILUP RATIO		0.21641
CONDENSER DUTY (W/O SUBCOOL)	CAL/SEC	-164,616.
REBOILER DUTY	CAL/SEC	1,858,960.

**** MANIPULATED VARIABLES ****

BOUNDS		CALCULATED	
LOWER	UPPER	VALUE	
MOLAR DISTILLATE RATE	KMOL/HR	0.0000	250.00
			32.685

**** DESIGN SPECIFICATIONS ****

NO SPEC-TYPE	QUALIFIERS	UNIT	SPECIFIED	CALCULATED
		VALUE	VALUE	

1 MOLE-FRAC	STREAMS: 5	0.99000	0.90656
COMPS: NH4+			

**** MAXIMUM FINAL RELATIVE ERRORS ****

DEW POINT	0.25132E-01	STAGE= 1
BUBBLE POINT	0.69866E-01	STAGE= 1
COMPONENT MASS BALANCE	0.42240E-03	STAGE= 4 COMP=NH4+
ENERGY BALANCE	0.36779E-01	STAGE= 1

**** PROFILES ****

NOTE REPORTED VALUES FOR STAGE LIQUID AND VAPOR RATES ARE THE FLOWS

FROM THE STAGE INCLUDING ANY SIDE PRODUCT.

ENTHALPY

STAGE	TEMPERATURE	PRESSURE	CAL/MOL	HEAT DUTY
	C	BAR	LIQUID VAPOR	CAL/SEC
1	50.372	1.0000	-58007. -15118.	-.16462+06
2	84.418	1.0000	-64893. -35719.	

3	93.109	1.0000	-66056. -46602.	
4	97.613	1.0000	-66624. -53623.	.18590+07
STAGE	FLOW RATE	FEED RATE	PRODUCT RATE	
	KMOL/HR	KMOL/HR	KMOL/HR	
	LIQUID	VAPOR	LIQUID VAPOR	MIXED LIQUID VAPOR
1	55.64	32.69		32.6854
2	3815.	88.32	3185.4810	
3	3835.	662.1		
4	3153.	682.3		3152.7956

**** MASS FLOW PROFILES ****

STAGE	FLOW RATE	FEED RATE	PRODUCT RATE
	KG/HR	KG/HR	KG/HR
	LIQUID VAPOR	LIQUID VAPOR	MIXED LIQUID VAPOR
1	991.5	559.7	559.6581

2 0.6856E+05 1551. .57342+05
 3 0.6902E+05 0.1178E+05
 4 0.5678E+05 0.1224E+05 .56782+05

**** MOLE-X-PROFILE ****

STAGE	H2O	PO4-3	NH4+
1	0.80179	0.42084E-07	0.19821
2	0.95613	0.12013E-04	0.43861E-01
3	0.98198	0.11953E-04	0.18010E-01
4	0.99448	0.14529E-04	0.55067E-02

**** MOLE-Y-PROFILE ****

STAGE	H2O	PO4-3	NH4+
1	0.93435E-01	0.14681E-10	0.90656
2	0.53966	0.26516E-07	0.46034
3	0.77357	0.39910E-07	0.22643
4	0.92426	0.59586E-07	0.75741E-01

**** K-VALUES ****

STAGE	H2O	PO4-3	NH4+
1	0.11818	0.39820E-03	4.9196
2	0.56417	0.22046E-02	10.570
3	0.78762	0.33277E-02	12.651
4	0.92937	0.40958E-02	13.789

**** MASS-X-PROFILE ****

STAGE	H2O	PO4-3	NH4+
1	0.81057	0.73148E-07	0.18943
2	0.95842	0.20704E-04	0.41563E-01
3	0.98294	0.20571E-04	0.17042E-01
4	0.99477	0.24987E-04	0.52072E-02

**** MASS-Y-PROFILE ****

STAGE	H2O	PO4-3	NH4+
1	0.98306E-01	0.26558E-10	0.90169
2	0.55359	0.46766E-07	0.44641

3	0.78326	0.69478E-07	0.21674
4	0.92810	0.10287E-06	0.71899E-01

***** HYDRAULIC PARAMETERS *****

*** DEFINITIONS ***

MARANGONI INDEX = SIGMA - SIGMATO
 FLOW PARAM = (ML/MV)*SQRT(RHOV/RHOL)
 QR = QV*SQRT(RHOV/(RHOL-RHOV))
 F FACTOR = QV*SQRT(RHOV)

TEMPERATURE C

STAGE	LIQUID FROM	VAPOR TO
1	50.372	84.418
2	84.418	93.109
3	93.109	97.613
4	97.613	97.613

	MASS FLOW		VOLUME FLOW		MOLECULAR WEIGHT	
	KG/HR		L/MIN			
STAGE	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO
1	991.52	1551.2	18.803	43764.	17.820	17.562
2	68561.	11779.	1251.1	0.33601E+06	17.972	17.792
3	69023.	12241.	1254.9	0.35055E+06	17.998	17.941
4	56782.	0.0000	1030.8	0.0000	18.010	
	DENSITY		VISCOSITY		SURFACE TENSION	
	GM/CC		CP		DYNE/CM	
STAGE	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO	LIQUID FROM VAPOR TO
1	0.87886	0.59073E-03	0.39789	0.12256E-01	57.476	
2	0.91336	0.58427E-03	0.31420	0.12473E-01	58.949	
3	0.91670	0.58199E-03	0.29411	0.12544E-01	58.633	
4	0.91808	0.28464		58.421		
	MARANGONI INDEX		FLOW PARAM		QR	
STAGE	DYNE/CM		L/MIN		(GM-L)**.5/MIN	
1		0.16572E-01	1135.0	33637.		
2	-15.914	0.14721	8501.2	0.25684E+06		
3	-.31614	0.14208	8835.6	0.26743E+06		
4	-.21256		0.0000	0.0000		

***** TRAY SIZING CALCULATIONS *****

*** SECTION 1 ***

STARTING STAGE NUMBER	2
ENDING STAGE NUMBER	3
FLOODING CALCULATION METHOD	GLITSCH6
DESIGN PARAMETERS	

PEAK CAPACITY FACTOR	1.00000
SYSTEM FOAMING FACTOR	1.00000
FLOODING FACTOR	0.80000
MINIMUM COLUMN DIAMETER METER	0.30480
MINIMUM DC AREA/COLUMN AREA	0.100000
HOLE AREA/ACTIVE AREA	0.100000
DOWNCOMER DESIGN BASIS	EQUAL FLOW PATH LENGTH
TRAY SPECIFICATIONS	

TRAY TYPE	SIEVE
NUMBER OF PASSES	1
TRAY SPACING METER	0.60960
***** SIZING RESULTS @ STAGE WITH MAXIMUM DIAMETER *****	
STAGE WITH MAXIMUM DIAMETER	3
COLUMN DIAMETER METER	1.77098
DC AREA/COLUMN AREA	0.19938
DOWNCOMER VELOCITY M/SEC	0.085173
FLOW PATH LENGTH PER PANEL METER	1.21794

SIDE DOWNCOMER WIDTH	METER	0.27652
SIDE WEIR LENGTH	METER	1.28569
CENTER DOWNCOMER WIDTH	METER	0.0
CENTER WEIR LENGTH	METER	MISSING
OFF-CENTER DOWNCOMER WIDTH	METER	0.0
OFF-CENTER SHORT WEIR LENGTH	METER	MISSING
OFF-CENTER LONG WEIR LENGTH	METER	MISSING
TRAY CENTER TO OCDC CENTER	METER	0.0

**** SIZING PROFILES ****

STAGE	DIAMETER	TOTAL AREA	ACTIVE AREA	SIDE DC AREA
	METER	SQM	SQM	SQM
2	1.7710	2.4633	1.9722	0.24556
3	1.7710	2.4633	1.9722	0.24556

**** ADDITIONAL SIZING PROFILES ****

FLOODING		DC BACKUP/		
STAGE FACTOR	PRES. DROP	DC BACKUP	(TSPC+WHT)	
BAR	METER			
2 77.41	0.8432E-02	0.2661	40.30	
3 79.95	0.8728E-02	0.2698	40.85	
HEIGHT	DC REL	TR LIQ REL	FRA APPR TO	
STAGE OVER WEIR	FROTH DENS	FROTH DENS	SYS LIMIT	
METER				
2 0.1708	0.6082	0.2003	29.17	
3 0.1797	0.6082	0.1957	30.38	