

**DESARROLLO DE PLAN OPERATIVO PARA LA VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL
Y OPERATIVA DE EQUIPOS DEL CENTRO DE PURIFICACIÓN Y REFINACIÓN
(CEPURE) CON ENFOQUE AL DISEÑO DE UN MANUAL DE VALIDACIÓN Y
PUESTA EN MARCHA.**

**DANIEL FERNANDO GUTIERREZ GOMEZ
SHARON DANIELA VELÁSQUEZ CERQUERA**

**Proyecto integral para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

JUAN CAMILO CELY GARZON

Ingeniero Químico

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma del director

Nombre

Firma del Presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora de programa de Ingeniería Industrial

Dra. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado tiene varias dedicatorias, inicialmente se lo dedico a mis padres, Rafael Gutierrez y Leonor Gomez, quienes con su apoyo, amor y cariño me han ayudado a superar todas y cada una de las adversidades que se han podido presentar a lo largo de este proceso y de tal forma ayudándome a ser mejor profesionalmente y personalmente.

A mi hermano David Gutierrez, quien me ha brindado apoyo y compañía en noches de trabajo académico y así mismo por interés en mis actividades a desarrollar.

A Dios por darme la salud, la motivación y la oportunidad de poder realizar y cumplir mis metas de vida, entre ellas la culminación de mi carrera profesional con este trabajo de grado.

Finalmente, a las demás personas que han influido en este proceso profesional, que han sido fundamentales para culminar en éxito dicho trabajo de grado y así mismo mi carrera profesional, docentes, compañeros y amigos, que estuvieron a lo largo de este proceso.

- Daniel Fernando Gutierrez Gómez

El presente trabajo de grado se lo dedico principalmente a mis padres Diana Cerquera y Darío Velásquez por acompañarme en todo este proceso, por ser partícipes de mi vida académica y profesional, por la confianza y amor que me brindan incondicionalmente, por el esfuerzo que realizaron durante esta carrera universitaria. Todo se los debo a ustedes.

A mi hermana Laura Fuentes por ser un gran ejemplo a seguir como profesional y como ser humano, por siempre darme fuerza cuando la necesito. Por regalarme la estrella más grande y brillante.

A todos los profesores que con su paciencia, dedicación y esfuerzo nos guiaron en el camino, y nos acompañaron hasta llegar a la culminación de este hermoso proceso.

- Sharon Daniela Velásquez Cerquera

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primordialmente a Dios por permitirme llegar al punto al que he llegado, por darme la sabiduría para poder lograr cumplir mis desafíos y metas a lo largo de este proyecto y de igualmente a lo largo de esta carrera profesional.

Agradezco también a mis padres y hermano por su apoyo incondicional a lo largo del proceso mencionado anteriormente, porque independientemente de todo siempre han tenido la voluntad de acompañarme y estar presente en cada paso que doy.

De la misma forma quiero agradecer a todo el cuerpo docente, a todos mis compañeros y demás personas que estuvieron aportando y compartiendo sus conocimientos conmigo durante este proceso.

- Daniel Fernando Gutierrez Gomez

Agradezco principalmente a Dios por darme la oportunidad de realizar una carrera universitaria, por regalarme la inteligencia, fuerza, salud, y medios para culminar esta etapa y empezar una nueva.

Gracias mi familia y amigos por estar orgullosos de mí, por brindarme su ayuda cuando la he necesitado, por estar en los buenos momentos y en los no tan buenos.

Gracias a todas las personas que hicieron parte de este proyecto, todos los que ofrecieron apoyo y todos los que estuvieron presentes.

Gracias la Universidad América por hacer de una de las etapas más importantes de mi vida inolvidable, por formarme como profesional y ser humano.

- Sharon Daniela Velásquez Cerquera

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 Planta piloto (CEPIIS)	21
1.2 Integración entra las zonas del CEPIIS	26
1.3 Centro de purificación y refinación (CEPURE)	30
2. MARCO TEÓRICO	31
2.1 Operaciones seguras en la industria	31
2.2 Puesta en marcha de las unidades	34
2.2.1 <i>Precomisionado</i>	35
2.2.2 <i>Comisionado</i>	35
2.2.3 <i>Pruebas en sitio</i>	36
2.3 Validación y revisión estructural de unidades de operación	36
2.4 Manual operativo	37
2.5 Procesos de separación	38
2.6 Absorción de gases	38
2.7 Destilación	41
2.8 Límites operativos de las unidades de destilación y absorción por material de fabricación	44
3. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DEL CEPURE	47
3.1 Absorción de gases	47
3.1.1 <i>Componentes de la unidad de absorción de gases</i>	48

3.2	Destilación continua	50
3.2.1	<i>Componentes de la unidad de destilación</i>	<i>50</i>
4.	PARAMETROS OPERACIONALES Y DE SEGURIDAD DE LAS UNIDADES DE PROCESO	55
4.1	Parámetros de seguridad	55
4.1.1	<i>Riesgos existentes en la unidad de destilación</i>	<i>63</i>
4.1.2	<i>Normativa vigente aplicable al CEPIIS</i>	<i>67</i>
4.2	Parámetros operacionales	67
4.2.1	<i>Parámetros de operación para la unidad de absorción de gases</i>	<i>67</i>
4.2.2	<i>Parámetros de operación para la unidad de destilación continua</i>	<i>70</i>
5.	VALORACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS UNIDADES	73
5.1	Valoración de unidades	73
5.1.1	<i>Dimensionamiento y valoración de la torre de destilación</i>	<i>74</i>
5.1.2	<i>Dimensionamiento y valoración de la torre absorción</i>	<i>85</i>
5.2	Evaluación del estado físico de las unidades	90
5.2.1	<i>Evaluación física y estructural previa al montaje final – torre de destilación</i>	<i>97</i>
5.2.2	<i>Esfuerzos y estabilidad preliminar de la torre de destilación</i>	<i>100</i>
5.2.3	<i>Evaluación física y estructural previa al montaje final – torre de absorción</i>	<i>102</i>
5.2.4	<i>Esfuerzos y estabilidad preliminar de la torre de absorción</i>	<i>105</i>
5.3	Izaje y montaje de los equipos en el CEPIIS	108
5.3.1	<i>Posibles situaciones durante el izado de cargas</i>	<i>109</i>
5.3.2	<i>Izaje de la torre de destilación y de la columna de absorción</i>	<i>110</i>
6.	PROYECCIÓN DE OPERACIONES DE LAS UNIDADES	113
6.1	Procesos recomendados a realizar para la torre de destilación	114
6.2	Proyección operacional para la unidad de destilación	114

6.3	Procesos recomendados a realizar para la unidad de absorción	121
6.4	Proyección operacional para la unidad de absorción	121
6.5	Capacidad de producción y recursos necesarios	127
6.5.1	<i>Torre de destilación</i>	<i>127</i>
6.5.2	<i>Torre de absorción</i>	<i>128</i>
7.	ANALISIS DE RIESGOS DEL CEPURE	131
7.1	Riesgos de la unidad de destilación	131
7.2	Riesgos de la unidad de absorción	132
8.	CRITERIOS PARA ELABORACIÓN DE MANUALES OPERATIVOS	134
8.1	Manual de validación de la unidad de destilación	134
8.2	Manual de validación de la unidad de absorción	149
9.	CONCLUSIONES	164
	BIBLIOGRAFÍA	166
	ANEXOS	169

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Render del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS)</i>	15
Figura 2 <i>Evidencia del traslado de las unidades en grúa</i>	16
Figura 3 <i>Evidencia del izado de los equipos</i>	17
Figura 4 <i>Evidencia de la instalación de red eléctrica</i>	18
Figura 5 <i>CEPURE (centro de purificación y refinación)</i>	22
Figura 6 <i>CEPURE (centro de purificación y refinación) 2</i>	22
Figura 7 <i>CESI (centro de servicios industriales)</i>	23
Figura 8 <i>CETA (centro de transformación y adecuación) vista lateral</i>	24
Figura 9 <i>CETA (centro de transformación y adecuación) vista frontal</i>	24
Figura 10 <i>COCO (centro de control)</i>	25
Figura 11 <i>BIOCAL (centro de procesos biológicos)</i>	26
Figura 12 <i>Integración zonas del CEPIIS</i>	28
Figura 13 <i>Integración zonas CEPIIS con dirección de proceso</i>	29
Figura 14 <i>Elementos de protección personal (EPP)</i>	32
Figura 15 <i>Colores de seguridad</i>	33
Figura 16 <i>Demarcación de zonas</i>	34
Figura 17 <i>Columna empacada</i>	40
Figura 18 <i>Esquema de destilación azeotrópica</i>	42
Figura 19 <i>Esquema de destilación extractiva</i>	43
Figura 20 <i>Esquema de destilación por cambio de presión</i>	44
Figura 21 <i>Diagrama de proceso de una planta de absorción de gases</i>	47
Figura 22 <i>Diagrama de proceso de una planta de destilación</i>	51
Figura 23 <i>Tipos de riesgos</i>	55
Figura 24 <i>Riesgos planta de absorción y planta de destilación expuestos por proveedor PSE</i>	57
Figura 25 <i>Riesgos identificados en el Centro de Purificación y Refinación (CEPURE)</i>	58
Figura 26 <i>Parámetros de seguridad para el CEPURE</i>	60
Figura 27 <i>Análisis DOFA del estudio HAZOP</i>	62
Figura 28 <i>Riesgos en la unidad de destilación</i>	63

Figura 29 <i>Riesgos en la unidad de absorción</i>	65
Figura 30 <i>Condensador P3</i>	77
Figura 31 <i>Tanque A4 P1 – Condensador 3 P1</i>	78
Figura 32 <i>Tanque A2 P1 – Tanque A2 P2</i>	79
Figura 33 <i>Tanque A3 P1 – Tanque A1 P1</i>	80
Figura 34 <i>Tanque A1 P2 – Condensador P3</i>	81
Figura 35 <i>Rotámetro P2 – Rotámetro P1</i>	82
Figura 36 <i>Condensador 2 P1 – Condensador 1 P1</i>	83
Figura 37 <i>Módulo torre destilación</i>	84
Figura 38 <i>Calentador P1</i>	85
Figura 39 <i>Tanque de solvente fresco</i>	87
Figura 40 <i>Tanque recolector solvente gastado</i>	88
Figura 41 <i>Humidificador de aire</i>	89
Figura 42 <i>Obra civil 1</i>	91
Figura 43 <i>Obra civil 2</i>	92
Figura 44 <i>Obra civil 3</i>	92
Figura 45 <i>Red eléctrica 1</i>	93
Figura 46 <i>Red eléctrica 2</i>	94
Figura 47 <i>Red eléctrica 3</i>	95
Figura 48 <i>Red eléctrica 4</i>	95
Figura 49 <i>Red eléctrica 5</i>	96
Figura 50 <i>Resultados validación física y estructural torre de destilación</i>	97
Figura 51 <i>Estructura no asegurada, torre de destilación</i>	100
Figura 52 <i>Estructura no asegurada, torre de destilación</i>	101
Figura 53 <i>Estructura no asegurada, torre de destilación</i>	102
Figura 54 <i>Resultados validación física y estructural torre de absorción</i>	103
Figura 55 <i>Estructura no asegurada, torre de absorción</i>	106
Figura 56 <i>Estructura no asegurada, torre de absorción</i>	107
Figura 57 <i>Izaje torre de absorción</i>	111
Figura 58 <i>Montaje torre de destilación</i>	112
Figura 59 <i>Prácticas recomendadas para cada tipo de experimento</i>	114

Figura 60 <i>Tareas con código de colores para diagrama de Gantt</i>	119
Figura 61 <i>Diagrama de Gantt Torre de destilación batch</i>	120
Figura 62 <i>Prácticas recomendadas para cada tipo de experimento</i>	121
Figura 63 <i>Simulación absorción de gases Aspen Plus</i>	123
Figura 64 <i>Recursos para operación torre de destilación</i>	128
Figura 65 <i>Recursos de operación torre de absorción</i>	129
Figura 66 <i>Análisis de riesgos de la unidad de destilación por metodología HAZOP</i>	131
Figura 67 <i>Análisis de riesgos de la unidad de absorción por metodología HAZOP</i>	132
Figura 68 <i>Destilación simple</i>	136
Figura 69 <i>Diagrama de la torre de destilación</i>	137
Figura 70 <i>Elementos de protección personal</i>	140
Figura 71 <i>Riesgos</i>	140
Figura 72 <i>Tabla de compatibilidad química</i>	142
Figura 73 <i>Diagrama de la torre absorción</i>	151
Figura 74 <i>Elementos de protección personal EPP</i>	154
Figura 75 <i>Riesgos posibles</i>	155
Figura 76 <i>Compatibilidad química de sustancias</i>	156
Figura 77 <i>Sustancias químicas compatibles en la unidad de absorción</i>	170
Figura 78 <i>Sustancias químicas compatibles con la unidad de destilación</i>	178
Figura 79 <i>Grafica de temperatura con respecto al tiempo</i>	186
Figura 80 <i>Perfil de fracción de vapor de componentes con respecto al tiempo</i>	187
Figura 81 <i>Diagrama de Gantt torre de destilación batch</i>	188
Figura 82 <i>Infografía manual de validación torre de absorción</i>	189
Figura 83 <i>Infografía manual de validación torre de destilación</i>	191
Figura 84 <i>QR Manual de validación para la unidad de absorción</i>	193
Figura 85 <i>QR Manual de validación para la unidad de destilación</i>	194
Figura 86 <i>Diagrama P&D Unidad de Absorción</i>	195
Figura 87 <i>Diagrama P&D Unidad de Destilación</i>	196
Figura 88 <i>Formato para la toma de datos</i>	197
Figura 89 <i>QR Formato para la toma de datos</i>	198

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Requerimientos de instalación sugeridos por proveedor para torre de absorción</i>	69
Tabla 2 <i>Límites de operación en la torre de absorción</i>	70
Tabla 3 <i>Requerimientos de instalación sugeridos por proveedor PSE para torre de destilación</i>	71
Tabla 4 <i>Límites de operación en la torre de destilación</i>	72
Tabla 5 <i>Dimensiones de los equipos de torre de destilación</i>	74
Tabla 6 <i>Dimensiones de los equipos de torre de absorción</i>	86
Tabla 7 <i>Condiciones iniciales simulación destilación batch</i>	115
Tabla 8 <i>Fracción molar compuestos mezcla</i>	115
Tabla 9 <i>Resultados perfiles de tiempo</i>	116
Tabla 10 <i>Balance de masa simulación batch</i>	117
Tabla 11 <i>Balance de energía simulación batch</i>	117
Tabla 12 <i>Condiciones iniciales simulación absorción</i>	122
Tabla 13 <i>Fracción molar compuestos mezcla problema</i>	122
Tabla 14 <i>Balance de masa resultados simulación absorción Aspen Plus</i>	124
Tabla 15 <i>Costos por año torre de absorción en USD y COP</i>	125
Tabla 16 <i>Costos de mano de obra y recursos públicos</i>	126
Tabla 17 <i>Capacidad de carga y producción torre de destilación</i>	127
Tabla 18 <i>Capacidad de carga y producción torre de absorción</i>	129
Tabla 19 <i>VARIABLES DE OPERACIÓN</i>	139
Tabla 20 <i>Límites de operación</i>	139
Tabla 21 <i>Condiciones de operación recomendadas</i>	153
Tabla 22 <i>Límites de operación</i>	153

RESUMEN

Este proyecto se plantea con el fin de realizar un manual de validación y puesta en marcha para el Centro de Purificación y Refinación (CEPURE) del Centro de Procesos para la Industria Sostenible (CEPIIS) de la Fundación Universidad de América, partiendo de una validación estructural y física de los equipos que conforman esta área. Para esto se deben tener en cuenta factores que durante el ensamble de las unidades representen a corto y/o largo plazo una condición insegura al momento de operar en dichos equipos. De esta forma se tiene una planeación preventiva para llevar a cabo la puesta en marcha de las unidades disminuyendo el riesgo de accidentes y garantizando el buen funcionamiento del CEPURE.

Para empezar con el desarrollo de este proyecto es importante conocer sobre las unidades que serán evaluadas, el CEPURE se encuentra compuesto por una unidad de destilación y una unidad de absorción de gases, por lo tanto, se estudiarán cuáles son las condiciones óptimas para el funcionamiento esperado de las mismas, cómo debe de ser su ubicación dentro de la planta piloto, aspectos a tener en cuenta durante la puesta en marcha, posibles fallos que se pueden presentar, tipos de sustancias que deben ser utilizadas en el proceso, componentes de cada unidad (válvulas, sensores, controles, tuberías), riesgos presentes en los equipos y aspectos de seguridad a tener en cuenta.

Teniendo esta información se procede a evaluar las unidades en la planta piloto antes, durante y después de su instalación, para de esta forma saber en qué condiciones se encuentran los equipos que componen las dos unidades y así en el momento que se vaya a realizar la puesta en marcha ya se conocen cuáles son los desperfectos que se presentan.

Para mostrar el desarrollo de este proyecto este documento estará dividido por Capítulos, donde se evidenciará el paso a paso para llegar al planteamiento de los manuales de validación y puesta en marcha, en los cuales se pretende cumplir con los objetivos propuestos.

Palabras clave: plan operativo, destilación, absorción, planta piloto, puesta en marcha, validación.

INTRODUCCIÓN

En la búsqueda de mejorar y darle una experiencia cercana hacia la Industria a los estudiantes de la Fundación Universidad de América se realizó la construcción de un centro de investigación que estuviera orientado a la sostenibilidad industrial que toma por nombre Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), el cual está compuesto por diferentes zonas las cuales se separan según las operaciones que sean realizadas en ese espacio.

Figura 1

Render del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS)



Nota. La Figura 1. Representa un modelo ilustrativo del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).

La Fundación Universidad de América inicio este proyecto en el año 2017 con el fin de dar enfoque principalmente a todos sus estudiantes de ingeniería química de lo que puede ser un equipo a nivel semiindustrial o a escala piloto, es por esto que se pone en marcha el proyecto CEPIIS. Proyecto que acoge los procesos unitarios más usados en la industria, tales como, reacciones, evaporación, separación, generación de vapor, tratamiento de aguas, procesos biológicos, y los lleva a la práctica.

En ese orden de ideas a partir del trabajo de obra civil se inician labores de adecuación y transformación del edificio para poder acoger dicho proyecto, se realizó la compra y adquisición

de los equipos que componen el CEPIIS, tales como, banco de reactores, tren de evaporadores, torre de destilación, torre de absorción, reactor de alta presión, biorreactor y biofermentador, planta generadora de vapor junto a su caldera, torre de enfriamiento y turbina, se cuenta además con un extractor solido – líquido y líquido – líquido, un secador de bandejas y un filtro prensa. Se tiene proyectado adquirir también un molino para trabajo de operaciones unitarias y una PTAI (planta de tratamiento de aguas industriales) con el fin de tratar las aguas lluvias, de proceso y de infiltración que se puedan recolectar en el centro de procesos e innovación para la industria sostenible.

Durante la adquisición de las unidades se realizó el traslado con ayuda de una grúa desde el parqueadero de la Universidad de América hasta el edificio del CEPIIS

Figura 2

Evidencia del traslado de las unidades en grúa



Nota. La Figura 2. Representa el traslado de las unidades del CEPIIS en grúa.

Después de este se realizó el izado de los equipos con grúas telescópicas, este proceso se llevó a cabo en el segundo semestre del año 2022, bajo la supervisión de las personas encargadas con la ayuda de estudiantes que se encontraban realizando su trabajo de grado en el CEPIIS.

Figura 3

Evidencia del izado de los equipos



Nota. La figura 3. Representa el izado de las unidades que componen el CEPURE.

Después de haber realizado el izado se empezó con el proceso de instalación de redes eléctricas, redes hidráulicas y redes de gases especiales como, dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, para todos los equipos y zonas del CEPIIS que lo necesiten. Esto con el fin de empezar la puesta en marcha de las unidades.

Figura 4

Evidencia de la instalación de red eléctrica



Nota. La figura 4. Representa la instalación eléctrica del CEPIIS.

En esta parte del proyecto toma vida este trabajo de grado, donde se busca realizar una validación física y estructural, una futura proyección de las unidades, a partir de una revisión bibliográfica para finalmente realizar manuales de validación y puesta en marcha con el fin de unificar las actividades y minimizar riesgos.

Este proyecto estará enfocado en el Centro de Purificación y Refinación (CEPURE) el cual se encuentra compuesto por una unidad de destilación y una de absorción, operaciones cuyo objetivo principal es separar fluidos, siendo procesos importantes en la industria, ya que son utilizadas con frecuencia en el sector de la ingeniería, por lo tanto, es necesario que sean conocidos por Ingenieros que están próximos a tener contacto directo con este tipo de equipos.

Para empezar con este proyecto se debe realizar una revisión bibliográfica la cual brinde suficiente información sobre la columna de destilación y la columna de absorción, como, medidas de seguridad, ubicación correcta dentro de la planta piloto, tuberías, conexiones de servicio

necesarias, posibles fallas, condiciones óptimas de operación, entre otros datos importantes para el correcto uso de las unidades. En esta primera parte del proyecto se tendrán en cuenta trabajos de grado realizados por egresados de la Fundación Universidad de América dentro del CEPIIS.

Luego de esta evaluación se realizará la validación de las unidades que componen el CEPURE, observando el estado físico de sus partes (válvulas, tuberías, controles, conexiones, columnas, entre otros) después del izado, por otro lado, se estudiará la proyección de las unidades en cuanto a tiempos y costos de operación realizando simulaciones de los procesos con ayuda de la herramienta Advanced System for Process Engineering (Aspen), por último, se tendrán en cuenta los riesgos que existen dentro de centro de purificación y refinación para realizar los manuales de validación y puesta en marcha con el fin de homogenizar las actividades y tener una menor probabilidad de fallas o accidentes durante la operación.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un plan de operación para la verificación estructural de unidades y equipos del Centro de Purificación y Refinación (CEPURE) con enfoque al diseño de un manual de validación y puesta en marcha en el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) de la Universidad de América.

Objetivos específicos

- 1.** Evaluar la documentación sobre los parámetros operacionales y de seguridad de las unidades de proceso con potencial aplicación al CEPURE del CEPIIS de la fundación universidad de América.
- 2.** Valorar el estado estructural y proyección de operaciones de las unidades disponibles en el CEPURE.
- 3.** Elaborar los manuales de validación y puesta en marcha de los equipos de CEPURE considerando criterios de operación y de seguridad.

1. GENERALIDADES

1.1 Planta piloto (CEPIIS)

Una planta piloto es definida como una planta de proceso a escala pequeña diseñada para obtener información que funcionará en una planta industrial, dando una idea de cómo se puede comportar un proceso a mayor escala, lo cual permite prevenir accidentes de trabajo, aumentar rentabilidad y productividad, entender la naturaleza del proceso, hallar condiciones óptimas, y muchas más ventajas que brinda el hecho de hacer un estudio previo a iniciar un proceso en la industria [1].

La Fundación Universidad de América examinando la manera de mejorar la calidad educativa de sus estudiantes de ingeniería, construyó una planta a escala piloto donde se realizan procesos importantes para la industria tales como: destilación, extracción, tratamiento de aguas, refinación, absorción, entre otros. Lo que le permite al estudiante tener un acercamiento a la industria fortaleciendo los conocimientos adquiridos durante su carrera profesional.

Este proyecto es realizado con la ayuda de personas calificadas profesionalmente como ingenieros, arquitectos, abogados, diseñadores de plantas y estudiantes de últimos semestres los cuales tienen la oportunidad de realizar su trabajo de grado en el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible.

Teniendo en cuenta que esta planta piloto está orientada hacia la industria sostenible, buscando una economía circular, se pensó en procesos principales de la industria con el fin de brindar ideas innovadoras a las grandes compañías que necesitan optimizar y renovar sus procesos. Por esta razón esta planta piloto está dividida en diferentes zonas las cuales toman por nombre las abreviaturas de los procesos que se llevan a cabo en ese lugar.

- CEPURE (Centro de purificación y refinación)

Figura 5

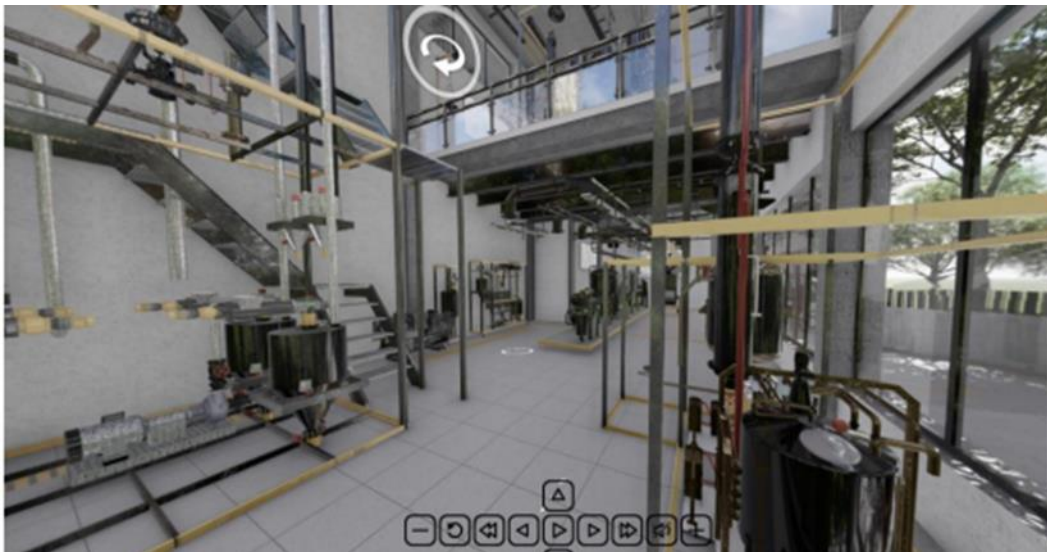
CEPURE (centro de purificación y refinación)



Nota. La figura 5. Representa una ilustración del CEPURE.

Figura 6

CEPURE (centro de purificación y refinación) 2



Nota. La figura 6. Representa una ilustración del CEPURE.

- CESI (Centro de servicios industriales)

Figura 7

CESI (centro de servicios industriales)



Nota. La figura 5. Representa una ilustración del CESI.

- CETA (Centro de transformación y adecuación)

Figura 8

CETA (centro de transformación y adecuación) vista lateral



Nota. La figura 5. Representa una ilustración del CETA.

Figura 9

CETA (centro de transformación y adecuación) vista frontal



Nota. La figura 5. Representa una ilustración del CETA.

- COCO (Centro de control)

Figura 10

COCO (centro de control)



Nota. La figura 5. Representa una ilustración del COCO.

- BIOCAL (Centro de reactores biológicos)

Figura 11

BIOCAL (centro de procesos biológicos)



Nota. La figura 5. Representa una ilustración del BIOCAL.

Cada una de estas zonas está compuesta por unidades a escala piloto que cumplen con la función del nombre del centro donde se encuentran ubicadas, de la siguiente manera:

- CEPURE (unidad de destilación, absorción de gases y extracción liquido-liquido, solido-liquido)
- CESI (torre de enfriamiento, caldera y pati)
- CETA (tren de evaporadores y banco de reactores)
- COCO (puesto de control y computadores)
- BIOCAL (reactores biológicos y laboratorio)

1.2 Integración entra las zonas del CEPIIS

Después de conocer las diferentes zonas que componen el CEPIIS en la Fundación Universidad de América, se puede encontrar una integración entre los diferentes procesos del CEPIIS.

Para empezar, se parte del centro de transformación y adecuación (CETA), el cual está compuesto por un tren de evaporadores y un banco de reactores, su principal objetivo es obtener un producto

a partir de materias primas sometidas a condiciones físicas y/o químicas que la transformen. Estas unidades requieren de un servicio industrial, principalmente el tren de evaporadores para su correcto funcionamiento necesita vapor de media el cual proviene del Centro de Servicios Industriales (CESI) que es la zona encargada de la producción y distribución de los servicios utilizados en toda la planta piloto CEPIIS, en este caso CESI sería el directo proveedor de vapor de media al tren de evaporadores, para que de esta forma este pueda realizar de manera correcta su funcionamiento.

Posteriormente el producto ya adecuado y transformado en CETA pasaría a la siguiente zona de proceso CEPURE, ya que es necesario realizar la correspondiente refinación y/o purificación del producto, por lo que CEPURE cuenta con equipos afines para cumplir este objetivo, como lo es la torre de destilación, la torre de absorción, extractor solido-líquido y liquido-liquido, secador de bandejas y filtro prensa. Para llevar a cabo el proceso de refinación y/o purificación, es necesario contar con vapor de media el cual es suministrado por CETA con el fin de llevar a cabo el correcto funcionamiento de la torre de destilación en ese orden de ideas se puede evidenciar la directa relación e integración de zonas en las etapas anteriormente expuestas.

Ahora, obteniendo un producto ya refinado y purificado a lo largo de su paso por la zona CETA y CEPURE con ayuda de los servicios industriales otorgados por CESI, es tiempo de encontrar la relación que tiene la zona de COCO con todas las etapas y zonas anteriormente mencionadas.

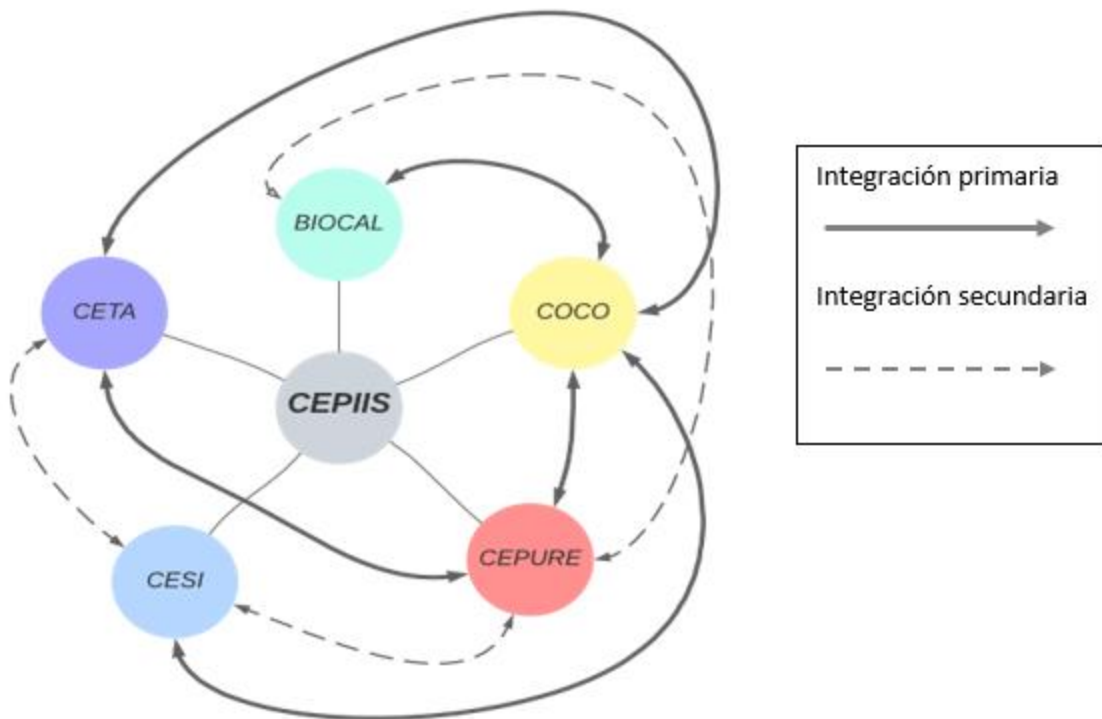
Por otro lado, BIOCAL tiene como objetivo el tratamiento, transformación e investigación biológica y microbiológica, allí se llevan a cabo procesos de investigación en equipos de laboratorio, bio reactores y bio fermentadores, para ello se utilizan gases especiales con el fin de brindar propiedades a los medios tratados en BIOCAL como nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, este último es compartido con la torre de absorción lo cual general una relación entre estos dos centros.

Teniendo en cuenta que COCO maneja todo lo que tiene que ver con control, sistemas y monitoreo de la planta CEPIIS, este centro contará con computadores de alta tecnología con el fin de recolectar toda la información que sea suministrada por las unidades de los diferentes centros y sus tableros de control, estos equipos también contarán con herramientas de simulación para poder tener un supuesto de resultados y condiciones óptimas antes de realizar una corrida, por este motivo el centro de control (COCO) está relacionado con todos los demás centros del CEPIIS.

Para concluir, se puede afirmar que todo el centro de procesos para la industria sostenible (CEPIIS) tiene una completa integración entre todos sus centros, ya sea una integración primaria como el caso de la zona CETA con la zona CETA y la zona CEPURE o una integración secundaria como bien ya puede ser la zona CEPURE y la zona BIOCAL con sus gases compartidos, por otro lado, es claro que COCO se integra directamente con todas las demás zonas del centro de procesos CEPIIS al llevar el control y monitorio de todos los equipos y demás, para de esta forma establecer la directa relación entre todas las zonas.

Figura 12

Integración zonas del CEPIIS



Nota. En la figura 12. Se muestra la integración de todas las zonas del CEPIIS con su respectivo cuadro para entender el uso de las líneas sólidas y las líneas punteadas.

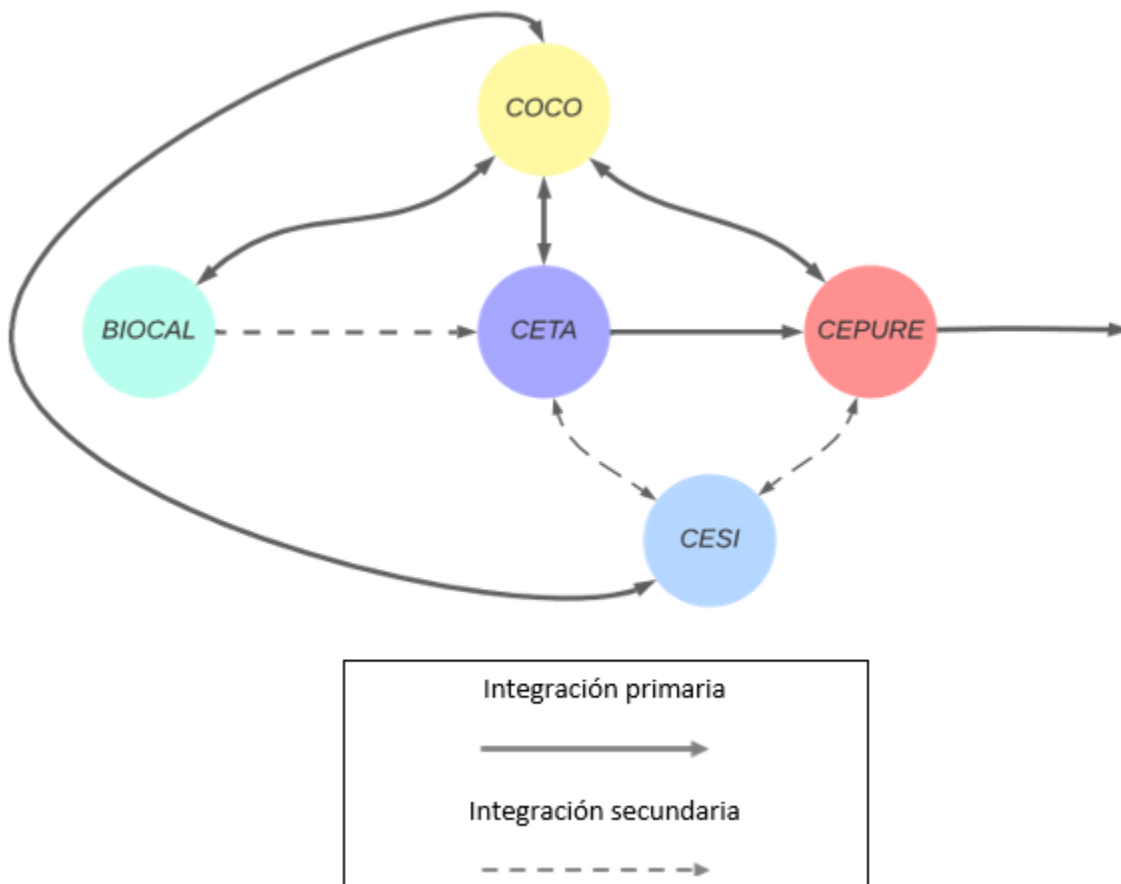
En la anterior figura se observa un esquema mental que muestra la integración de las zonas del CEPIIS, la línea gruesa y oscura refleja una relación directa y primaria, como suceden en CETA, CEPURE y CESI, ya que estas zonas dependen una de la otra para su correcto funcionamiento y de igual forma se complementan.

Por otro lado, se evidencia que las líneas punteadas en el esquema reflejan las interacciones secundarias entre zonas, estas pueden ser por un servicio o un proceso separado de la función principal de la cadena productiva, como sucede entre BIOCAL y CEPURE.

De la misma forma se puede ver la variedad de combinaciones que se pueden tener entre la integración de todas las zonas del CEPIIS, para poder realizar la mayor cantidad posible de tentativas practicas a realizar en la planta.

Figura 13

Integración zonas CEPIIS con dirección de proceso



Nota. En la figura 13. Se pueden evidenciar las posibles direcciones de proceso productivo que pueden existir dentro de las zonas del CEPIIS.

La figura 12, expone una proyección de la línea de proceso, iniciando con pruebas de laboratorio en BIOCAL, después de obtener los resultados deseados pasaría a una escala mayor en CETA donde se realiza la transformación y adecuación de la materia prima, por último, pasaría a CEPURE para obtener el producto refinado y/o purificado según sea el caso, durante todo este proceso CESI será el encargado de suministrar los servicios industriales necesarios para las demás unidades, mientras que COCO recolecta todos los datos que brinden las unidades.

1.3 Centro de purificación y refinación (CEPURE)

Como se mencionó anteriormente este proyecto será realizado en el Centro de Purificación y Refinación (CEPURE), con el objetivo de realizar un plan operativo funcional el cual vele por la seguridad y bienestar de las personas que se encuentren operando en las unidades, y sea un proceso rentable, para empezar, se debe entender en qué consisten estos procesos y cuál es su objetivo en la industria.

La purificación es un método por el cual cambian las cantidades relativas de una sustancia en una mezcla, adicionalmente se busca alterar la composición de la mezcla de forma en la que se puedan analizar dos o más compuestos de manera individual, también busca aislar sustancias presentes consideradas contaminantes de manera parcial o completamente. [2]

La refinación es un proceso de separación que está constituida por una línea de procesos que funcionan de manera continua, los cuales realizan purificación, separación y transformación de una mezcla a partir de hidrocarburos principalmente. El CEPURE está constituido por una unidad de absorción de gases y una unidad de destilación continua, las cuales serán explicadas en el transcurso de este trabajo de grado. [3]

Por otro lado, es importante mencionar que esta zona requiere de otros aspectos a tener en cuenta, tales como, la seguridad de los miembros que operan los equipos, el sistema hidráulico y los riesgos que existen en estas dos unidades, estos puntos ya fueron evaluados anteriormente por estudiantes de la Fundación Universidad de América, los cuales dejaron herramientas que facilitan y garantizan una operación segura y óptima de las unidades que componen el CEPURE.

2. MARCO TEÓRICO

Con el fin entender la visión y los objetivos de este proyecto es importante conocer los conceptos básicos que serán tratados durante la realización del mismo, los cuales serán explicados a continuación:

2.1 Operaciones seguras en la industria

La prevención es lo más importante en la seguridad de los procesos, por lo tanto, es importante plantear alternativas que garanticen una operación segura, dentro de esta lo más importante es la seguridad y salud de los miembros que se encuentren realizando las actividades, le siguen los procesos y por último la planta y/o los equipos.

- **Personas:** para garantizar la seguridad industrial se debe empezar por crear una cultura del personal para lo que es importante tener programas que refuercen la importancia del cuidado personal, brindando la información suficiente junto con los elementos de protección personal (EPP) necesarios. La manera más eficiente de crear conciencia sobre este tema y de la cual se tienen buenos resultados, es brindando capacitaciones frecuentes a los miembros de la compañía, teniendo en cuenta todos los cuidados que deben de tener según sea su lugar de trabajo.

Figura 14

Elementos de protección personal (EPP)








Nota. La figura 14. Representa los equipos de protección personal (EPP) que deben usarse en una industria. Tomado de: Safety Culture, «Puesta en marcha,» Octubre 2022. Available: <https://safetyculture.com/es/temas/puesta-en-marcha/>.

- **Procesos:** es importante asegurar el funcionamiento seguro de los equipos, por lo cual se debe tener la señalización necesaria que cree precaución en los usuarios a la hora de operar, también se debe asegurar que la persona este capacitada en el uso de las unidades en las cuales vaya a desempeñar su labor, por otro lado, se deben identificar cuáles son los procesos críticos en los que se debe tener algún tipo de seguridad especial.

Para identificar los cuidados que se deben tener en la planta se realiza una señalización la cual está organizada por colores y formas diferentes, de la siguiente manera:

Figura 15

Colores de seguridad

Forma geométrica	Significado	Color de seguridad	Color de contraste para el color de seguridad	Color del símbolo gráfico	Ejemplos de uso
 Círculo con barra diagonal	Prohibición	Rojo	Blanco ^a	Negro	- No fumar - No beber agua - No tocar
 Círculo	Acción obligatoria	Azul	Blanco ^a	Blanco ^a	- Use protección para los ojos - Use ropa de protección - Lave sus manos
 Triángulo equilátero con esquinas exteriores redondeadas	Advertencia	Amarillo	Negro	Negro	- Advertencia: Superficie caliente - Advertencia: Riesgo biológico - Advertencia: Electricidad
 Cuadrado	Condiciones de seguridad	Verde	Blanco ^a	Blanco ^a	- Primeros auxilios - Salida de emergencia - Punto de encuentro de evacuación
 Cuadrado	Equipo contra incendio	Rojo	Blanco ^a	Blanco ^a	- Pulsador de alarma de incendios - Colección de equipos de lucha contra incendios - Extintor de incendios
^a El color blanco incluye el color para el material fosforescente bajo condiciones de luz natural, con las propiedades definidas en ISO 3864-4					

Nota. La figura 15. Representa los colores de seguridad que son manejados en la señalización de las industrias. Tomado de: N.E, “La señalización como medida preventiva”. Universidad Nacional de la Plata. Disponible: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/56/33756/69d72728755b3bb3649306df56bb7053.pdf>.

- **Planta:** se deben diseñar barreras de seguridad con el fin de garantizar la integridad de las instalaciones, en las cuales se señalicen: las actividades de mayor precaución, salidas de emergencia, el lugar donde se debe encontrar cada cosa y/o equipo, nombre de cada zona o área, paso peatonal, entre otros.

Figura 16

Demarcación de zonas



Nota. La figura 16. Representa demarcación de las zonas en una planta industrial. Tomada de: N.E, “Señalización y demarcación efectiva con Construepóxicos”. Construepóxicos. Disponible: https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/normas_ieee_tec.pdf

2.2 Puesta en marcha de las unidades

El procedimiento de puesta en marcha de equipos industriales es de gran importancia, debido a que de este depende el buen funcionamiento de las unidades según su capacidad y requisitos. Este proceso es llevado a cabo por ingenieros que conocen a detalle el sistema y su línea de operación. [4]

Para empezar con la puesta en marcha los ingenieros deben dividir el sistema por secciones, según la ubicación, funcionalidad, límites por naturaleza de la construcción de esta forma será posible programar todo el proyecto según una secuencia lógica de actividades, ejecutar el montaje y las pruebas de las unidades por partes, entregar el proyecto de manera organizada y controlada sistema por sistema.

Los sistemas deberán ser identificados antes de empezar con la puesta en marcha con ayuda de diagramas P&ID, en los cuales se deben identificar, el nombre y número de la línea de proceso, equipo mecánico y eléctrico, puntos de conexión, instrumentación, localización en la planta, entre otros, según sea el caso. La puesta en marcha de una planta industrial se divide en dos partes, precomisionado y comisionado, las cuales serán explicadas a continuación. [4]

2.2.1 Precomisionado

Se entiende como precomisionado el conjunto de acciones previas a una construcción, en las cuales se hace revisión de las unidades sin operar y sus componentes a partir de herramientas como:

- Revisión de P&ID
- Revisión de la operación del proceso
- Revisión de alarmas
- Revisión de sistemas hidráulicos
- Revisión de las válvulas
- Revisión de tuberías
- Revisión de instrumentos de seguridad
- Revisión de la instalación de los equipos

2.2.2 Comisionado

Esta parte del proceso se entiende como el periodo de revisión de los equipos en operación, llevando a cabo simulaciones de los lazos de control y de los sistemas de seguridad, por otro lado, también incluye el rodaje de las bombas, turbinas y compresores con fluidos inertes o de prueba. [5]

Esta parte del proceso es realizada antes de alimentar los equipos con las materias primas y/o solventes que serán utilizados en la operación de las unidades. Este proceso es llevado a partir de varias etapas:

- Revisión de seguridad: es necesario comprobar que todas las unidades que componen el sistema se encuentren perfectamente instaladas, de igual forma identificar los paros de emergencia, y por último contar con todos los elementos de protección personal al momento de iniciar la operación.
- Revisión de las conexiones: verificar que todos los puntos de conexión, entradas y salidas de los fluidos cumplan con los requerimientos y parámetros sugeridos por el proveedor.
- Revisión de tendido eléctrico: garantizar que todas las conexiones eléctricas, interruptores y fusibles funcionen de manera correcta.
- Inicio de sistemas de servicios auxiliares: Todas las tuberías de los sistemas auxiliares deben ser probados antes del inicio de la operación con el fin de verificar que estén libres de fugas,

virutas, y restos de construcción. Es importante que la línea de vapor sea encendida lentamente para prevenir daños por dilatación térmica.

2.2.3 Pruebas en sitio

Esta parte de la puesta en marcha es la más importante ya que trata del inicio o primer encendido de los equipos y/o unidades para realizar una corrida u operación completa, para esta es necesario tener en cuenta las recomendaciones de los proveedores, las cuales indican las condiciones óptimas, pero dependiendo de lo que se requiera se deben calibrar los parámetros operativos y evaluar las características de los servicios. Esta actividad debe ser realizada por personal calificado, con experiencia en puesta en marcha de equipos industriales, especializado en el sistema que vaya a ser encendido. [5]

Es necesario que al realizar la puesta en marcha este disponible el manual de operación y de mantenimiento de cada equipo, sistema o unidad. Por otro lado, se debe asegurar que fueron realizadas por completo las actividades del comisionado y adicionalmente:

- Realizar purga total del oxígeno de las unidades
- Verificar que todos los servicios se encuentren en funcionamiento
- Probar sistemas de seguridad y secuencias de emergencia
- Disponer de todas las materias primas necesarias para la operación
- Abrir válvulas y quitar discos ciegos de los colectores de servicio
- Revisar funcionamiento de los intercambiadores de calor (si es el caso)
- Conectar válvulas de seguridad

Finalmente, las unidades o el sistema ya estarán listas para empezar a operar.

2.3 Validación y revisión estructural de unidades de operación

Esta etapa del proceso consiste en verificar el estado de los equipos, ya que de estos depende que se cumpla el objetivo deseado de la operación. Existen parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la validación, como:

- Revisión del estado estructural de los equipos por separado, verificar que no se encuentren golpes o fisuras comprometedoras.
- Revisión del estado de los accesorios, tales como, tuberías, válvulas, bombas, llaves, tableros de control, entre otros.

- Revisión del estado estructural del sistema integrado (controles de proceso y controles de calidad).
- Revisión del sistema de gestión de riesgos.

La validación y revisión estructural de las unidades debe ser realizada por personal calificado y especializado en esta función, ya que pueden existir no conformidades que no se pueden observar a simple vista.

Cabe resaltar que este proceso, debe ser realizado periódicamente, teniendo que cuenta que se deben de tener protocolos y guías de validación para que este sea realizado correctamente. En caso de hallar una “no conformidad” se debe realizar un plan de acción para subsanar el fallo.

2.4 Manual operativo

Un manual operativo o manual de operación funciona como una guía de referencia en la cual se recogen todas las actividades que deben ser realizadas durante un proceso en específico, su objetivo es mitigar errores estableciendo un paso a paso el cual asegura la eficacia del proceso homogeneizando y controlando la operación.

En este proyecto se tiene como objetivo específico realizar los manuales de operación de las unidades de destilación continua y absorción de gases del CEPIIS, de manera que se establezca un patrón de actividades las cuales deben ser leídas y entendidas por las personas que vayan a operar en los equipos, de esta manera se garantiza una operación eficaz y segura.

Por otro lado, se asegura que todos los miembros que ingresen y vayan a operar en las unidades tengan un acercamiento previo al paso a paso de la operación. Este documento debe contemplar todos los sucesos que puedan ocurrir desde el inicio hasta el final de la operación, para asegurar una repuesta rápida y segura de los operarios.

Previo a este proyecto fue realizado un prototipo de plan operativo para el Centro de purificación y refinación (CEPURE) del CEPIIS y de las unidades que lo componen (columna de destilación continua, columna de absorción de gases), el cual consiste en un realizar check list de las actividades que se deben realizar antes durante y después de la operación para de esta forma asegurar que se estén cumpliendo todos los aspectos a tener en cuenta. También es propuesto un formato para la validación del estado de los equipos el cual debe ser registrado antes de empezar

cada operación, de esta forma se tiene un control en caso de que ocurra cualquier tipo de falla en los equipos.

2.5 Procesos de separación

Todos los días se presentan nuevos retos en la industria, uno de ellos es encontrar métodos eficientes para separar mezclas en las cuales los compuestos se pueden reutilizar en el proceso, de esta forma contribuir al medio ambiente y disminuir gastos generando una mayor rentabilidad. Existe gran variedad de procesos para separar componentes, pero se dividen en dos grupos: separación mecánica, separación por difusión.

En los métodos de separación mecánica, se encuentran procesos como: tamizado, filtrado, sedimentación, entre otros, este método es aplicado en mezcla heterogéneas líquido-líquido, sólido-gas, sólido-sólido y sólido-líquido, debido a que esta técnica es basada en diferencias físicas entre las partículas como densidad, forma, tamaño. [4]

Por otro lado, los métodos de separación por difusión consisten en la transferencia de un componente desde una fase homogénea a otra, para lo cual utilizan diferencias de presión de vapor o solubilidad. Este tipo de operaciones requiere una fuerza impulsora como transferencia de calor y/o masa. [4]. Dentro de estos métodos se encuentran procesos como: destilación, absorción de gases, deshumidificación, extracción líquido-líquido, lixiviación, cristalización, entre otros.

Este proyecto estará enfocado en dos procesos principales de separación por difusión: destilación y absorción de gases, debido a que éstos son las unidades que se encuentran presentes en el Centro de Refinación y Purificación (CEPURE).

2.6 Absorción de gases

La absorción de gases es una de las operaciones unitarias más utilizadas en la industria para la separación de mezclas multicomponentes. El principio de operación está fundamentado en la diferencia de distribución entre las fases líquida y gaseosa de uno o más compuestos de una mezcla cuando son sometidos a unas condiciones de temperatura y presiones determinadas. [5]

Cuando un sistema constituido por dos fases, en este caso, gas-líquido se lleva a un estado de equilibrio bajo condiciones especificadas de presión y temperatura las moles totales que conforman el sistema se distribuyen entre las dos fases de una forma específica, este

comportamiento se define por medio de los parámetros fisicoquímicos de las sustancias que conforman la mezcla. [5]

Para la elección del solvente se estudia que uno de los componentes de la mezcla sea prácticamente insoluble en este líquido, esto con el fin de obtener una gran eficiencia en el proceso de separación de los componentes. Otra de las propiedades del solvente a estudiar es que este no sea volátil, con el objetivo de que no se contamine la fase gaseosa para obtener el componente volátil lo más puro posible y además de no tener gran cantidad de pérdidas. El proceso se trabaja a bajas temperaturas y con presiones superiores a la presión atmosférica ya que los gases tienden a aumentar su solubilidad en líquidos cuando se ve un aumento en la presión. [5]

Las operaciones de absorción suelen ser llevadas a cabo en columnas de relleno y/o columnas de platos, estas se deben elegir teniendo en cuenta factores como:

- Diámetro de absorbedor.
- Numero de etapas en equilibrio.
- Disolvente.
- Presión y temperatura de la operación.
- Velocidad, composición, presión y temperatura del gas que entra a la columna.

Figura 17

Columna empacada



Nota. La figura 17. Representa el interior de una columna empacada. Tomada de: GEA, “columnas de absorción”. GEA. Disponible: <https://www.gea.com/es/products/emission-control/gas-scrubbers/packed-column-scrubber-absorption.jsp>.

Para llevar a cabo un proceso de absorción con resultados exitoso se debe saber que está directamente relacionada con la elección del disolvente que se adicione. Las características que debe presentar la especie absorbente son:

- Solubilidad del gas. La solubilidad del gas debe ser elevada, a fin de aumentar la rapidez de la absorción y disminuir la cantidad requerida de disolvente.
- Volatilidad. El disolvente debe tener una presión baja de vapor, puesto que el gas saliente en una operación de absorción generalmente está saturado con el disolvente y, en consecuencia, puede perderse una gran cantidad.
- Corrosión. Los materiales de construcción que se necesitan para el equipo no deben ser raros o costosos.

- Costo. El disolvente debe ser barato, de forma que las pérdidas no sean costosas, y debe ser fácilmente recuperable.
- Viscosidad. Se prefiere la viscosidad baja para tener una mejor fluidez, mejores características en la inundación de las torres, bajas caídas de presión en el bombeo y buenas características de transferencia de calor.
- Otras características. Si es posible, el disolvente no debe ser tóxico, ni inflamable, debe ser estable químicamente y tener un punto bajo de congelamiento.

2.7 Destilación

La destilación es una de las operaciones unitarias más utilizadas en la industria para la separación de mezclas multicomponentes. El principio de operación está fundamentado en la diferencia de volatilidades entre dos o más compuestos. Cuando una mezcla se calienta hasta su punto de burbuja (T_b) genera dos fases en equilibrio (vapor-líquido), las cuales tienen una composición diferente a la del líquido original. Tras la remoción del vapor generado y su posterior condensación se obtiene una mezcla rica en el compuesto más volátil. [7]

Cuando este procedimiento se realiza en una serie de etapas sucesivas de evaporación y condensación, es posible obtener al compuesto más volátil como una fracción de alta pureza en el destilado. De igual forma, la mezcla líquida inicial que se somete a evaporación, se enriquece continuamente en el compuesto más pesado obteniéndose un residuo con alto contenido de componentes pesados. Este proceso se puede realizar en un equipo de contacto continuo denominado columna de destilación. [7]

Una columna de destilación se puede dividir conceptualmente en dos zonas separadas por el punto de alimentación: abajo la zona de despojamiento y arriba la zona de enriquecimiento. En la primera, el vapor generado en el rehornador asciende arrastrando consigo los componentes más livianos que entran a la columna con el alimento. Por su parte, en la zona de enriquecimiento, el vapor se pone en contacto con líquido proveniente del reflujo, y este arrastra hacia el fondo los componentes pesados que contaminan la fase vapor. [7]

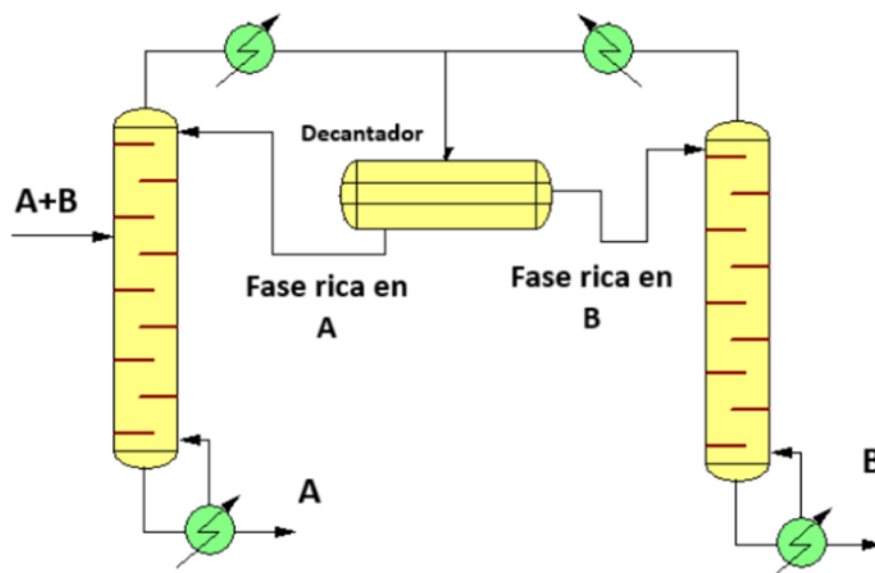
Si bien la destilación permite separar mezclas de compuestos que exhiben diferencia de volatilidades, en algunos casos la separación se dificulta por la existencia de azeótropos. Los azeótropos son mezclas que ebulen a una temperatura constante debido a que el vapor y el líquido que se encuentran en equilibrio tienen la misma composición. Ante esta dificultad, han surgido

diferentes alternativas para la separación de este tipo de mezclas, como lo son la destilación azeotrópica, la destilación extractiva y la destilación por cambio de presión, entre otras. [7]

En la destilación azeotrópica se introduce un agente de separación (solvente) a la solución azeotrópica. Este agente suele formar una mezcla azeotrópica con solo uno de los componentes presentes en la mezcla original. Así, por medio de la destilación, se puede separar el nuevo azeótropo que tiene una volatilidad diferente a la del componente que no forma azeótropo con el solvente. Típicamente el nuevo azeótropo tiene una volatilidad más alta y es recuperado por la cima de la columna. Usualmente se busca emplear solventes que generen azeótropos heterogéneos con el fin de facilitar la recuperación del agente de arrastre, la cual se logra mediante un proceso de decantación. [7]

Figura 18

Esquema de destilación azeotrópica



Nota. La figura 18. Hace referencia al esquema simple de una destilación azeotrópica brindada por el proveedor. Tomado de: Process Solutions and Equipement , «Manual de operación. Planta de destilación Continua,» 2018. [En línea]. Disponible: [MANUAL DE OPERACIÓN PLANTA DE DESTILACION PS+E V2.pdf](#).

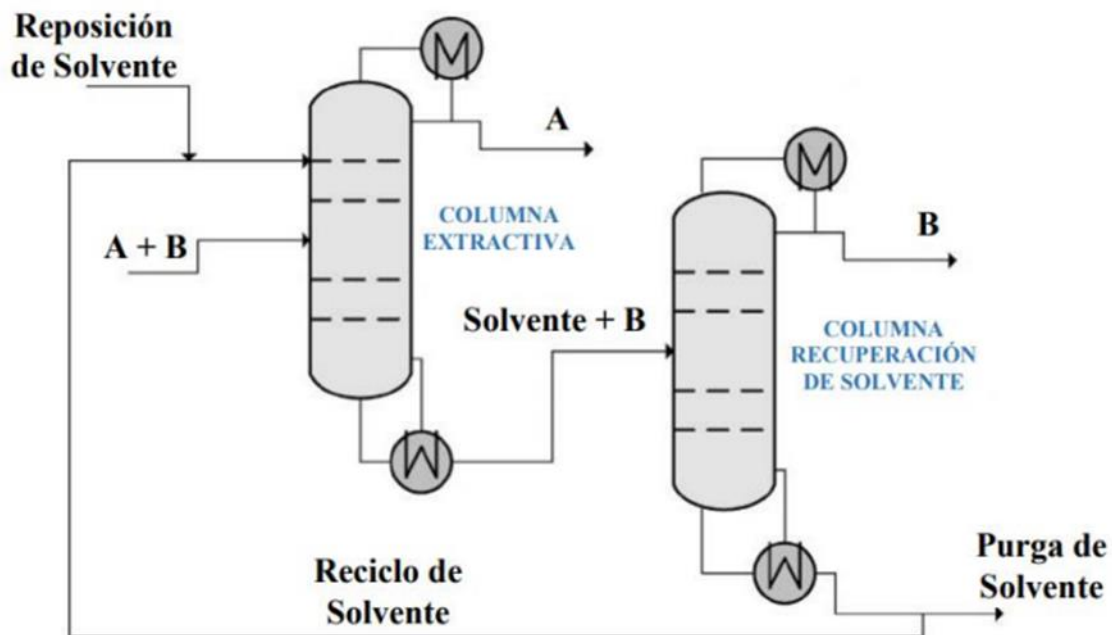
Otro de los métodos empleados para la separación de azeótropos es la destilación extractiva. En esta operación, se adiciona un solvente a la mezcla azeotrópica, el cual es más afín con uno de los componentes de mezcla. Debido a la mayor afinidad, el solvente modifica la volatilidad relativa

de uno de los componentes, y lo extrae preferencialmente a la fase líquida. Usualmente se emplean solventes con estructuras químicas similares al componente pesado de la mezcla a separar. Así, los puentes de hidrogeno, las fuerzas de Van der Waals, y las fuerzas dipolares permiten la interacción preferencial del solvente con uno de los componentes de la mezcla. Estas interacciones permiten incrementar la volatilidad relativa entre los componentes originales de la mezcla azeotrópica. [7]

A diferencia de la destilación azeotrópica, en la destilación extractiva el solvente no introduce nuevos azeótropos al sistema. El solvente empleado suele tener baja volatilidad y es recuperado por el fondo de la columna de destilación extractiva junto con uno de los componentes de la mezcla azeotrópica inicial. Posteriormente el solvente es recuperado en una columna de destilación adicional, y se recircula a la columna extractiva. [7]

Figura 19

Esquema de destilación extractiva



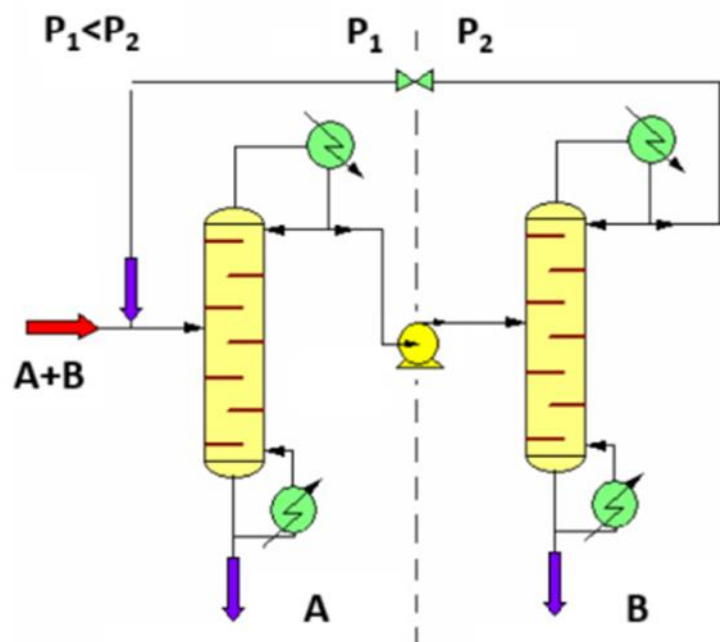
Nota. La figura 19. Hace referencia al esquema simple de una destilación extractiva. Tomado de: Process Solutions and Equipment , «Manual de operación. Planta de destilación Continua,» 2018. [En línea]. Disponible: [MANUAL DE OPERACIÓN PLANTA DE DESTILACION PS+E V2.pdf](#).

Una alternativa adicional para la separación de mezclas azeotrópicas es la destilación por cambio de presión. Este tipo de configuraciones se puede usar para separar mezclas que presentan un

azeótropo que es sensible a la presión, generando productos diferentes dependiendo de la región de destilación. En una primera columna se obtiene un componente de la mezcla inicial y una corriente azeotrópica. Posteriormente, el azeótropo de la primera columna se lleva a una siguiente columna que opera a una presión diferente. En esta última se obtiene el otro componente de la mezcla inicial, y un nuevo azeótropo que se puede recircular a la primera columna. [7]

Figura 20

Esquema de destilación por cambio de presión



Nota. La figura 20. Hace referencia al esquema simple de una destilación por cambio de presión. Tomado de: Process Solutions and Equipement, «Manual de operación. Planta de destilacion Continua,» 2018. [En línea]. Disponible: [MANUAL DE OPERACIÓN PLANTA DE DESTILACION PS+E V2.pdf](#).

2.8 Límites operativos de las unidades de destilación y absorción por material de fabricación

Los límites operativos son criterios estipulados mediante una serie de características propias del proceso o del equipo con el fin de preservar la seguridad. Los procesos cuentan con un gran número de variables peligrosas, estas deben ser vigiladas constantemente para evitar riesgos a nivel industrial.

El material de fabricación de las unidades es una característica importante para tener en cuenta debido a que de este depende el tipo de sustancias a emplear en la operación habitual del equipo de manera que se logre garantizar la vida útil de las unidades y la seguridad del proceso. Es fundamental realizar la selección de las sustancias químicas que presenten compatibilidad con el material debido a que se pueden presentar niveles de corrosión que afecten la funcionalidad de las unidades de proceso.

La unidad de absorción y destilación está fabricada en acero inoxidable 304 y cuenta con teflón (PTFE) en secciones específicas. El acero inoxidable es un conjunto de aleaciones especiales conocido por su excelente resistencia a la corrosión y es el empleado en la fabricación de las unidades objeto de estudio de la presente investigación, se encuentra clasificado como acero austenítico.

Adicionalmente existen variaciones o modificaciones de uno o varios elementos de aleación de manera que se obtienen diferentes grados dentro del mismo grupo o clasificación para mejorar las propiedades y/o las aplicaciones. La base del acero inoxidable es una combinación del níquel, cromo y manganeso, los cuales se pueden corregir con cobre y nitrógeno [8].

El acero inoxidable 304, cuenta con bajos niveles de carbono por lo que tiene gran resistencia a la corrosión, por otro lado, tiene buena respuesta a procesos como soldadura, corte laser, curvado, entre otros procesos mecánicos lo que lo hace un material fácil de usar y con una durabilidad alta. [8].

El politetrafluoroetileno, más conocido como teflón es un polímero de la familia de los fluoro polímero, este material posee características exclusivas las cuales lo hacen resaltar. Cuenta con altos índices de estabilidad térmica y resistencia química que no es usual ver en polímeros [9].

Una gran ventaja de este material es que es inerte y resistente a los químicos, es decir, que no reacciona con otras sustancias químicas. Esta característica se debe a la protección que proporcionan los átomos de flúor sobre la cadena carbonada del polímero, gracias a su baja reactividad se tiene una toxicidad prácticamente nula lo que lo hace un material con un campo amplio de aplicación.

Por otro lado, posee resistencia eléctrica con superficie antiadherente gracias a su bajo coeficiente de fricción, tiene una tensión superficial extremadamente baja, lo que indica que prácticamente no

hay ningún material que se adhiera al PTFE y es muy difícil de soldar. Sin embargo, cuenta con baja resistencia mecánica y un gran peso comparado con otros plásticos lo que dificulta su implementación en distintas aplicaciones [9].

Las resinas hechas en Teflón (PTFE) proporcionan una corteza efectiva para proteger recipientes y columnas de acero y plástico reforzado, las cuales son utilizadas en reacciones, destilaciones, absorciones y otros procesos químicos. Estos revestimientos prolongan la vida útil del equipo, reducen el mantenimiento del mismo y protegen la pureza del producto a obtener [9].

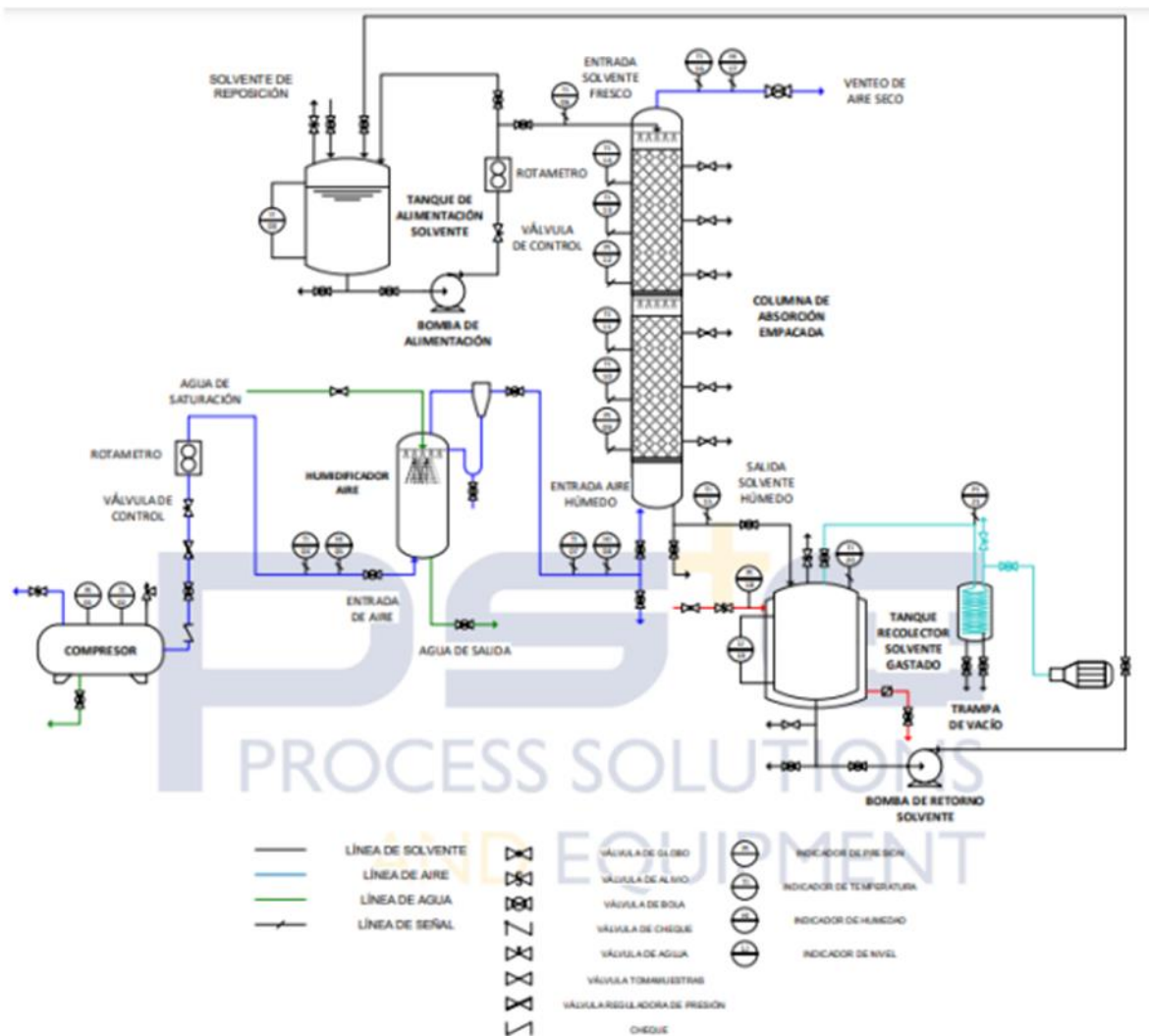
3. DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DEL CEPURE

3.1 Absorción de gases

La unidad está compuesta por el sistema de generación de aire, el de humidificación, la columna de absorción, los tanques de acumulación del solvente, y el tablero de control (ver esquema). El equipo es robusto, durable, construido en acero inoxidable 304 con acabado brillante [5].

Figura 21

Diagrama de proceso de una planta de absorción de gases



Nota. La figura 21. Muestra el diagrama PI&D de la unidad de absorción brindado por el proveedor. Tomado de: Process Solutions and Equipement, «Planta de absorcion de gases (Control manual),» 2021. [En línea]. Disponible: [MANUAL DE OPERACIÓN PLANTA DE ABSORCION.pdf](#)

3.1.1 Componentes de la unidad de absorción de gases

3.1.1.a Sistema de generación de aire. Compresor de aire a una presión mínima de 2 bar, y un flujo de 20 L/min. El compresor cuenta con purga periódica del tanque acumulador, filtro de aire para remover partículas sólidas y aceites lubricantes, y línea de desagüe para remover las purgas de agua. Cuenta con manómetro y regulador de flujo a la entrada de la línea de aire [5].

3.1.1.b Sistema de humidificación. La columna humidificadora está construida en acero inoxidable. Cuenta con cabezales flanchados con acoples rápidos, y un sistema de atomización de agua para garantizar saturación completa. Cuenta con conexiones de entrada y salida de gas y líquido en tubería de ¼” de acero inoxidable y válvulas de bola. A la salida de gas de la columna humidificadora se encuentra un ciclón para evitar gotas de arrastre y/o entradas de gotas de agua a la columna de absorción [5].

3.1.1.c Columna de absorción. La columna está construida con dos secciones principales y cuenta con cabezal superior e inferior. La altura total del sistema es de 2 m, y las secciones están acopladas con unión tipo “clamp” para montaje y desmontaje rápido. Cada sección se encuentra llena de empaque al azar, de material inerte con dimensión característica de ¼”. La columna cuenta con 6 toma muestras para la fase líquida y visor de vidrio en el cuerpo principal. Igualmente tiene 4 sensores tipo J para determinar el perfil de temperaturas, y dos sensores de presión para medir la caída de presión en operación. Dichos sensores están conectados por cables al tablero de control [5].

Entre las 2 secciones principales se encuentran el soporte del empaque, así como el redistribuidor de líquido para evitar su canalización en las paredes. La sección inferior de la columna cuenta con una entrada para vapor de 1” y una salida por la parte inferior en tubería de ¼” con válvulas en acero inoxidable para descarga y purga de la columna. La sección superior de la columna tiene una salida en tubería de 1” para venteo del aire seco. Igualmente incluye un acople de ¼” para la entrada del solvente, con válvula de acero inoxidable [5].

3.1.1.d Medidores y controladores. El sistema permite regulación manual de los flujos de gas y de solvente, por medio del uso de válvulas de aguja o globo, y rotámetros previamente calibrados. Las temperaturas en diferentes puntos del proceso se miden con termocuplas tipo J. Los sensores de presión son de alta precisión y operan de 0 a 4 bar. Se cuenta con sensores de humedad relativa en la línea de alimentación y descarga del aire. La información de los sensores se lleva a “displays” localizados en el tablero de control. El seguimiento de la operación se puede realizar a las dos corrientes del proceso. Inicialmente se puede hacer medición del cambio de la humedad del gas entre la entrada y la salida del equipo. Igualmente se puede hacer seguimiento por análisis de las muestras tomadas a lo largo de la columna y su concentración se establece por análisis rápido usando refractómetro (previa calibración) [5].

3.1.1.e Sistema de almacenamiento de solvente fresco. Tanque cilíndrico de acero inoxidable, con capacidad de almacenar 50 L de solvente. El tanque cuenta con conexión a bomba centrífuga para recirculación y alimentación a la columna de absorción. El tanque de solvente fresco tiene tapa removible para llenado, válvula de retorno tipo bola de ½” en inoxidable, purga inferior en línea de ½” con válvula de bola en inoxidable, y línea de descarga en el mismo tipo de válvula hacia el sistema de bombeo para alimentar la columna. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable [5].

3.1.1.f Sistema de almacenamiento de solvente usado. Tanque cilíndrico en acero inoxidable de 50 L con chaqueta de calentamiento para almacenamiento de solvente gastado y regeneración del solvente. El tanque de acumulación de solvente gastado cuenta con un arreglo de válvulas de nivel visible externo en ½”, purga inferior en línea de ½” con válvula de bola en inoxidable, y una tapa flanchada removible con empaque y tornillos en acero inoxidable. Sobre la tapa están montados: una válvula de bola de ¼” en acero inoxidable para alivio atmosférico, una línea de entrada con válvula de bola de ½”, un acople a línea de vacío con válvula de bola de acero inoxidable de ½” y una conexión para termocupla. El tanque se encuentra aislado en fibra de vidrio. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable [5].

3.1.1.g Sistema de vacío. Bomba de diafragma con capacidad para remover 13 L/min y una presión mínima de 0.1 bar con ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable. Aguas arriba de la bomba de vacío se encuentra una trampa de vacío para remoción de gases condensables y protección de la bomba de vacío. La trampa de vacío es un tanque cilíndrico en acero inoxidable con serpentín interno de ½”. El tanque se carga con hielo y agua, que actúa como medio de enfriamiento para los gases condensables. La espiral y el tanque cuentan con purga inferior en línea de ½” con válvula de bola. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable [5].

3.1.1.h Tablero de control. Unidad de manejo remoto de los indicadores de temperatura, las bombas de solvente y agua, los indicadores de presión y los higrómetros. Cuenta con indicadores de temperaturas, un selector de termopares, 4 botones (energización del sistema, encendido de sistema de termopares, encendido bomba de solvente fresco, encendido bomba de recirculación de solvente gastado), 4 bombillos testigo (encendido de las 2 bombas, corriente de la caja eléctrica, corriente de sensores) y una parada de emergencia. [5]

3.1.1.i Estructura. Estructura modular construida en acero montada sobre ruedas para su fácil desplazamiento. [5]

3.2 Destilación continua

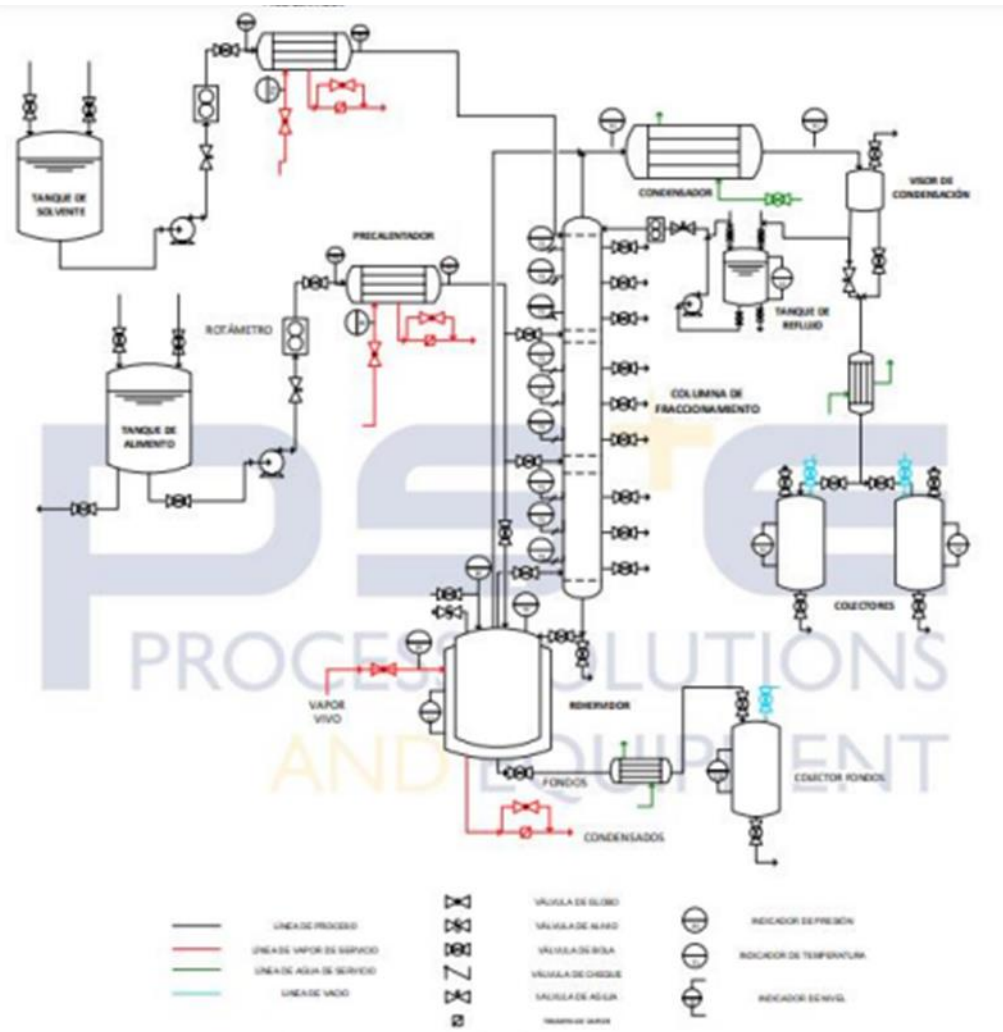
La unidad de destilación continua que hace parte del CEPIIS está construida en viton, cuenta con una escalera lateral que permite el acceso fácil a las diferentes partes que componen la unidad. Incluye soportes, tanques, estructura y condensador, la unidad de destilación alcanza los 6 metros de altura.

Esta unidad puede ser utilizada para procesos de destilación tradicional, extractiva y azeotrópica, también es usada para destilación simple, tipo batch y continua, en mezclas ideales y no ideales.

3.2.1 Componentes de la unidad de destilación

Figura 22

Diagrama de proceso de una planta de destilación



Nota. la figura 21. Muestra el diagrama PI&D de la unidad de absorción brindado por el proveedor. Tomado de: Process Solutions and Equipment, «Manual de operación. Planta de destilación Continua,» 2018. [En línea]. Disponible: [MANUAL DE OPERACIÓN PLANTA DE DESTILACION PS+E V2.pdf](#).

La unidad está compuesta por: el sistema de alimentación, la columna de destilación, el sistema de condensación y reflujo, los tanques de acumulación de destilado, medidores, y el tablero de control. El equipo es robusto, durable, construido en acero inoxidable 304 con acabado brillante. Puede ser utilizado para destilación de una gran diversidad de mezclas ideales y no-ideales, en aplicación de destilación tradicional, extractiva, y azeotrópica. Igualmente se puede operar en

forma de destilación simple, destilación batch con rectificación, destilación semi batch, y destilación continúa [7].

3.2.1.a Sistema de alimentación. Consta de dos tanques cilíndricos de acero inoxidable, con capacidad para almacenar 50 L, con su respectiva bomba dosificadora de carga. Uno de los tanques corresponde a la mezcla problema y el otro se utiliza para el solvente. El tanque cuenta con un arreglo de válvulas de nivel visible externo, purga inferior con válvula, y una tapa flanchada removible con empaque y tornillos en acero inoxidable. El tanque cuenta con válvula para alivio atmosférico, una línea de entrada, un acople a línea de vacío, una conexión para termocupla, y una entrada para llenado. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable. El flujo de alimentación se conduce por bomba a través de un intercambiador de calor de tubos y coraza construido en acero inoxidable 304. El intercambiador cuenta con sensores de temperatura a la entrada y salida del flujo de proceso [7].

3.2.1.b Columna de destilación y rehervidor. La columna está construida con 3 secciones principales de 1 m de altura y 4 in de diámetro, con posibilidad de alimentación en cada una, y dos cabezales (uno superior y otro inferior). La altura total del sistema, incluyendo soportes, tanques, estructura y condensador es de 6 m aproximadamente. Las secciones están acopladas con flanche, empaques y tornillos y cuentan con aislamiento térmico [7].

Cada sección está llena de empaque al azar de alta eficiencia en acero inoxidable. Igualmente, cada sección cuenta con 3 tomas muestras para la fase líquida, 3 sensores de temperatura, y un visor de vidrio. La columna cuenta con un sensor de presión en los fondos. Dichos sensores están conectados por cables al tablero de control. La sección inferior de la columna cuenta con una entrada de vapor, y una salida por la parte inferior con válvula para descarga y purga de la columna [7].

La sección superior de la columna cuenta con una salida de vapor, y una entrada de retorno de reflujo con válvula de acero inoxidable. El rehervidor es un contenedor de acero inoxidable con área de intercambio de calor sumergida y aislamiento térmico. El rehervidor cuenta con un arreglo de válvulas de nivel visible externo, purga inferior con válvula, acoples con válvula para para alivio atmosférico, dos conexiones de entrada para retorno de la columna y alimentación, acoples para termocupla, sensor de presión, y una conexión para operación en destilación simple. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable [7].

El producto de fondos se envía a través de un enfriador y se almacena en un tanque colector. Este tanque cuenta con conexión para alivio atmosférico, una línea de entrada con válvula, un acople a línea de vacío con válvula, y una conexión para termocupla. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable [7].

3.2.1.c Sistema de condensación y reflujo. Consta de un intercambiador de coraza y tubos que hace las veces de condensador, un visor de condensación, un tanque de acumulación de reflujo con su respectiva bomba, y dos tanques cilíndricos simétricos a modo de colectores. El visor de condensación es un tanque con un arreglo de válvulas para entrada de condensado, conexión atmosférica, salida a tanque de reflujo, salida para destilados, y posibilidad de hacer separación de fases líquidas. El tanque de reflujo cuenta con conexiones de entrada, de alivio y de descarga con válvula. El tanque este acoplado a una bomba para enviar el reflujo al tope de la columna [7].

El destilado se envía a un enfriador y se almacena en dos tanques colectores de igual capacidad. Cada tanque cuenta con conexión para alivio atmosférico, una línea de entrada con válvula, un acople a línea de vacío con válvula, y una conexión para termocupla. Ménsulas de soporte a la estructura en acero inoxidable [7].

3.2.1.d Medidores y controladores. El sistema cuenta con regulación manual de los flujos de alimentación, de reflujo y de vapor (en el caso de contar con vapor de caldera) por medio del uso de válvulas de aguja o globo, y rotámetros para líquidos previamente calibrados. Las temperaturas en diferentes puntos del proceso se miden con termocuplas tipo J o K. Los sensores de presión son transductores de alta precisión [7].

La información de los sensores se lleva a un PLC localizado en el tablero de control y la información se presenta en pantalla. El sistema puede contar con calentamiento eléctrico o por vapor de servicio.

3.2.1.e Tablero de control. Unidad de manejo remoto de los indicadores de temperatura, las bombas, los indicadores de presión, y los controladores de potencia (en caso de calentamiento eléctrico). Cuenta con un PLC y pantalla táctil donde se maneja el sistema, y se visualizan las variables de proceso. Se cuenta con botones para energización del sistema y una parada de emergencia [7].

3.2.1.f Estructura. Estructura modular construida en acero inoxidable, con escalera lateral para acceso a los diferentes puntos del equipo.

4. PARAMETROS OPERACIONALES Y DE SEGURIDAD DE LAS UNIDADES DE PROCESO

4.1 Parámetros de seguridad

Es importante tener en cuenta que, para darle un uso adecuado y seguro a las unidades, se deben seguir una serie de parámetros los cuales optimizan el proceso alargando la vida útil de las unidades velando por el bienestar del personal que vaya a tener contacto con los equipos del CEPURE.

Para saber cuáles son los parámetros de seguridad que se deben seguir en el Centro de Purificación y Refinación se deben conocer los riesgos laborales que están presentes en una planta para de esta forma aplicar medidas de intervención.

Figura 23

Tipos de riesgos

RIESGO	¿QUÉ ES?
Físico	Son todos aquellos factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos que actúan sobre el trabajador y que puede producir efectos nocivos, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición. [10]
Químico	Es aquel susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos. Entenderemos por agente químico cualquier sustancia que pueda afectarnos directa o indirectamente (aunque no estemos efectuando nosotros mismos las tareas). Una sustancia química puede afectarnos a través de tres (3) vías: inhalatoria (respiración – esta es, con muchísima diferencia, la principal), ingestión (por la boca), dérmica (a través de la piel). [11]
Biológico	Es la posible exposición a microorganismos durante la actividad laboral, que puede causar daños al trabajador. Su transmisión puede ser por vía respiratoria, digestiva, sanguínea, piel o mucosas. [12]
Mecánico	Conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos. [13]

Locativo	Son las condiciones de la zona geográfica, las instalaciones o áreas de trabajo, no adecuadas para realizar las labores diarias por lo que pueden ocasionar accidentes de trabajo. También hace referencia a las diferentes condiciones de orden como la señalización de vías de evacuación y ubicación de extintores, dotación, estado de vías de tránsito, techos, puertas, paredes. [14]
Eléctrico	Es aquel que, por instalaciones eléctricas, partes de estas, y cualquier dispositivo eléctrico bajo tensión, al contacto con el cuerpo humano produce daño suficiente para ocasionar electrocución y quemaduras. [15]
Biomecánico	Se refiere a todos aquellos elementos externos que actúan sobre una persona que realiza una actividad específica. El objeto de estudio de la biomecánica tiene que ver con cómo es afectado un trabajador por las fuerzas, posturas y movimientos intrínsecos de las actividades laborales que realiza. [16]
Ambientales	Se refiere a todo riesgo derivado de la naturaleza, como terremotos, erupciones, tormentas, inundaciones, entre otros fenómenos naturales. [17]
Ergonómico	Se deriva de posiciones y posturas que a los movimientos repetitivos tienen una repercusión en la salud [18]

Nota. En la figura 23. Se pueden observar los riesgos laborales a los que se encuentran expuestas las personas en su lugar de trabajo.

Para esta primera parte se realizó una revisión bibliográfica en la cual se encontró una planta piloto de ingeniería bioquímica en la Institución Universitaria Antonio José Camacho ubicada en el sur de Cali en la cual se realizó una guía de seguridad y salud en el trabajo basada en los riesgos ocupacionales a partir de un estudio realizado por medio de la metodología de la Guía Técnica Colombiana GTC 45 de 2012, para la identificación y valoración de peligros a los que se encuentran expuestos la población que incide en la planta. [19]

Dentro del estudio realizado se encontraron los siguientes riesgos:

- Riesgo biológico (bacterias, hongos, virus)
- Riesgo biomecánico (manipulación manual de cargas, movimientos repetitivos)
- Riesgo físico (ruido continuo, temperaturas extremas por frío y por calor, iluminación)

- Riesgo psicosocial (carga mental)
- Riesgo químico (gases y vapores)
- Riesgo eléctrico (incendio o explosión por sobrecarga eléctrica)
- Riesgo locativo (caídas, superficies calientes)
- Riesgo mecánico (atrapamientos, golpes, materiales proyectados)
- Riesgo tecnológico (explosión, fugas, incendios)

Para los cuales se presentaron diferentes medidas de intervención como:

- Controles administrativos (capacitaciones, socialización, protocolos y manuales, verificación de resultados, señalización)
- Controles de ingeniería (instalaciones seguras y adecuadas, mantenimiento, monitoreo de la calidad del aire, aislar fuentes de ruido)
- Dotación (EPP)

Por otro lado, realizando una revisión a los manuales operativos compartidos por el proveedor de las unidades que componen el CEPURE Process Solutions And Equipment (PSE) se encontraron los siguientes riesgos:

Figura 24

Riesgos planta de absorción y planta de destilación expuestos por proveedor PSE

PLANTA DE ABSORCIÓN DE GASES y PLANTA DE DESTILACIÓN CONTINUA	Riesgo eléctrico
	Riesgo de incendio
	Peligro de explosión
	Superficies calientes
	Riesgo de caída de objetos

Nota. La figura muestra los riesgos industriales del CEPURE brindados por el proveedor.

De manera que haciendo una comparación entre las dos bibliografías se logra observar que en el manual brindado por el proveedor de las unidades PSE hace falta la mención de varios riesgos que se encuentran presentes en el Centro de Purificación y Refinación del CEPIIS, por lo tanto, estos serán expuestos en la Figura 25.

Figura 25*Riesgos identificados en el Centro de Purificación y Refinación (CEPURE)*

UNIDAD	RIESGO	DESCRIPCIÓN	MEDIDA DE INTERVENCIÓN
ABSORCIÓN Y DESTILACIÓN	Físico	Exposición prolongada a ruido	Contar con elementos para a protección auditiva como: tapa oídos de copa o inserción
		Exposición a altos niveles de temperatura	Usar elementos de protección personal como: guantes de carnaza, overol, y botas se seguridad
ABSORCIÓN Y DESTILACIÓN	Químico	Exposición a gases y vapores	Validar que los sistemas de ventilación funcionen con normalidad, hacer uso de protección respiratoria y protección corporal.
ABSORCIÓN Y DESTILACIÓN	Locativo	Superficies calientes	Realizar señalización de las superficies propensas a estar calientes, hacer capacitación y socialización al personal
		Caídas	Realizar señalización de paso seguro para transitar
ABSORCIÓN Y DESTILACIÓN	Mecánico	Golpes	Realizar capacitación sobre la manera correcta y cuidado con el que se deben de realizar las actividades. Completo uso de los EPP
		Atrapamientos	
		Explosión	Capacitación sobre trabajo seguro, uso completo de EPP

ABSORCIÓN Y DESTILACIÓN	Tecnológico	Fugas	Socialización de protocolos y manuales de operación, realizar inspecciones
		Incendios	Señalización de extintores, capacitación para el manejo de emergencias

Nota. La figura muestra los riesgos industriales encontrados en el CEPURE.

Una vez conocidos los riesgos que se presentan dentro del Centro de Purificación y Refinación del CEPIIS, es necesario dar a conocer cuáles son los parámetros de seguridad que se deben seguir al momento de realizar las actividades dentro de la zona para mitigar los riesgos y asegurar resultados positivos sin accidentes.

Para esta identificación continuando con la revisión bibliográfica se realizó un acercamiento a la ficha de seguridad del laboratorio planta piloto de ingeniería química de la Universidad Nacional de Colombia la cual expone las normas generales que se deben tener en cuenta al momento de estar dentro de laboratorio. [20] Tales como:

- Es responsabilidad del usuario dejar el espacio de trabajo ordenado y retornar los elementos o equipos de trabajo en su lugar.
- Es responsabilidad del usuario asegurar el buen uso de los equipos, instrumentos, reactivos, solventes, muestras, herramientas y utensilios que estén siendo utilizadas por este.
- Técnicas de seguridad sobre las sustancias químicas antes de su uso, con el fin de conocer su grado de peligrosidad, uso correcto y las medidas que deben tomarse en caso de accidente.
- Nunca trabajar solo en las áreas de pruebas.
- Cuando se manipulen sustancias altamente tóxicas emplear careta protectora y bajo una campana de extracción de gases.
- Avisar en cualquier caso si se presenta una anomalía con su funcionamiento.
- Diligenciar completamente los registros que permitan garantizar un adecuado montaje antes de realizar la prueba.

A partir de estas y realizando una comparación con las recomendaciones brindadas en el manual operativo de PSE, se obtuvieron los siguientes parámetros:

Figura 26

Parámetros de seguridad para el CEPURE

UNIDAD	PARÁMETRO
Absorción y destilación	Se requiere la colaboración de dos operarios como mínimo, con el fin de mitigar accidentes y que todos los equipos se encuentren monitoreados. Esto en caso de ocurrir accidentes o necesitar un relevo se cuente con el personal suficiente.
Absorción y destilación	Verificar la compatibilidad química que existe entre las sustancias que van a ser empleadas con el acero inoxidable 304 y el teflón. Ver Anexo 1.
Absorción y destilación	Uso de elementos de protección personal (EPP) de manera adecuada y permanente durante la operación de la unidad, tales como: guantes con protección al calor, casco de seguridad, botas de seguridad, protección de las vías respiratorias
Absorción y destilación	Realizar verificación de los sistemas de ventilación y/o corrientes de aire para evitar acumulación de vapores
Absorción y destilación	En caso de que se presente algún tipo de escape y/o fuga que no pueda ser resuelto de manera inmediata, detener la operación
Absorción y destilación	Realizar mantenimiento preventivo y correctivo según sea el caso, para asegurar el funcionamiento correcto de los equipos. Estos mantenimientos se pueden encontrar en los manuales brindados por el proveedor.
Absorción y destilación	Al finalizar la operación se debe dejar enfriar la unidad hasta que se encuentre a una temperatura de 25°C para descargarlo.
Absorción y destilación	Realizar limpiezas frecuentes con el fin de evitar acumulación de solventes, suciedad, polvo, entre otros.

Absorción y destilación	Para descargar el tanque siempre utilizar overol, guantes de carnaza y si es posible una pechera del mismo material para evitar quemaduras si el material aún está caliente.
Absorción	No permita que entre líquido a la bomba de vacío.
Destilación	Almacenar el solvente concentrado fuera de los colectores para evitar contaminación cruzada entre solventes.

Nota. Es de vital importancia para garantizar la salud y seguridad en el trabajo asegurar que todos aquellos que estén operando en la unidad cuenten con los elementos de protección personal nombrados anteriormente. Por otra parte, se debe tener en el centro de refinación y purificación (CEPURE) un botiquín de primeros auxilios, un extintor multipropósito y un equipo antiderrame, además las áreas de trabajo, equipos, líneas y rutas de seguridad deben estar debidamente señalizadas con el fin de que todo el personal pueda identificar las mismas en caso de emergencias [5].

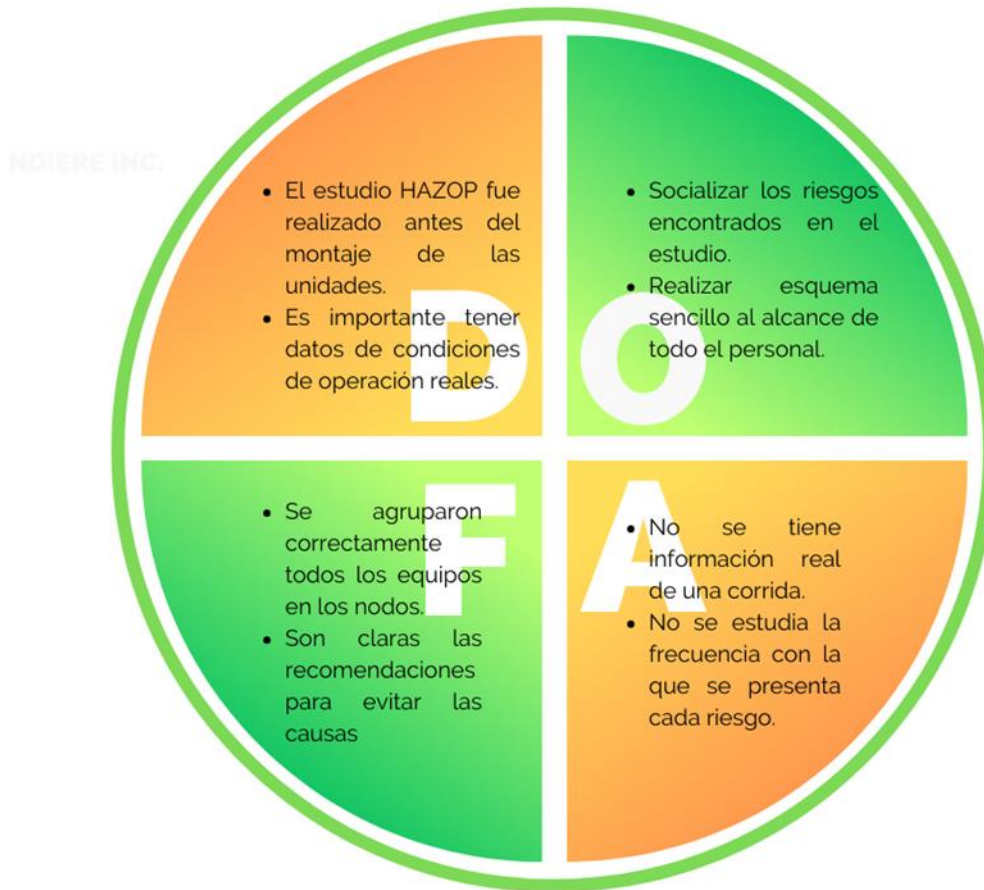
Por otro lado, es importante conocer los riesgos que existen en cada unidad que compone el CEPURE por lo que se realizó una comparación del trabajado de grado realizado por estudiantes de la universidad de América que toma por nombre “PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO EN EL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE (CEPIIS) DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA UTILIZANDO LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF, HAZOP Y LA METODOLOGÍA BOW-TIE” [21] realizado por Mateo Vargas y Mariana Espitia, con el “ESTUDIO DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN PRIMARIA DE UNA PLANTA DE FRACCIONAMIENTO DE LÍQUIDO DE GAS NATURAL” [22] realizado por Silva Guillén en Perú.

La metodología aplicada para estudiar los riesgos en el CEPIIS y la planta de fraccionamiento de líquido y de gas natural fue HAZOP, es una tecnología que permite identificar los peligros y problemas operativos en una instalación industrial. [23]

Realizando una revisión de los documentos se logró identificar algunas semejanzas, pero también discrepancias entre los dos estudios HAZOP, esto puede pasar al tratarse de dos plantas diferentes, aunque su proceso sea el mismo, por tal motivo se propuso realizar una evaluación a partir de la metodología DOFA del estudio HAZOP realizado por los estudiantes de la Fundación Universidad de América en el CEPIIS, con el fin de encontrar los puntos débiles, las oportunidades, las amenazas y fortalezas que existen en el mismo. Para de esta forma realizar una actualización.

Figura 27

Análisis DOFA del estudio HAZOP



Nota. En la evaluación realizada al estudio HAZOP del CEPIIS por medio de la metodología DOFA se observó cómo oportunidad de mejora el hecho de que este fue realizado antes del montaje de los equipos por lo que puede existir un sesgo en cuanto a los resultados, ya que no se tienen en cuenta datos de corridas ni condiciones de operación reales, por otro lado, es importante conocer la frecuencia con la que se pueden presentar cada tipo de riesgo para con esta tener mayor control frente a los que están más propensos a suceder.

Como puntos positivos se observa que se hizo un buen agrupamiento por nodos de todos los equipos pertenecientes a cada unidad (absorción y destilación) por lo que no se están omitiendo posibles causas de accidentes, de igual manera se exponen todas las recomendaciones que se deben tener en cuenta para evitar los posibles contratiempos. Por otro lado, es importante realizar una socialización de los riesgos encontrados y sus recomendaciones a partir de un esquema que sea fácil de entender por el personal que vaya a realizar actividades dentro del CEPURE.

Finalmente, después de evaluar el HAZOP realizado por los estudiantes de la Fundación Universidad de América en el CEPURE, se realizó un resumen de los riesgos que se presentan en cada unidad en la Tabla 5 y Tabla 6.

4.1.1 Riesgos existentes en la unidad de destilación

Figura 28

Riesgos en la unidad de destilación

	EQUIPOS		
PARÁMETRO	TANQUE ALMACENAMIENTO DE REACTIVO Y SOLVENTE	INTERCAMBIADORES DE CALOR	COLUMNA DE DESTILACIÓN
PRESIÓN	Falla en la válvula de alivio V-020 y V-001	Generación de incrustaciones	Variación de la temperatura del alimento
	Aumento de la presión	Aumento de la caída de presión	Obstrucción de válvulas
	Disminución de la presión	Variación de la temperatura del fluido	Fallos en el condensador
			Aumento del nivel en la columna
			Falla en el indicador de presión

TEMPERATURA	Disminución de temperatura repentino	Obstrucción de las tuberías	Aumento de temperatura en el flujo de servicio
	Temperatura ambiente	Fallo en las tuberías por rotura	Falla en el control del suministro de servicio
			Aumento de presión
			Aumento del flujo de destilado
			Aumento de los tiempos de ebullición
			Bajo suministro de vapor
FLUJO	Exceso de carga en la alimentación	Obstrucción de tuberías	Fuga o rotura de la tubería
	Fuga o escape en las tuberías	Mayor presión del líquido a la salida de la bomba	Aumento en la presión del fluido
		Fallas en la bomba de alimentación	Mayor flujo de alimento
		Alta o baja presión	No hay carga previa en el rehervidor

			Falla en el rotámetro
NIVEL	Obstrucciones en las tuberías		
	Obstrucción en válvulas de control		

Nota. En la figura 28. Se muestran los riesgos de la unidad de destilación según parámetros de control.

Figura 29

Riesgos en la unidad de absorción

	EQUIPOS		
PARÁMETRO	TANQUE ALMACENAMIENTO DE REACTIVO Y SOLVENTE	COMPRESOR	COLUMNA DE ABSORCIÓN
PRESIÓN	Venteo inadecuado del vapor durante el llenado	El fluido de alimentación tiene presión elevada	Aumento en la presión del gas de entrada
	Falla en la válvula de alivio	Obstrucción en la tubería V-20 y V-21	Obstrucción de válvulas y tuberías
	Aumento repentino de la presión		
	Bloqueo de bombas o líneas de succión		
	Bloqueo de venteo durante el vaciado		

TEMPERATURA	Disminución o aumento de temperatura repentino	Alta temperatura en el fluido de alimentación	Falta de control de temperatura
	Fallo en el indicador de temperatura		Falla en el indicador de temperatura
	Temperatura baja o alta en el flujo del servicio		Obstrucción en las tuberías
			Daño en la bomba
FLUJO	Obstrucción en válvulas de alimentación al humidificador		Obstrucción en las tuberías
	Ruptura o fuga		Aumento de la temperatura
	Flujo bajo en la corriente de recirculación del solvente		Falla en la bomba de suministro
	No hay control en el flujo de la corriente de recirculación		
NIVEL	Obstrucciones en las tuberías		
	No hay regulación del nivel con las válvulas		
	Falla en el sensor de nivel		

Nota. En la figura 29. Se muestran los riesgos de la unidad de destilación según parámetros de control.

Con el fin mitigar cada uno de los riesgos identificados en las unidades existen diferentes equipos para mantener control sobre los mismos. En el caso del aumento o disminución de flujo en los tanques de almacenamiento se cuenta con los indicadores de nivel, válvulas de apertura y cierre de suministro, adicionalmente las tuberías cuentan con indicadores de flujo que permiten visualizar las condiciones de operación, por otro lado, en caso de presentar riesgo de inundación el tablero de control cuenta con un botón rojo el cual es usado para realizar una parada de emergencia la cual bloqueará las bombas de suministro.

Para los fallos que se presentan en los tanques por el nivel, se cuenta con indicadores y válvulas de control de nivel, los cuales deben estar en constante monitoreo, por otro lado, para el control de los riesgos de presión se cuenta con válvulas de alivio e indicadores de presión en columnas y tuberías. Finalmente, para los riesgos que existen por temperatura se cuentan con indicadores y termocuplas en cada uno de los equipos.

4.1.2 Normativa vigente aplicable al CEPIIS

Es importante tener en cuenta cual es la normatividad vigente de seguridad aplicable al CEPIIS, ya que este está próximo a abrir sus puertas por lo que debe cumplir con los requisitos legales que le competen.

- Resolución 1401 – 2007 Investigación de los accidentes laborales
- Resolución 2346 – 2007 Monitoreo a factores laborales de riesgo
- Resolución 1409 – 2012 Reglamento de seguridad
- Resolución 0312 – 2019 Estándares del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo
- Decreto 1072 – 2015 Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo
- Resolución 3619 – 2013 Buenas Prácticas de Laboratorio

4.2 Parámetros operacionales

4.2.1 Parámetros de operación para la unidad de absorción de gases

Con el fin de tener una operación óptima y segura se deben tener en cuenta los requerimientos de instalación brindados por el proveedor de la unidad PSE.

Se requiere un área libre de 5 metros cuadrados para su instalación y una altura de 3 metros para su instalación. Se debe garantizar un acceso directo al servicio de agua ya que el humidificador

opera con agua de proceso a temperatura ambiente con un flujo de 30 L/min, se sugiere que el agua esté libre de dureza, con el fin de evitar futuras incrustaciones, taponamientos y corrosión en el sistema. Para el agua de refrigeración se tiene como parámetros operativos presión de 1 bar y flujo de 1 m³/h [7].

Con respecto al aire de proceso, se requiere que este sea proveniente de un compresor a presión mínima de 2 bar con un flujo mínimo de 20 L/min, para el sistema de desagüe de purgas de agua y otras purgas que se pueden generar en el proceso se requiere tuberías en gres o PVC de agua caliente 1" mínimo. Para el suministro eléctrico de la unidad de absorción de gases, se debe tener una conexión a tierra tipo de clavija, esta debe tener un voltaje de 110 V, una frecuencia de 60 Hz y un amperaje de 60 A. Se debe tener en cuenta que el equipo debe ubicarse en un lugar con buena ventilación, ya que en la unidad se generan vapores de varias clases y se debe garantizar su evacuación de forma segura [5].

Por otro lado, se definen las condiciones de operación con respecto al vapor que ingresa a la unidad, el cual debe tener un flujo de 14 kg/h a una presión de 50 psi [7].

En términos de requerimientos de operación, se deben tener a la mano una serie de herramientas tales como una llave expansiva, un juego de llaves de tuercas, un recipiente para la recolección de purgas y un embudo, esto para el momento en el cual se va a vaciar el tanque de acumulación de solvente y/o se va a llenar el tanque de solvente fresco. Para una correcta operación y análisis de resultados, se deben tener envases de material inerte para toma de muestras y garrafas o canecas para almacenar el solvente antes y después de la operación de la unidad, además es necesario generar un registro periódico de la información obtenida en la operación, por lo cual se requiere una bitácora de laboratorio y un formato para registro de manejo del equipo [5].

Para garantizar que estos requerimientos sean cumplidos por parte del personal que se encontrara operando en la unidad, se deben realizar capacitaciones de los mismos por parte de personal experimentado en el área.

Tabla 1

Requerimientos de instalación sugeridos por proveedor para torre de absorción

REQUERIMIENTO	MAGNITUD	UNIDAD
CAPACIDAD	50	L
FLUJO DEL SERVICIO	30	L/min
FLUJO DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN	1	m ³ /h
FLUJO MÍNIMO AIRE DE PROCESO	20	L/min
PRESIÓN MÍNIMA AIRE DE PROCESO	2	bar
PRESIÓN MÍNIMA DEL SISTEMA DE VACÍO	0,1	bar
CONSUMO DE ENERGÍA	110	V
FLUJO DE VAPOR	14	Kg/h
PRESIÓN DE VAPOR	50	psi

Nota. En la tabla 1. Se evidencian las condiciones óptimas de operación para la torre de absorción.

Una vez conocidos los requerimientos de instalación que necesitan las unidades para su debido funcionamiento, es importante conocer cuáles son los límites de operación a los que puede funcionar el sistema [24].

Tabla 2

Límites de operación en la torre de absorción

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDAD
TEMPERATURA MAX.	50	°C
PRESIÓN MAX. DEL COMPRESOR AL VACÍO	0.8	bar
VOLUMEN MIN. DEL TANQUE	20	L

Nota. Estos límites de operación se tomaron teniendo en cuenta las condiciones de operación utilizadas en el laboratorio de planta piloto de ingeniería química de la Universidad Nacional [24].

Por otro lado, también es importante conocer cuáles son las sustancias compatibles con el material de construcción de los equipos y los accesorios (acero inoxidable 304 y teflón). Ver anexo 1.

4.2.2 Parámetros de operación para la unidad de destilación continua

Con el fin de tener una operación óptima y segura se deben seguir una serie de parámetros operacionales sugeridos por el proveedor al momento de realizar la instalación y puesta en marcha de los equipos.

Debido a que la unidad tiene una altura de 6 metros y un de ancho de aproximadamente 3 metros, se requiere por recomendación del proveedor y por seguridad del proceso un área libre para su instalación de 10 metros cuadrados teniendo en cuenta la escalera lateral y el espacio mínimo requerido para operar la torre y una altura de 7 metros. En cuanto a los servicios empleados, se debe asegurar un consumo eléctrico de 5kW a 220V, en el caso de no considerar calentamiento con vapor, se requerirían 25kW a 220V [9].

Con respecto al agua de refrigeración, se establece un flujo mínimo de 1 m³ /h con una presión de 2 bar, para el vapor de servicio se requiere vapor proveniente de una caldera a presión mínima de 90 psi y un flujo de 25kg/h, por último, se sugiere una suficiente ventilación, donde se garantice la evacuación de vapores producidos en el proceso [7].

Posterior a la instalación, se debe tener en cuenta los parámetros operativos para llevar a cabo una adecuada validación de la unidad. Los dispositivos de almacenamiento deben estar fabricados en vidrio, ámbar, HDPE o PP [7].

Para garantizar que estos requerimientos sean cumplidos por parte del personal que se encontrara operando en la unidad, se deben realizar capacitaciones de los mismos por parte de personal experimentado en el área.

Tabla 3

Requerimientos de instalación sugeridos por proveedor PSE para torre de destilación

REQUERIMIENTO	MAGNITUD	UNIDAD
CAPACIDAD DE LOS TANQUES	50	L
FLUJO DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN MÍNIMA	1	m ³ /h
PRESIÓN DEL AGUA DE REFRIGERACIÓN MÍNIMA	2	bar
PRESIÓN DE VAPOR	6,2	bar
FLUJO DE VAPOR	25	kg/h
CONSUMO ELÉCTRICO	5	kw

Nota. En la tabla 3. Se evidencian las condiciones óptimas de operación para la torre de destilación

Una vez conocidos los requerimientos de instalación que necesitan las unidades para su debido funcionamiento, es importante conocer cuáles son los límites de operación a los que puede funcionar el sistema [25].

Tabla 4

Límites de operación en la torre de destilación

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDAD
TEMPERATURA MAX.	300	°C
PRESIÓN MAX.	90	PSI
VOLUMEN MIN. DEL TANQUE	20	L

Nota. Estos límites de operación se tomaron teniendo en cuenta las condiciones de operación utilizadas en el laboratorio de planta piloto de ingeniería química de la Universidad Nacional [24].

Por otro lado, también es importante conocer cuáles son las sustancias compatibles con el material de construcción de los equipos y los accesorios (Viton). Ver anexo 2

5. VALORACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS UNIDADES

En el capítulo II de este trabajo grado se busca dar cumplimiento al objetivo específico número 2, el cual está directamente relacionado con la validación física y estructural de las unidades en cuestión, tales como torre de destilación y torre de absorción, en el que se busca realizar una validación preliminar con un dimensionamiento de equipos y componentes básicos y disponibles en planta para cada una de las unidades en cuestión, de esta forma poder establecer las condiciones iniciales que presentan las unidades y sus componentes, así poder realizar una revisión e inspección detallada de cada uno de los componentes para poder establecer posibles fallas, daños y situaciones que pueden alterar la integridad de la unidad en cuestión. Cabe aclarar que el objetivo radica en realizar un diagnóstico inicial de unidades que no tendrá en cuenta normativa de evaluación física y estructural por el motivo de que las unidades no se encuentran en su versión de instalación final y definitiva, por lo anterior mencionado no se usan estándares de seguridad en este análisis, siendo este un ejercicio de inspección preliminar, con el objetivo de en un trabajo posterior realizar una validación estructural teniendo en cuenta todos los estándares de seguridad y la normativa de este tipo de revisiones.

5.1 Valoración de unidades

A continuación, se busca realizar una descripción de todas las unidades inmersas en el estudio de este trabajo de grado, de esta forma poder establecer todas las variables físicas a considerar en los equipos, antes de su instalación final en planta.

Se realiza la valoración para la torre de destilación por separado a la torre de absorción con la misma metodología para cada una, en el momento de realizar dicha valoración se debe tener en cuenta que los equipos en cuestión no se encuentran debidamente o completamente instalados en su posición final, es decir, independientemente de la ubicación de los módulos de instalación de cada uno, a cada equipo le hacen falta partes, equipos, tuberías y demás complementos para su estado final.

Dicho esto, en la descripción de los equipos se plantea un párrafo detallado con la descripción teórica física de cada equipo y adicional a ello se contempla una tabla para cada uno con las respectivas dimensiones de los equipos, módulos, tuberías y accesorios que complementan a cabalidad el equipo completo.

5.1.1 Dimensionamiento y valoración de la torre de destilación

La torre de destilación como unidad de la zona CEPURE dentro del CEPIIS está compuesta por un sistema de alimentación, la columna de destilación, el sistema de condensación y reflujo, los tanques de acumulación de destilado, medidores, y el tablero de control. El equipo es robusto, durable, construido en acero inoxidable 304 con acabado brillante. Puede ser utilizado para destilación de una gran diversidad de mezclas ideales y no-ideales, en aplicación de destilación tradicional, extractiva, y azeotrópica. Igualmente se puede operar en forma de destilación simple, destilación batch con rectificación y destilación continúa.

En el capítulo I del presente documento se puede relacionar la información detallada de la torre de destilación, para ello ir al ítem 6.2.1. Allí se pueden evidenciar detalladamente la descripción de todos los componentes de la torre de destilación.

Se relaciona una tabla compuesta con los componentes de la torre de destilación y así mismo todas sus dimensiones más relevantes, esto para poder iniciar la valoración física y estructural, teniendo en cuenta el estado físico actual de todos los componentes.

Tabla 5

Dimensiones de los equipos de torre de destilación

Equipo	Dimensiones	Unidades
Módulos de torre	Largo: 200	cm
	Diámetro In: 22	cm
	Diámetro Ex: 33	cm
Condensador 1 P1	Alto: 44	cm
	Largo: 23	cm
	Ancho: 58	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Condensador 2 P1	Alto: 44	cm
	Largo: 30	cm
	Ancho: 58	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Calentador P1	Alto: 62	cm

	Largo: 43	cm
	Ancho: 90	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Condensador P3	Alto: 110	cm
	Largo: 30	cm
	Ancho: 80	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Tanque A4 P1	Alto: 110	cm
	Largo: 50	cm
	Ancho: 45	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Condensador 3 P1	Alto: 30	cm
	Largo: 25	cm
	Ancho: 55	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Tanque A2 P1	Alto: 140	cm
	Largo: 57	cm
	Ancho: 49	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Tanque A3 P1	Alto: 110	cm
	Largo: 53	cm
	Ancho: 43	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Tanque A2 P2	Alto: 100	cm
	Largo: 50	cm
	Ancho: 43	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Tanque A1 P1	Alto: 140	cm
	Largo: 55	cm
	Ancho: 49	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm

Tanque A1 P2	Alto: 105	cm
	Largo: 47	cm
	Ancho: 43	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Condensador P3	Alto: 22	cm
	Largo: 17	cm
	Ancho: 47	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Rotámetro P1	Alto: 135	cm
	Largo: 20	cm
	Ancho: 22	cm
		cm
Rotámetro P2	Alto: 147	cm
	Largo: 20	cm
	Ancho: 12	cm
		cm

Nota. La tabla 5 muestra las dimensiones específicas de los equipos que componen la torre de destilación

De la misma forma, se busca tener el respectivo registro fotográfico para poder iniciar con la validación física y estructural de los componentes de la torre de destilación.

En ese orden de ideas se presentarán las figuras correspondientes a los componentes de la torre de destilación:

Figura 30

Condensador P3



Nota. Condensador P3 torre de destilación.

Figura 31

Tanque A4 P1 – Condensador 3 P1



Nota. Tanque A4 P1 – Condensador 3 P1.

Figura 32

Tanque A2 P1 – Tanque A2 P2



Nota. Tanque A2 P1 – Tanque A2 P2.

Figura 33

Tanque A3 P1 – Tanque A1 P1



Nota. Tanque A3 P1 – Tanque A1 P1.

Figura 34

Tanque A1 P2 – Condensador P3



Nota. Tanque A1 P2 – condensador P3

Figura 35

Rotámetro P2 – Rotámetro P1



Nota. Rotámetro P1 – Rotámetro P2

Figura 36

Condensador 2 P1 – Condensador 1 P1



Nota. Condensador 2 P1 – Condensador 1 P1

Figura 37

Módulo torre destilación



Nota. Módulo torre destilación.

Figura 38

Calentador P1



Nota. Calentador P1

5.1.2 Dimensionamiento y valoración de la torre absorción

La torre de absorción como unidad de la zona CEPURE dentro del CEPIIS está compuesta por el sistema de generación de aire, el de humidificación, la columna de absorción, los tanques de acumulación del solvente, y el tablero de control. El equipo es robusto, durable, construido en acero inoxidable 304 con acabado brillante. Puede ser utilizado para una gran diversidad de aplicaciones de absorción de gases entre otras: absorción de CO₂ con solución alcalina o con aminas, compuestos orgánicos volátiles con aceite lubricante, aire contaminado con gases ácidos o alcalinos con agua, absorción con líquidos iónicos, etc.

En el capítulo I del presente documento se puede relacionar la información detallada de la torre de destilación, para ello ir al ítem 6.1.1. Allí se pueden evidenciar detalladamente la descripción de todos los componentes de la torre de absorción.

Se relaciona una tabla compuesta con los componentes de la torre de absorción y así mismo todas sus dimensiones más relevantes, esto para poder iniciar la valoración física y estructural, teniendo en cuenta el estado físico actual de todos los componentes.

Tabla 6

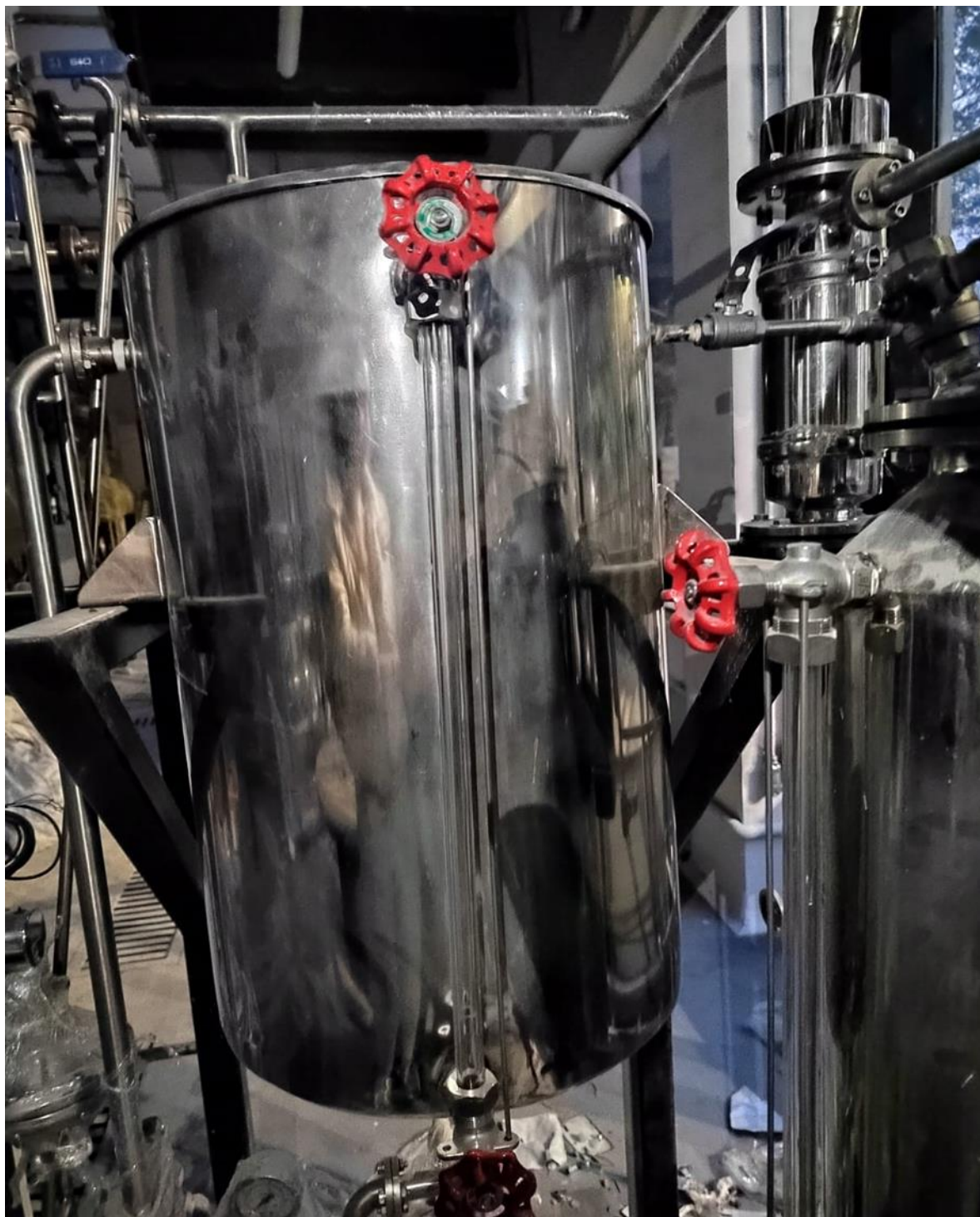
Dimensiones de los equipos de torre de absorción

Equipo	Dimensiones	Unidades
Tanque de solvente fresco	Alto: 95	cm
	Largo: 54	cm
	Ancho: 50	cm
	Diámetro tubería: 0,19	
Tanque recolector de solvente gastado	Alto: 130	cm
	Largo: 60	cm
	Ancho: 54	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Humidificador de aire	Alto: 75	cm
	Largo: 30	cm
	Ancho: 32	cm
	Diámetro tubería: 0,19	cm
Módulo de columna	Alto: 100	cm
	Largo: 30	cm
	Ancho: 35	cm

Nota. La tabla 6 muestra en ella información acerca de las dimensiones específicas de los equipos principales que componen la torre de absorción a la fecha

Figura 39

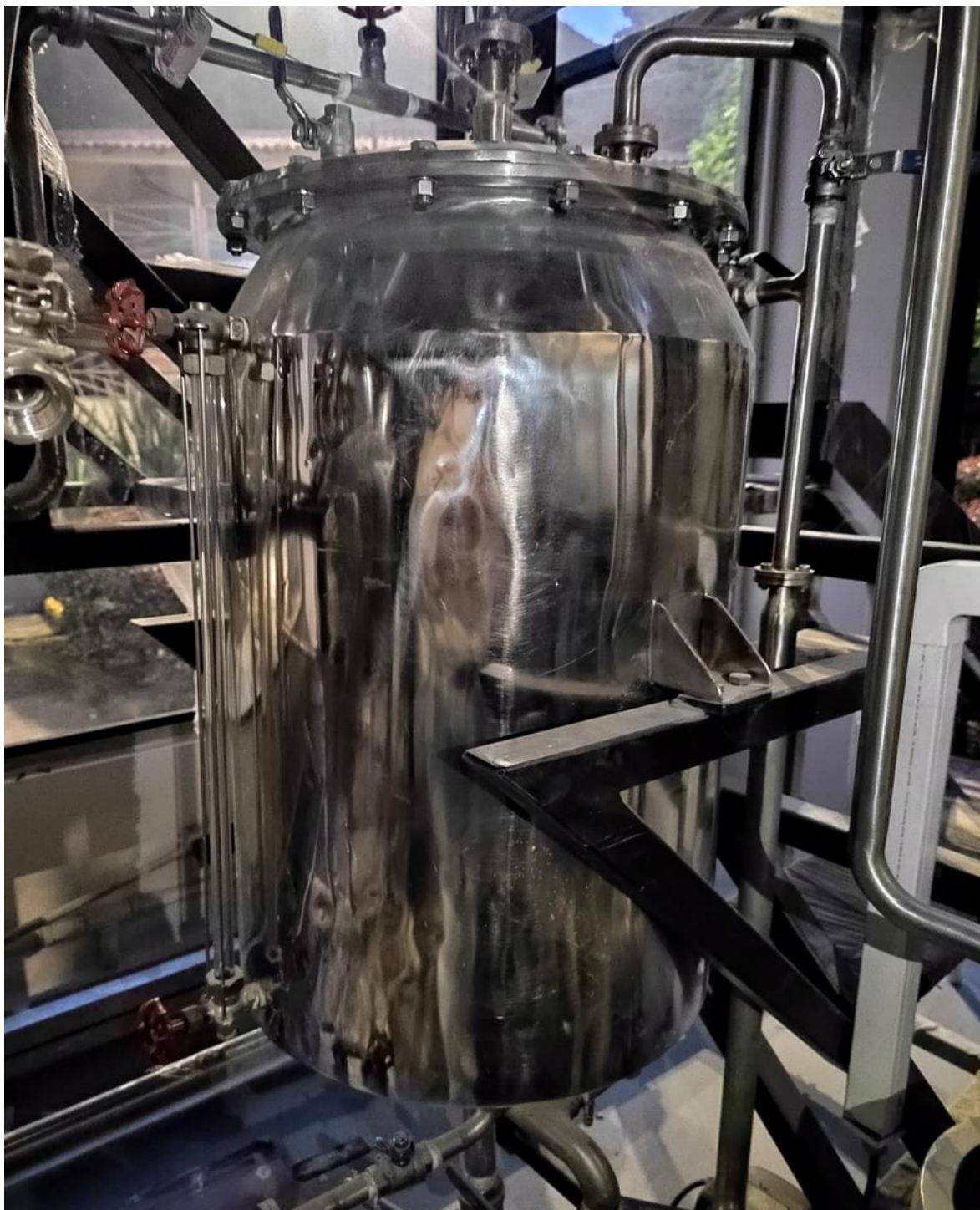
Tanque de solvente fresco



Nota. Tanque de solvente fresco.

Figura 40

Tanque recolector solvente gastado



Nota. Tanque recolector de solvente gastado.

Figura 41

Humidificador de aire



Nota. Humidificador de aire.

5.2 Evaluación del estado físico de las unidades

En este segmento del capítulo II del proyecto se plantea el desarrollo de una evaluación física y estructural de las unidades acogidas en este proyecto de grado, para ello nos vamos a enfocar en la torre de destilación y la torre de absorción en la zona CEPURE.

En este orden de ideas se dividirá este segmento en dos etapas, la primera etapa estará compuesta de la evaluación física y estructural antes del montaje final de las unidades, donde se realizara el pertinente chequeo de las partes de cada unidad y así mismo su estado físico y estructural, la segunda etapa se desarrollará justo después del montaje final de los equipos de proceso, para ello el proveedor o fabricante de los mismos, contribuirá al montaje de estos equipos, justo antes de dar inicio con la puesta en marcha de cada equipo y así mismo de cada zona y unidad se tendrá que realizar el respectivo chequeo, evaluación física y estructural.

Inicialmente se realizaron trabajos de obra civil en el edificio CEPIIS, en estos trabajos realizaron adecuaciones para cárcamos, para infraestructura, para pañetado y para pintado de las instalaciones, algunos de los trabajos realizados por obra civil se muestran en las siguientes figuras:

Figura 42

Obra civil 1



Nota. Obra civil 1.

Figura 43

Obra civil 2



Nota. Obra civil 2.

Figura 44

Obra civil 3

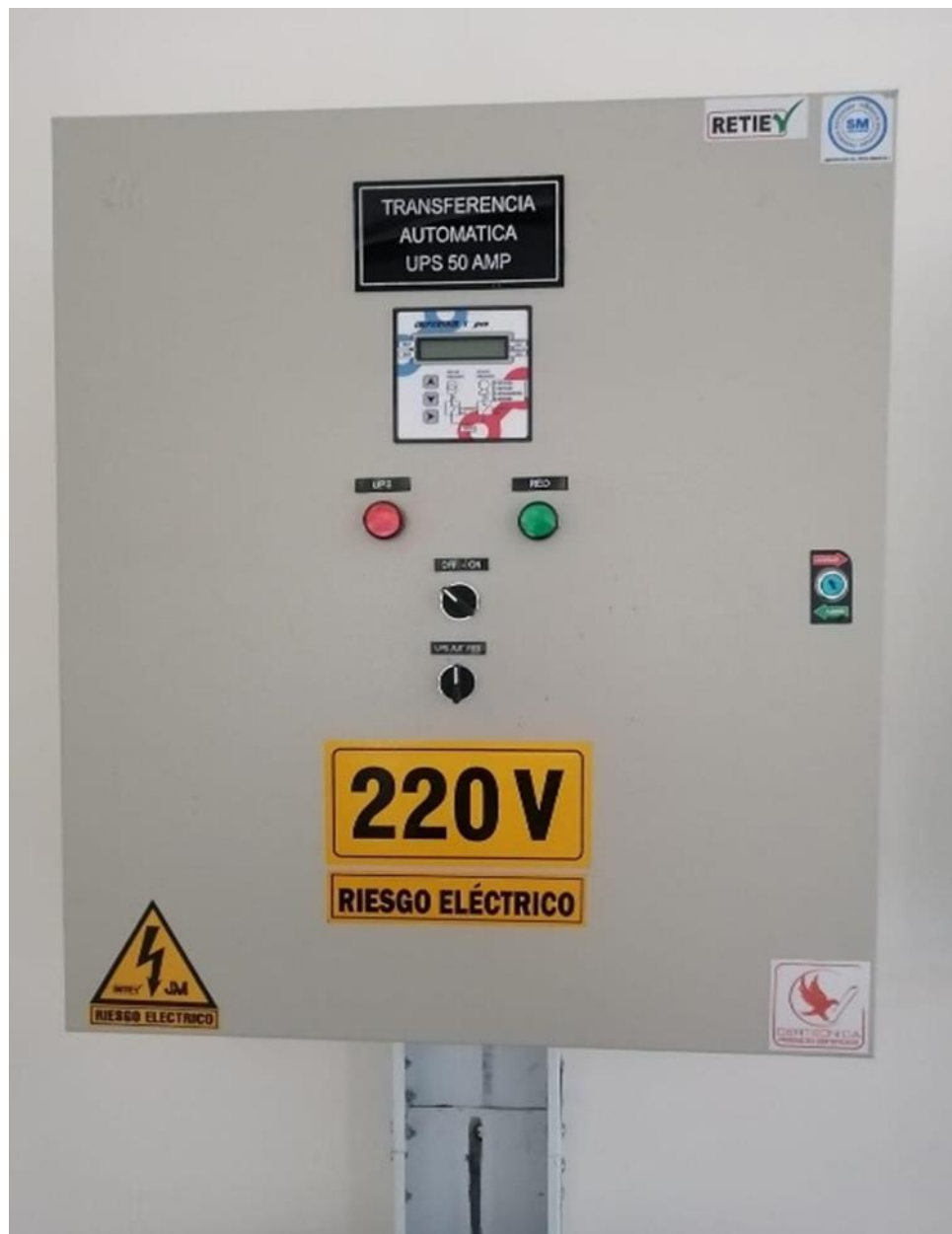


Nota. Obra civil 3

Adicional a ello se llevaron a cabo los trabajos de instalación de red eléctrica en el edificio CEPIIS, en los cuales se adecuaron todos los conductos y canales que transportan los cables de redes eléctricas, en este trabajo se incurrió en instalaciones de la torre de destilación y absorción, adecuando sus puertos de conexión y fuentes de energía como se muestra en las siguientes figuras:

Figura 45

Red eléctrica 1



Nota. Red eléctrica 1.

Figura 46

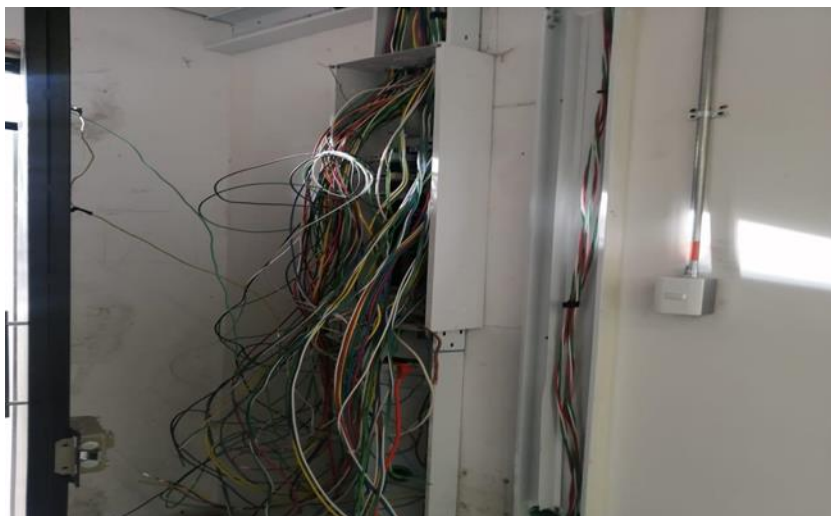
Red eléctrica 2



Nota. Red eléctrica 2

Figura 47

Red eléctrica 3



Nota. Red eléctrica 3

Figura 48

Red eléctrica 4



Nota. Red eléctrica 4.

Figura 49

Red eléctrica 5






Nota. Red eléctrica 5.




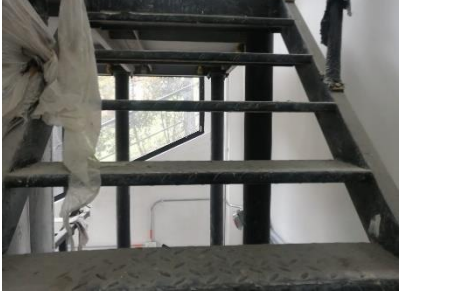
5.2.1 Evaluación física y estructural previa al montaje final – torre de destilación




Para dar inicio con esta evaluación física y estructural se debe tener en cuenta que se realiza previamente al montaje final de la torre de destilación, por lo tanto, se debe verificar el estado del equipo después de su instalación, trabajo y obra civil realizada en el CEPIIS hasta la fecha de la inspección.

Figura 50

Resultados validación física y estructural torre de destilación

FECHA	EVIDENCIA	EQUIPO	ESTATUS
7/03/2023		Torre de destilación	Abolladuras en módulos de la torre
7/03/2023		Torre de destilación	Abolladuras en módulos de la torre
7/03/2023		Torre de destilación	Abolladuras en módulos de la torre

7/03/2023		Torre de destilación	Abolladuras en módulos de la torre
21/04/2023		Primer nivel torre de destilación – vista lateral	Soporte doblado
21/04/2023		Primer nivel torre de destilación – vista superior	Soporte doblado
14/05/2023		Segundo nivel torre de destilación – vista frontal	La escalera no cumple la normativa

14/05/2023		Primer nivel de destilación – vista frontal	La escalera no cumple la normativa
14/05/2023		Techo nivel 2 de destilación	Presenta inicios de oxido en varias ubicaciones de los techos
14/05/2023		Módulos torre de destilación	Los módulos presentan oxido en sus inicios y finales

Nota. Resultados validación física torre de destilación.

Después de realizar el respectivo análisis físico y estructural a los equipos que componen la torre de destilación, se pudo evidenciar ciertos deterioros y fallos físicos que presenta la unidad, sobre todo en su parte estructural, es importante mencionar que a la fecha no se ha realizado el ensamble final del equipo, es por esta razón que la validación se llevó a cabo con los equipos, instrumentos y estructuras que se encuentran con acceso inmediato al personal.

Por otro lado, los módulos de la torre que tienen abolladuras por golpes y el módulo de finalización de la torre se encuentra ovalado en su parte superior. También se pudo evidenciar en la inspección que posee daños en su plataforma superior (piso 3) en las barandas y soportes, hasta llegar a las estructuras de la plataforma inferior (piso 1) en la que se puede observar parte de los soportes

doblados y ovalados. Además de ello se pueden evidenciar principios de óxido y corrosión en diferentes partes, tanto de la estructura como de los módulos de la torre.

5.2.2 Esfuerzos y estabilidad preliminar de la torre de destilación

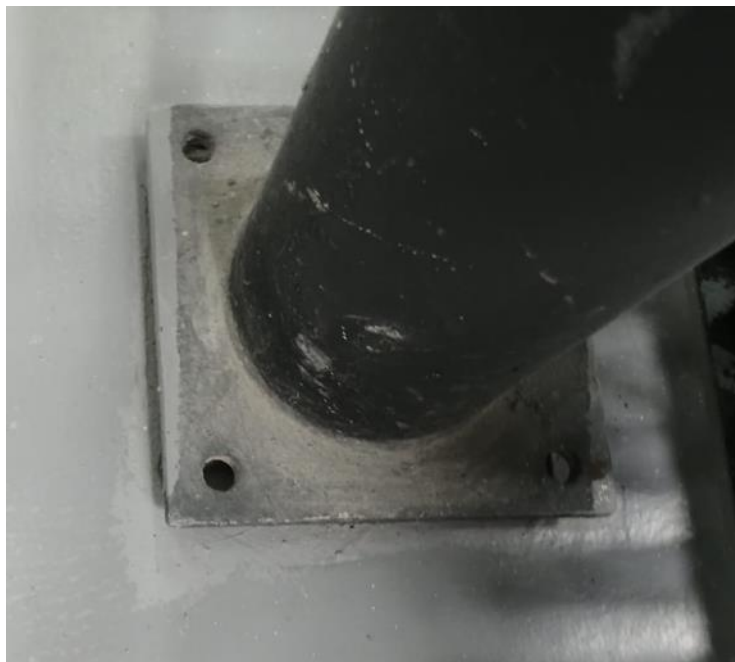
Se realizó un análisis preeliminar de esfuerzos y de estabilidad, con el objetivo de determinar patrones de falta de equilibrio en los equipos, se han tenido en cuenta todos los factores y variable que han podido causar dichos defectos de estabilidad .

Es importante aclarar que el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) se encuentra todavía en obra civil y adecuaciones en cada una de las zonas, tales como, instalación de red eléctrica y gases especiales.

A continuación, se muestran algunas evidencias generadas por cargas y esfuerzos, que han afectado la estabilidad y el equilibrio de la unidad.

Figura 51

Estructura no asegurada, torre de destilación



Nota. En la figura 45 se puede evidenciar que la torre de destilación no cuenta con soportes asegurados a la base del suelo, hacen falta tornillos aseguradores, para dar equilibrio y firmeza a la estructura.

Figura 52

Estructura no asegurada, torre de destilación



Nota. En la figura 46 se puede evidenciar segmentos de las barandas de seguridad del nivel 3 de la torre de destilación, dichos segmentos se encuentran si estar asegurados, por ello presenta riesgos y fallas estructurales.

Figura 53

Estructura no asegurada, torre de destilación






Nota. En la figura 47 se puede observar cómo no se encuentran aseguradas las patas de la estructura del nivel 3, en el suelo del nivel 2 de la torre de destilación, además de ello, se pueden evidenciar la falta de tornillos que generen un amarre total de la plataforma.





5.2.3 Evaluación física y estructural previa al montaje final – torre de absorción


Para dar inicio con esta evaluación física y estructural se debe tener en cuenta que se realiza previamente al montaje final de la torre de absorción, en ese orden de ideas se debe verificar el estado del equipo después de las instalaciones, trabajos y obras civiles realizados en el CEPIIS hasta la fecha de la inspección.

Figura 54

Resultados validación física y estructural torre de absorción

FECHA	EVIDENCIA	EQUIPO	ESTATUS
14/03/2023		Torre de absorción – vista lateral	Canaleta quebrada
14/03/2023		Salida tanque humidificador de aire	Tubería doblada
14/03/2023		Tuberías de torre de absorción	Tubería doblada

<p>2/05/2023</p>		<p>Tanque recolectore de solvente gastado</p>	<p>Abolladura en tanque</p>
<p>14/05/2023</p>		<p>Nivel 2 torre de absorción</p>	<p>Presenta inicios de óxido y no se encuentra bien asegurado</p>
<p>14/05/2023</p>		<p>Tuberías torre de absorción</p>	<p>Presenta oxido en las uniones</p>
<p>14/05/2023</p>		<p>Tuberías torre de absorción</p>	<p>Presenta oxido en las uniones</p>

14/05/2023			Tuberías torre de absorción	Se encuentran segmentos de tubería sueltos de uniones
------------	---	--	-----------------------------	---

Nota. Resultados validación física torre de absorción.

En la torre de absorción se encontraron algunos daños significativos, que tienen que ver más con tuberías torcidas que pueden afectar el correcto uso de la planta, de la misma forma la canaleta de la red eléctrica se encuentra rota, en aspectos generales el equipo requiere el reemplazo de las piezas torcidas y cambio de canaletas conductoras de red eléctrica, para poder genera un uso adecuado de la misma y que las operaciones que allí se pongan en marcha no se vean interrumpidas o afectadas por los diferentes daños que posee la torre de absorción.

Para finalizar con el análisis, esta torre es uno de los equipos que presenta menores daños causados, a comparación con los demás equipos en planta se puede decir que no requiere tantos cambios o adecuaciones en su infraestructura y en sus repuestos para poder funcionar plenamente y que de esta forma se puedan realizar las practicas sin ningún problema.

5.2.4 Esfuerzos y estabilidad preliminar de la torre de absorción

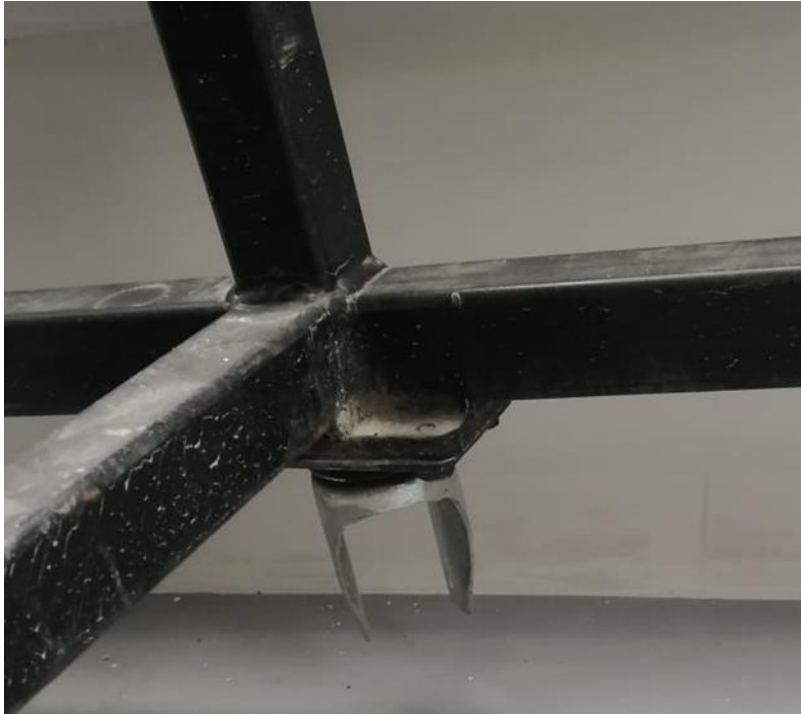
Se realizó un analisis preeliminar de esfuerzos y de estabilidad, con el objetvo de determinar patrones de falta de equilibrio en los equipos, se han tenido en cuenta todos los factores y variable que han podido causar dichos defectos de estabilidad .

Es importante aclarar que el Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS) se encuentra todavía en obra civil y adecuaciones en cada una de las zonas, tales como, instalación de red eléctrica y gases especiales.

A continuación, se muestran algunas evidencias generadas por cargas y esfuerzos, que han afectado la estabilidad y el equilibrio de la unidad.

Figura 55

Estructura no asegurada, torre de absorción



Nota. En la figura 49 se puede apreciar como a la base de todo el módulo de la torre de absorción le hace falta una rueda, esto puede alterar el equilibrio y la estabilidad de toda la unidad.

Figura 56

Estructura no asegurada, torre de absorción



Nota. En la figura 50 se puede evidenciar la ausencia de barandas de seguridad en la mitad de las escaleras de acceso al nivel 2 de la torre de absorción.

5.3 Izaje y montaje de los equipos en el CEPIIS

Para concluir con la evaluación estructural y física de las unidades inmersas en el trabajo de grado hay que tener en cuenta un aspecto muy importante, que puede generar cierto tipo de situaciones a lo largo del módulo de descargue e instalación de equipos.

Se verán algunos aspectos que pueden presentarse en este procedimiento, se hablará de como tal el izaje en el CEPIIS para poder entender a mayor claridad las posibles causas de los resultados obtenidos en la valoración física y estructural de la torre de destilación y la columna de absorción.

En Colombia no existe una normatividad específica para el uso de grúas de izaje de cargas, sin embargo, es responsabilidad del contratista consultar las siguientes referencias normativas para su aplicación. Ahora bien, teniendo en cuenta también la normativa relacionada con el izado, carga y transporte de equipos de esta magnitud, haciendo referencia a la norma NTC 2880 que hace referencia al transporte de mercancías peligrosas clase 2 y sus condiciones de transporte terrestre, que acoge todo tipo de mercancías que soporten tubos, cilindros y estructuras en las que se manejen gases o se destine manejar sustancias peligrosas de clase 2.

La ley 769 del 2002 que establece que las autoridades de tránsito velarán por la seguridad de las personas y las cosas en la vía pública y privadas abiertas al público. Sus funciones serán de carácter regulatorio y sancionatorio y sus acciones deben ser orientadas a la prevención y la asistencia técnica y humana a los usuarios de las vías. De la misma forma tener en cuenta el manual de señalización vial del ministerio de transporte.

Frente a normatividad específica de grúas para izajes, a continuación, se nombran diferentes normas de seguridad de referencia internacional que se relacionan con la utilización de grúas:

- Lineamientos de inspección de grúas móviles OSHA.
- Código de reglamentaciones federales de OSHA. 29 CFR 1910.180, grúas sobre orugas, locomotoras y camiones.
- Código de reglamentaciones federales de OSHA. 29 CFR 1926.251: equipo de sujeción y manejo de materiales.
- Código de reglamentaciones federales de OSHA. 29 CFR 1926.550: grúas y pescantes.
- Serie de normas ASME/ANSI desde la B30.1 hasta la B30.24.
- Convenio No. 119 de la Organización Internacional del Trabajo. Protección de la Maquinaria.

- Norma CSA 1982 de la Asociación de Seguridad en la Construcción de Canadá. Normas para grúas móviles.

5.3.1 Posibles situaciones durante el izado de cargas

Durante el izaje de cargas, pueden presentarse diversos percances que pueden comprometer la seguridad de las personas y los equipos involucrados. Algunos de los percances más comunes incluyen:

1. Sobrecarga: Levantar una carga que excede la capacidad de carga máxima del equipo de izaje puede provocar fallas en los componentes, como cables, grúas o polipastos, lo que puede resultar en el colapso de la carga y causar lesiones graves o daños en equipos.
2. Desprendimiento de la carga: Si la carga no está asegurada correctamente, puede desprenderse durante el izaje, lo que representa un peligro para los trabajadores y puede causar daños a la carga, equipos y estructuras circundantes.
3. Caída de la carga: Si la carga no se coloca o asegura adecuadamente, puede caer durante el izaje, lo que puede dañar los objetos debajo, provocar lesiones a los trabajadores o generar situaciones de atrapamiento.
4. Mal cálculo o distribución del peso: Si no se realiza un cálculo preciso del peso de la carga o si esta no se distribuye de manera equilibrada, puede causar un desequilibrio en el equipo de izaje, lo que aumenta el riesgo de volcadura o de que se produzcan movimientos bruscos y peligrosos.
5. Fallos en los equipos: Los equipos de izaje, como las grúas, los polipastos o los cables, pueden experimentar fallos mecánicos, eléctricos o hidráulicos que pueden provocar accidentes si no se realizan inspecciones y mantenimientos adecuados.
6. Condiciones ambientales adversas: El viento fuerte, la lluvia o las condiciones de poca visibilidad pueden dificultar el izaje de cargas y aumentar el riesgo de accidentes.
7. Falta de capacitación y supervisión: La falta de capacitación adecuada para los operadores de equipos de izaje y la falta de supervisión durante el proceso pueden aumentar significativamente el riesgo de percances.

Es esencial seguir todas las normas de seguridad, contar con personal capacitado, utilizar equipos adecuados y realizar inspecciones regulares para prevenir estos percances y garantizar un entorno de trabajo seguro durante el izaje de cargas.

5.3.2 Izaje de la torre de destilación y de la columna de absorción

El izaje que se desarrolló para el correcto traslado de los equipos en cuestión al edificio CEPIIS tuvo como lugar de inicio la entrada por la parte superior de bienestar de la universidad, justo al lado de la cancha de voleibol, en primera estancia se ubicaron las grúas tipo cangrejo en este lugar, donde posteriormente los equipos de torre de destilación y torre de absorción fueron ubicados de los camiones transportadores a las grúas tipo cangrejo, posteriormente a ello se elevaron alrededor de aproximadamente unos 70 metros de altura, entre la base de grúa y el edificio CEPIIS.

Se debe tener en cuenta de igual forma que para este momento el edificio CEPIIS no se encontraba totalmente construido, si no solamente se tenía una adecuación la cual permitiese poder realizar el ingreso de los equipos por la parte superior del edificio, asumiendo así que este no tenía techo, ya que es el espacio con mayor amplitud para poder generar el ingreso de los equipos al edificio, teniendo en cuenta que la torre de destilación y que la columna de absorción son dos de los equipos más robustos en todo el centro, ya que la torre de destilación cuenta con 3 niveles, que generan una altura de aproximadamente 7 metros, por otro lado la columna de absorción cuenta con 2 niveles, los cuales pueden generar aproximadamente una altura de 3 metros.

En ese orden ideas y ya para concluir este ítem del izaje de la torre de destilación y de la columna de absorción, realizó en su debido momento un análisis que nos puede dar una idea de algunos de los posibles daños físicos y estructurales en los equipos. En el momento del izaje se tuvieron en cuenta todos los factores de seguridad y posibles situaciones a generarse durante este proceso, afortunadamente no se presentaron percances significativos en ningún momento de la operación de izaje, no obstante, a ello se pudieron haber presentado ciertas situaciones en el momento de levantamiento de los equipos y descargue en el edificio, que podrían haber causado daños mínimos a los equipos.

De la misma forma se aclara que el izaje de las unidades fue realizado por una empresa externa, con sus respectivas pólizas de seguro contra cualquier adversidad que se hubiese podido presentar durante el proceso.

Figura 57

Izaje torre de absorción



Nota. Izado torre de absorción.

Figura 58

Montaje torre de destilación



Nota. Montaje torre de destilación.

6. PROYECCIÓN DE OPERACIONES DE LAS UNIDADES

Para dar por finalizado el capítulo II de este trabajo de grado se busca realizar una proyección de operaciones, en vista que de que no se puede tener una fecha puntal para la puesta en marcha y arranque de los equipos.

En ese orden de ideas se generó una propuesta de proyección para cada uno de los equipos de interés en este trabajo, que son torre de destilación y torre de absorción, así bien, se pensó en realizar una simulación en el programa Aspen (Advanced System for Process Engineering) que permitirá dimensionar lo que sería la puesta en marcha o una futura proyección de la operación de cada uno de los equipos de interés, así mismo, por la gran variedad de combinaciones posibles de sustancias que pueden usarse para sus separaciones tanto en torre de destilación como en torre de absorción, y para llevar una idea clara de la proyección se va a realizar un estudio de las dos operaciones en funcionamiento batch o por lotes, para lo cual se usará el software Aspen Batch Modeler con el fin de establecer variables como tiempo de operación en cada una de ellas, que es indispensable para una proyección acercada a la realidad, y de igual forma tener un estimado aproximado de ciertas variables a controlar en el momento de realizar el primer arranque de los equipos y su puesta en marcha.

Por otro lado, teniendo en cuenta que, para el caso de la torre de destilación, esta puede operar también de forma continua se realizará un estudio de este caso con el software mencionado anteriormente Aspen Plus que se posiciona como el simulador de procesos líder en la industria química.

Los procesos de absorción y destilación se simularán a nivel de ingeniería conceptual para demostrar posibles resultados y problemas cuando la planta está en funcionamiento. Se realizó un diseño preliminar de los posibles experimentos más comunes en la industria y es importante señalar que como el nivel de detalle estudiado cubre diferentes alcances y condiciones, la naturaleza de los resultados puede diferir de los resultados reales. Sin embargo, las simulaciones representan completamente un proceso de ingeniería factible aplicable al CEPIIS.

A continuación, se pretende mostrar los resultados de estas proyecciones de operaciones para los equipos en cuestión, nuevamente haciendo énfasis en el posible cambio pueda tener con resultados reales.

6.1 Procesos recomendados a realizar para la torre de destilación

Inicialmente se debe tener en cuenta que la planta de destilación puede operar bajo tres modalidades, las cuales se describen como destilación simple, destilación batch y destilación continua, cabe aclarar que la proyección a realizarse en este segmento del capítulo para la torre de destilación únicamente se hará teniendo en cuenta la modalidad de destilación batch, por ello la simulación y la proyección se hará en esta modalidad, nuevamente recalcando que se hace de esta forma con el fin de poder obtener perfiles de tiempo para generar una proyección en cuanto al tiempo de operación de los equipos, a continuación se relacionaran las prácticas recomendadas para la torre de destilación:

Figura 59

Prácticas recomendadas para cada tipo de experimento

Tipo de experimento	Reactivos
Destilación normal	Mezcla agua etanol al 50% p/p
Destilación azeotrópica	Mezcla 1% butanol en agua
Destilación extractiva	Deshidratación de etanol azeotrópico con propilenglicol

Nota. Figura 59 se puede evidenciar las posibles prácticas a realizar en la torre de destilación, aclarando que cada una de ella se puede realizar en la modalidad de destilación simple, destilación batch y destilación continua.

6.2 Proyección operacional para la unidad de destilación

Para la proyección de la torre de destilación se realizó una simulación en el software de Aspen Batch Modeler, para poder ver la proyección de una posible separación a realizar en el equipo, con la posibilidad de realizar destilación normal, destilación azeotrópica y destilación extractiva, tomado de la guía propuesta por el fabricante se optó por realizar la simulación de una destilación normal de una mezcla de agua y etanol al 50%, se tomó en cuenta también para el objeto de estudio de este trabajo de grado y así mismo de este segmento del capítulo II, realizar una destilación batch, esto, con el objetivo de establecer tiempos de operación aproximados, que como ya bien se mencionó, es una de las variables más cruciales en la proyección de operación del equipo, ya que no se cuenta con una puesta en marcha o arranque inicial en un proceso de destilación continuo, de la misma forma se tomaron las siguientes variables al momento de realizar la simulación.

Tabla 7

Condiciones iniciales simulación destilación batch

	Temperatura (°c)	Presión (bar)	Carga problema (kmol)
Condiciones iniciales	25	6,2	1,29

Nota. La tabla 7 muestra las condiciones de temperatura y presión iniciales para la simulación de destilación batch

En la siguiente tabla se puede apreciar la composición de la mezcla problema, como ya se había dicho en el enunciado esta constara con 50% etanol y 50% agua.

Tabla 8

Fracción molar compuestos mezcla

Componente	Fracción molar
Etanol	0,5
Agua	0,5
TOTAL	1

Nota. La tabla 8 nos muestra los resultados de fracción molar compuestos mezcla

Después de realizada la simulación y haberla corrido sin algún tipo de problema se pasa a la verificación de los resultados arrojados por la misma, en este caso la variable de interés que sin duda alguna para una destilación batch y para el enfoque de esta a una proyección futura es la variable del tiempo, una vez, finalizada la simulación se obtuvieron los siguientes resultados de la variable solicitada, plasmados en la siguiente tabla:

Tabla 9*Resultados perfiles de tiempo*

Tiempo (hr)	ETANOL	AGUA
0	0,482278	0,517722
0,156436	0,462681	0,537319
0,312872	0,438468	0,561532
0,469309	0,408096	0,591904
0,625745	0,368414	0,631586
0,782181	0,313234	0,686766
0,938617	0,230282	0,769718
1,09505	0,092974	0,907026
1,25149	5,61E-04	0,999439
1,40793	0	0

Nota. La tabla 9 nos muestra los resultados de perfiles de tiempo, que nos arrojó el final de la simulación de la destilación batch de una mezcla problema con 50% etanol y 50% agua.

De la misma forma y como complemento a la información básica de la simulación y como tal el proceso en sí, se obtienen los siguientes resultados como balances de masa y energía y reporte de resultados básicos de la simulación.

Tabla 10*Balance de masa simulación batch*

	0	1	2	3
Temperatura (°C)	25	98	98	98
Presión (bar)	1	6,2	6,2	6,2
Carga total (kmol)	1,29	1,29	1,29	1,29
Fracción				
ETHANOL	0,482	0,482	0,998	5,61E-04
AGUA	0,517	0,517	0,002	0,999439

Nota. En la tabla 10 se muestra el balance de masa de la simulación batch, ya que el software únicamente se enfoca en lo perfiles de tiempo, toma tres corrientes, corriente 1 de alimento, corriente 2 de cimbras y corriente 3 de fondos.

Tabla 11*Balance de energía simulación batch*

	Unidad destilación
Q (Gj/hr)	0,036

Nota. En la tabla 11 se muestra el cambio de energía por hora en la simulación batch.

En la tabla de resultados se puede apreciar que se llega a la conclusión de que el tiempo aproximado de una operación de la torre de destilación de manera normal y este, siendo un proceso de tipo batch es de aproximadamente 1 hora y 41 minutos de duración, teniendo en cuenta que el tanque de almacenamiento de mezcla problema se proyectó cargado completamente con un volumen de 50 litros, para darnos confirmación de que en el tiempo de 1 hora y 41 minutos, se obtiene por el destilado etanol a una concentración aproximada de 99,9% y que en el tanque de fondos se obtendrá agua a una concentración aproximada de 99,9%, para de esta forma haber realizado una separación completamente exitosa y completa, de esta forma con esta simulación poder obtener una proyección de operación muy acercada a la realidad, aunque no con una exactitud completa, como ya se había dicho en la introducción de este segmento.

Se obtuvieron de la misma forma los gráficos correspondientes a este proceso de destilado batch, todos en función de la variable de interés que es el tiempo.

Para ver el gráfico de la temperatura con respecto al tiempo ver anexo 1 y para ver el gráfico de la fracción de vapor del etanol y del agua con respecto al tiempo ver anexo 2.

Teniendo la información de tiempos de operación aproximados, se puede proceder con la proyección planteada, generando un diagrama de Gantt utilizando el software Microsoft Project, en el cual se establecieron los siguientes parámetros operacionales:

- Carga de alimento
- Arranque de equipo
- Proceso de separación
- Recolección de producto
- Limpieza de equipos
- Recolección datos COCO
- Servicio vapor CESI

Teniendo en cuenta que hay operaciones continuas como la recolección de servicios en COCO y el abastecimiento de servicio industrial de vapor desde CESI se logró establecer el siguiente plan operativo, secuencial de tareas para una posible proyección de uso de la torre de destilación.

Dicho plan se muestra en dos partes, la primera busca relacionar y familiarizar el plan de tareas del diagrama Gantt con el código de colores utilizado para una de las barras de tareas en el diagrama Gantt y así poder facilitar el entendimiento del diagrama y poder ser utilizado como un apoyo de proyección para la puesta en marcha o arranque de la torre de destilación.

Figura 60

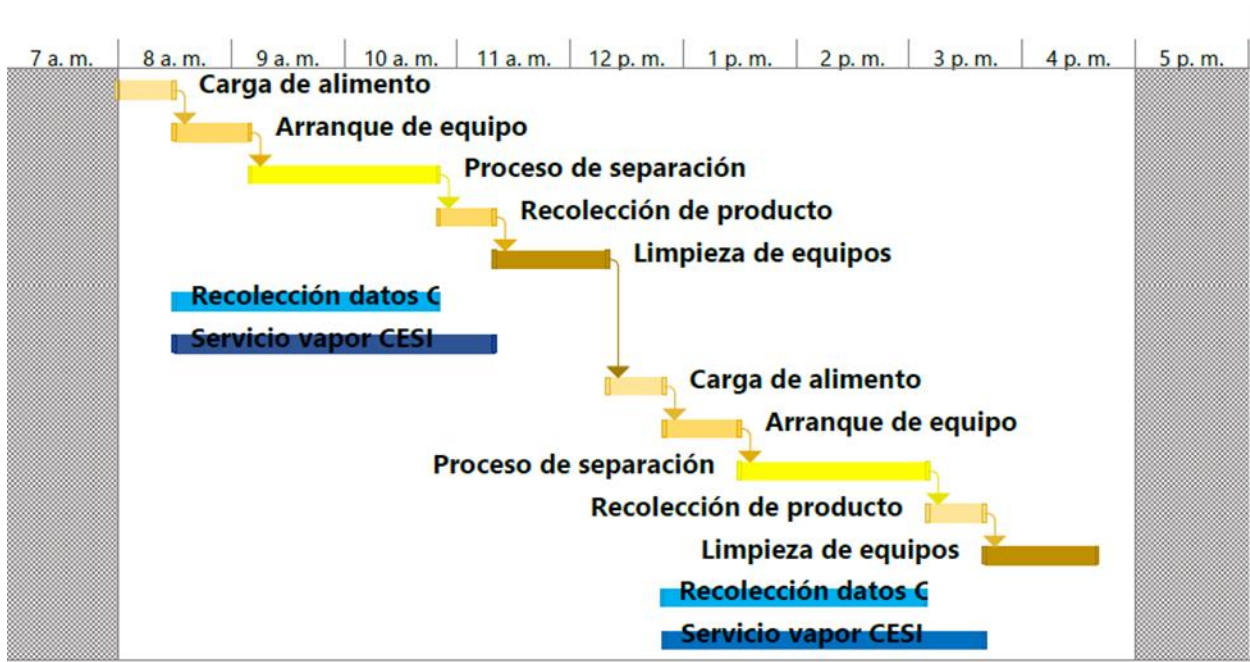
Tareas con código de colores para diagrama de Gantt

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo
1	Carga de alimento	30 mins	2/10/23 8:00 a. m.
2	Arranque de equipo	40 mins	2/10/23 8:30 a. m.
3	Proceso de separación	100 mins	2/10/23 9:10 a. m.
4	Recolección de producto	30 mins	2/10/23 10:50 a. m.
5	Limpieza de equipos	60 mins	2/10/23 11:20 a. m.
6	Recolección datos COCO	140 mins	2/10/23 8:30 a. m.
7	Servicio vapor CESI	170 mins	2/10/23 8:30 a. m.
8	Carga de alimento	30 mins	2/10/23 12:20 p. m.
9	Arranque de equipo	40 mins	2/10/23 12:50 p. m.
10	Proceso de separación	100 mins	2/10/23 1:30 p. m.
11	Recolección de producto	30 mins	2/10/23 3:10 p. m.
12	Limpieza de equipos	60 mins	2/10/23 3:40 p. m.
13	Recolección datos COCO	140 mins	2/10/23 12:49 p. m.
14	Servicio vapor CESI	170 mins	2/10/23 12:50 p. m.

Nota. Se muestran las tareas con código de color para diagrama de Gantt.

Figura 61

Diagrama de Gantt Torre de destilación batch



Nota. La figura 61 representa el diagrama de Gantt para la torre de destilación batch, de esta forma poder establecer tiempos de operación.

En la figura 60 se representa el listado de tareas para la realización del diagrama de Gantt proyectado en la figura 61, se debe tener en cuenta que se realizó el diagrama pensando en una jornada laboral de turno ordinario descrita entre las 8:00 am y las 5:00 pm, ya que es el tiempo más común en el que se pueden desarrollar las practicas, especificando que puede variar dependiendo de la naturaleza del proceso a realizar y la disponibilidad de tiempo, tanto de operarios como de supervisores del proyecto en cuestión.

En ese orden de ideas en el diagrama Gantt se puede observar la proyección de trabajo de dos separaciones tipo batch, con sus respectivos códigos de colores para identificar la barra junto con la tarea correspondiente, dos separaciones que se logran realizar en la jornada de turno ordinario descrita anteriormente, gracias a la proyección de tiempo obtenida en la simulación de destilación batch. Para ver el diagrama de Gantt completo para la torre de destilación, visualizar anexo 3.

El análisis de resultados que se obtiene de esta proyección operacional es que con un proceso de destilación simple y batch, en una mezcla problema ideal como la es etanol y agua cada uno al

50%, se puede obtener con ayuda de la simulación un estimado de tiempo aproximado que puede proveer la información necesaria para realizar el diagrama de Gantt y de esta forma poder establecer los ciclos capaces de cumplir la torre de destilación a lo largo de una jornada operacional ordinaria.

6.3 Procesos recomendados a realizar para la unidad de absorción

Inicialmente se debe tener en cuenta que en la planta de absorción se tiene como objetivo que la proyección a realizarse en este segmento del capítulo únicamente se hará teniendo en cuenta la modalidad de absorción física por lotes, por ello la simulación y la proyección se hará en esta modalidad, nuevamente recalcando que se hace de esta forma con el fin de poder obtener perfiles de gastos de operación para generar una proyección en cuanto al factor económico del equipo, a continuación se relacionaran las prácticas recomendadas para la torre de absorción:

Figura 62

Prácticas recomendadas para cada tipo de experimento

Tipo de experimento	Reactivos
Absorción física	Eliminación de amoníaco al 10% en el aire con agua como solvente
Absorción química	Eliminación de CO ₂ o H ₂ S por reacciones con NaOH o con monoetanolamina (MEA)

Nota. Se puede evidenciar las posibles prácticas a realizar en la torre de absorción, aclarando que cada una de ellas se puede realizar en la modalidad de absorción batch.

6.4 Proyección operacional para la unidad de absorción

Para la proyección operacional de la columna de absorción se establecieron parámetros diferentes a los usados en la torre de destilación, esto debido a que las condiciones de operación y sus métodos y tiempos de trabajo varían mucho dependiendo de las sustancias y los objetivos que se busquen cumplir en cada uno de los casos, por esto para la columna de absorción se planteó un mecanismo diferente para poder realizar una correcta proyección de operaciones para puesta en marcha y arranque de equipo, esta cuenta con una simulación en el programa Aspen Plus®, en el cual se evaluarán variables y parámetros de una mezcla de aire con amoníaco concentrado en un 10%, este último siendo retirado con agua como solvente.

Para esta simulación se tuvo en cuenta el modelo termodinámico NRTL, ya que las sustancias son polares, no poseen electrolitos, además su presión de entrada es menor a 10 bar, con todo esto y siguiendo los parámetros operacionales del fabricante se establecieron las siguientes condiciones iniciales:

Tabla 12

Condiciones iniciales simulación absorción

	Temperatura (°c)	Presión (bar)	Carga problema (L/min)	Solvente (L/min)
Condiciones iniciales	20	1	1300	50

Nota. La tabla 12 muestra las condiciones de temperatura y presión iniciales para la simulación de absorción de gases.

En la siguiente tabla se puede apreciar la composición de la mezcla problema, como ya se había dicho en el enunciado está el aire contaminado en un 10% por amoníaco y el 90% restante será aire, en la siguiente tabla se puede evidenciar dicha relación de fracciones y composición de la mezcla:

Tabla 13

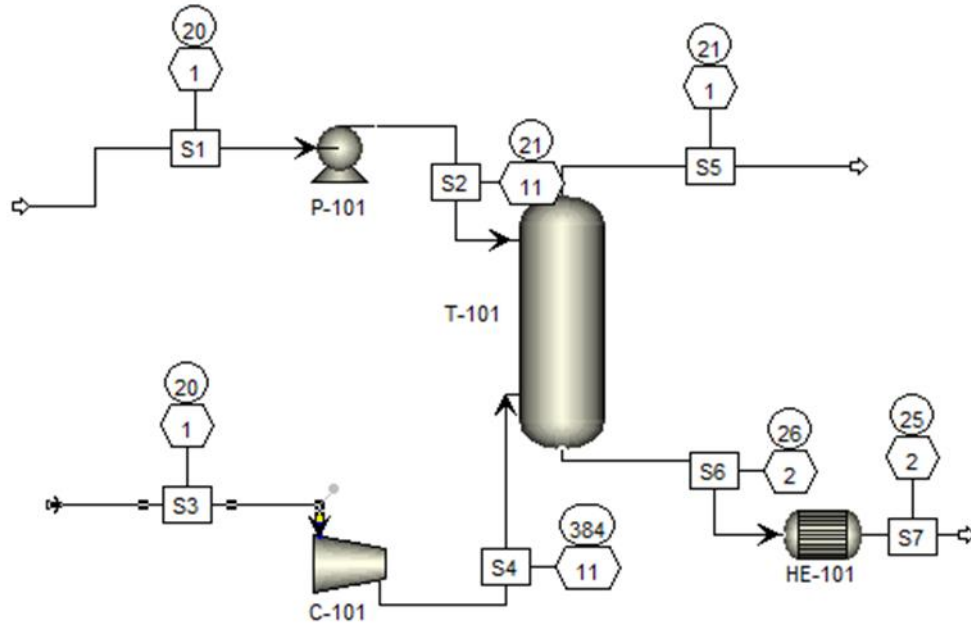
Fracción molar compuestos mezcla problema

Componente	Fracción molar
Aire	0,9
Amoniaco	0,1
TOTAL	1

Nota. En la tabla 13 se sobre entiende la relación de amoníaco y aire que se encuentran en la mezcla problema, de igual forma se exponen sus proporciones y se da por entendido que el agua ingresa como solvente a este proceso, por ende, no está explícito en la tabla.

Figura 63

Simulación absorción de gases Aspen Plus



Nota. La figura 63 representa el modelo grafico de la simulación realizada en el software Aspen Plus, con la respectiva enumeración de corrientes y así mismo su nomenclatura de equipos y los indices de temperatura y presión en sus corrientes.

Después de realizada la simulación en el software Aspen plus, con las condiciones de operación dadas por el fabricante y después de haber incluido todas las variables manipulables, se llega a la siguiente tabla de resultados que nos propone las composiciones de las corrientes de interés:

Tabla 14*Balance de masa resultados simulación absorción Aspen Plus*

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
temperatura	20	20,825248	20	383,60883	20,82339	26,00706	25
presión	1	11	1	11	1	1,5	1,5
flujo molar	166,32001	166,32001	3,2002024	3,2002024	2,447188	167,0730	167,0730
flujo masico	2996,3016	2996,3016	86,588129	86,588129	70,19045	3012,699	3012,699
agua	2996,3016	2996,3016	0	0	1,083765	2995,217	2995,217
amoniaco	0	0	8,6588129	8,6588129	1,56E-13	8,658812	8,658812
aire	0	0	77,929316	77,929316	6,91E+01	8,822626	8,822626
fracción másica							
agua	1	1	0	0	0,01544035	0,9941974	0,9941974
amoniaco	0	0	0,1	0,1	2,22E-15	0,0028741	0,0028741
aire	0	0	0,9	0,9	0,98455965	0,0029285	0,0029285

Nota. En la tabla 14 se relacionan los resultados arrojados por el software Aspen Plus con su respectivo balance de masa, en dicha tabla se aprecias las variables más representativas del proceso y su respectivo resultado en las corrientes de salida de la columna de absorción, tomada de Aspen Plus.

El análisis que se puede hacer con los resultados de la simulación de la columna de absorción es que genera una separación eficiente del amoniaco, liberando el aire sin la contaminación con la que llegaba, de la misma forma se puede ver como el agua actúa como un solvente predilecto gracias a la polaridad de este gas, se puede mezclar el solvente en este caso agua, con nuestro gas contaminante, en este caso amoniaco.

También se hizo el análisis financiero del mismo proceso con la herramienta Aspen Process Economy Analyzer®, para poder estimar los costos de operación anuales y así mismo los costos de servicios industriales y este fue el resultado:

Tabla 15*Costos por año torre de absorción en USD y COP*

	VALOR	UNIDAD
Costos de operación totales	83.346,7	USD/año
Costos de utilidades totales	4.997	USD/año
TOTAL	88.343,7	USD/año
<hr/>		
Costos de operación totales	331.404.532,50	COP/año
Costos de utilidades totales	19.869.321,25	COP/año
TOTAL	351.273.853,75	COP/año

Nota. La tabla 15 hace referencia a los gastos anuales aproximados (toma unidades de dólares estadounidense y su respectiva conversión a pesos colombianos), si se trabajara 8 horas la torre de absorción con el proceso de separación de amoníaco como se planteó en el ejercicio de proyección.

Tabla 16*Costos de mano de obra y recursos públicos*

CONCEPTO	VALOR	UNIDAD
Costos de mano de obra		
Ingeniero de procesos	21000	COP/h
Operario 1	9000	COP/h
Operario 2	9000	COP/h
Costos recursos públicos		
Energía eléctrica	283,49	COP/kWh
Agua y acueducto	2766,17	COP/m ³
TOTAL	42049,66	COP/h

Nota. En la tabla 16 se evidencian los costos de mano de obra por hora, así mismo se describen 2 operarios que puedan realizar las funciones de las operaciones conjuntamente, adicional a ello se muestran los costos de los recursos públicos de agua y energía.

Se proyectaron dos operarios durante el uso y funcionamiento de la torre de absorción ya que uno debe estar supervisando el uso de reactivos, productos o solventes utilizados durante el proceso y el otro de estar supervisando el general funcionamiento de la torre, de la misma manera según los protocolos de seguridad del equipo debe haber dos personas supervisando el funcionamiento del mismo por cada corrida que realice. De la misma forma habrá un ingeniero de procesos inmerso en el desarrollo de las operaciones de este y de todos los equipos de la zona.

Para dar el análisis de resultados de la proyección de la torre de absorción se debe tener en cuenta que se realizó una simulación en aparente estado continuo, por esto no se puede identificar el tiempo de operación. Por otro lado, se logró identificar el alcance que este equipo podría brindar al hacer una proyección hacia una separación de gases como la de aire con amoníaco, al ser frecuente en industrias de alto nivel.

Así mismo cabe resaltar que el estudio económico generado por el software Aspen Plus, genera un valor estimando costos en la industria estadounidense, por este motivo muestra un valor operacional tan grande, además de eso esta evaluado en el precio del dólar en el año 2017.

Del mismo modo se recolecto información de gran utilidad en cuanto a costos de operación utilizando las herramientas del simulador y así viendo que puede llegar a salir costoso el uso continuo de este equipo.

6.5 Capacidad de producción y recursos necesarios

Las operaciones inmersas en esta proyección tales como destilación y absorción tienen claramente una capacidad de producción y de la misma forma unos recursos necesarios para su óptimo funcionamiento, en este segmento del capítulo se realizó una evaluación de la capacidad de producción aproximada tanto para la torre de destilación como para la torre de absorción y de la misma forma, puede realizar una estimación de recursos necesarios para la óptima operación de los equipos en cuestión.

6.5.1 Torre de destilación

Para establecer capacidades de producción aproximadas se debe tener en cuenta las condiciones de operación de carga iniciales brindadas por el proveedor, de la misma forma se tendrá en cuenta el gasto aproximado de recursos necesarios, descritos en las siguientes tablas:

Tabla 17

Capacidad de carga y producción torre de destilación

Carga inicial min (Litros)	Carga inicial máx. (Litros)	Carga inicial promedio (Litros)	Capacidad de producción aprox (Litros)
10	50	30	28

Nota. La tabla 17 muestra la carga mínima y máxima que se pueden cargar a los tanques de la torre de destilación, así mismo con una carga inicial promedio de 30 L se puede generar una producción aproximada de 28 L repartidos entre destilado y fondos.

Figura 64

Recursos para operación torre de destilación

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Área	La unidad requiere un área libre de 10 m ² y una altura de 7 m para operación en condiciones normales.
Suministro eléctrico	Consumo normal: 5 kW a 220V En caso de no considerar calentamiento con vapor, el consumo es de 25 kW de potencia a 220V.
Agua de servicio	El flujo mínimo requerido es de 1 m ³ /h, con una presión recomendada de 2 bar. Preferiblemente libre de dureza para prevenir incrustaciones, taponamiento y corrosión.
Vapor de servicio	Se requiere vapor proveniente de caldera a presión mínima de 90 psi, y un flujo mínimo de 25 kg/h.
Ventilación	El equipo debe ubicarse en un lugar con suficiente ventilación, en el cual se garantice la evacuación segura de vapores producidos.

Nota. La figura 64 muestra los consumos aproximados de recursos y servicios industriales necesarios para la operación de la torre de destilación, desde redes eléctricas a fuentes hídricas.

6.5.2 Torre de absorción

Para establecer capacidades de producción aproximadas se debe tener en cuenta las condiciones de operación de carga iniciales brindadas por el proveedor, de la misma forma se tendrá en cuenta el gasto aproximado de recursos necesarios, descritos en las siguientes tablas:

Tabla 18*Capacidad de carga y producción torre de absorción*

Carga inicial solvente (Litros)	Carga min solvente (Litros)	Carga inicial máx.	Carga inicial solvente promedio (Litros)	Carga inicial mezcla gaseosa promedio (kg/h)	Capacidad de producción (kg/h)	de aprox
10	50		30	1,5	1,2	

Nota. La tabla 18 muestra la carga mínima y máxima con la que se puede poner en operación la torre de absorción, así mismo con una carga inicial promedio de 30 L de solvente y 1,5 kg/h de mezcla gaseosa problema, se puede generar una producción aproximada de 1,2 kg/h de gas separado aproximadamente.

Figura 65*Recursos de operación torre de absorción*

REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN
Área	La unidad requiere un área libre de 5 m ² y una altura de 3 m para operación en condiciones normales.
Suministro eléctrico	Conexión a tierra Tipo de clavija Voltaje: 110 V Frecuencia: 60 Hz Amperaje: 60 A
Agua de humidificación	El humidificador opera con agua de proceso a temperatura ambiente. El flujo mínimo requerido es de 30 L/min. Preferiblemente libre de dureza para prevenir incrustaciones, taponamiento y corrosión.
Aire de proceso	Se requiere aire proveniente de un compresor a presión

	mínima de 2 bar, y un flujo mínimo de 20 L/min.
Ventilación	El equipo debe ubicarse en un lugar con suficiente ventilación, en el cual se garantice la evacuación segura de vapores producidos.

Nota. La figura 65 muestra los consumos aproximados de recursos y servicios industriales necesarios para la operación de la torre de destilación, desde redes eléctricas a fuentes hídricas.

7. ANALISIS DE RIESGOS DEL CEPURE

Con el fin de realizar la elaboración de manuales operativos se deben tener en cuenta los riesgos existentes en el Centro de Refinación y Purificación (CEPURE), los cuales fueron estudiados en el trabajo de grado “PROPUESTA DE UN PLAN DE GESTIÓN DE RIESGO EN EL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE (CEPIIS) DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA UTILIZANDO LAS HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF, HAZOP Y LA METODOLOGÍA BOW-TIE” realizado por egresados de la Universidad de América.

Estos estudios realizados a partir de las diferentes metodologías reúnen los riesgos dándoles un nivel de peligro, a continuación, serán expuestos según los equipos que componen cada unidad.

7.1 Riesgos de la unidad de destilación

Los riesgos que fueron identificados por medio de la metodología HAZOP serán representados por medio de la tabla 2:

Figura 66

Análisis de riesgos de la unidad de destilación por metodología HAZOP

EQUIPOS	RIESGOS	VALORACIÓN
TANQUES (TK-101 y TK 102)	• La pérdida de contención	Riesgo de nivel medio
	• Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación y posible ruptura de eje	
	• Inundación de equipos por rebosé no diseñados para soportar líquido	
	• Sobrepresión en el tanque que puede dar lugar a rupturas de sellos y tuberías.	

INTERCAMBIADORES DE PRESIÓN (HE-101 y HE-102)	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia en el intercambio de calor hacia el fluido de proceso 	Riesgo de nivel bajo
	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de las condiciones óptimas de operación 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la caída de presión 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Variación en la temperatura de la entrada del servicio 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga en el interior de la carcasa 	
ALIMENTACIÓN, CIMA Y FONDO DE LA COLUMNA	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación de la columna 	Riesgo de nivel medio
	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución en el tiempo de contacto entre líquido – vapor 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de espuma 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Sobrepresión en el equipo 	

Nota. La Tabla 31. Representa los riesgos a los que está expuesto cada equipo de la unidad de destilación.

7.2 Riesgos de la unidad de absorción

Los riesgos que fueron identificados por medio de la metodología HAZOP serán representados por medio de la tabla 3:

Figura 67

Análisis de riesgos de la unidad de absorción por metodología HAZOP

EQUIPOS	RIESGOS	VALORACIÓN
TANQUES (TK-101 y TK 103)	<ul style="list-style-type: none"> • La pérdida de contención y derrame de solvente 	Riesgo de nivel medio
	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de sobrecalentamiento en el motor de la bomba de alimentación y posible ruptura de eje. 	

		<ul style="list-style-type: none"> • Sobrepresión en el tanque que puede dar lugar a rupturas de sellos y tuberías. 	
COMPRESOR HUMIFICADOR	Y	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación en la columna por disminución de flujo de aire. 	Riesgo de nivel bajo
		<ul style="list-style-type: none"> • Acumulación de solvente en el fondo de la columna 	
		<ul style="list-style-type: none"> • Sobre calentamiento 	
		<ul style="list-style-type: none"> • Variación en el porcentaje óptimo de humedad. 	
COLUMNA ABSORCIÓN	DE	<ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la difusividad entre el solvente y el gas. 	Riesgo de nivel bajo
		<ul style="list-style-type: none"> • Deterioro del material de equipo 	

Nota. La Tabla 31. Representa los riesgos a los que está expuesto cada equipo de la unidad de absorción.

Una vez se tienen en cuenta los riesgos que están presentes en las dos unidades, se busca realizar manuales operativos con el fin de crear un estándar en el proceso, y de esta manera evitar accidentes y asegurar los resultados.

8. CRITERIOS PARA ELABORACIÓN DE MANUALES OPERATIVOS

Para sintetizar este proyecto de investigación se realiza un manual operativo de las unidades que pertenecen al centro de purificación y refinación (CEPURE) del CEPIIS, para el cual se deben tener en cuenta los parámetros más importantes de la validación y puesta en marcha de los equipos.

- ¿Qué es un manual operativo?

Los manuales operativos son documentos que describen el paso a paso de una operación de manera detallada, enfatizando en las funciones más importantes que se deben llevar a cabo en una empresa o institución. Este documento debe ser realizado por la organización que lo requiere con toda la información necesaria con el fin de que la actividad sea clara para cualquier persona que la lleve a cabo.

Los manuales de operación son de vital importancia para una empresa ya que minimizan el porcentaje de error durante las actividades y estandarizan los procesos, de esta forma también se disminuyen costos y se uniforman los métodos. Por otro lado, también permiten tener instrucciones claras de trabajo y promueven la organización de las funciones.

- ¿Cómo hacer un manual operativo?

Para realizar un manual operativo se deben identificar factores como: objetivo, alcance, justificación, participantes y paso a paso el cual puede mostrarse como diagramas de flujo, check list, diagrama de bloques, entre otros, por último, recomendaciones o políticas para tener en cuenta.

Es importante que el manual sea de fácil entendimiento teniendo en cuenta el público al que será dirigido, esto con el fin de que se realice la actividad correspondiente con éxito siguiendo el paso a paso tal y como se especifica en el manual.

8.1 Manual de validación de la unidad de destilación

Para la realización del manual de validación y puesta en marcha de la unidad de destilación se tendrán en cuenta los siguientes ítems:

A continuación, será expuesto el manual de validación para la unidad de destilación.

MANUAL DE VALIDACIÓN PARA LA UNIDAD DE DESTILACIÓN DEL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE (CEPIIS) DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.

- **Generalidades**

Según el manual de operación dispuesto por Process Solutions and Equipment (PSE), la unidad está compuesta por el sistema de alimentación, la columna de destilación, el sistema de condensación y reflujo, los tanques de acumulación de destilado, medidores y el tablero de control. La columna de destilación está construida con 3 secciones principales con posibilidad de alimentación en cada una y dos cabezales. La altura total del sistema es de 6m aproximadamente incluyendo los soportes, tanques, estructura y condensador. Cada sección está llena de empaque al azar de alta eficiencia en acero inoxidable 304 con sellos y empaques en vitol y a su vez cuenta con 3 tomas de muestras para la fase líquida, 3 sensores de temperatura, y un visor de vidrio.

Por otro lado, la columna cuenta con un sensor de presión en los fondos que está conectado por cables al tablero de control. Finalmente, el fondo la columna cuenta con una entrada para el vapor, una salida por la parte inferior con válvula para descarga y purga de la columna, la sección superior de la columna cuenta con una salida de vapor y una entrada de retorno de reflujo con válvula de acero inoxidable. Puede ser utilizada para destilación simple, extractiva y azeotrópica en mezclas ideales y no ideales.

Figura 68

Destilación simple



Nota. Esquema de planta de destilación simple por proveedor.

- **Objetivo general**

Exponer el paso a paso para llevar a cabo la validación de la unidad de destilación del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).

- **Objetivo específico**

Dar a conocer el funcionamiento y los equipos que conforman la unidad.

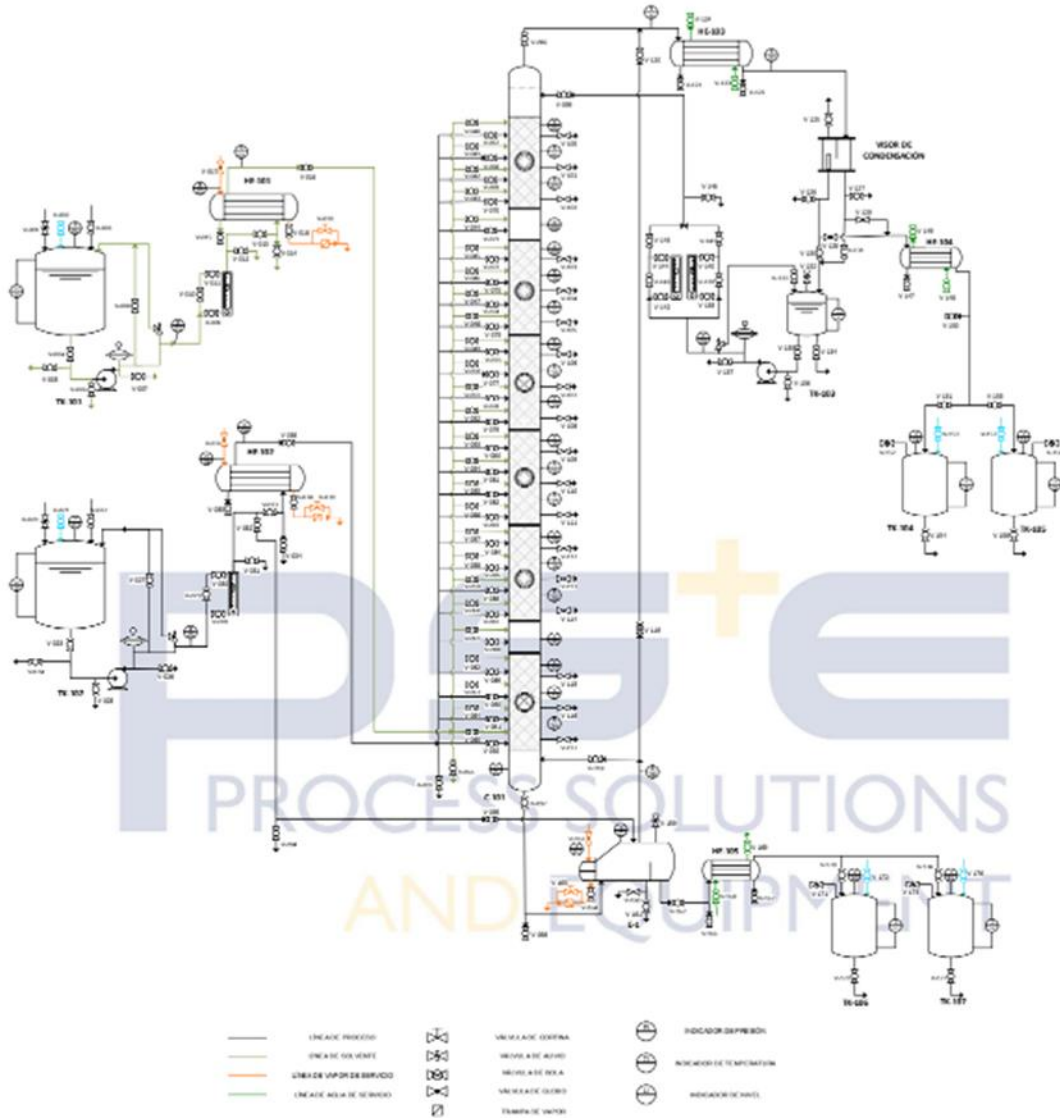
- **Responsables**

Todos los usuarios que realicen un acercamiento a la unidad de destilación deben conocer este manual, con el fin de evitar mal uso de los equipos y minimizar riesgos.

- **Diagrama del equipo**

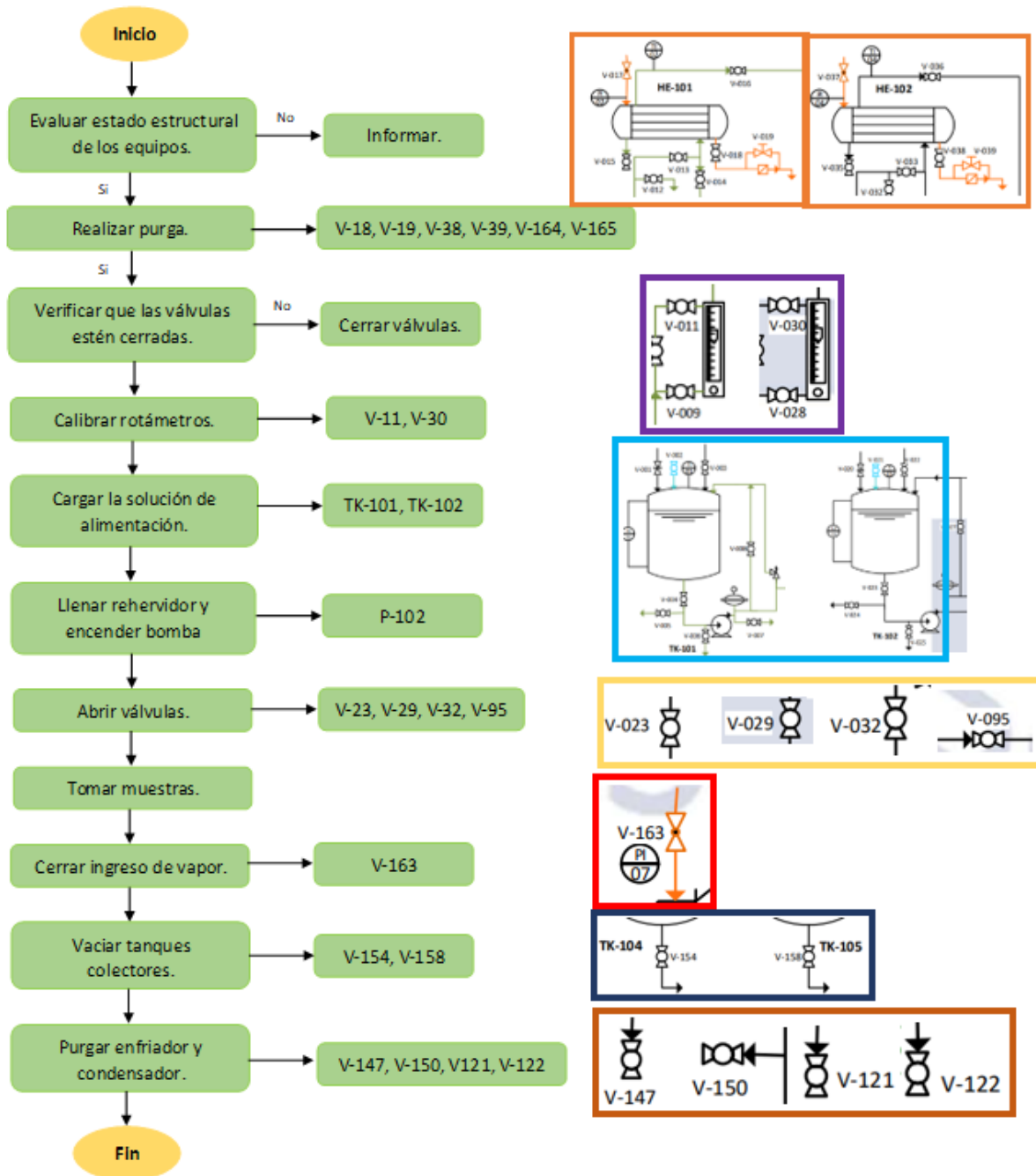
Figura 69

Diagrama de la torre de destilación



Nota. Diagrama p&d de la torre de destilación con sus partes fundamentales para manejo de equipo señaladas, tomado de: PROCESS SOLUTIONS AND EQUIPMENT PSE S.A.S., «Manual de operación Planta de destilación continua REF. PD,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://drive.google.com/drive/folders/1OPAdBDQhOFi2wTT0vtUsIU8cy0b6uA5>.

- **Diagrama de flujo operación y puesta en marcha**



- Es importante tener en cuenta cuales son las condiciones de operación adecuadas en las que funciona la unidad de destilación, esto con el fin de asegurar la efectividad del proceso y mitigar riesgos y/o accidentes. [1]

Tabla 19

Variables de operación

	MAGNITUD	UNIDAD
CAPACIDAD DE LOS TANQUES	50	L
FLUJO DEL AGUA DE REFRIGERACION MINIMA	1	m3/h
PRESION DEL AGUA DE REFRIGERACION MINIMA	2	bar
PRESION DE VAPOR	6,2	bar
FLUJO DE VAPOR	25	kg/h
CONSUMO ELECTRICO	5	kW/h

Nota. La Tabla expone las condiciones de operación óptimas para la unidad de destilación.

- **Límites de operación**

Tabla 20

Límites de operación

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDAD
TEMPERATURA	300	°C
PRESIÓN MAX.	90	PSI
VOLUMEN MIN. DEL TANQUE	20	L

Nota. La tabla expone los límites de operación de la unidad de destilación.

- **Seguridad**

Es importante contar con todos los elementos de protección personal al momento de empezar la operación en la columna de absorción.

- Tapa oídos
- Casco
- Protección respiratoria
- Gafas de seguridad
- Overol o bata de laboratorio

- Guantes de carnaza
- Botas de seguridad

Figura 70

Elementos de protección personal








Nota. Elementos de protección personal (EPP) necesarios para operar la unidad de destilación.

- Riesgos

Figura 71

Riesgos

				
Riesgo de explosión	Riesgo de incendio	Riesgo eléctrico	Superficie caliente	Riesgo de caída de objetos

	
Riesgo químico	Riesgo físico

Nota. Riesgos industriales de la unidad de destilación.

- **Recomendaciones**

- Para el manejo de la unidad de destilación se debe contar con elementos de seguridad como: casco, bata de laboratorio y/o overol, gafas de seguridad, guantes de carnaza.
- Realizar mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos de alta presión y alta temperatura, con la finalidad de prevenir paros durante las corridas, accidentes, y daños a largo plazo.
- Operar la unidad en una zona de ventilación ya que puede ocurrir acumulación de vapores provenientes de los equipos.
- Garantizar el flujo constante de agua fría.
- El equipo debe ser operado por mínimo dos personas capacitadas.
- Después de la operación dejar los equipos lavados y purgados, para evitar contaminación cruzada entre los solventes.
- En caso de presentarse fugas o alarmas en la unidad realizar el paro inmediato de los equipos.
 - No consumir ningún tipo de alimento o bebida dentro del CEPURE.

- **Sustancias compatibles**

Antes de empezar la corrida, se debe asegurar que las sustancias a tratar son compatibles con el material de construcción de la unidad. La tabla expuesta a continuación muestra la compatibilidad de algunas sustancias químicas con el acero inoxidable (SS 304) y el Teflón (PTFE).

A: Excelente compatibilidad

B: Buena (mínima corrosión)

C: Aceptable (efecto moderado)

D: Efecto severo (no recomendado)

Figura 72

Tabla de compatibilidad química

Sustancia química	SS 304	Teflón (PTFE)	Viton
Aceite de coco	A	A	A
Aceite de maíz	B	A	B
Aceite de motor	A	A	N/A
Aceite de oliva	B	A	A
Aceite de palma	A	A	A
Aceite hidráulico (petro)	A	A	A
Aceite hidráulico (sintético)	A	A	A
Aceite mineral	A	A	A
Aceites combustibles	A	B	B
Acetaldehído	E	A	D
Acetato de amilo	A	A	D
Acetato de isoamilo	A	N/A	D
Acetato de isobutilo	A	N/A	D
Acetato de isopropilo	C	A	D
Acetato de metilo	A	A	D
Acetato de sodio	B	A	D
Acetato de vinilo	B	A	D
Acetileno	A	A	A
Acetona	A	A	D
Ácido acético	D	A	B
Ácido acético 20%	B	A	B
Ácido acético 80%	D	A	B
Ácido acético glacial	C	A	D
Ácido benzoico	B	A	A

Ácido carbónico	B	A	A
Ácido cítrico	B	A	A
Ácido cítrico 5%	A	A	A
Ácido clórico	D	A	N/A
Ácido clorhídrico 100%	D	A	A
Ácido clorhídrico 20%	D	A	A
Ácido clorhídrico 37%	D	A	A
Ácido cloroacético	D	A	D
Ácido clorosulfónico	D	A	D
Ácido crómico 5%	B	A	A
Ácido crómico 50%	C	A	A
Ácido esteárico	B	A	A
Ácido fórmico	C	A	C
Ácido fosfórico 10%	A	A	A
Ácido fosfórico 20%	A	A	A
Ácido fosfórico 50%	A	A	A
Ácido fosfórico concentrado	A	A	A
Ácido ftálico	B	A	B
Ácido láctico	B	A	A
Ácido láctico (Solución al 5%)	A	A	A
Ácido linoleico	B	A	B
Ácido monocloroacético	D	D	C
Ácido nítrico concentrado	A	A	A
Ácido nítrico 5-10%	A	A	A
Ácido nítrico 20%	A	A	A
Ácido nítrico 50%	B	A	A
Ácido oleico (red oil)	B	A	B
Ácido oxálico 5% (caliente y frío)	B	A	A
Ácido oxálico frío	D	A	A
Ácido palmítico	B	A	A

Ácido perclórico	D	A	A
Ácido salicílico	B	A	A
Ácido sulfúrico 95%	A	A	A
Ácido sulfúrico 75%	C	A	A
Ácido sulfúrico 60%	D	A	A
Ácido sulfúrico 50%	D	A	A
Ácido sulfúrico 25%	B	A	A
Ácido sulfúrico 10%	A	A	A
Ácido sulfúrico <10%	D	A	A
Ácido sulfúrico concentrado (frío)	C	A	B
Ácido sulfúrico concentrado (caliente)	D	A	A
Ácido úrico	B	A	N/A
Ácidos grasos	B	A	A
Agua carbonatada	A	N/A	A
Agua de mar	C	A	A
Agua desionizada	A	A	A
Agua destilada	A	A	A
Agua Regia (80% HCl, 20% HNO ₃)	D	A	C
Alcohol amílico	A	A	A
Alcohol bencílico	B	A	A
Alcohol isobutílico	A	A	A
Almidón	B	A	A
Aminas	A	A	D
Amoniaco 10%	A	A	D
Amoniaco, líquido	N/A	A	D
Anhídrido ftálico	A	A	A
Azúcar (líquidos)	A	A	A
Benceno	B	A	A

Benzaldehído	B	A	D
Benzoato de sodio	N/A	A	A*
Bicarbonato de potasio	B	A	A
Bicarbonato de sodio	A	A	A
Bisulfito de sodio	D	A	A
Borax	B	A	A
Butano	A	A	A
Butanol	A	A	A
Buteno	A	N/A	A
Café	A	N/A	A
Carbonato de calcio	B	A	A
Carbonato de magnesio	B	A	A
Carbonato de sodio	A	A	A
Cerveza	A	A	N/A
Cetonas	A	A	A
Ciclohexano	B	A	A
Clorobenceno	A	B	A
Cloroformo	A	A	N/A
Coca cola	A	A	A
Colorantes	A	N/A	A
Detergentes	A	A	A
Dicromato de potasio	B	A	A
Diésel	A	A	D
Dietil éter	B	A	A
Dietilamina	A	D	A
Dietilenglicol	A	A	A
Difenil	B	A	C
Dimetil formamida	A	A	A
Dióxido de azufre	D	A	B
Estireno	A	A	A

Etanol	A	A	D
Etanolamina	A	A	D
Éter	A	A	D
Éter de isopropilo	A	A	D
Etil acetato	B	A	D
Etil éter	B	A	A
Etilenglicol	B	A	A
Fenol	B	A	D
Formaldehido 100%	B	A	A
Formaldehido 40%	A	A	D
Furfural	A	A	A
Gasolina	A	A	A
Gelatina	A	A	A
Glicerol	A	A	A
Glucosa (jarabe de maíz)	A	A	A
Heptano	A	A	A
Hexano	A	A	B
Hidroquinona	B	A	A
Hidrosulfito de sodio	N/A	A	A
Hidróxido de calcio	B	A	A
Hidróxido de calcio 10% (en ebullición)	A	N/A	B
Hidróxido de magnesio	B	A	A
Hidróxido de potasio	B	A	C
Hipoclorito de sodio <20%	C	A	D
Hidróxido de sodio 20%	B	A	D
Hidróxido de sodio 50%	B	A	A
Hidróxido de sodio 80%	D	A	A
Hipoclorito de sodio 100%	D	A	A
Isobutanol	A	A	A

Isooctano	A	A	A
Isopropanol	B	A	A
Jet Fuel (JP3, JP4, JP5)	A	A	A
Jugo de caña	A	A	A
Jugos de frutas	A	A	A
Lacas	A	A	A
Látex	A	A	A
Leche	A	A	A
Licor de azúcar de caña	A	A	A
Líquidos de remolacha	A	A	A
Lubricantes	A	A	C
Melaza	A	A	A
Metanol	A	A	D
Metasilicato de sodio	A	A	D
Metil butil cetona	A	N/A	D
Metil etil cetona	A	A	D
Metil isobutil cetona	B	A	D
Metil isopropil cetona	A	A	A
Metilamina	A	A	D
Miel	A	A	A
Monoetanolamina	A	A	A
Nafta	A	B	A
Naftalina	A	A	A
Nitrato de calcio	C	A	B
Nitrato de sodio	B	A	B
Nitrobenceno	B	A	C
Óxido de calcio	A	A	A
Óxido de magnesio	A	A	A
Pentano	C	A	A
Permanganato de potasio	B	A	A

Peróxido de hidrógeno 100%	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 50%	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 30%	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 10%	B	A	D
Peróxido de sodio	B	A	A
Piridina	B	A	A
Propano (licuado)	A	A	A
Propanol	A	A	A
Propilenglicol	B	A	A
Propileno	B	A	A
Queroseno	A	A	A
Sulfato de calcio	B	A	A
Sulfato de magnesio	A	A	A
Sulfato de potasio	B	A	A
Sulfato de sodio	B	A	A
Sulfato de zinc	B	A	A
Tintas	C	A	C
Tiosulfato de sodio	B	A	D
Tolueno (toluol)	A	A	A
Trietilamina	A	A	A
Urea	B	A	B
Vinagre	B	A	A
Xileno	B	A	B
Yodo	D	A	A

Nota. Este manual de validación aplica para los diferentes tipos de destilación que pueden llevarse a cabo en la columna. Se debe tener en cuenta los cambios en el tablero de control y condiciones de operación.

La bibliografía expuesta a continuación hace parte del manual de validación de la unidad de destilación del CEPIIS.

- **Bibliografía**

- [1] Process Solutions And Equipment PSE S.A.S., «Manual de operación Planta de destilación continua REF. PD,» Julio 2018. [En línea]. Available: <https://drive.google.com/drive/folders/1OPAdBDQhOFi2wTT0vtUsIUm8cy0b6uA5>.
- [2] M. E. Mateo Vargas, «Propuesta De Un Plan De Gestión De Riesgo En El Centro De Procesos E Innovación Para La Industria Sostenible (Cepiis) De La Universidad De América Utilizando Las Herramientas De Análisis De Riesgo What If, Hazop Y La Metodología Bow-Tie,» 2022. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Asus/Documents/UNIVERSIDAD/DECIMO%20SEMESTRE/PROYECTO%20DE%20GRADO/PROPUESTA%20PARA%20UN%20PLAN%20DE%20GESTI%C3%93N%20DE%20RIESGO.PDF>.

8.2 Manual de validación de la unidad de absorción

Para la realización del manual de validación y puesta en marcha de la unidad de absorción se tendrán en cuenta los siguientes ítems:

A continuación, será expuesto el manual de validación para la unidad de absorción.

MANUAL DE VALIDACIÓN PARA LA UNIDAD DE ABORSCIÓN DEL CENTRO DE PROCESOS E INNOVACIÓN PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE (CEPIIS) DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA.

- **Generalidades**

La unidad está compuesta por el sistema de generación de aire, de humidificación, la columna de absorción, los tanques de acumulación del solvente, y el tablero de control. El equipo es robusto, durable, construido en acero inoxidable 304 con acabado brillante. Este equipo puede ser destinado en diversas aplicaciones de absorción de gases tales como: absorción de CO₂ con solución alcalina o con aminas, compuestos orgánicos volátiles con aceite lubricante, aire contaminado con gases ácidos o alcalinos con agua, absorción con líquidos iónicos, entre otros.

Entre las dos secciones principales de la columna se encuentra el soporte de empaque y el redistribuidor de líquido para evitar canalización en las paredes. En la parte baja de la columna se cuenta con una entrada y salida de vapor, con válvulas destinadas para la descarga y purga de la

columna. La parte superior tiene una salida en tubería para venteo de aire seco y una válvula de control para la entrada de solvente.

- **Objetivo general**

Exponer el paso a paso para llevar a cabo la validación de la unidad de absorción del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS).

- **Objetivo específico**

Dar a conocer el funcionamiento y los equipos que conforman la unidad.

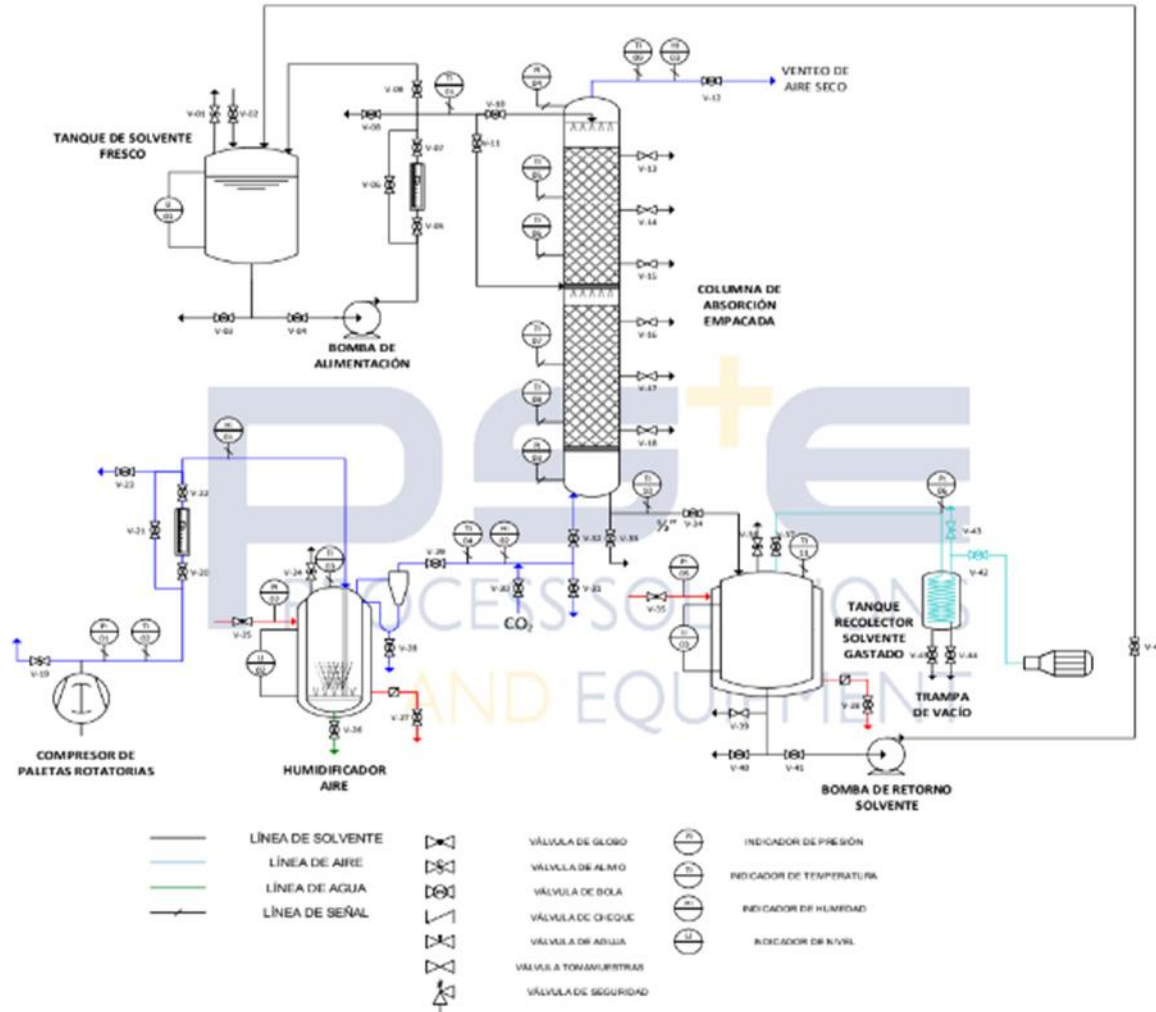
- **Responsables**

Todos los usuarios que realicen un acercamiento a la unidad de absorción deben conocer este manual, con el fin de evitar mal uso de los equipos y minimizar riesgos.

- **Diagrama del equipo**

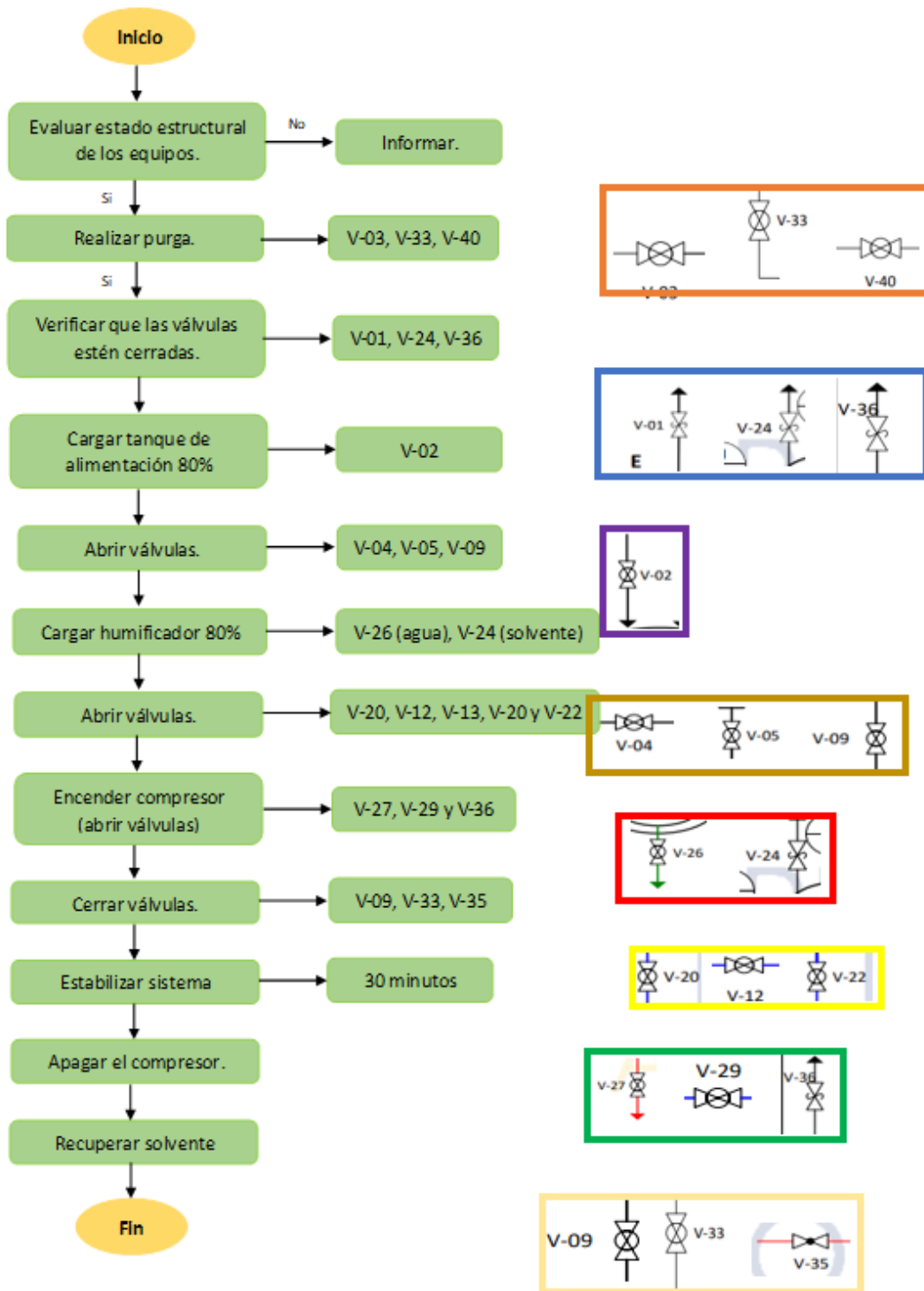
Figura 73

Diagrama de la torre absorción



Nota. Diagrama p&d de la torre de absorción con sus partes fundamentales para manejo de equipo señaladas, tomado de: PROCESS SOLUTIONS AND EQUIPMENT, «MANUAL DE OPERACIÓN Planta de Absorción de Gases REF. PAG-M,» [En línea]. <https://drive.google.com/drive/folders/1OPAdBDQhOFi2wTT0vtUsIUm8cy0b6uA5>.

- **Diagrama de flujo operación y puesta en marcha**



- **Condiciones de operación recomendadas**

Es importante tener en cuenta cuales son las condiciones de operación recomendadas en las que funciona la unidad de destilación, esto con el fin de asegurar la efectividad del proceso y mitigar riesgos y/o accidentes.

Tabla 21

Condiciones de operación recomendadas

	MAGNITUD	UNIDAD
CAPACIDAD DE LOS TANQUES	50	L
FLUJO DEL SISTEMA DE GENERACION DE AIRE	20	L/min
PRESION MINIMA DEL SISTEMA DE GENERACION DE AIRE	2	bar
FLUJO MINIMO AIRE DE PROCESO	20	L/min
PRESION MINIMA AIRE DE PROCESO	2	bar
PRESION MINIMA DEL SISTEMA DE VACIO	0,1	bar
CONSUMO DE ENERGIA	110	V

Nota. Condiciones de operación óptimas para la unidad de absorción

- **Límites de operación**

Tabla 22

Límites de operación

VARIABLE	MAGNITUD	UNIDAD
TEMPERATURA MAX.	50	°C
PRESIÓN MAX. DEL COMPRESOR AL VACÍO	0.8	bar
VOLUMEN MIN. DEL TANQUE	20	L

Nota. La tabla muestra los límites de operación de la unidad de absorción

- **Seguridad (EPP)**

Es importante contar con todos los elementos de protección personal al momento de empezar la operación en la columna de absorción.

- Tapa oídos
- Casco
- Protección respiratoria
- Gafas de seguridad
- Overol o bata de laboratorio
- Guantes de carnaza
- Botas de seguridad

Figura 74

Elementos de protección personal EPP




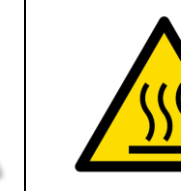





Nota. La infografía muestra los elementos de protección personal (EPP) que deben ser usados para operar la unidad de absorción.

- **Riesgos**

Figura 75

Riesgos posibles

				
Riesgo de explosión	Riesgo de incendio	Riesgo eléctrico	Superficie caliente	Riesgo de caída de objetos
				
Riesgo químico	Riesgo físico			

Nota. Riesgos industriales de la unidad de absorción.

- **Recomendaciones**

- Para el manejo de la unidad de destilación se debe contar con elementos de seguridad como: casco, bata de laboratorio y/o overol, gafas de seguridad, guantes de carnaza.
- Realizar mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos de alta presión y alta temperatura, con la finalidad de prevenir paros durante las corridas, accidentes, y daños a largo plazo.
- Operar la unidad en una zona de ventilación ya que puede ocurrir acumulación de vapores provenientes de los equipos.
- Verificar compatibilidad de las sustancias químicas con el sistema
- El equipo debe ser operado por mínimo dos personas capacitadas.
- Después de la operación dejar los equipos lavados y purgados, para evitar contaminación cruzada entre los solventes.

- En caso de presentarse fugas o alarmas en la unidad realizar el paro inmediato de los equipos.
 - No permitir la entrada de líquido a la bomba de vacío.
 - No consumir ningún tipo de alimento o bebida dentro del CEPURE.
- **Sustancias compatibles**

Antes de empezar la corrida, se debe asegurar que las sustancias a tratar son compatibles con el material de construcción de la unidad. La tabla expuesta a continuación muestra la compatibilidad de algunas sustancias químicas con el acero inoxidable (SS 304) y el Teflón (PTFE).

A: Excelente compatibilidad

B: Buena (mínima corrosión)

C: Aceptable (efecto moderado)

D: Efecto severo (no recomendado)

Figura 76

Compatibilidad química de sustancias

Sustancia química	SS 304	Teflón (PTFE)
Aceite de coco	A	A
Aceite de maíz	B	A
Aceite de motor	A	A
Aceite de oliva	B	A
Aceite de palma	A	A
Aceite hidráulico (petro)	A	A
Aceite hidráulico (sintético)	A	A
Aceite mineral	A	A
Aceites combustibles	A	B
Acetaldehído	E	A
Acetato de amilo	A	A
Acetato de isoamilo	A	N/A

Acetato de isobutilo	A	N/A
Acetato de isopropilo	C	A
Acetato de metilo	A	A
Acetato de sodio	B	A
Acetato de vinilo	B	A
Acetileno	A	A
Acetona	A	A
Ácido acético	D	A
Ácido acético 20%	B	A
Ácido acético 80%	D	A
Ácido acético glacial	C	A
Ácido benzoico	B	A
Ácido carbónico	B	A
Ácido cítrico	B	A
Ácido cítrico 5%	A	A
Ácido clórico	D	A
Ácido clorhídrico 100%	D	A
Ácido clorhídrico 20%	D	A
Ácido clorhídrico 37%	D	A
Ácido cloroacético	D	A
Ácido clorosulfónico	D	A
Ácido crómico 5%	B	A
Ácido crómico 50%	C	A
Ácido esteárico	B	A
Ácido fórmico	C	A
Ácido fosfórico 10%	A	A
Ácido fosfórico 20%	A	A
Ácido fosfórico 50%	A	A
Ácido fosfórico concentrado	A	A
Ácido ftálico	B	A

Ácido láctico	B	A
Ácido láctico (Solución al 5%)	A	A
Ácido linoleico	B	A
Ácido monocloroacético	D	D
Ácido nítrico concentrado	A	A
Ácido nítrico 5-10%	A	A
Ácido nítrico 20%	A	A
Ácido nítrico 50%	B	A
Ácido oleico (red oil)	B	A
Ácido oxálico 5% (caliente y frío)	B	A
Ácido oxálico frío	D	A
Ácido palmítico	B	A
Ácido perclórico	D	A
Ácido salicílico	B	A
Ácido sulfúrico 95%	A	A
Ácido sulfúrico 75%	C	A
Ácido sulfúrico 60%	D	A
Ácido sulfúrico 50%	D	A
Ácido sulfúrico 25%	B	A
Ácido sulfúrico 10%	A	A
Ácido sulfúrico <10%	D	A
Ácido sulfúrico concentrado (frío)	C	A
Ácido sulfúrico concentrado (caliente)	D	A
Ácido úrico	B	A
Ácidos grasos	B	A
Agua carbonatada	A	N/A
Agua de mar	C	A
Agua desionizada	A	A
Agua destilada	A	A

Agua Regia (80% HCl, 20% HNO3)	D	A
Alcohol amílico	A	A
Alcohol bencílico	B	A
Alcohol isobutílico	A	A
Almidón	B	A
Aminas	A	A
Amoniaco 10%	A	A
Amoniaco, líquido	N/A	A
Anhídrido ftálico	A	A
Azúcar (líquidos)	A	A
Benceno	B	A
Benzaldehído	B	A
Benzoato de sodio	N/A	A
Bicarbonato de potasio	B	A
Bicarbonato de sodio	A	A
Bisulfito de sodio	D	A
Borax	B	A
Butano	A	A
Butanol	A	A
Buteno	A	N/A
Café	A	N/A
Carbonato de calcio	B	A
Carbonato de magnesio	B	A
Carbonato de sodio	A	A
Cerveza	A	A
Cetonas	A	A
Ciclohexano	B	A
Clorobenceno	A	B
Cloroformo	A	A

Coca cola	A	A
Colorantes	A	N/A
Detergentes	A	A
Dicromato de potasio	B	A
Diésel	A	A
Dietil éter	B	A
Dietilamina	A	D
Dietilenglicol	A	A
Difenil	B	A
Dimetil formamida	A	A
Dióxido de azufre	D	A
Estireno	A	A
Etanol	A	A
Etanolamina	A	A
Éter	A	A
Éter de isopropilo	A	A
Etil acetato	B	A
Etil éter	B	A
Etilenglicol	B	A
Fenol	B	A
Formaldehido 100%	B	A
Formaldehido 40%	A	A
Furfural	A	A
Gasolina	A	A
Gelatina	A	A
Glicerol	A	A
Glucosa (jarabe de maíz)	A	A
Heptano	A	A
Hexano	A	A
Hidroquinona	B	A

Hidrosulfito de sodio	N/A	A
Hidróxido de calcio	B	A
Hidróxido de calcio 10% (en ebullición)	A	N/A
Hidróxido de magnesio	B	A
Hidróxido de potasio	B	A
Hipoclorito de sodio <20%	C	A
Hidróxido de sodio 20%	B	A
Hidróxido de sodio 50%	B	A
Hidróxido de sodio 80%	D	A
Hipoclorito de sodio 100%	D	A
Isobutanol	A	A
Isooctano	A	A
Isopropanol	B	A
Jet Fuel (JP3, JP4, JP5)	A	A
Jugo de caña	A	A
Jugos de frutas	A	A
Lacas	A	A
Látex	A	A
Leche	A	A
Licor de azúcar de caña	A	A
Líquidos de remolacha	A	A
Lubricantes	A	A
Melaza	A	A
Metanol	A	A
Metasilicato de sodio	A	A
Metil butil cetona	A	N/A
Metil etil cetona	A	A
Metil isobutil cetona	B	A
Metil isopropil cetona	A	A

Metilamina	A	A
Miel	A	A
Monoetanolamina	A	A
Nafta	A	B
Naftalina	A	A
Nitrato de calcio	C	A
Nitrato de sodio	B	A
Nitrobenceno	B	A
Óxido de calcio	A	A
Óxido de magnesio	A	A
Pentano	C	A
Permanganato de potasio	B	A
Peróxido de hidrógeno 100%	B	A
Peróxido de hidrógeno 50%	B	A
Peróxido de hidrógeno 30%	B	A
Peróxido de hidrógeno 10%	B	A
Peróxido de sodio	B	A
Piridina	B	A
Propano (licuado)	A	A
Propanol	A	A
Propilenglicol	B	A
Propileno	B	A
Queroseno	A	A
Sulfato de calcio	B	A
Sulfato de magnesio	A	A
Sulfato de potasio	B	A
Sulfato de sodio	B	A
Sulfato de zinc	B	A
Tintas	C	A
Tiosulfato de sodio	B	A

Tolueno (toluol)	A	A
Trietilamina	A	A
Urea	B	A
Vinagre	B	A
Xileno	B	A
Yodo	D	A

Nota. Tomada de: Process Solutions And Equipment, «Manual De Operación Planta de Absorción de Gases REF. PAG-M,» [En línea]. Available: <https://drive.google.com/drive/folders/1OPAdBDQhOFi2wTT0vtUsIUm8cy0b6uA5>.

La bibliografía expuesta a continuación hace parte del manual de validación de la unidad de absorción del CEPIIS.

- **Bibliografía**

[1] process solutions and equipment, «manual de operación Planta de Absorción de Gases REF. PAG-M,» [En línea]. Available: <https://drive.google.com/drive/folders/1OPAdBDQhOFi2wTT0vtUsIUm8cy0b6uA5>.

9. CONCLUSIONES

Se realizó el estudio bibliográfico necesario para entender el funcionamiento correcto de la unidad de destilación y la unidad de absorción las cuales componen el Centro de Purificación y Refinación (CEPURE) del Centro de Procesos e Innovación para la Industria Sostenible (CEPIIS), se logró determinar cuáles son las sustancias compatibles con los equipos y cuáles son las condiciones de operación óptimas para un funcionamiento correcto, esto con ayuda de los manuales brindados por el proveedor.

Dentro de las condiciones de operación, las variables de criterio son: presión, temperatura, nivel y flujo, por lo tanto, estas deben estar en constante monitoreo sin olvidar sus límites para garantizar una operación segura y obtener los resultados esperados.

Es de vital importancia que al momento de realizar el encendido del equipo se realice previamente una validación estructural siguiendo los manuales propuestos, ya que de esto depende tener una buena corrida. En caso de encontrar anomalías, se debe posponer la operación y avisar al personal encargado.

Adicional a esto, todo el personal que vaya a tener contacto con las unidades debe contar con una capacitación sobre el correcto uso de las unidades de destilación y absorción, para esto se realizaron manuales operativos con toda la información que debe saber el operario para empezar el proceso, por otro lado, se le debe brindar todo el equipamiento y dotación necesaria para garantizar su seguridad.

Al momento de realizar la puesta en marcha de las unidades es importante tener en cuenta todas las recomendaciones brindadas por el proveedor, tales como, sustancias compatibles, condiciones óptimas de operación, adecuación e instalación de los equipos, esto con el fin de garantizar el buen funcionamiento del sistema y alargar la vida útil del mismo.

Se realizó la correcta validación física y estructural de las unidades, claramente de todos los equipos y módulos que estaban disponibles para su completa revisión, con esto se generó un informe detallado con los daños que presentan los equipos para así poder hacer la debida gestión ante los proveedores.

Las proyecciones cumplieron con el objetivo de poder orientar las posibles prácticas a realizar en la puesta en marcha y arranque de equipos, para la torre de destilación se obtuvieron valores de

tiempo positivos para poder genera un diagrama de Gantt mostrando la posible ruta y de esta forma una posible proyección a la práctica. Por otro lado, la torre de absorción brindo valores de separación con la simulación realizada y así mismo se lograron obtener valores tentativos de costos anuales, con la aclaración que pueden variar según la naturaleza de los procesos realizados y el tiempo involucrado en ellos.

El seguimiento de los manuales de validación y puesta en marcha asegura que se cumplan las condiciones mínimas para una corrida exitosa, por otro lado, genera un estándar de actividades que se deben realizar para minimizar riesgos de accidentes y/o paradas de los equipos.

Otro punto importante es la frecuencia con la que se realicen las revisiones estructurales, junto con los mantenimientos preventivos y correctivos, de esto dependerá el funcionamiento de los equipos y el resultado de las corridas. En caso de que se encuentren anomalías en los equipos, se debe realizar el paro inmediato y aviso al personal autorizado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. A.-D. a. H. Pedroza-Flores, «Escalamiento, el arte de la ingeniería química: Plantas piloto, el paso entre el huevo y la gallina»,» 2008. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48223105>.
- [2] M. d. P. P. d. Petróleo, «Refinación»,» 2016. Available: http://www.pdvsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8841&Itemid=
- [3] K. Barry, «Separation and Purification»,» Available: <https://www.britannica.com/science/separation-and-purification>
- [4] Safety Culture, «Puesta en marcha»,» Octubre 2022. Available: <https://safetyculture.com/es/temas/puesta-en-marcha/>.
- [5] OPERACIÓN, «Puesta en marcha de instalaciones operación RITE»,» 2014. Available: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_guia_009_puesta_marcha_instalaciones_rite_accesible_2264fec3.pdf
- [6] K. C. J., «Operaciones de separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química»,» 2003. [En línea]. Available: https://termoapunefm.files.wordpress.com/2011/10/operacionesdeseparacionporetapasenequi_librioeningenieriaquimica-seader_henley.pdf
- [7] Process Solutions and Equipment, «Planta de absorción de gases (Control manual),» 2021. [En línea]. Available: [manual de operación planta de absorción.pdf](#)
- [8] G. H. Gutierrez, «estudio hidrodinámico de una columna de absorción empacada para su eficiente operación a nivel laboratorio.,» 2021. [En línea].
- [9] Process Solutions and Equipment , «Manual de operación. Planta de destilación Continua»,» 2018. [En línea]. Disponible: [manual de operación planta de destilación ps+e v2.pdf](#).
- [10] slide, «Riesgos físicos»,» 2015. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/iwannahappy18/riesgos-fisicos-salud-ocupacional>
- [11] U. p. d. Valencia, «Riesgos de origen químico»,» [En línea]. Available: https://www.sprl.upv.es/d7_2_b.htm#r1.

- [12] M. d. t. y. economía, «Riesgos biológicos en el trabajo,» [En línea]. Available: <https://www.insst.es/materias/riesgos/riesgos-biologicos>.
- [13] U. c. I. s. Madrid, «Riesgos mecánicos,» [En línea]. Available: <https://www.uc3m.es/prevencion/riesgos-mecanicos#:~:text=Se%20entiende%20por%20riesgo%20mec%C3%A1nico,materiales%20proye>
- [14] C. d. d. buenaventura, «Gestion integral de peligro locativo,» [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Asus/Downloads/GESTIN%20INTEGRAL%20DEL%20PELIGRO%20LOCATIVO.pdf>.
- [15] enel, «¿Qué es el riesgo eléctrico y qué factores determinan su gravedad?,» [En línea]. Available: <https://www.enel.pe/es/ayuda/que-es-el-riesgo-electrico-y-que-determina-su-gravedad.html>.
- [16] Lifeder, «Riesgo biomecánico,» [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/riesgo-biomecanico/>.
- [17] S. b. school. [En línea]. Available: <https://escuelaselect.com/tipos-riesgos-laborales-clasificacion/>.
- [18] U. N. d. I. Plata, «Riesgos ergonómicos,» [En línea]. Available: https://unlp.edu.ar/gestion/obras/seguridad_higiene/riesgos-ergonomicos-8677-13677/#:~:text=Corresponden%20a%20aquellos%20riesgos%20que,producir%20da%C3%B1os%20a%20su%20salud..
- [19] V. T. Yisete Dorado, «Guía de seguridad y salud en el trabajo basada en los riesgos ocupacionales en la planta piloto de ingeniería bioquímica de una universidad privada ubicada en el sur de Cali,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniajc.edu.co/bitstream/handle/uniajc/387/Gu%C3%ADa%20de%20seguridad%20y%20salud%20en%20el%20trabajo%20para%20una%20planta%20piloto%20de%20ingenier%C3%ADa%20bioqu%C3%ADmica%20ubicada%20en%20el%20sur%20de%20Cali%20-%20Valeria%20Torres.pdf?se>.

- [20] U. N. d. Colombia, «Ficha de seguridad,» [En línea]. Available: [https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/images/recursos/extension/laboratorios/labDptoQuimicaAmbiental/Ficha_de_seguridad_Ing. Quimica y Ambiental.pdf](https://ingenieria.bogota.unal.edu.co/images/recursos/extension/laboratorios/labDptoQuimicaAmbiental/Ficha_de_seguridad_Ing._Quimica_y_Ambiental.pdf)
- [21] M. E. Mateo Vargas, «propuesta para un plan de gestión de riesgo,» 2022. [en línea]. available: propuesta para un plan de gestión de riesgo.pdf.
- [22] S. Guillén, «Estudio de riesgos de la unidad de destilación primaria de una planta de fraccionamiento de líquido de gas natural,» Noviembre 2013. [En línea]. Available: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/409/DeyciMar%20Tesis_titulo_profesional_2013.pdf?sequence=3&isAllowed=y .
- [23] ICH, «ICH,» [En línea]. Available: ICH Official web site : ICH. .
- [24] U. N. d. Colombia, «Columna de absorción de gases,» Junio 2017. [En línea]. Available: Torre de absorcion – manual de operación (1).pdf .
- [25] U. n. d. Colombia, «Guía destilación intermitente,» 2003. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Asus/Downloads/Destilacin%20batch%20-%20guia%20practica%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Asus/Downloads/Destilacin%20batch%20-%20guia%20practica%20(2).pdf).

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA DE SUSTANCIAS COMPATIBLES CON LA UNIDAD DE ABSORCIÓN

Figura 77

Sustancias químicas compatibles en la unidad de absorción

Sustancia química	SS 304	Teflón (PTFE)
Aceite de coco	A	A
Aceite de maíz	B	A
Aceite de motor	A	A
Aceite de oliva	B	A
Aceite de palma	A	A
Aceite hidráulico (petro)	A	A
Aceite hidráulico (sintético)	A	A
Aceite mineral	A	A
Aceites combustibles	A	B
Acetaldehído	E	A
Acetato de amilo	A	A
Acetato de isoamilo	A	N/A
Acetato de isobutilo	A	N/A
Acetato de isopropilo	C	A
Acetato de metilo	A	A
Acetato de sodio	B	A
Acetato de vinilo	B	A
Acetileno	A	A
Acetona	A	A
Ácido acético	D	A
Ácido acético 20%	B	A
Ácido acético 80%	D	A

Ácido acético glacial	C	A
Ácido benzoico	B	A
Ácido carbónico	B	A
Ácido cítrico	B	A
Ácido cítrico 5%	A	A
Ácido clórico	D	A
Ácido clorhídrico 100%	D	A
Ácido clorhídrico 20%	D	A
Ácido clorhídrico 37%	D	A
Ácido cloroacético	D	A
Ácido clorosulfónico	D	A
Ácido crómico 5%	B	A
Ácido crómico 50%	C	A
Ácido esteárico	B	A
Ácido fórmico	C	A
Ácido fosfórico 10%	A	A
Ácido fosfórico 20%	A	A
Ácido fosfórico 50%	A	A
Ácido fosfórico concentrado	A	A
Ácido ftálico	B	A
Ácido láctico	B	A
Ácido láctico (Solución al 5%)	A	A
Ácido linoleico	B	A
Ácido monocloroacético	D	D
Ácido nítrico concentrado	A	A
Ácido nítrico 5-10%	A	A
Ácido nítrico 20%	A	A
Ácido nítrico 50%	B	A
Ácido oleico (red oil)	B	A
Ácido oxálico 5% (caliente y frío)	B	A

Ácido oxálico frío	D	A
Ácido palmítico	B	A
Ácido perclórico	D	A
Ácido salicílico	B	A
Ácido sulfúrico 95%	A	A
Ácido sulfúrico 75%	C	A
Ácido sulfúrico 60%	D	A
Ácido sulfúrico 50%	D	A
Ácido sulfúrico 25%	B	A
Ácido sulfúrico 10%	A	A
Ácido sulfúrico <10%	D	A
Ácido sulfúrico concentrado (frío)	C	A
Ácido sulfúrico concentrado (caliente)	D	A
Ácido úrico	B	A
Ácidos grasos	B	A
Agua carbonatada	A	N/A
Agua de mar	C	A
Agua desionizada	A	A
Agua destilada	A	A
Agua Regia (80% HCl, 20% HNO3)	D	A
Alcohol amílico	A	A
Alcohol bencílico	B	A
Alcohol isobutílico	A	A
Almidón	B	A
Aminas	A	A
Amoniaco 10%	A	A
Amoniaco, líquido	N/A	A
Anhídrido ftálico	A	A

Azúcar (líquidos)	A	A
Benceno	B	A
Benzaldehído	B	A
Benzoato de sodio	N/A	A
Bicarbonato de potasio	B	A
Bicarbonato de sodio	A	A
Bisulfito de sodio	D	A
Borax	B	A
Butano	A	A
Butanol	A	A
Buteno	A	N/A
Café	A	N/A
Carbonato de calcio	B	A
Carbonato de magnesio	B	A
Carbonato de sodio	A	A
Cerveza	A	A
Cetonas	A	A
Ciclohexano	B	A
Clorobenceno	A	B
Cloroformo	A	A
Coca cola	A	A
Colorantes	A	N/A
Detergentes	A	A
Dicromato de potasio	B	A
Diésel	A	A
Dietil éter	B	A
Dietilamina	A	D
Dietilenglicol	A	A
Difenil	B	A
Dimetil formamida	A	A

Dióxido de azufre	D	A
Estireno	A	A
Etanol	A	A
Etanolamina	A	A
Éter	A	A
Éter de isopropilo	A	A
Etil acetato	B	A
Etil éter	B	A
Etilenglicol	B	A
Fenol	B	A
Formaldehido 100%	B	A
Formaldehido 40%	A	A
Furfural	A	A
Gasolina	A	A
Gelatina	A	A
Glicerol	A	A
Glucosa (jarabe de maíz)	A	A
Heptano	A	A
Hexano	A	A
Hidroquinona	B	A
Hidrosulfito de sodio	N/A	A
Hidróxido de calcio	B	A
Hidróxido de calcio 10% (en ebullición)	A	N/A
Hidróxido de magnesio	B	A
Hidróxido de potasio	B	A
Hipoclorito de sodio <20%	C	A
Hidróxido de sodio 20%	B	A
Hidróxido de sodio 50%	B	A
Hidróxido de sodio 80%	D	A

Hipoclorito de sodio 100%	D	A
Isobutanol	A	A
Isooctano	A	A
Isopropanol	B	A
Jet Fuel (JP3, JP4, JP5)	A	A
Jugo de caña	A	A
Jugos de frutas	A	A
Lacas	A	A
Látex	A	A
Leche	A	A
Licor de azúcar de caña	A	A
Líquidos de remolacha	A	A
Lubricantes	A	A
Melaza	A	A
Metanol	A	A
Metasilicato de sodio	A	A
Metil butil cetona	A	N/A
Metil etil cetona	A	A
Metil isobutil cetona	B	A
Metil isopropil cetona	A	A
Metilamina	A	A
Miel	A	A
Monoetanolamina	A	A
Nafta	A	B
Naftalina	A	A
Nitrato de calcio	C	A
Nitrato de sodio	B	A
Nitrobenceno	B	A
Óxido de calcio	A	A
Óxido de magnesio	A	A

Pentano	C	A
Permanganato de potasio	B	A
Peróxido de hidrógeno 100%	B	A
Peróxido de hidrógeno 50%	B	A
Peróxido de hidrógeno 30%	B	A
Peróxido de hidrógeno 10%	B	A
Peróxido de sodio	B	A
Piridina	B	A
Propano (licuado)	A	A
Propanol	A	A
Propilenglicol	B	A
Propileno	B	A
Queroseno	A	A
Sulfato de calcio	B	A
Sulfato de magnesio	A	A
Sulfato de potasio	B	A
Sulfato de sodio	B	A
Sulfato de zinc	B	A
Tintas	C	A
Tiosulfato de sodio	B	A
Tolueno (toluol)	A	A
Trietilamina	A	A
Urea	B	A
Vinagre	B	A
Xileno	B	A
Yodo	D	A

Nota. Antes de empezar la corrida, se debe asegurar que las sustancias a tratar son compatibles con el material de construcción de la unidad. La tabla expuesta a continuación muestra la compatibilidad de algunas sustancias químicas con el acero inoxidable (SS 304) y el Teflón (PTFE).

A: Excelente compatibilidad

B: Buena (mínima corrosión)

C: Aceptable (efecto moderado)

D: Efecto severo (no recomendado)

ANEXO 2

TABLA DE SUSTANCIAS COMPATIBLES CON LA UNIDAD DE DESTILACIÓN

Figura 78

Sustancias químicas compatibles con la unidad de destilación

Sustancia química	SS 304	Teflón (PTFE)	Viton
Aceite de coco	A	A	A
Aceite de maíz	B	A	B
Aceite de motor	A	A	N/A
Aceite de oliva	B	A	A
Aceite de palma	A	A	A
Aceite hidráulico (petro)	A	A	A
Aceite hidráulico (sintético)	A	A	A
Aceite mineral	A	A	A
Aceites combustibles	A	B	B
Acetaldehído	E	A	D
Acetato de amilo	A	A	D
Acetato de isoamilo	A	N/A	D
Acetato de isobutilo	A	N/A	D
Acetato de isopropilo	C	A	D
Acetato de metilo	A	A	D
Acetato de sodio	B	A	D
Acetato de vinilo	B	A	D
Acetileno	A	A	A
Acetona	A	A	D
Ácido acético	D	A	B
Ácido acético 20%	B	A	B
Ácido acético 80%	D	A	B

Ácido acético glacial	C	A	D
Ácido benzoico	B	A	A
Ácido carbónico	B	A	A
Ácido cítrico	B	A	A
Ácido cítrico 5%	A	A	A
Ácido clórico	D	A	N/A
Ácido clorhídrico 100%	D	A	A
Ácido clorhídrico 20%	D	A	A
Ácido clorhídrico 37%	D	A	A
Ácido cloroacético	D	A	D
Ácido clorosulfónico	D	A	D
Ácido crómico 5%	B	A	A
Ácido crómico 50%	C	A	A
Ácido esteárico	B	A	A
Ácido fórmico	C	A	C
Ácido fosfórico 10%	A	A	A
Ácido fosfórico 20%	A	A	A
Ácido fosfórico 50%	A	A	A
Ácido fosfórico concentrado	A	A	A
Ácido ftálico	B	A	B
Ácido láctico	B	A	A
Ácido láctico (Solución al 5%)	A	A	A
Ácido linoleico	B	A	B
Ácido monocloraacético	D	D	C
Ácido nítrico concentrado	A	A	A
Ácido nítrico 5-10%	A	A	A
Ácido nítrico 20%	A	A	A
Ácido nítrico 50%	B	A	A
Ácido oleico (red oil)	B	A	B
Ácido oxálico 5% (caliente y frío)	B	A	A

Ácido oxálico frío	D	A	A
Ácido palmítico	B	A	A
Ácido perclórico	D	A	A
Ácido salicílico	B	A	A
Ácido sulfúrico 95%	A	A	A
Ácido sulfúrico 75%	C	A	A
Ácido sulfúrico 60%	D	A	A
Ácido sulfúrico 50%	D	A	A
Ácido sulfúrico 25%	B	A	A
Ácido sulfúrico 10%	A	A	A
Ácido sulfúrico <10%	D	A	A
Ácido sulfúrico concentrado (frío)	C	A	B
Ácido sulfúrico concentrado (caliente)	D	A	A
Ácido úrico	B	A	N/A
Ácidos grasos	B	A	A
Agua carbonatada	A	N/A	A
Agua de mar	C	A	A
Agua desionizada	A	A	A
Agua destilada	A	A	A
Agua Regia (80% HCl, 20% HNO ₃)	D	A	C
Alcohol amílico	A	A	A
Alcohol bencílico	B	A	A
Alcohol isobutílico	A	A	A
Almidón	B	A	A
Aminas	A	A	D
Amoniaco 10%	A	A	D
Amoniaco, líquido	N/A	A	D
Anhídrido ftálico	A	A	A

Azúcar (líquidos)	A	A	A
Benceno	B	A	A
Benzaldehído	B	A	D
Benzoato de sodio	N/A	A	A*
Bicarbonato de potasio	B	A	A
Bicarbonato de sodio	A	A	A
Bisulfito de sodio	D	A	A
Borax	B	A	A
Butano	A	A	A
Butanol	A	A	A
Buteno	A	N/A	A
Café	A	N/A	A
Carbonato de calcio	B	A	A
Carbonato de magnesio	B	A	A
Carbonato de sodio	A	A	A
Cerveza	A	A	N/A
Cetonas	A	A	A
Ciclohexano	B	A	A
Clorobenceno	A	B	A
Cloroformo	A	A	N/A
Coca cola	A	A	A
Colorantes	A	N/A	A
Detergentes	A	A	A
Dicromato de potasio	B	A	A
Diésel	A	A	D
Dietil éter	B	A	A
Dietilamina	A	D	A
Dietilenglicol	A	A	A
Difenil	B	A	C
Dimetil formamida	A	A	A

Dióxido de azufre	D	A	B
Estireno	A	A	A
Etanol	A	A	D
Etanolamina	A	A	D
Éter	A	A	D
Éter de isopropilo	A	A	D
Etil acetato	B	A	D
Etil éter	B	A	A
Etilenglicol	B	A	A
Fenol	B	A	D
Formaldehido 100%	B	A	A
Formaldehido 40%	A	A	D
Furfural	A	A	A
Gasolina	A	A	A
Gelatina	A	A	A
Glicerol	A	A	A
Glucosa (jarabe de maíz)	A	A	A
Heptano	A	A	A
Hexano	A	A	B
Hidroquinona	B	A	A
Hidrosulfito de sodio	N/A	A	A
Hidróxido de calcio	B	A	A
Hidróxido de calcio 10% (en ebullición)	A	N/A	B
Hidróxido de magnesio	B	A	A
Hidróxido de potasio	B	A	C
Hipoclorito de sodio <20%	C	A	D
Hidróxido de sodio 20%	B	A	D
Hidróxido de sodio 50%	B	A	A
Hidróxido de sodio 80%	D	A	A

Hipoclorito de sodio 100%	D	A	A
Isobutanol	A	A	A
Isooctano	A	A	A
Isopropanol	B	A	A
Jet Fuel (JP3, JP4, JP5)	A	A	A
Jugo de caña	A	A	A
Jugos de frutas	A	A	A
Lacas	A	A	A
Látex	A	A	A
Leche	A	A	A
Licor de azúcar de caña	A	A	A
Líquidos de remolacha	A	A	A
Lubricantes	A	A	C
Melaza	A	A	A
Metanol	A	A	D
Metasilicato de sodio	A	A	D
Metil butil cetona	A	N/A	D
Metil etil cetona	A	A	D
Metil isobutil cetona	B	A	D
Metil isopropil cetona	A	A	A
Metilamina	A	A	D
Miel	A	A	A
Monoetanolamina	A	A	A
Nafta	A	B	A
Naftalina	A	A	A
Nitrato de calcio	C	A	B
Nitrato de sodio	B	A	B
Nitrobenceno	B	A	C
Óxido de calcio	A	A	A
Óxido de magnesio	A	A	A

Pentano	C	A	A
Permanganato de potasio	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 100%	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 50%	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 30%	B	A	A
Peróxido de hidrógeno 10%	B	A	D
Peróxido de sodio	B	A	A
Piridina	B	A	A
Propano (licuado)	A	A	A
Propanol	A	A	A
Propilenglicol	B	A	A
Propileno	B	A	A
Queroseno	A	A	A
Sulfato de calcio	B	A	A
Sulfato de magnesio	A	A	A
Sulfato de potasio	B	A	A
Sulfato de sodio	B	A	A
Sulfato de zinc	B	A	A
Tintas	C	A	C
Tiosulfato de sodio	B	A	D
Tolueno (toluol)	A	A	A
Trietilamina	A	A	A
Urea	B	A	B
Vinagre	B	A	A
Xileno	B	A	B
Yodo	D	A	A

Nota. Antes de empezar la corrida, se debe asegurar que las sustancias a tratar son compatibles con el material de construcción de la unidad. La tabla expuesta a continuación muestra la compatibilidad de algunas sustancias químicas con el acero inoxidable, teflón y Viton.

A: Excelente compatibilidad

B: Buena (mínima corrosión)

C: Aceptable (efecto moderado)

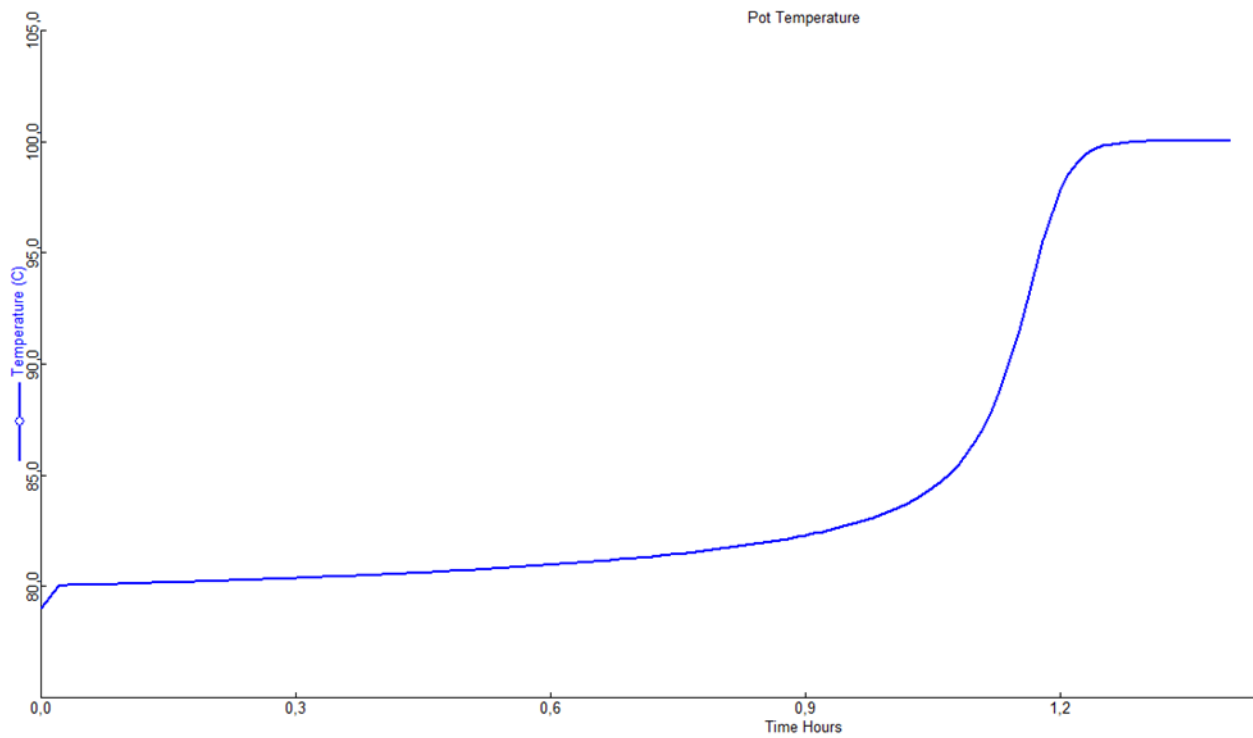
D: Efecto severo (no recomendado)

ANEXO 3

PERFIL DE TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO

Figura 79

Grafica de temperatura con respecto al tiempo



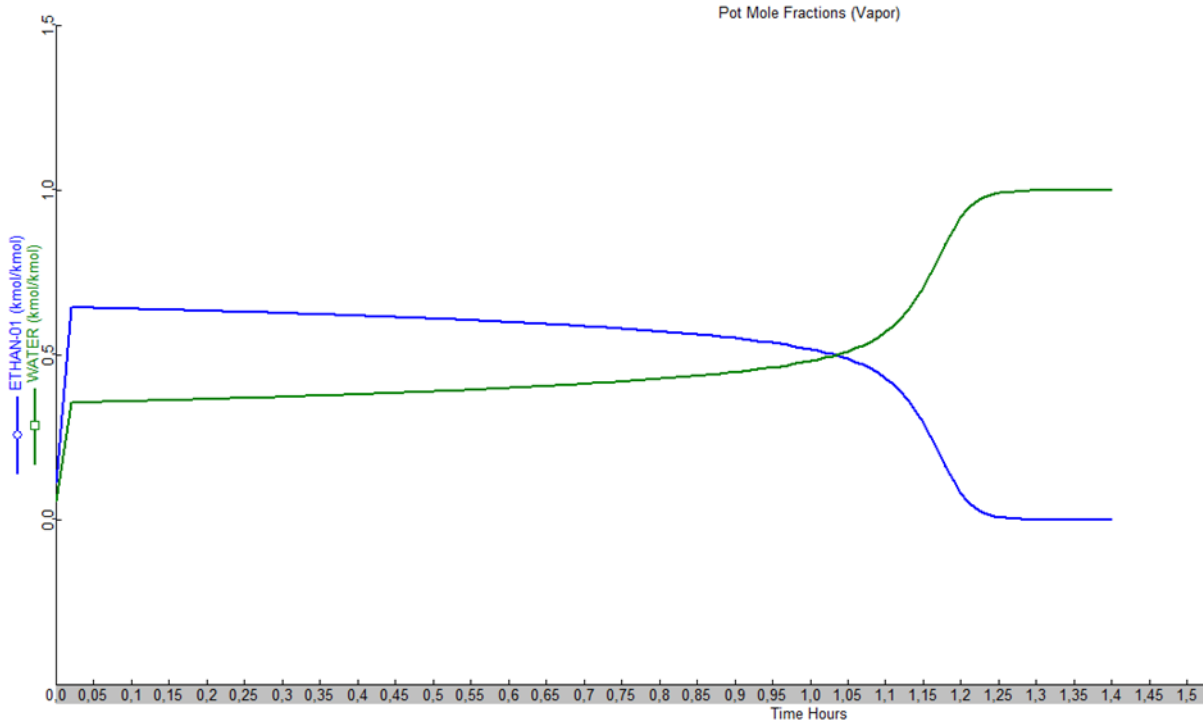
Nota. La figura 70. Está mostrando el comportamiento de la temperatura con respecto al tiempo en el proceso de destilación batch, el grafico fue obtenido gracias a la simulación resuelta en el software Aspen batch modeler.

ANEXO 4

PERFIL DE FRACCIÓN DE VAPOR DE COMPONENTES CON RESPECTO AL TIEMPO

Figura 80

Perfil de fracción de vapor de componentes con respecto al tiempo



Nota. La figura 71 hace referencia a la fracción de vapor generada en el proceso de destilación batch con respecto al tiempo, el grafico fue obtenido gracias a la simulación resuelta en el software Aspen batch modeler.

ANEXO 5

DIAGRAMA DE GANTT PARA TORRE DE DESTILACIÓN BATCH

Figura 81

Diagrama de Gantt torre de destilación batch



Nota. La figura 72 hace referencia al diagrama de Gantt para la torre de destilación batch, cuenta con código de colores para relacionar la tarea con la barra del diagrama y esta dimensionado en una jornada operacional de 8 horas, con dos ciclos de uso.

ANEXO 6.

INFOGRAFIA MANUAL DE VALIDACIÓN DE LA TORRE DE ABSORCIÓN

Figura 82

Infografía manual de validación torre de absorción



MANUAL DE VALIDACIÓN Y PUESTA EN MARCHA TORRE DE ABSORCIÓN



VERIFICACIÓN

Verificar el estado de las válvulas, encender rotámetros y compresor. Dejar estabilizar durante 30 minutos.

CONDICIONES

Revisar condiciones de operación óptimas para el proceso, con el fin de evitar accidentes y garantizar los resultados esperados.

FINAL

Apagar el compresor y esperar unos minutos para apagar la bomba de alimentación del solvente en el tablero de control.

RECOLECCIÓN

Abrir válvula y dejar salir solvente húmedo hasta que se desocupe la columna. Recuperar los solventes a partir de la bomba de vacío, hasta obtener la pureza deseada. Recircular solvente.

LIMPIEZA

Hacer limpieza de unidades y utensilios, purgar todo el sistema.

Fundación Universidad de América
CENTRO DE PROCESOS E INNOVACION PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE

Nota. La infografía muestra el paso a paso que se debe de tener en cuenta para llevar a cabo un procedimiento seguro dentro del CEPURE.

ANEXO 7.

INFOGRAFIA MANUAL DE VALIDACIÓN DE LA TORRE DE DESTILACIÓN

Figura 83

Infografía manual de validación torre de destilación



MANUAL DE VALIDACIÓN Y PUESTA EN MARCHA TORRE DE DESTILACIÓN



CONDICIONES

Revisar condiciones de operación óptimas para el proceso, con el fin de evitar accidentes y garantizar los resultados esperados.

ALIMENTACIÓN

Cargar tanque de alimentación con la solución previamente preparada. Verificar estado de las válvulas, rotámetros y precalentador.

FINAL

Detener el ingreso de vapor al rehervidor y abrir el paso del agua de enfriamiento en el condensador.

RECOLECCIÓN

Abrir válvula y vaciar los tanques colectores. Recuperar los solventes que se puedan para próximas corridas, de lo contrario realizar su respectiva disposición.

LIMPIEZA

Hacer limpieza de unidades y utensilios, purgar todo el sistema.

Fundación Universidad de América
CENTRO DE PROCESOS E INNOVACION PARA LA INDUSTRIA SOSTENIBLE

Nota. La infografía muestra el paso a paso que se debe de tener en cuenta para llevar a cabo un procedimiento seguro dentro del CEPURE.

ANEXO 8.

CODIGO QR MANUAL DE VALIDACIÓN PARA LA UNIDAD DE ABSORCIÓN

Figura 84

QR Manual de validación para la unidad de absorción



Nota. Al escanear el código se tiene acceso al manual de validación torre de absorción.

Si no es posible escanear el código QR, acceder a este link

https://drive.google.com/file/d/1dI-6YR8my5jbpPzwVLndJtYacWyfNh46/view?usp=drive_link

ANEXO 9.

CODIGO QR MANUAL DE VALIDACIÓN PARA LA UNIDAD DE DESTILACIÓN.

Figura 85

QR Manual de validación para la unidad de destilación



Nota. Al escanear el código se tiene acceso al manual de validación torre de destilación

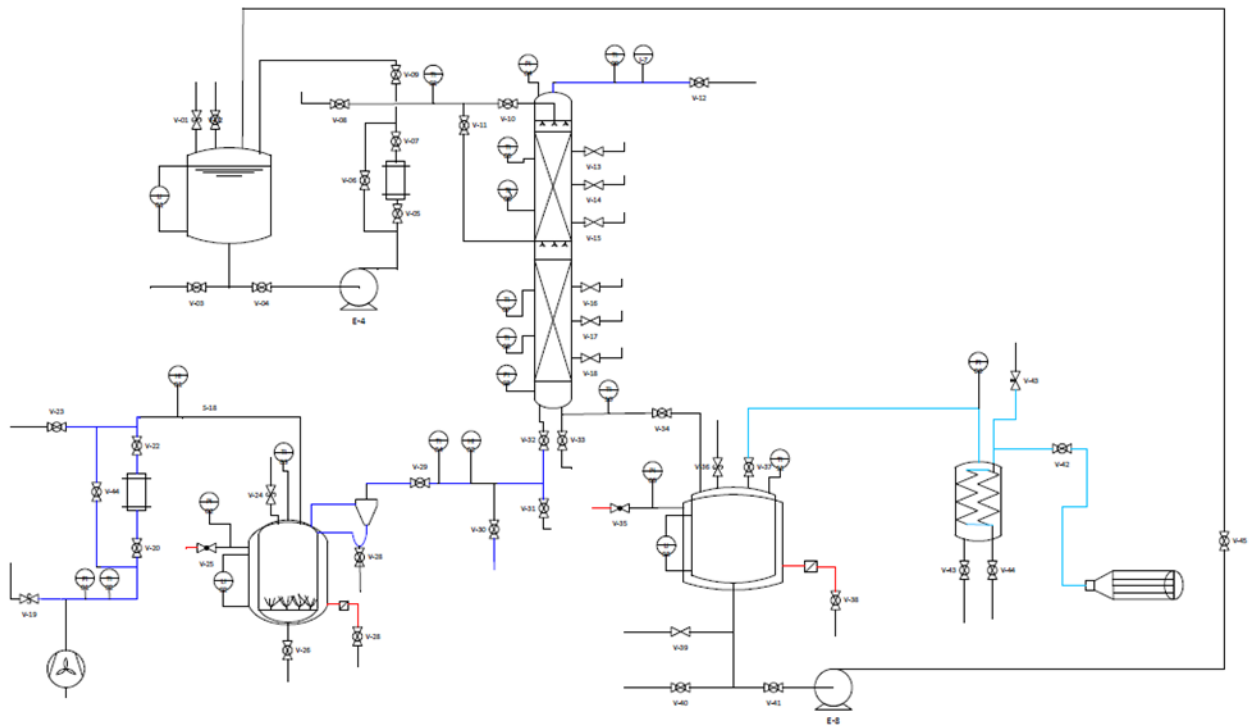
Si no es posible escanear el código QR, acceder a este link
https://drive.google.com/file/d/1yISKeXlKH0j6pJXbiT7pG76yDx4It54b/view?usp=drive_link

ANEXO 10.

DIAGRAMA P&D UNIDAD DE ABSORCIÓN

Figura 86

Diagrama P&D Unidad de Absorción



Nota. Diagrama P&D de la unidad de absorción, elaboración propia. Para visualizar en alta calidad, seguir el siguiente link:

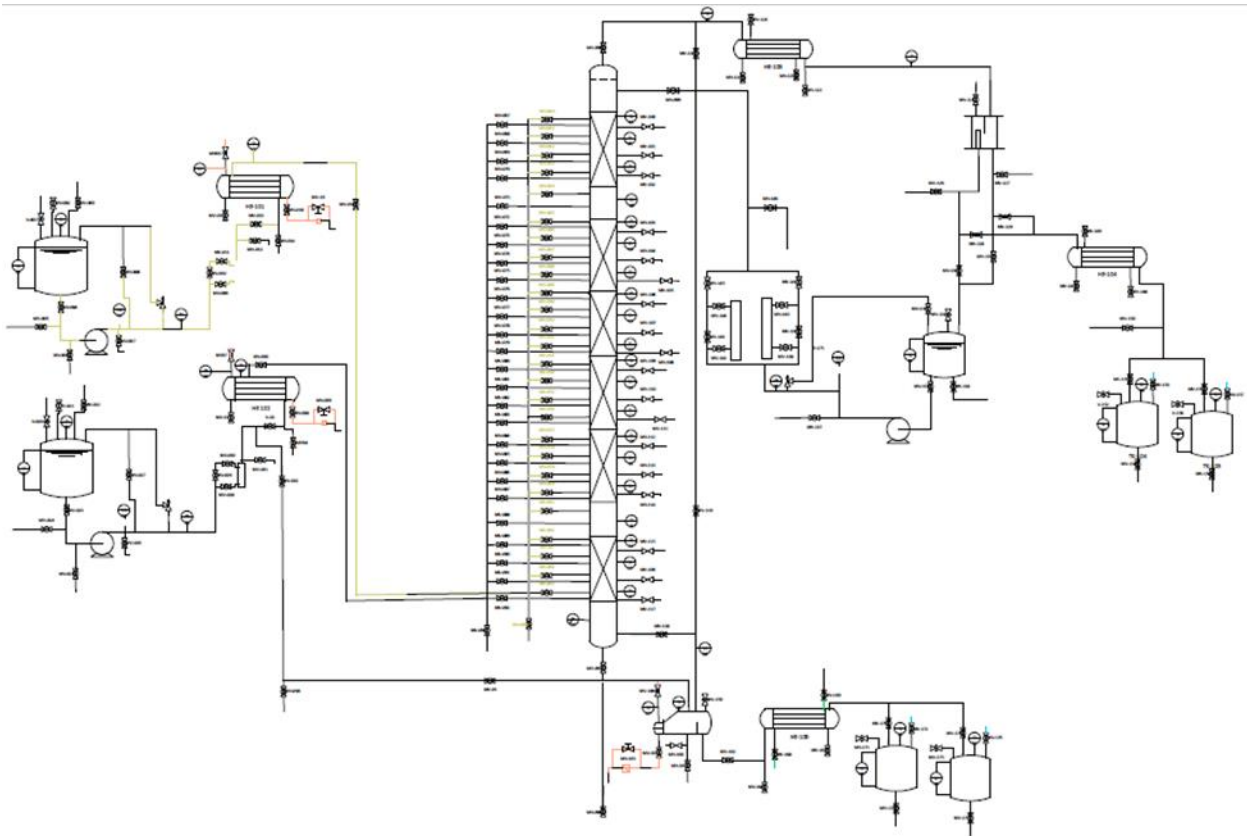
https://drive.google.com/file/d/18QhdVEPIoS_9ujoyzHo9Kd895zSb8xF-/view?usp=drive_link

ANEXO 11

DIAGRAMA P&D UNIDAD DE DESTILACIÓN

Figura 87

Diagrama P&D Unidad de Destilación



Nota. Diagrama P&D de la unidad de destilación, elaboración propia. Para visualizar en alta calidad, seguir el siguiente link:

https://drive.google.com/file/d/1OQBW4RkocbagyzkfPEswDaoLqn2h7wxA/view?usp=drive_link

Figura 89

QR Formato para la toma de datos



Nota. Escaneando el QR se accede al formato de toma de datos.

ANEXO 13.

RECOMENDACIONES

Realizar capacitaciones a los estudiantes, profesores y personal que vaya a estar en contacto con los equipos, por parte de proveedores, entes calificados y certificados en unidades de destilación y absorción.

Incentivar a los estudiantes de la Universidad de América a realizar proyectos empresariales, trabajos de grado, monografías, artículos de investigación dentro del CEPIIS, con el de que tengan un acercamiento con la industria.

También se recomienda realizar la reparación y cambio de los equipos y/o piezas que se encuentran en mal estado, tanto en la torre de destilación como en la torre de absorción, y así poder mejorar la vida útil de los equipos y prevenir cualquier tipo de falla o accidente.

Se plantea realizar prácticas básicas para el momento de la puesta en marcha y arranque de equipos, estoy para prever posibles fallos y así mismo con la información recolectada hasta el momento poder sacar adelante los proyectos próximos a la inauguración del CEPIIS.

Realizar un nuevo estudio de análisis de riesgos implementando las diferentes metodologías después de la instalación de los equipos.

Llevar a cabo nuevas simulaciones de proceso en las cuales se ingresen las especificaciones de diseño de los equipos más cercanas a la realidad, de manera que los resultados de operación y de costos se acerquen más a lo obtenido en la planta piloto.