

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA LA
PRODUCCIÓN DE ÁCIDO PERACÉTICO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

AUTORES

**CORDOVA MELENDEZ ADRIAN MANUEL
BRIGGES LOAYZA CRISTHOFR RENATO**

ASESOR

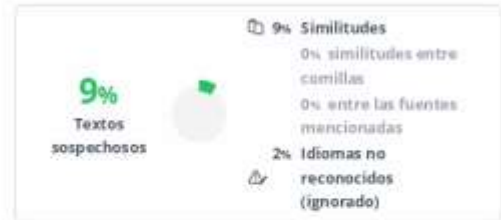
ING° VICTOR HUGO ÁVALOS JACOBO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CALLAO – 2024

PERÚ

6. TESIS - CORDOVA MELENDEZ - BRIGGES LOAYZA



Nombre del documento: 6. TESIS - CORDOVA MELENDEZ - BRIGGES LOAYZA.pdf ID del documento: c13a5d087bdc345ad120dfbb4a6081d005341ec9 Tamaño del documento original: 3,32 MB Autores: []	Depositante: FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION Fecha de depósito: 24/12/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 24/12/2024	Número de palabras: 20.083 Número de caracteres: 132.239
---	--	---

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repository.eafit.edu.co https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/8228/julioherranda_Rodríguez_DevidEst... 15 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (317 palabras)
2	148.206.53.231 http://148.206.53.231/assuami/UAMI12877.pdf	1%		Palabras idénticas: 1% (278 palabras)
3	es.wikipedia.org Ácido peracético - Wikipedia, la enciclopedia libre https://es.wikipedia.org/wiki/Ácido_peracético 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (224 palabras)
4	INFORME FINAL - MACHACA GONZALES LEONARDO FELIX.pdf INFORME ... #2h6e4 El documento proviene de mi biblioteca de referencias 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (169 palabras)
5	es.wikiidat.com Agua oxigenada ▷ Información, Historia, Biografía y más. https://es.wikiidat.com/informacion-agua-oxigenada 10 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (160 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	es.slideshare.net Principios básicos del Diseño de plantas Industriales PPT https://es.slideshare.net/slideshow/principios-basicos-del-diseo-de-plantas-industriales/45245731	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
2	repositorio.unac.edu.pe https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/89967/ESIS_-_GARCIA-LAZO.pdf?_...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	repositorio.unac.edu.pe http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/20.500.12952/84617/1/ESIS_-_ESPINOZA_ESPINOZA.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
4	ru.dgb.unam.mx https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/7/ES01000728663/3/0728663.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)
5	www.ecured.cu Fermentación acética - EcuRed https://www.ecured.cu/Fermentaci3n_ac3tica#:~:text=Proceso que involucra el crecimiento y acti...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	http://es.wikipedia.org/wiki/Compuesto_organico
2	http://es.wikipedia.org/wiki/Alquilo
3	http://es.wikipedia.org/wiki/Arilo
4	http://es.wikipedia.org/wiki/Bifosfonato
5	http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Adolf_Von_Baeyer&action=edit&redlink=1

INFORMACIÓN BÁSICA:

FACULTAD : INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN : INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO : DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE
ÁCIDO PERACÉTICO

AUTORES :

- ADRIAN MANUEL CORDOVA MELENDEZ / ORCID: 0009-0008-3290-6057 /
DNI: 47296416
- CRISTHOFER RENATO BRIGGES LOAYZA / ORCID: 0009-0005-1059-2331 /
DNI: 47705026

LUGAR DE EJECUCIÓN : SALA DE COMPUTO DE LA FACULTAD DE
INGENIERIA QUIMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO, CALLAO, PERÚ

UNIDAD DE ANÁLISIS : PLANTA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCION DE ÁCIDO
PERACÉTICO

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN : APLICADA / CUANTITATIVA /
NO EXPERIMENTAL

TEMA OCDE : 2.04.00 INGENIERÍA QUÍMICA

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue sustentada por los Bachilleres **CORDOVA MELENDEZ ADRIAN MANUEL** y **BRIGGES LOAYZA CRISTHOFER RENATO** ante el Jurado de Sustentación de Tesis conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

ING° RODRIGUEZ VILCHEZ RICARDO	Presidente
Lic. REYNA SEGURA ANA MARIA	Secretaria
ING° PANTOJA CADILLO AGERICO	Vocal
ING° HERRERA SANCHEZ SONIA ELIZABETH	MIEMBRO SUPLENTE
ING° AVALOS JACOBO VICTOR HUGO	Asesor

Tal como está asentado en el Libro de actas N° 01 Folio N° 153 y Acta N° 152 de fecha diciembre 28 de 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad a lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150–2023–CU del 15 de junio de 2023

DEDICATORIA

A nuestros amados padres, los cuales nos criaron y educaron con todo su amor y ternura. Gracias a ellos por darnos la vida, por la paciencia que tuvieron con nosotros en nuestra formación, y por brindarnos siempre su apoyo incondicional.

A mi familia nuclear, porque siempre están conmigo y son mi principal motivación en el día a día, en cada momento de mi vida

A nuestros amigos cercanos, porque han estado siempre dándome ánimos, y su apoyo anímico es algo que valoro muchísimo.

AGRADECIMIENTO

En todos estos años que hemos tenido la dicha de vivir hemos podido conocer a muchas personas que nos han guiado con sus palabras, experiencias y acciones a lograr nuestros objetivos y metas planteadas. A todas ellas, sin excepción, queremos agradecerles por su tiempo y apoyo incondicional.

Agradecemos a nuestras familias nucleares, porque ellos son las personas por las cuales damos todo día a día.

Agradecemos a nuestra alma mater y a todos los profesores de la facultad, quienes nos brindaron sus conocimientos, con práctica de principios y valores. Tuvimos una formación completa y profesional allí.

Al profesor Víctor Hugo Ávalos, por la amistad brindada y el tiempo empleado en la asesoría y dirección del presente trabajo de investigación.

INDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 Descripción de la realidad problemática	11
1.2 Formulación de problemas	12
1.2.1 Problema general	12
1.2.2 Problemas específicos	12
1.3 Objetivos de la investigación	13
1.4 Justificación	13
1.5 Delimitantes de la investigación	13
II. MARCO TEORICO	14
2.1 Antecedentes: Internacional y nacional	14
2.1.1 Antecedentes internacionales	14
2.1.2 Antecedentes nacionales	15
2.2 Bases teóricas	16
2.2.1. El ácido peracético: propiedades y uso	16
2.2.2. mportancia económica del ácido peracético en el mercado mundial	18
2.2.3. Importancia económica del ácido peracético en el mercado local	19
2.2.4. La destilación	20
2.2.5. Destilación del ácido peracético	22
2.2.6. Tipos de agua para uso industrial	23
2.2.7. Suministros de energía para plantas industriales	25
2.2.8. El peróxido de hidrógeno y su aplicación industrial	25
2.2.9. El ácido acético y su aplicación industrial	29
2.2.10. El ácido sulfúrico como agente catalítico	31
2.2.11. El ácido difosfónico como agente estabilizante	33
2.2.12. Condiciones de la demanda que regulan la comercialización de insumos para uso industrial	34
2.3 Marco conceptual	35
2.3.3. <i>El diseño de plantas industriales químicas</i>	35
2.3.4. Software para diseño de ingeniería	37
2.4 Definición de términos básicos	38

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	40
3.1 Hipótesis	40
3.1.1 Hipótesis general	40
3.2.2 Hipótesis específicas	40
IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO	42
4.1 Diseño metodológico	42
4.2 Método de investigación	42
4.3 Población y muestra	44
4.4 Lugar de estudio	44
4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	44
4.7 Aspectos éticos en investigación	45
4.8 Proyecto de inversión	45
4.8.1. Estudio técnico	45
5.1 Resultados descriptivos	85
5.2 Resultados inferenciales	90
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	95
6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares	95
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	96
VII. CONCLUSIONES	97
VIII. RECOMENDACIONES	98
X. ANEXOS	102
8.1. Matriz de consistencia	102
8.2. Instrumentos validados	103
8.3. Consentimiento informado	104
8.4. Base de datos	105

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Propiedades generales del ácido peracético</i>	17
Tabla 2. <i>Proveedores de ácido peracético de uso industrial en Perú</i>	20
Tabla 3. <i>Propiedades físicas del ácido peracético</i>	26
Tabla 4. <i>Producción anual de peróxido de hidrógeno en EEUU</i>	28
Tabla 5. <i>Características técnicas del ácido peracético demandado en Perú</i>	34
Tabla 6. <i>Puntaje cualitativo para evaluación de localización de planta</i>	45
Tabla 7. <i>Resultados del puntaje para localización de planta</i>	46
Tabla 8. <i>Datos de importaciones de ácido peracético hacia Perú</i>	47
Tabla 9. <i>Evaluación de modelos para la proyección de la demanda</i>	47
Tabla 10. <i>Demanda proyectada del ácido peracético</i>	48
Tabla 11. <i>Diseño del producto para la planta de procesos</i>	48
Tabla 12. <i>Variación de la constante de equilibrio con la temperatura</i>	52
Tabla 13. <i>Composiciones en la columna</i>	64
Tabla 14. <i>Densidades de flujos – Tope</i>	64
Tabla 15. <i>Densidades de flujos – Fondos</i>	65
Tabla 16. <i>Flujos totales en la columna</i>	65
Tabla 17. <i>Factores de ensuciamiento</i>	80
Tabla 18. <i>Factores y niveles para diseño experimental</i>	85
Tabla 19. <i>Diseño experimental</i>	86
Tabla 20. <i>Diseño experimental Taguchi</i>	86
Tabla 21. <i>Cálculo de la concentración promedio</i>	87
Tabla 22. <i>Variables dependientes e independientes</i>	88
Tabla 23. <i>Concentración de la primera corrida de experimentos</i>	88
Tabla 24. <i>Concentración de la segunda corrida de experimentos</i>	89
Tabla 25. <i>Concentración de la tercera corrida de experimentos</i>	89
Tabla 26. <i>Resumen de los valores promedio del experimento</i>	90
Tabla 27. <i>Coeficientes de modelos estimados para Relaciones SN</i>	91
Tabla 28. <i>Datos calculados para la determinación del modelo</i>	91
Tabla 29. <i>Resumen de regresión lineal de los modelos aplicados</i>	92
Tabla 30. <i>Regresión lineal del modelo inverso</i>	93

Tabla 31. <i>Análisis de regresión C vs temperatura</i>	94
Tabla 32. <i>Análisis de regresión C vs RPM X_3</i>	94
Tabla 33. <i>Análisis de regresión C vs vol X_2</i>	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del ácido peracético	17
Figura 2. Esquema simplificado de un caso ideal de	22
Figura 3. Mecanismo de reacción de la síntesis del ácido peracético	22
Figura 4. Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del peróxido de hidrógeno.....	26
Figura 5. Diagrama de flujo de proceso para el proceso antraquinona de producción de H ₂ O ₂	27
Figura 6. Reacciones para la producción industrial de H ₂ O ₂ a partir de RAQ	28
Figura 7. Importaciones de ácido peracético en Perú desde el 2019 hasta el 2023	29
Figura 8. Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del ácido acético	30
Figura 9. Diagrama de flujo de proceso de producción industrial de ácido acético.....	32
Figura 10. Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del HEDP	33
Figura 11. Presentación de los productos de la planta de procesos.....	49
Figura 12. Diagrama de bloques (BFD) para el proceso productivo de la planta.....	51
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso (PFD) para el proceso productivo de la planta.....	51
Figura 14. Diagrama de flujo del proceso (PFD) en el entorno de Aspen HYSYS.....	52
Figura 15. Ingreso de datos de equilibrio para simulación.....	53
Figura 16. Modelamiento de reacción química para simulación.....	53
Figura 17. Esquema de modelo de balance para una etapa de destilación ..	54
Figura 18. Convergencia de equipos para el balance de materia y energía.	56

Figura 19. Balance de materia – Tanque de reacción.....	61
Figura 20. Dimensionamiento del sistema de agitación – Tanque de reacción..	63
Figura 21. Constante de flujo.....	66
Figura 22. Altura de vertedero.....	68
Figura 23. Altura de cresta y vertedero.....	70
Figura 24. Coeficiente de descarga de orificio (C_o) para platos perforados..	71
Figura 25. Arrastre fraccional.....	73
Figura 26. Razón entre el ángulo subtendido por la cuerda,,.....	74
Figura 27. Razón entre el área del orificio y el paso de distribución	75
Figura 28. Especificación conceptual del paso,,.....	76
Figura 29. Plato de alta eficiencia para transferencia de masa,,.....	77
Figura 30. Dimensionamiento de los equipos de bomba,,.....	78
Figura 31. Dimensionamiento del intercambiador de calor,,.....	80
Figura 32. Reporte de diseño del intercambiador de calor.....	82
Figura 33. Esquema dimensional del intercambiador de calor.....	82
Figura 34. Inversión Budget para la planta	83
Figura 35. Plan Layout para diseño de planta,,.....	84
Figura 36. Diseño experimental con Minitab 20.....	85
Figura 37. Gráficas de efecto	90

RESUMEN

La tesis presenta el diseño de una planta industrial para la producción de ácido peracético, un agente antimicrobiano de alta demanda en los sectores de alimentos y salud en Perú. Debido a que la producción local es limitada y mayormente de pequeña escala, se propone un diseño que emplea la destilación, una tecnología de intensificación de procesos que combina reacción y separación en una sola unidad. Este método optimiza la producción al mejorar la conversión y reducir los costos energéticos. El estudio incluye la selección de tecnología, diseño de equipos clave, y simulación del proceso utilizando software de ingeniería. Los resultados incluyen el modelo de ingeniería y el proyecto de diseño de la planta, con un enfoque en viabilidad técnica y económica para satisfacer la demanda nacional.

ABSTRACT

This thesis outlines the design of an industrial plant for producing peracetic acid, a widely demanded antimicrobial in the food and health sectors in Peru. Given the limited local production, mostly at a small scale, this study proposes a design using reactive distillation, a process intensification technology that combines reaction and separation in one unit. This method optimizes production by enhancing conversion and reducing energy costs. The study covers technology selection, key equipment design, and process simulation using engineering software. Results include an engineering model and plant design project, focusing on technical and economic feasibility to meet national demand.

INTRODUCCIÓN

Uno de los productos de gran demanda actualmente dentro del sector químico industrial peruano es el ácido peracético, como un insumo requerido por sus propiedades desinfectantes y que no dañan los alimentos, además de tener un relativo bajo costo. Este ácido tiene como insumos básicos a sustancias de fácil acceso, como son el ácido acético, el peróxido de hidrógeno y el agua, haciendo de su proceso de producción uno de fácil comprensión. [7]

El ácido peracético se utiliza como bactericida y fungicida en la industria alimentaria, gracias a su acción rápida y su descomposición en productos inocuos. A concentraciones bajas, elimina microorganismos, micobacterias y esporas bacterianas. A concentraciones de 0,01–0,09 ppm tiene una acción rápida frente a todos los microorganismos, incluyendo los anteriormente señalados. Su acción biocida se debe a la desnaturalización de proteínas, enzimas y cambios de permeabilidad de la pared celular. [7]

El uso de nuevas tecnologías en los procesos productivos, como la destilación, ha mejorado la competitividad de las industrias. Esta tecnología combina reacción y destilación en una unidad, lo que optimiza la conversión, la selectividad y reduce costos energéticos. La destilación ha sido aplicada exitosamente en procesos como la esterificación y la producción de compuestos industriales. Aplicarla en la producción de ácido peracético presenta desafíos como volatilidades de reactivos y temperaturas de reacción.

La conveniencia al aplicar la destilación para la producción de ácido peracético particularmente, dependerá sobre varios factores tales como volatilidades de reactivos y productos, temperaturas de reacción y puntos de ebullición, lo cual posee un gran desafío para el diseño y síntesis de este sistema reactivo, y más aun, para el diseño de una planta de producción.

Por tanto la destilación ofrece una alternativa de proceso para la síntesis de ácido peracético a nivel industrial altamente mejorada, esperando así obtener un producto de mayor valor agregado y reduciendo los costos. Para ello, el corazón de una planta de proceso de ácido peracético debe centrarse en la unidad de destilación, donde ocurrirá la reacción básicamente en el rehervidor.

La presente tesis trabaja un diseño optimizado de una planta industrial para la producción de ácido peracético mediante destilación. Utilizando herramientas de simulación, pruebas experimentales de laboratorio y diseño asistido por computadora, se evaluaron diversas alternativas de proceso para seleccionar la tecnología más adecuada y determinar los valores óptimos de las variables operativas. Los resultados obtenidos incluyen un modelo detallado de la planta, dimensionamiento de equipos clave, y planos de los equipos principales del proceso.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

El ácido peracético ha sido usado como agente antimicrobiano desde su aparición en 1985, año en el que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos lo registró por primera vez como agente antimicrobiano para uso en interiores sobre superficies duras. Su uso es permitido siempre que existan organismos patógenos que no puedan ser eliminados mediante tratamientos con agua caliente y/o altas temperaturas. Además, el ácido peracético parece ser un microbicida eficaz para desinfectar materiales y equipo de procesamiento, así como para tratamientos posteriores a la cosecha de frutas y verduras. [10]

El uso generalizado del ácido peracético como sustancia desinfectante se expandió al Perú también, y su uso se ha visto en aumento en los últimos años, debido a la necesidad de una mayor inocuidad en los procesos productivos (más específicamente, en los procesos alimentarios), y también por el hecho que actualmente se registran nuevos agentes patógenos que podrían afectar el transcurso óptimo de un proceso de producción. [14]

Por otro lado, otro uso importante de este ácido es su participación en la síntesis de epóxidos, porque al combinarse con un alqueno produce un epóxido con un ácido carboxílico. Estos epóxidos están siendo usados actualmente en recubrimientos y pinturas de protección para la corrosión, en resinas, y otros usos más. Podemos notar actualmente que en el Perú el uso de los epóxidos en el sector industrial está aumentando de manera lenta pero estable en el tiempo, y por ende la demanda del ácido peracético se verá en aumento durante los próximos años. [24]

El problema que enfrenta la industria química actual en el Perú es que no se dispone de un suministro de origen nacional masivo, porque el ácido peracético actualmente es importado en su mayoría. Son pocos los productores nacionales de este ácido, y usan un proceso productivo que no resulta rentable a gran escala. Si tenemos en cuenta que la demanda sigue en aumento, y al no tener un suministro nacional de este ácido, podemos contemplar que hay una gran pérdida de oportunidades de negocio para el país, así como la salida de divisas por las importaciones.

Además, otro problema es el método de producción. Los pocos proveedores nacionales de este ácido lo producen en pequeña escala en reactores banco sin mayor aporte de ingeniería, muy rudimentariamente, haciendo a este proceso caro. Este también es un punto importante que debemos tener en cuenta para poder plantear una solución. **[13]**

El diseño de una planta de ácido peracético para su producción a nivel industrial conlleva a decirnos cuál va a ser el mejor método utilizado para la producción del ácido peracético, porque lo que se busca es un producto que cumpla con una calidad técnica aceptable, con una cantidad producida que produzca rentabilidad, que tenga una producción continua y que tenga un costo módico.

Mediante una evaluación previa se determinó que el proceso productivo químico que cumple los requisitos es la destilación, y por ello en este trabajo se busca un beneficio real, mediante el diseño de la planta a escala industrial, que opere bajo este proceso, y así poder cumplir con los requisitos del producto demandado. Para ello, vamos a poder abarcar de manera íntegra todos los aspectos que involucren este diseño; esto es, el estudio de viabilidad (que involucra la selección de tecnología, la localización y el tamaño de la planta, las inversiones y los costos), una simulación del proceso, y el modelamiento de la planta usando software de diseño CAD/BIM para equipos, estructuras y tuberías de la planta, que nos permitan estimar con mayor exactitud los costos y el alcance de la planta de proceso a implementar.

1.2 Formulación de problemas

1.2.1 Problema general

¿Cómo se debe diseñar una planta para producir ácido peracético a nivel industrial?

1.2.2 Problemas específicos

- 1) ¿Cuál será la tecnología más apropiada para la producción a nivel industrial de ácido peracético?
- 2) ¿Cuáles son los equipos más importantes en una planta de producción de ácido peracético por destilación?
- 3) ¿Cuáles son los valores de las variables que definen el proceso productivo del ácido peracético por destilación?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general:

Diseñar una planta para la producción a nivel industrial de ácido peracético.

1.3.2. Objetivos específicos:

- 1) Determinar la tecnología más apropiada para la producción a nivel industrial del ácido peracético.
- 2) Identificar los equipos clave necesarios para la producción de ácido peracético por destilación.
- 3) Definir los valores óptimos de las variables operativas en el proceso de producción de ácido peracético.

1.4 Justificación

Las razones que justifican la presente investigación son las siguientes: **Tecnológica**, porque permitirá desarrollar la investigación nacional en operaciones de transferencia de materia con procesos de transformación química simultánea, y su aplicación industrial directa en nuestro país; **social**, porque desarrollará la actividad productiva de insumos químicos en nuestro país, que actualmente sigue siendo incipiente; y **económica**, al evitar la fuga de divisas por importaciones de ácido peracético, y porque se generan puestos de trabajo, contribuyéndose al producto bruto interno.

1.5 Delimitantes de la investigación

- a) **Teórica.**— La investigación se centrará exclusivamente en el diseño de una planta industrial de producción de ácido peracético utilizando destilación como la tecnología base.
- b) **Temporal.**— La investigación se realizará en un periodo de tres meses.
- c) **Espacial.**— La investigación se llevará a cabo en el Laboratorio de Investigaciones de la FIQ UNAC, y en el Centro de Cómputo de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, y está orientada fundamentalmente a nivel de Perú.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes: Internacional y nacional

1.1.1 Antecedentes internacionales

En [8] el autor tuvo como objetivo el diseño de una columna de destilación para la producción de ácido peracético de una manera más económica. La metodología empleada se basó en experimentos de laboratorio y simulando la operación unitaria en el entorno del simulador de procesos Aspen Plus® 11.1, empleando los módulos de composición en la fase líquida, variación de la temperatura en la columna, y variación de la composición de la columna en la zona reactiva. El autor concluyó en la viabilidad de un diseño para una capacidad total de planta de 390 000 L/año, que empleó destilación como proceso principal siempre y cuando se cumpla con el manejo seguro de los reactivos involucrados, en especial el peróxido de hidrógeno, porque a grandes volúmenes tiende a presentar riesgo de explosión.

En [21] los autores tuvieron como objetivo el modelamiento de la cinética de reacción del ácido peracético a partir de ácido acético y peróxido de hidrógeno en un microrreactor capilar helicoidal mediante regresión de la tasa de conversión medida de peróxido de hidrógeno. La metodología incluyó el cálculo de las actividades del protón con la ecuación ELECNRTL y utilizaron para obtener un modelo cinético con energías de activación aparentes de síntesis e hidrólisis del ácido peracético de 53,63 y 54,45 kJ/mol, respectivamente. Los resultados mostraron que la actividad del protón en la solución de ácido sulfúrico desempeñaba un papel importante en la síntesis como catalizador. La viabilidad del nuevo proceso fue validada mediante simulación y evaluación económica de Aspen Plus.

En [30] los autores tuvieron como objetivo el diseño de una columna de destilación catalítica (RD) de tres etapas quien integraba una reacción química un proceso de destilación para la síntesis continua de ϵ -caprolactona (ϵ -CL) para superar las desventajas de los procesos por lotes anteriores. La metodología involucró el estudio la cinética de reacción según el método de oxidación indirecta en dos pasos, que era esencial en el diseño de reactores y la optimización de procesos, además porque faltaba en la literatura actual. Los

resultados indicaron que en las condiciones operativas óptimas, la conversión de ciclohexanona fue del 97% y la fracción de masa de ϵ -CL en los productos de fondo fue del 62,31%. La simulación mostró que la columna RD funcionó con excelentes resultados con respecto a la conversión y la pureza del producto debido a la integración de los procesos de reacción química y destilación.

En [31] los autores tuvieron como objetivo el estudio de la estabilidad del ácido peracético en solución acuosa bajo las condiciones más comunes encontradas en los procesos industriales, a partir de su cinética de reacción. La metodología se fundamentó en el estudio de la descomposición espontánea, en la hidrólisis, y en la descomposición catalizada por un metal. Los resultados mostraron que la reacción sigue una cinética de segundo orden con un pH máximo de 8,2 el cual viene a ser el pK_a del ácido.

1.1.2 Antecedentes nacionales

En [3] los autores tuvieron como objetivo el modelamiento de un sistema semicontinuo complejo. La metodología empleada se basó en el proceso de esterificación del ácido acético con metanol para la obtención de acetato de metilo y como sub producto el agua. Los resultados mostraron que hay alta dependencia de las condiciones de alimentación de la mezcla reaccionante y de las condiciones mantenidas en el reactor para la obtención de los perfiles de temperatura y concentración en cada uno de los tanques y el reactor. El autor concluyó que hay un fuerte efecto de las variables radio de salida $R_{03} = [0,005; 0,01; 0,015]$ m y temperatura en la pared del reactor $T_{inf3} = [50^\circ\text{C}; 60^\circ\text{C}; 70^\circ\text{C}]$ del reactor esférico frente a la conversión X_A mediante un diseño factorial 2^3 .

En [10] los autores tuvieron como objetivo una investigación de la cinética de la reacción del ácido acético, en presencia del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) como fuente de oxígeno y catalizada por una resina de intercambio iónico de la forma ácida como una función de tamaño de partícula, relación molar, temperatura y la fase oleosa (estearina). La metodología involucró el modelado cinético de la velocidad de formación in situ de ácido peracético usando resina de intercambio iónico en el proceso de epoxidación de aceite vegetal, donde existen tres fases (sólido-líquido-líquido). Los resultados indicaron que la condición óptima de operación encontrada fue: 1,1:0,5, 60°C , 12% de resina de intercambio iónico de

tamaño 595 μm , malla 30 y 375 rpm. A estas condiciones la reacción fue encontrada ser de primer orden con respecto a las concentraciones de ácido acético, y del peróxido de hidrogeno, y la constante intrínseca de la velocidad de reacción fue $6,6448 \pm 0,11 \times 10^{-3} (\text{meq/g})^{-1} (\text{mol/L})^{-2} (\text{min})^{-1}$ a 60°C

En [24] las autoras tuvieron como objetivo demostrar la eficacia del ácido peracético para la desinfección in situ de equipos en el “área estéril de envasado 2” de formas farmacéuticas en un laboratorio de industria farmacéutica. La metodología empleada se basó en un estudio experimental, cuantitativo y transversal, en el que se empleó el método de dilución – neutralización para determinar la eficacia del ácido peracético a concentraciones de 0,6%, 1,2% y 1,8% y tiempos de contacto de 5, 10 y 15 min., para realizar la actividad antimicrobiana in situ en superficies donde se empleó el método de placas de contacto y en equipos el método de hisopado. Los resultados mostraron una reducción de 99,999% en la determinación de la actividad antimicrobiana en superficies y equipos.

2.2 Bases teóricas

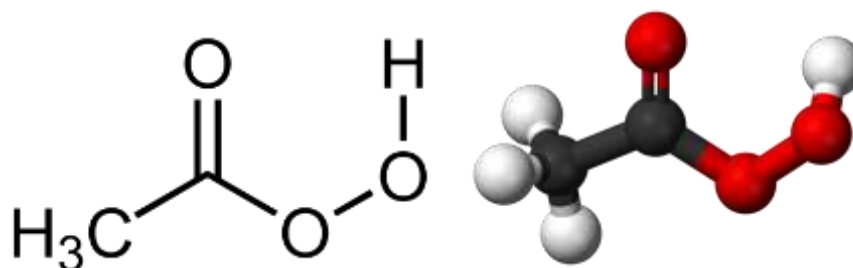
2.2.1. El ácido peracético: propiedades y uso

El ácido peracético, también conocido como ácido peroxiacético, es un compuesto orgánico con la fórmula CH_3COOOH . Puede considerarse como un derivado del oxido de hidrogeno por sustitución de uno de sus hidrógenos por un radical acetilo, y se puede preparar por reacción del peróxido de hidrogeno con varios agentes acetilantes, como el ácido acético, anhídrido acético, y cloruro de acetilo. Estos métodos fueron estudiados por D’Ans y colaboradores de 1910 a 1915. Puede formarse a partir del peróxido diacetilico (derivado diacetilico del peróxido de hidrogeno) sustituyendo uno de esos grupos por un hidroxilo (hidrólisis). Las primeras preparaciones de ácido peracético se hicieron por este procedimiento, pero actualmente solo tiene valor histórico. En 1956, Carbide and Carbon Chemicals Corporation (ahora conocida como Union Carbide Chemicals Company) anuncio una síntesis nueva basada en la oxidación del aldehído acético con aire u oxígeno. Este peróxido orgánico es un líquido incoloro con un olor acre característico que recuerda al del ácido acético. Puede ser altamente corrosivo. [31]

Es miscible con el agua y con la mayoría de los disolventes orgánicos. A causa de su inestabilidad, es muy difícil aislarlo. En lugar de ello, se preparan y manejan soluciones del mismo o bien se utiliza como intermedio fugaz en procesos donde su formación y uso como sustancia oxidante se efectúan a la vez. En soluciones acuosas neutras se hidroliza lentamente dando ácido acético y peróxido de hidrogeno. Esta hidrólisis tiene lugar por rotura del grupo oxiacilico y nunca por fisión del enlace peroxidico. [2]

Es un ácido mucho más débil que su ácido padre, el ácido acético, con un P_{k_a} de 8.2. En la **Figura 1** podemos apreciar su fórmula química estructural y su modelo molecular espacial.

Figura 1
Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del ácido peracético



Wikimedia Commons ©, 2024

Sus propiedades se muestran en la **Tabla 1**:

Tabla 1
Propiedades generales del ácido peracético

Punto de ebullición	105°C (no aplicable por descomposición)
Estado físico	Líquido
Presión de vapor	No establecido
Color	Incoloro
Gravedad específica	1,15 ± 0,05
Solubilidad en agua	100%
Volatilidad por volumen	< 1%
Ratio de evaporación	superior a 1
Reactividad con agua	No presenta
Punto de inflamación	68°C (154°F) (copa cerrada)
Emulsión	No presenta
Olor	Fuerte a ácido
pH	< 1

Merck Millipore ® – CAS 79–21–0, 2024

Según [30] sus usos y aplicaciones son:

- a) **Síntesis de otros compuestos.**– El principal uso del ácido peracético es para la síntesis industrial de epóxidos. Transfiere un átomo de oxígeno a dobles enlaces, por ejemplo en el etileno y el propileno, para formar epóxidos y alcoholes. Puede también ser usado para producir glicerol sintético a partir del propileno, y es usado en la fabricación del nailon.
- b) **Agente blanqueador débil.**– Puede ser utilizado como un agente blanqueador especialmente para el papel madera o kraft. Es un agente blanqueador relativamente eficiente y selectivo, y es ocasionalmente utilizado como una alternativa al dióxido de cloro y al cloro elemental en las secuencias de blanqueado totalmente libres de cloro. Es, sin embargo, relativamente caro, y es difícil de almacenar debido a su alta reactividad. Esto ha limitado su uso.
- c) **Agente antimicrobiano.**– El ácido peracético es un agente antimicrobiano ideal debido a su alto potencial oxidante. Es ampliamente efectivo contra microorganismos y no es desactivado por la catalasa y peroxidasa, enzimas que rompen el peróxido de hidrógeno. Se degrada hasta residuos seguros y respetuosos con el medio natural, como lo son el ácido acético y el peróxido de hidrógeno, y por lo tanto puede ser utilizado en aplicaciones sin enjuague. Puede ser utilizado sobre un amplio rango de temperatura (0°C–40°C), en un amplio rango de pH (3,0 – 7,5), en procesos de limpieza en sitio (clean–in–place, CIP), en condiciones de agua dura, y no es afectado por residuos de proteína.

2.2.2. Importancia económica del ácido peracético en el mercado mundial

A nivel mundial, el ácido peracético se emplea mayoritariamente para la desinfección, sobre todo en la industria de la alimentación y de las bebidas, pero también en los sectores de la cosmética, la farmacia y la medicina. La medición y regulación continuas del ácido peracético son necesarias cuando se establecen unos requisitos especiales para la desinfección y el aseguramiento de la calidad. [20]

Por ende, su importancia económica está ligada al mercado de desinfectantes en su mayoría. Una de las industrias que más lo demanda es la industria

alimentaria, la cual va en crecimiento, debido a la necesidad de preservar los productos alimenticios sin dañar ni modificar sus propiedades, con miras a la exportación desde su lugar de origen hasta lugares más lejanos. Es importante que antes de usar un desinfectante, nos aseguremos que este cumple con la normativa vigente y que precisa del registro (HA) que es el necesario para poderlos aplicar en las industrias alimentarias. [22]

También otro sector que lo demanda mucho es el área de la salud, donde es uno de los desinfectantes más consumidos, junto con los alcoholes, los compuestos fenólicos y el peróxido de hidrógeno. En la Unión Europea, el precio del ácido peracético está 1,50 € por Kg en promedio.

2.2.3. Importancia económica del ácido peracético en el mercado local

En nuestro país, la mayor parte de la producción de ácido peracético se usa para la manufactura de desinfectantes (más del 50% aproximadamente), dada la gran demanda del sector alimenticio y el sector salud. Un menor porcentaje suele emplearse como blanqueador de pulpa de papel (20% aproximadamente). [7]

Aquí en Perú, el organismo institucional encargado de regular la compra y venta de insumos químicos (y por ende también la del ácido peracético) es la DIGESA, la cual depende del Ministerio de Salud (MINSa), según la Ley General de Salud (Ley N° 26842)

Si bien el ácido peracético se produce actualmente en el Perú, cabe precisar que se hace mediante una simple mezcla de reactivos, lo cual genera inestabilidad química bajo aplicaciones en temperatura elevada.

Ahora, según datos de la SUNAT, en el mercado local las empresas registradas formalmente que lo distribuyen se enumeran en la **Tabla 2 (Ver pag. N° 20)**

En la tabla precedente se puede apreciar que la mayoría de empresas proveedoras de ácido peracético en nuestro país aun optan por importar el producto de otros países (preferentemente México y Colombia). Por ello, se plantea que es necesario impulsar la producción de este insumo para poder satisfacer mejor la demanda nacional, proponiendo un método novedoso, rentable, viable y efectivo.

Tabla 2
Proveedores de ácido peracético de uso industrial en Perú

Proveedores	Marca comercial	Origen
BIO V PHARMA PERÚ S.A.	Peroxidial	Nacional
Concentrados Petroquímicos S.A.	Biocop	Nacional
Distrilarkin del Perú S.A.C.	Lark Peracetic C	Importado
Diversey Perú S.A.C	Divosan Forte	Importado
Ecolab Peru Holdings S.R.L.	P3 Oxyzan ZS	Importado
PISAPIG's S.A.	Proxitane 1512	Importado
Procesos y Materiales E.I.R.L.	Sacbio PA3440	Nacional
SOPURA S.A.C.	Sopuroxid	Importado
SQM VITAS Perú S.A.C	Deptil PA 5	Importado
Veterquímica S.A.C.	Bactolim C-15	Nacional
West Química del Perú S.A.C.	West Peracetic	Importado

Base web de datos de SUNAT, 2024

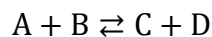
2.2.4. La destilación

La mayoría de los procesos químicos implican dos operaciones importantes (de reacción y separación) que se llevan a cabo típicamente en diferentes secciones de la planta y que utilizan equipos diferentes. La sección de reacción del proceso puede utilizar varios tipos de reactores (reactor continuo de tanque agitado o CSTR; tubulares o PFR; o por lotes) y operar bajo una amplia variedad de condiciones de reacción (catalizada, adiabática, con calentamiento o enfriamiento, de una sola fase, múltiples fases, etc.). La sección de separación puede tener también varios tipos de operaciones (destilación, extracción, cristalización, adsorción, etc.), con la destilación siendo, con mucho, el método más comúnmente utilizado.

Las consideraciones económicas y ambientales han alentado a la industria para centrarse en tecnologías basadas en proceso de "intensificación". Esta es un

área de interés creciente que se define como cualquier desarrollo de la ingeniería química que conduce a un menor uso de materiales químicos y una mayor eficiencia energética. La destilación es un excelente ejemplo de la intensificación de procesos. Puede proporcionar una atractiva alternativa económica y ambiental a los diagramas de flujo que emplean múltiples unidades convencionalmente. [9]

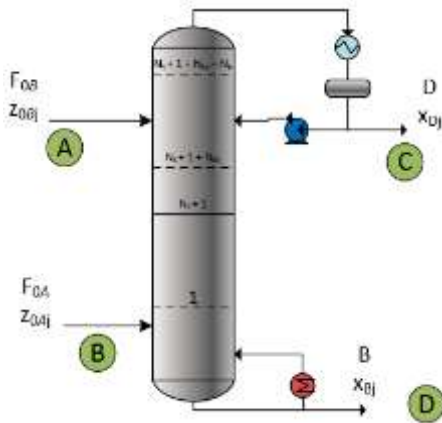
La destilación ofrece múltiples beneficios en comparación con los procesos convencionales. Al combinar la reacción química y la separación en un solo equipo, se logra una mayor eficiencia energética gracias a la eliminación de etapas intermedias. Además, el uso de un reboiler permite un control preciso de la temperatura y la composición de la mezcla, lo que optimiza la conversión y la selectividad de la reacción, ofreciendo mejores condiciones de equilibrio químico. Considerando el sistema en el cual la reacción química involucra dos reactantes (A y B) y producen dos productos (C y D). La reacción toma lugar en la fase líquida y es reversible:



Para que la destilación funcione, se debe de remover los productos de los reactantes por destilación. Esto implica que los productos deberían ser más ligeros y/o más pesados que los reactantes. En términos de las volatilidades relativas de los cuatro componentes, un caso ideal es cuando un producto es el más ligero y el otro producto es el más pesado, con los reactantes siendo los compuestos con puntos de ebullición intermedios. Un esquema simplificado de destilación en un caso ideal es tal como se muestra en la **Figura 2 (Ver pag. N° 22)**

El diseño de la ingeniería básica y de detalle corresponde al desarrollo de un modelo similar, con algunas restricciones de parte del proceso.

Figura 2
Esquema simplificado de un caso ideal de destilación

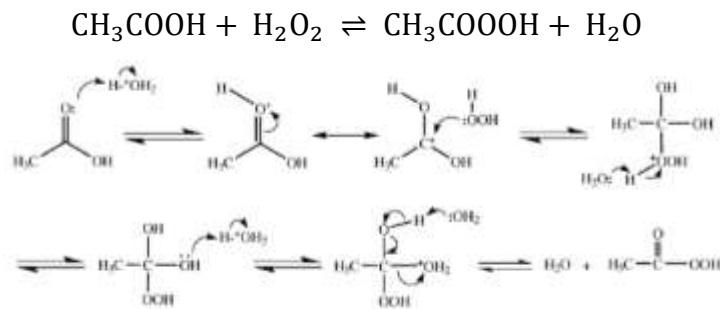


Wikimedia Commons ©, 2024

2.2.5. Destilación del ácido peracético

A nivel industrial, una de las tecnologías para la obtención del ácido peracético corresponde a la acetilación del peróxido de hidrógeno. Esta reacción tiene por reactantes al peróxido de hidrógeno y al ácido acético, en medio ácido. El mecanismo de reacción viene ilustrado en la **Figura 3**

Figura 3
Mecanismo de reacción de la síntesis del ácido peracético



Zhao, 2007

Esta vía de obtención tiene la ventaja de ser más seguro que otros métodos de producción de este ácido, al no generar subproductos más volátiles y explosivos, además de tener un bajo costo en relación con otras formas.

Al final de esta reacción se obtiene una mezcla en equilibrio conformada por los 2 reactantes involucrados (peróxido de hidrógeno y ácido acético), y los

productos (ácido peracético y agua). Diversos estudios han demostrado que se puede elevar la concentración de esta mezcla aplicando el proceso de destilación, donde el rehervidor de la columna sea el reactor. Así, [2] y después [21] describieron en sus estudios la posibilidad de realizar la producción del ácido peracético en medio ácido mediante la acetilación del peróxido de hidrógeno aplicando destilación. El proceso descrito en esta tesis se basa en los estudios de estos autores anteriormente mencionados.

El proceso desarrollado en esta tesis consiste en la mezcla continua de peróxido de hidrógeno, ácido acético y agua, seguido de la reacción ocurrida en el rehervidor de una columna de destilación, que va concentrando el ácido peracético presente en la mezcla, finalmente seguido de un doble enfriamiento para estabilizar la mezcla obtenida. Se logra obtener un producto con 18.56% en masa de ácido peracético de concentración.

2.2.6. Tipos de agua para uso industrial

En las industrias en general podemos distinguir el uso de distintos tipos de agua. Antes de usar el agua en un proceso industrial, debemos buscar eliminar materia sólida en suspensión y la presencia de coloides, eliminar la materia disuelta en ella (esto incluye los iones diversos que puedan afectar el resultado de mi proceso), eliminar la carga biológica presente en ella (esto incluye eliminar bacterias y virus), y así poder tener un agua segura para mi proceso.

Según [5], en la industria, las funciones elementales más frecuentes son las siguientes:

- a) Producción de energía por vaporización: En centrales clásicas o nucleares, que exige un agua de la mayor pureza.
- b) Transporte de calorías: Para la condensación del vapor, refrigeración de fluidos, o de aparatos. Se emplean generalmente caudales grandes y por ello se acepta un agua de calidad media. [5]
- c) El transporte de materias primas o de desechos: Por ejemplo:
 - 1) Remolachas en la industria azucarera
 - 2) Cascarilla de trenes de laminación
 - 3) Carbón en los lavaderos
 - 4) Fibras de papelera

- d) Acción mecánica: Por ejemplo en la eliminación de la calamina, a una presión de 60 a 150 bar, del acero de un tren de banda continua, etc. [5]
- e) Fabricación de productos: Para industrias en general (papeleras, industrias textiles, alimenticias, etc.), para las cuales existen normas estrictas y específicas generalmente.
- f) Transporte de iones: En hidrometalurgia o galvanoplastia.
- g) Aclarado de piezas o lavado de productos: Para tratamientos de superficies, semiconductores, industrias agrícolas o de la alimentación, que exigen, según los casos, una calidad de agua potable, una esterilidad absoluta o incluso una desmineralización total. [5]
- h) Extinción de productos incandescentes: Como escoria, coque, etc.
- i) Lavado de gases: Proceso en plena expansión, utilizado en la industria metalúrgica y en las industrias químicas.
- j) Preparación de baños en utilidades diversas: electroforesis, aceites solubles, etc.
- k) Acondicionamiento de aire: En ciertas aplicaciones, textiles u otras.
- l) Mantenimiento de la presión: En yacimientos petrolíferos por inyección de aguas tratadas con gran cuidado y acondicionadas contra la corrosión, los lodos y la incrustación. [5]

Ahora, en la industria podemos encontrar el uso de los siguientes tipos de agua:

- a) **Agua potable.**— Agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. Suele ir de 100 a 500 ppm en dureza.
- b) **Agua dura.**— Agua que contiene un gran número de iones positivos. La dureza está determinada por el número de átomos de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente se disuelve malamente en las aguas duras. Se considera agua dura por encima de los 200 ppm usualmente.
- c) **Agua blanda.**— Agua sin dureza significativa. Es una agua con menos de 0,5 ppm de sal disuelta.

Las operaciones de eliminación de dureza se denominan ablandamiento de aguas. La dureza puede ser eliminada utilizando el carbonato de sodio (o de potasio) y cal. Estas sustancias causan la precipitación del Ca como carbonato y del Mg como hidróxido. [5]

Otro proceso para la eliminación de la dureza del agua es la descalcificación de ésta mediante resinas de intercambio iónico. Lo más habitual es utilizar resinas de intercambio catiónico que intercambian los iones calcio y magnesio presentes en el agua por iones sodio u otras que los intercambian por iones hidrógeno.

2.2.7. Suministros de energía para plantas industriales

La energía es un factor muy importante en el proyecto de diseño de una planta industrial. Debemos considerar que tipo de matriz energética debe usar nuestra planta. [4] Actualmente una planta industrial usa los siguientes recursos energéticos en general:

- a) **Vapor de agua.**– La energía producida por el vapor de agua se aprovecha para el movimiento o calentamiento de la maquinaria a nivel industrial en su mayoría. El vapor de agua es producido por una caldera. El vapor es usado en un gran rango de industrias. La aplicaciones más comunes para el vapor son, por ejemplo, procesos calentados por vapor en fábricas y plantas, y turbinas impulsadas por vapor en plantas eléctricas, pero el uso del vapor en la industria se extiende mas allá de las antes mencionadas.
- b) **Eléctrica.**– Toda planta siempre hace uso de un suministro de energía eléctrica. Es la segunda energía más consumida a nivel industrial, después de la energía producida por el vapor. En términos generales dentro de una planta, las maquinas de menor capacidad y las áreas administrativas y de menos producción usan energía eléctrica fundamentalmente.
- c) **Combustibles fósiles.**– Para accionar la caldera de una planta necesitaremos la energía producida por la combustión de un hidrocarburo. En Perú, el hidrocarburo fósil de mayor uso industrial actualmente ya es el gas natural y por mucho (86%), sin embargo el petróleo y sus derivados (diesel, gasóleos, GLP) aún son usados en calderas pirotubulares (< 100 psi) de diseño nacional (12%), y su uso sigue en caída, por el tema de costo y rendimiento. El porcentaje restante lo ocupan otros combustibles usados en pequeñas plantas de producción (carbón, leña). [4]

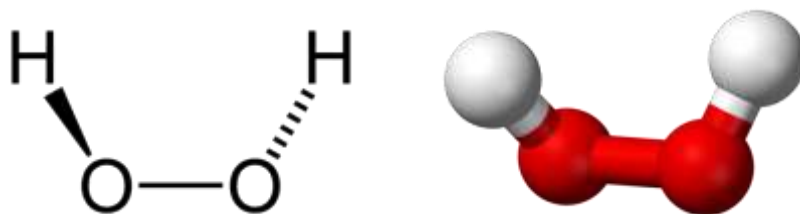
2.2.8. El peróxido de hidrógeno y su aplicación industrial

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2), también conocido como agua oxigenada, dioxigeno o dioxidano, es un compuesto químico con características de un líquido

altamente polar, fuertemente enlazado con el hidrógeno tal como el agua, que por lo general se presenta como un líquido ligeramente más viscoso que ésta. Es conocido por ser un poderoso oxidante. A temperatura ambiente es un líquido incoloro con sabor amargo. Pequeñas cantidades de peróxido de hidrógeno gaseoso se encuentran naturalmente en el aire. El peróxido de hidrógeno es inestable y se descompone lentamente en oxígeno y agua con liberación de calor. Su velocidad de descomposición puede aumentar mucho en presencia de catalizadores. Aunque no es inflamable, es un agente oxidante potente que puede causar combustión espontánea cuando entra en contacto con materia orgánica o algunos metales, como el cobre, la plata o el bronce. [29]

En la siguiente imagen podemos apreciar su fórmula química estructural y su modelo molecular espacial.

Figura 4
Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del peróxido de hidrógeno



Wikimedia Commons ©, 2024

Las propiedades físicas se muestran como sigue:

Tabla 3
Propiedades físicas del ácido peracético

Apariencia	Incoloro o cristales (no inodoro)
Densidad	1,049 g/cm ³
Masa molar	60,050 g/mol
Punto de fusión	290 K (17°C)
Punto de ebullición	391,2 K (118°C)
Acidez	4,76 pK _a
Momento dipolar	1,74 D

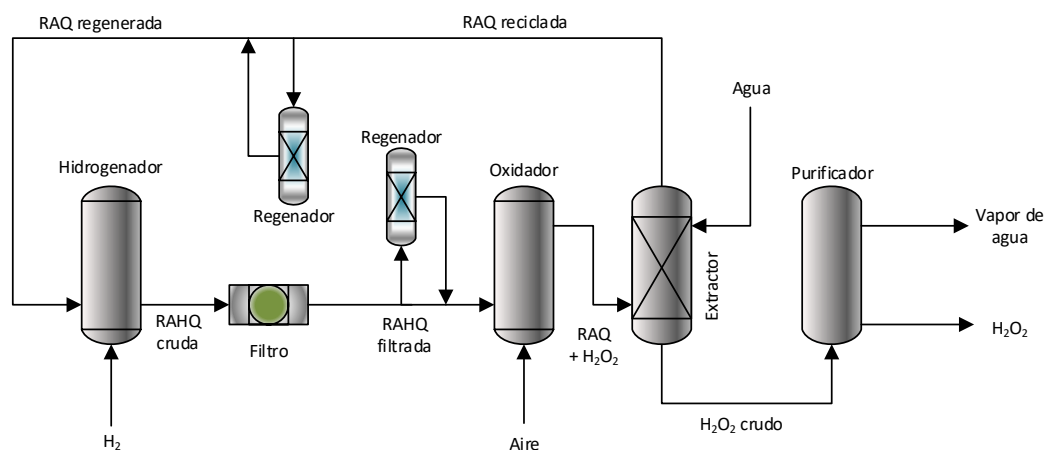
Wagner, 2001

Este insumo se encuentra en bajas concentraciones (3% a 9%) en muchos productos domésticos para usos medicinales y como blanqueador de

vestimentas y el cabello. En la industria, el peróxido de hidrógeno se usa en concentraciones más altas para blanquear telas y pasta de papel, y al 90% como componente de combustibles para cohetes y para fabricar espuma de caucho y sustancias químicas orgánicas. En otras áreas, como en la investigación, se utiliza para medir la actividad de algunas enzimas, como la catalasa. [29]

Antiguamente el agua oxigenada era preparada por electrolisis de una solución acuosa de ácido sulfúrico o ácido de bisulfato de amonio (NH_4HSO_4), seguida por la hidrólisis del peroxodisulfato ($(\text{SO}_4)_2$). En la actualidad el peróxido de hidrógeno se obtiene casi exclusivamente por la autoxidación de un 2–alcohol–antraquinona (o 2–alco–9–10–dihidroxiantraceno) al correspondiente 2–alco antraquinona en un proceso llamado proceso antraquinona. [29] Su diagrama de flujo de proceso se muestra en la **Figura 5**

Figura 5
Diagrama de flujo de proceso para el proceso antraquinona de producción de H_2O_2

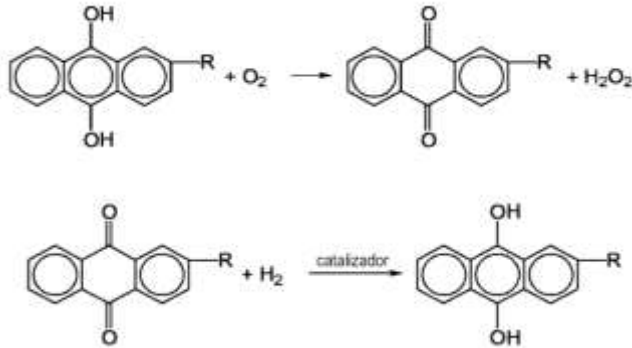


Wagner, 2001

En este proceso, una molécula de una 2–alquilantraquinona (abreviada RAQ) de bajo peso molecular (los fabricantes usan generalmente 2–ter–amilantraquinona, 2–iso–sec–amilantraquinona, 2–ter–butilantraquinona, y 2–etilantraquinona), disuelta en un solvente adecuado o en una mezcla disolvente, es catalíticamente hidrogenada hasta la correspondiente 2–alquilantrahidroquinona (abreviada RAHQ). Esta RAHQ es oxidada por medio del oxígeno del aire, y el producto de esta reacción es nuevamente la RAQ mas el peróxido de hidrógeno puro. [29]

La reacción llevada a cabo, si tomamos como RAHQ para este ejemplo un 2–alquil–9,10–antracenediol, se muestra en la siguiente **Figura 6**

Figura 6
Reacciones para la producción industrial de H₂O₂ a partir de RAQ



Wagner, 2001

La producción de peróxido de hidrógeno mundial, a raíz de este proceso nuevo, creció exponencialmente. En el siguiente cuadro podemos apreciar que solo en EEUU la producción aumentó rápidamente a consecuencia del proceso antraquinona.

Tabla 4
Producción anual de peróxido de hidrógeno en EEUU

Año	Producción ($\times 10^3$ TM)
1990	216,6
1992	271,8
1994	360,0
1996	470,0
1998	580,0
2000	700,0

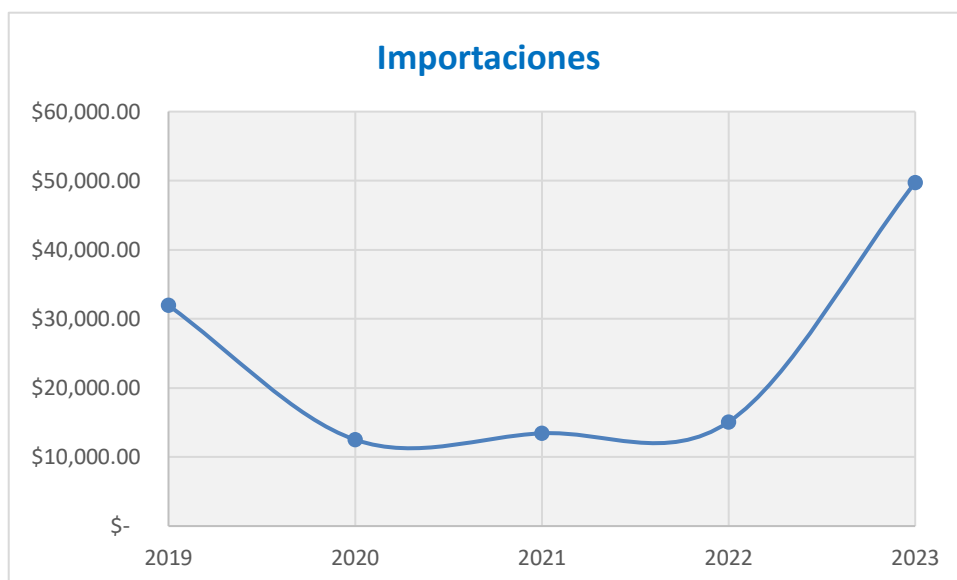
Wagner, 2001

En el caso de Perú, podemos apreciar que la importaciones de ácido peracético tienen una tendencia ligera al crecimiento, después de experimentar una caída en el periodo post pandemia, por efecto del COVID. En el siguiente gráfico se

observa la evolución de las importaciones de ácido peracético a Perú, desde el 2019 hasta el 2023. [27]

En la pandemia del COVID 19 aumentó la demanda de antimicrobianos, tal es el caso del ácido peracético. Sin embargo, se debe precisar que por tal motivo, los puertos internacionales estuvieron cerrados, lo que explica de alguna manera la tendencia que se expresa en la **Figura 7**

Figura 7
Importaciones de ácido peracético en Perú desde el 2019 hasta el 2023



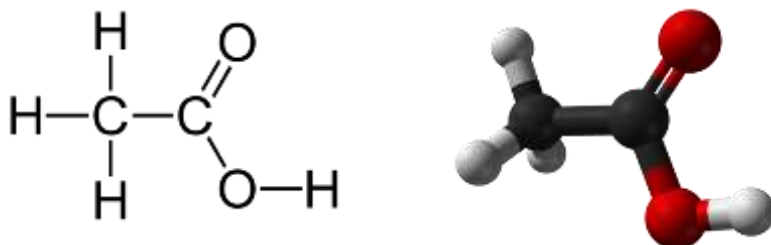
Veritrade, 2023

2.2.9. El ácido acético y su aplicación industrial

El ácido acético, ácido metilencarboxílico o ácido etanoico, se puede encontrar en forma de ion acetato. Éste es un ácido que se encuentra en el vinagre, siendo el principal responsable de su sabor y olor agrios. Su fórmula es $\text{CH}_3\text{-COOH}$. De acuerdo con la IUPAC se denomina sistemáticamente ácido etanoico. Tiene $1,049 \text{ g/cm}^3$ de densidad, y 118°C como punto de ebullición. Es de interés para la química orgánica como reactivo, para la química inorgánica como ligando, y para la bioquímica como metabolito (activado como acetil-coenzima A). También es utilizado como sustrato, en su forma activada, en reacciones catalizadas por las enzimas conocidas como acetiltransferasas y, en concreto, histona acetiltransferasas. El ácido acético tiene un lugar en los procesos orgánicos comparable a la del ácido sulfúrico en las industrias químicas minerales, y sus

movimientos reflejan la industria química. [28] En la siguiente **Figura 8** podemos apreciar su fórmula química estructural y su modelo molecular espacial.

Figura 8
Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del ácido acético



Wikimedia Commons ©, 2024

Hoy día, el método más usado para la obtención de ácido acético es a través de la carbonilación (reacción con CO) de metanol. Actualmente, casi todo el ácido acético producido industrialmente viene de la carbonilación del metanol o del acetato de metilo, de la oxidación del acetaldehído, o incluso de la oxidación en fase líquida de hidrocarburos ligeros. Por el contrario, pequeñas cantidades son actualmente producidas a partir del proceso de oxidación del butano en fase líquida, de la oxidación directa del etanol, o de gas de síntesis. El crecimiento de la producción de ácido sintético en los EE.UU. se vio muy afectada por los cambios en los recursos de combustibles de la década de 1970. La tasa de crecimiento para el año 1988 fue del 1,5% [28]

Alrededor de la mitad de la producción mundial proviene de la carbonilación de metanol y alrededor de un tercio de la oxidación del acetaldehído. Otra décima parte de la capacidad mundial se puede atribuir a la oxidación en fase líquida de una mezcla butano-nafta. Cantidades apreciables de ácido acético se recuperan a partir de las reacciones que implican ácido peracético. La elaboración de estadísticas precisas sobre la producción de ácido acético se complican por el reciclaje de ácido a partir de acetato de celulosa y producción de alcohol polivinílico. Cantidades indeterminadas de ácido acético es coproducido con anhídrido acético a partir de monóxido de carbono a partir del carbón y cantidades desconocidas se intercambian entre las empresas como un dispositivo para disminuir los costos de transporte. [28]

El diagrama de flujo de proceso para la carbonilación del metanol se muestra en la siguiente **Figura 9 (Ver pag. N° 32)**, en la que además se detallan las etapas del proceso.

Sus aplicaciones en la industria química van muy ligadas a sus ésteres, como son el acetato de vinilo o el acetato de celulosa (base para la fabricación de nailon, rayón, celofán, etc.)

2.2.10. El ácido sulfúrico como agente catalítico

El **ácido sulfúrico** es un compuesto químico extremadamente corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica.

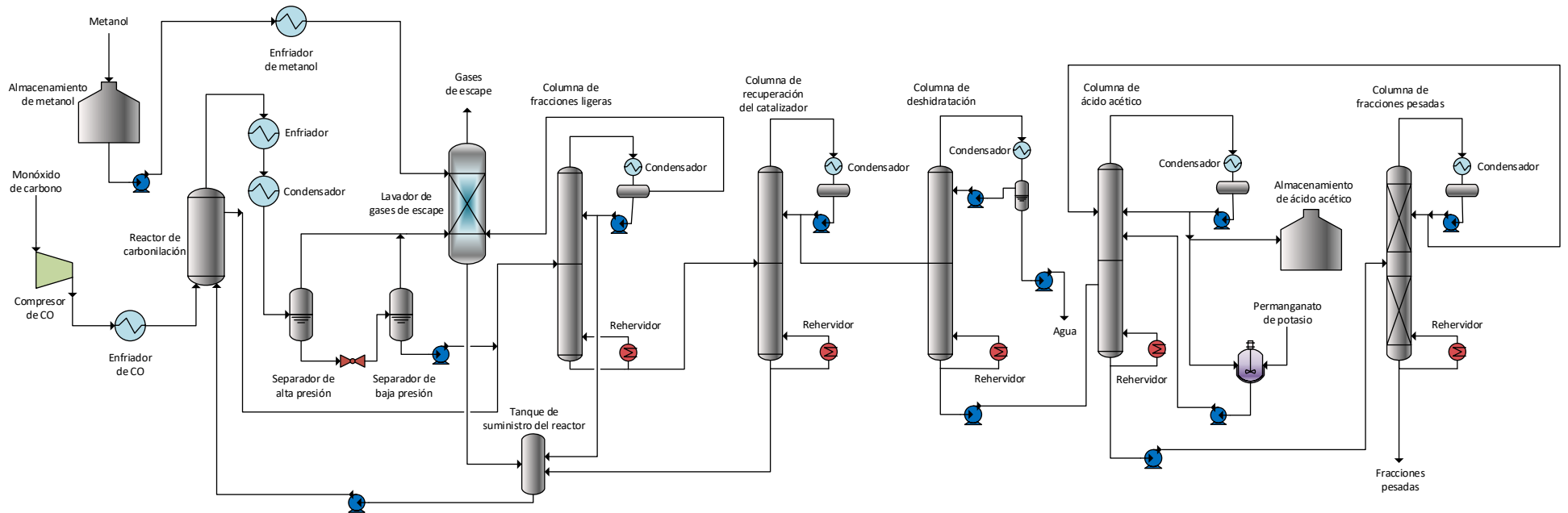
[28]

Entre sus usos, cantidades substanciales de ácido sulfúrico se utilizan como medio de reacción en procesos químicos orgánicos y petroquímicos involucrando reacciones como nitraciones, condensaciones y deshidrataciones. En la industria petroquímica se utiliza para la refinación, alquilación y purificación de destilados de crudo, porque este ácido es el medio catalítico. **[19]**

No solo la industria petrolera utiliza al ácido sulfúrico como catalizador de sus reacciones de producción. También las industrias de papel, plásticos, polímeros, etc.

El ácido sulfúrico como catalizador en reacciones de esterificación no es utilizado, en general, cuándo intervienen alcoholes terciarios (grupo hidroxilo unido a una cadena de tres carbonos). Estos alcoholes en presencia de ácido sulfúrico pueden sufrir deshidratación fácilmente sin la formación de ésteres. Por ejemplo, el isobutanol, de fórmula $(CH_3)_2CHCH_2OH$, en presencia de ácido sulfúrico sufre deshidratación y se forma isobutileno, de fórmula $(CH_3)_2C=CH_2$.

Figura 9
Diagrama de flujo de proceso de producción industrial de ácido acético



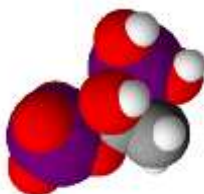
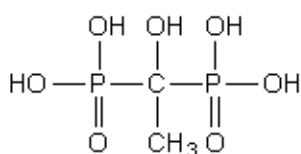
Wagner, 2001

2.2.11. El ácido difosfónico como agente estabilizante

Los fosfonatos o ácidos fosfónicos son compuestos orgánicos que contienen los grupos $C-PO(OH)_2$ o $C-PO(OR)_2$ (donde R=alquilo, arilo). Los difosfonatos fueron sintetizados por primera vez en 1897 por Von Baeyer y Felix Hofmann. Un ejemplo de bifosfonato es el HEDP (ácido 1-hidroxietileno-1,1-difosfónico). Desde el trabajo de Schwarzenbach en 1949, los ácidos fosfónicos son conocidos como efectivos agentes quelantes. La introducción de un grupo amino en la molécula para obtener $-NH_2-C-PO(OH)_2$ aumenta las habilidades para atrapar metales del fosfonato. [23]

El ácido difosfónico que nos interesa es el HEDP. Este compuesto es un ácido organofosforado inhibidor de la corrosión. Se pueden quelar con Fe, Cu, Zn y los iones para formar compuestos estables quelantes. Puede disolver los materiales oxidados en las superficies estos metales. El HEDP muestra la escala excelente y los efectos de inhibición de la corrosión bajo condiciones de temperatura 250°C. El HEDP tiene una buena estabilidad química por debajo del valor de pH alto, difícil de ser hidrolizado, y difícil de ser descompuesto en virtud de la luz ordinaria y las condiciones de calor. [23]

Figura 10
Fórmula química estructural y modelo molecular espacial del HEDP



Singh, 2005

Según investigaciones estadounidenses reportadas, el ácido 1-hidroxietileno-1,1-difosfónico ha demostrado ser el agente estabilizante más idóneo para el ácido peracético, previniendo su descomposición en gran proporción, y es el más usado industrialmente debido a su bajo costo. [19]

2.2.12. Condiciones de la demanda que regulan la comercialización de insumos para uso industrial

En el Perú, la demanda del ácido peracético exige que se cumpla con entregarle un producto de calidad técnica aceptable, que se provea el insumo en cantidades aceptables, que el suministro del insumo sea continuo (haya continuidad en la producción) y que el costo sea razonable dadas sus características, pero siempre accesible. [12]

De manera general, se solicita que el ácido peracético (como producto) cumpla con los ítems que se colocan en la **Tabla 5**

Tabla 5
Características técnicas del ácido peracético demandado en Perú

Punto De Ebullición	540 mmHg. 108°C (226°F)
Estado Físico	Líquido.
Presión De Vapor	No establecido.
Color	Incoloro.
Densidad	1,12 g/cm ³
Solubilidad	Miscible con el agua. Soluble en disolventes orgánicos polares.
Punto de fusión	- 27 a - 29°C
Punto de ebullición	No aplica, por descomposición
Reactividad Con Agua	No presenta.
Punto De Inflamación	No aplica.
Emulsión	No presenta.
Olor	Fuerte a ácido, picante.

Ministerio de Producción, 2016

Para poder cumplir con estas características, el producto necesariamente debe pasar por un estricto control de calidad, asegurando que el cliente recibirá el producto con las condiciones que la demanda exige y que las autoridades aprueban. [12]

En la norma europea EN 13697 se establecen métodos para evaluar la eficacia de desinfectantes químicos, incluyendo el ácido peracético, en superficies no porosas. Es en base a esta norma que se trazan los procedimientos para control de calidad del producto químico ácido peracético. Aquí se mencionan 4 métodos para la evaluación del porcentaje en peso del ácido peracético:

- a) Valoración titrimétrica
- b) Espectrofotometría
- c) Tiras reactivas
- d) Sensores amperométricos

En la presente tesis se empleó el método por tiras reactivas, de la marca Merck Millipore.

2.3 Marco conceptual

2.3.1. El diseño de plantas industriales químicas

Según [17], el diseño de plantas industriales es un trabajo de gestión que involucra todas las ramas de la ingeniería, en el que se aplican los códigos de diseño que se basan no solo en la experiencia sino también en el conocimiento de los expertos y los especialistas, el cual solo es adquirido a través del tiempo y luego de haber ensayado y comprobado reiterativamente los diferentes planes. Es una actividad que implica un trabajo conjunto entre quienes están encargados directamente de planear todo el proceso sea para una planta nueva ó para la expansión de una ya existente; para el reordenamiento de una planta ó para hacer pequeños reajustes, y quienes estarán en contacto directo con el diseño que se plantee, es decir, los empleados.

La infraestructura alrededor y en el interior de la planta tiene una incidencia directa en la comodidad, la economía, la rentabilidad y la seguridad del proyecto. En la interacción de aspectos humanos y materiales dentro del proceso productivo, va a estar muy ligada a la infraestructura que los rodee. **[26]**

Hablar del diseño de una planta de procesos es hablar de un proyecto de ingeniería. Según el PMBOK, un proyecto se compone de 5 etapas: iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, y cierre del proyecto. Si analizamos en qué partes del proyecto entra el proceso del diseño de la planta,

vemos que ocupan las 2 primeras etapas, esto es, en la iniciación del proyecto de la planta y en la planificación del proyecto de la planta. En estas etapas, de manera clásica se han identificado 3 fases bien definidas: el estudio de viabilidad, la ingeniería básica, y la ingeniería de detalle. **[18]**

Entonces, para poder realizar un diseño correcto de una planta, paso a paso, debemos primero realizar un **estudio de viabilidad**, que involucra aspectos de ingeniería conceptual, el cual tiene por objeto comprobar si en un proyecto existen soluciones que cumplan los objetivos definidos en el planteamiento inicial y determinar que son viables física, legal, social, económica y financieramente.

[26] Aquí los puntos más resaltantes son:

- a) Estudio de mercado
- b) Tamaño óptimo de planta
- c) Localización de la planta
- d) Definición técnica del proyecto
- e) Estudio técnico
- f) Estudio económico
- g) Evaluación y análisis de los indicadores

Luego, viene la etapa de la ingeniería básica, la cual tiene por objeto definir las líneas básicas del proyecto, de manera que suministre al promotor la información necesaria para poder tomar la decisión de llevar adelante el proyecto podría paralizarlo. **[26]** Aquí las etapas son:

- a) Selección de la solución
- b) Formulación de modelos
- c) Análisis de modelos
- d) Optimización del proceso
- e) Validación del proceso

Finalmente, sigue la etapa de ingeniería de detalle. Es la fase en la que quedan definidos todos y cada uno de los subsistemas, componentes o partes que integren el proyecto, de tal manera que los documentos que lo desarrollan han de ser suficientes para llevarlo a la práctica, sean bajo la dirección de los mismos proyectistas o por otro equipo de ingeniería distinto. **[26]** Aquí las etapas son:

- a) Comprobación de especificaciones de subsistemas y componentes
- b) Definición y cálculo de partes
- c) Ensamblaje y comprobación de partes
- d) Comprobación de dimensiones con normativa
- e) Preparación, revisión y elaboración de documentos

Esta fase siempre existe independientemente de las características del proyecto y del objeto que se persigue. Por ejemplo cuando los objetivos del proyecto están definidos perfectamente desde un principio o cuando su complejidad es muy pequeña, se puede suprimir la realización de estudios preliminares o de la ingeniería básica, pero no la ingeniería de detalle. Esta etapa culmina con la entrega del expediente técnico completo del proyecto de la planta industrial.

2.3.2. Software para diseño de ingeniería

A nivel de ingeniería química, y más concretamente, ingeniería de procesos, podemos encontrar una amplia variedad de software que nos permita realizar nuestros diseños y simulaciones con mayor exactitud y precisión. Dependiendo de la labor que se desee realizar, existen programas altamente especializados que nos permiten, incluso, poder visualizar cómo quedaría la planta sin haberla construido aún, y hacer un recorrido virtual por ella.

En la etapa del estudio de viabilidad (ingeniería conceptual) y en la ingeniería básica, es común que tengamos que buscar software de simulación de procesos industriales productivos, para poder hacer una validación previa del proceso diseñado, y verificar que el PFD propuesto cumple con los requisitos del cliente.

[26] En esta familia de programas encontramos 3 paquetes de software que dominan ampliamente el mercado.

El programa de simulación más usado es el ChemCAD®, de la compañía ChemStations. Tiene a su favor su rapidez para cálculos y sus diversos métodos de convergencia (incluso para simulaciones estacionarias y dinámicas). A nivel de campo es muy usado para cálculos de diseño donde se requiera rapidez. Cuenta con una amplia gama de operaciones y procesos unitarios y una buena base de datos de componentes, en su mayoría inorgánicos. La licencia, además, no tiene un precio tan elevado.

Sin embargo, si deseamos simular un proceso que tenga mayormente hidrocarburos, o deseemos resultados con mayor precisión, es más recomendable usar otro tipo de simulador. El segundo programa más usado es el Aspen HYSYS®, de la compañía AspenTech. Este programa tiene a su favor un entorno amigable, con una interfaz gráfica muy familiar para ingeniería química, y su amplia base de datos de compuestos, mayormente orgánicos. Su punto más fuerte es el uso de paquetes termodinámicos, con los cuales, dependiendo de los compuestos que emplee nuestro proceso a simular, puedo predecir la mayoría de propiedades fisicoquímicas y corregir los resultados obtenidos en caso no sean acordes a la realidad. En su última versión, incluso, puede calcular costos del proceso, aplicando relaciones del CEPCI y M&S. [1]

En la etapa de ingeniería de diseño (básica y de detalle), otros de los programas que se usan son de diseño asistido por computadora (CAD). El soporte es en este tipo de programas para generar modelos por computadora que nos permitan visualizar los equipos, las estructuras y las tuberías de la planta antes de ser construidas, con base en los cálculos hechos en la ingeniería básica, y así proceder con la generación de los planos maestros y las distribuciones en planta (layouts). Aquí el paquete de programas ampliamente usado es la suite de diseño de plantas industriales de Autodesk®, que contiene programas como AutoCAD, AutoCAD Plant 3D (empleado para la distribución y modelado de la planta), AutoCAD P&ID (empleado para generar el diagrama de ingeniería o P&ID del proceso), Autodesk Inventor Professional (empleado para diseñar equipos que requieran modelado detallado) y más programas que dan soporte y apoyo con poder tener un mejor alcance del proceso.

2.4 Definición de términos básicos

- a) Autoxidación: Se denomina así a la reacción de oxidación que es generada por un compuesto cuando se descompone y se ataca a sí mismo, generando un mecanismo en cadena. [31]
- b) Catalizador: Un catalizador propiamente dicho es una sustancia que está presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos, y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma. [8]

- c) Constante de disociación ácida: Es una medida cuantitativa de la fuerza de un ácido en solución. Es la constante de equilibrio de una reacción conocida como disociación en el contexto de las reacciones ácido–base. **[31]**
- d) Destilación: Es un proceso que combina la reacción y la separación en una misma unidad. Esta tecnología se aplica en las reacciones limitadas por el equilibrio termodinámico, como es por ejemplo la esterificación ácido catalizada. **[8]**
- e) Diseño asistido por computadora: También conocido como CAD (Computed Aided Design). Grupo de herramientas que permiten trabajar con similares conceptos, utilizando como división fundamental aquellas que simplemente nos permiten contar con diseños en dos dimensiones (CAD 2D) de aquellas que nos ayudan a obtener motivos tridimensionales (CAD 3D). **[26]**

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis general*

El diseño de una planta de ácido peracético se realizará seleccionando la tecnología adecuada, estimando el tamaño de planta y mediante el uso de software de ingeniería de procesos para la documentación técnica.

3.2.2 *Hipótesis específicas*

- a) La selección de tecnología de la planta se realizará mediante una matriz comparativa de características del proceso de las tecnologías disponibles.
- b) Los equipos esenciales para la planta de ácido peracético se seleccionan en base a las características del proceso de destilación.
- c) Las variables operativas del proceso de producción se definirán utilizando software especializado de simulación, revisión bibliográfica especializada, y análisis experimental.

3.1.1. Operacionalización de variables

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO PERACÉTICO

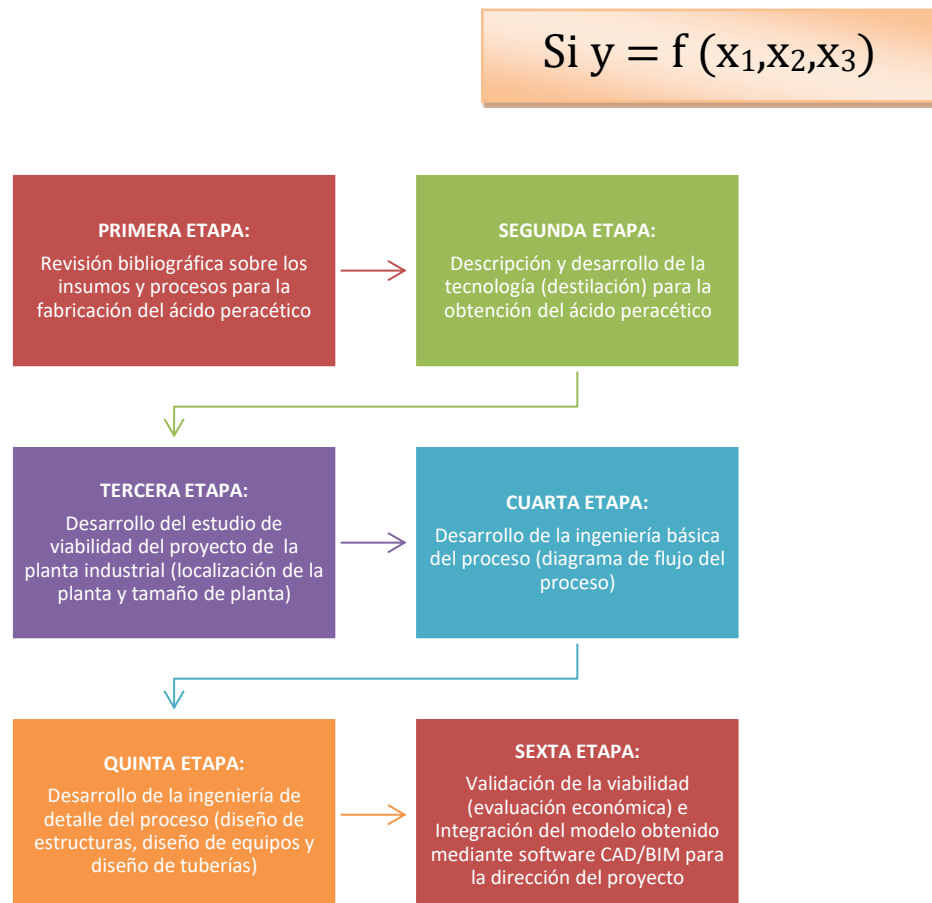
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Método
y = Diseño de una planta industrial para la producción de ácido peracético	El diseño de plantas químicas industriales se refiere al proceso de planificación, conceptualización y elaboración de los planos técnicos y especificaciones para la construcción y operación de una planta química. [17]	Se llevará a cabo el diseño de una planta de ácido peracético usando destilación. Para ello, aplicaremos una metodología de ingeniería estructurada y herramientas digitales como software de procesos y CAD/BIM.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tamaño de planta. ✓ Tecnología. ✓ Consideraciones técnicas para la implementación. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ TM/día . ✓ Descriptivo. ✓ Descriptivo. 	Relacionando las características de los recursos disponibles con las características del ácido peracético, identificadas con la teoría de diseño de plantas químicas.
Variables independientes	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Método
x ₁ = Tecnología empleada para la obtención del ácido peracético	El procedimiento para producir ácido peracético mediante la reacción de peróxido de hidrógeno y ácido acético en un medio de reacción acuoso en presencia de un catalizador ácido y destilando continuamente el ácido peracético. [25]	Se llevará a cabo mediante una metodología de diseño estructurado de ingeniería, el diseño de una planta industrial de ácido peracético.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Matriz comparativa de tecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descriptivo 	Entrevista a ingenieros de procesos y a proveedores nacionales del producto.
x ₂ = Equipos esenciales para la planta de ácido peracético	Los equipos necesarios para la planta incluyen los componentes básicos para el manejo, almacenamiento y operación de los reactivos y productos durante el proceso de producción. [17]	Especificaciones técnicas de los equipos serán analizadas mediante investigación bibliográfica y entrevistas con expertos en ingeniería de plantas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Especificaciones técnicas de los equipos ✓ Distribución de planta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Explicativo 	Investigación de la bibliografía técnica, diseño del layout y entrevistas con expertos en ingeniería de plantas.
x ₃ = Variables operativas del proceso de producción de ácido peracético	Las condiciones operativas que afectan el rendimiento y la eficiencia del proceso de producción del ácido peracético, tales como la temperatura, presión, y concentración de los reactivos. [26]	Se identificarán y medirán los parámetros clave del proceso mediante modelación y simulación computacional, así como con experimentación controlada en laboratorio.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parámetros clave del proceso 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Explicativo 	Modelación y simulación computacional del proceso, junto con experimentación controlada en laboratorio.

IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

4.1 Diseño metodológico

La presente investigación será de tipo aplicada, puesto que su resultado sirve para ser aplicado en la práctica, esto es, en el campo real cotidiano. Por su diseño interpretativo será de la forma experimental, porque el estudio se realiza mediante la observación, registro y análisis de las variables intervinientes, en la investigación sobre modelos y ambientes artificiosamente, creados para facilitar la manipulación de las mismas. Tendrá un enfoque cuantitativo debido a que primero se controlará las variables cuantitativas y posteriormente se aplicarán los resultados simulados a partir de los valores obtenidos para evaluar el diseño de la planta.

4.2 Método de investigación



- a) **Primera etapa de investigación.**— La primera etapa de investigación trata de identificar las características físicas, químicas y fisicoquímicas de los recursos disponibles para la producción del ácido peracético, donde tomaremos en cuenta todo lo concerniente a los insumos propios del proceso y a los suministros necesarios para la producción, porque estas propiedades influirán directamente en el diseño del proceso, que es una variable crítica para este trabajo de tesis.
- b) **Segunda etapa de investigación.**— Esta etapa trata de una vez ya caracterizados los insumos e identificados los suministros necesarios poder desarrollar la tecnología seleccionada previamente (destilación) valiéndonos de datos bibliográficos y cálculos computacionales para la correcta aplicación de esta tecnología.
- c) **Tercera etapa de investigación.**— En esta etapa se procederá a realizar el estudio de viabilidad del proyecto de la planta industrial, apoyándonos en datos referenciales y bibliográficos. Los entregables principales de esta etapa son la localización de la planta y el tamaño de la planta.
- d) **Cuarta etapa de investigación.**— Esta etapa trata de desarrollar la ingeniería básica del proceso de la planta industrial. Para ello nos valdremos de software de ingeniería de procesos (simuladores especializados) que nos ayudarán a reforzar el diseño y hacerlo más práctico. Los entregables principales son el balance de materia y energía del proceso, y el diagrama de flujo del proceso.
- e) **Quinta etapa de investigación.**— Esta etapa trata de desarrollar la ingeniería de detalle del proceso de la planta industrial. Para ello nos valdremos de software de ingeniería de procesos (simuladores especializados) y de software de diseño CAD/BIM, que nos ayudarán a reforzar el diseño y hacerlo más práctico, además de desarrollar un prototipo digital de la planta industrial. Los entregables principales son los planos unitarios de la planta (diseño de estructuras, diseño de equipos y diseño de tuberías), y el diagrama P&ID del proceso.
- f) **Sexta etapa de investigación.**— En esta etapa se procederá a integrar toda la información del modelo generado en las etapas anteriores, tal que el

proyecto cumpla con las especificaciones técnicas y tecnológicas adecuadas, y viendo las consideraciones a tomarse en cuenta para la implementación real. En base a ello se realizará la validación de la viabilidad, mediante una evaluación económica de los flujos de caja y la inversión del proyecto. Al finalizar esta etapa, nos valdremos de una integración de software CAD/BIM en una escala de tiempo real, que nos mostrará el avance de los costos del proyecto en función de la ejecución del mismo.

4.3 Población y muestra

Los conceptos de población y muestra no aplican directamente en la presente investigación, dado que es un estudio representativo de un proyecto complejo, que involucra distintas etapas de diseño, y no se cuenta por lo tanto con unidad de muestreo, un universo.

4.4 Lugar de estudio

La investigación se llevará a cabo en el Centro de Cómputo de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, y está orientada fundamentalmente a nivel de Perú.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se recolectarán datos por medio de entrevistas directas a proveedores y clientes, para ayudar a reducir sesgos en los datos recolectados y evitar que cualquier persona ejerza influencias propias en el resultado.

Se utilizará como instrumento específico material impreso o digitalizado donde marcarán e indicarán las características del producto requerido.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Las variables serán presentadas y medidas mediante un método cualitativo principalmente, y para el diseño del proceso se considerará un análisis cuantitativo de los datos, para obtener la mejor combinación de variables críticas de proceso para el diseño final.

El análisis estadístico de los datos se realizará mediante software Microsoft Excel 2013, y en caso se requiera se aplicará también software estadístico Minitab 17, considerado como el más adecuado para investigaciones científicas. [3]

Las técnicas de análisis a emplear serán primero un análisis exploratorio de datos y luego un análisis univariado.

4.7 Aspectos éticos en investigación

El presente trabajo se redacta con las citas y referencias bibliográficas, que dan crédito a los autores. El trabajo se desarrollará en forma ética, estando de acuerdo al Reglamento de Código de ética de la Investigación de la UNAC, N° 260–2019–CU

4.8 Proyecto de inversión

4.8.1. Estudio técnico

El presente capítulo detalla el diseño técnico de la planta industrial para la producción de ácido peracético. Se presentarán los cálculos y especificaciones de los equipos principales, como tanques de reacción, sistemas de agitación, bombas y tuberías, así como la distribución general de la planta.

a) Localización de planta.– Se realizó un análisis cualitativo, mediante cuadros comparativos de distintas variables, para determinar la ubicación geográfica que tendrá la planta de procesos.

Los aspectos analizados para hacer el comparativo son:

- 1) Cercanía a puntos de distribución
- 2) Disponibilidad de materias primas
- 3) Mano de obra
- 4) Clima
- 5) Abastecimiento de agua, energía eléctrica y combustible
- 6) Valor de terreno

Se analizaron 3 posibles locaciones para la planta. 2 en Lima, y una en Arequipa.

El criterio de puntaje se estableció mediante lo expuesto en la **Tabla 6**

Tabla 6
Puntaje cualitativo para evaluación de localización de planta

Peso relativo	Calificaciones de la localización
90 – 100	Excelente
70 – 80	Muy Bien
50 – 60	Buena
30 – 40	Regular
10 – 20	Inadecuado

Finalmente, se realizó una matriz de selección, teniendo los siguientes resultados:

Tabla 7
Resultados del puntaje cualitativo para evaluación de localización de planta

	Localización # 1 Los Olivos, Lima Región Sitio		Localización # 2 Lurín, Lima Región Sitio		Localización # 3 Arequipa, Arequipa Región Sitio	
Cercanía a puntos de distribución	80	70	80	90	70	70
Disponibilidad de materias primas	70	90	70	50	60	40
Mano de obra	50	80	50	50	80	80
Clima	60	80	60	70	50	90
Abastecimiento de agua, energía eléctrica y combustible	80	60	80	80	70	70
Valor de terreno	60	50	60	70	60	70
	400	430	400	410	390	420

A partir del análisis cualitativo expuesto en el cuadro anterior, vemos que en Los Olivos se obtuvo mejor puntaje. En la zona de Lurín, si bien el valor del terreno es menor, para efectos de abastecer al mercado de alimentos que se encuentra en su mayoría en la zona Norte de Lima (Alicorp, Nestlé, Molitalia), además de su cercanía al puerto y aeropuerto, no se consideró tan recomendable el colocar aquí la planta. En la zona de Parque Industrial en Arequipa, al lado de la variante de Uchumayo, si bien también cumple con muchos de los criterios de localización de manera suficiente, la importación de HEDP y de algunos equipos de proceso hacen que el costo de movilizarlos del Callao a Arequipa se considere como un factor importante al momento de cuantificar los criterios.

Por ende, se eligió como localización de la planta la zona del parque industrial de Los Olivos, ubicado en la zona de Lima Norte, ciudad de Lima.

b) Tamaño de planta.– Para el tamaño de planta, dado que no existen antecedentes aplicadas a la realidad peruana respecto a la tecnología empleada con el químico en mención (ácido peracético), nos basamos en la información recopilada a partir del portal Veritrade [27]:

Tabla 8
Datos de importaciones de ácido peracético hacia Perú

Año	Dólares (USD)	Toneladas por año
2019	31 941,674	6 218,7
2020	12 504,823	3 651,5
2021	13 429,713	3 773,7
2022	15 065,694	3 989,8
2023	49 728,986	8 567,9

Veritrade, 2023

Se aplicó la metodología sugerida por [10] para poder hallar la demanda aparente, empleando proyecciones en base a un modelo matemático. Evaluando diversos modelos, se tuvo como resultados:

Tabla 9
Evaluación de modelos matemáticos para la proyección de la demanda

A'	B'	A	B	R	R ²	Modelos	
		– 15 142,8571	7,5714	0,9995	0,9997	1) Lineal	$y = A + Bx$
		– 339 679,423	4 2827,1549	0,9953	0,9907	2) Semilogarítmico	$y = A + B \cdot \ln x$
8,4650	0,0002	4746,1018	1,0002	0,9889	0,9780	3) Exponencial	$y = A \cdot B^{(x)}$
–3,8699		0,0208	1,6249	0,9986	0,9972	4) Potencial	$y = A \cdot x^{(B)}$
		0,0001	–1,2136E–08	–0,9618	0,9250	5) Hiperbólico	$y = 1 / (A+Bx)$
		72 757,8489	–225 977 696,6	–0,9829	0,9662	6) Inverso	$y = A + B/x$
		5 167,1121	0,0006	0,9952	0,9905	7) Cuadrático	$y = A + B(x^2)$

Se constató que los valores se ajustaron a un modelo lineal, dado que es la que tiene el mayor valor de R². Es importante también acotar que se ve una ligera tendencia polinómica en el análisis de los datos del Veritrade, sin embargo se confirmó que esta tendencia se debió a que durante la crisis del COVID 19 se tuvieron datos diferentes de demanda de desinfectantes, y por

ende en esos años de pandemia los datos muestran un comportamiento ligeramente distinto al lineal [27]. A partir de ello se calculó los valores de la demanda proyectada hacia un escenario de 10 años, considerando un modelo lineal:

Tabla 10
Demanda proyectada del ácido peracético

Año	Toneladas por año como demanda proyectada
2024	6 751,29
2025	7 254,96
2026	7 758,64
2027	8 262,32
2028	8 765,99
2029	9 269,67
2030	9 773,35
2031	10 277,02
2032	10 780,70
2033	11 284,37

En la presente tesis se pretende cubrir el 75% del mercado nacional, con lo cual se tendría un tamaño de planta sugerido por el mercado de 8448.144 TM/año de ácido peracético

c) Proceso técnico.– El proceso técnico se inició diseñando el producto que se fabricará en la planta de procesos Se estableció los detalles del producto, cómo se va a comercializar (su presentación), y datos básicos que nos permitieron caracterizar adecuadamente el producto.

El diseño del producto se detalla a continuación.

Tabla 11
Diseño del producto para la planta de procesos

Variable	Característica
Tipo	Peróxido orgánico
Forma	Mezcla líquida, compuesta del producto principal y los reactantes
Tipo de obtención	Manufactura en planta industrial
Presentación	En galoneras de 1 L y en isotanque de 1 000 Kg
Lugar del origen	Lima, Perú
Ingrediente activo	Ácido peracético al 18,56% de concentración en peso
Vida útil	30 días en mezcla, a partir del día de su elaboración

Figura 11
Presentaciones de los productos de la planta de procesos



Google Imágenes, 2023

Actualmente se cuentan con 3 métodos para la obtención del ácido peracético, los cuales se detallan a continuación.

El primer método es a partir del acetaldehído. Es el método más antiguo. Consiste en obtener el ácido peracético como producto intermedio del proceso de producción del ácido acético a partir del acetaldehído. El ácido peracético se obtiene paralelamente por adición de O_2 al radical acetilo que sustrae hidrógeno del acetaldehído. Para que se de esta oxidación se debe realizar en condiciones suaves y en fase gaseosa, preferiblemente sin catalizador y en un disolvente, como por ejemplo, el acetato de etilo con unas condiciones de temperatura bajas ($15^{\circ}C - 40^{\circ}C$) y de presiones altas (25–40 bares).

El segundo método es por reacción entre el ácido acético y el peróxido de hidrógeno. El ácido peracético se obtiene como una mezcla de reactivos y productos debido a la naturaleza de la reacción (equilibrio químico) en la cual no se alcanzan a consumir los reactivos en su totalidad. Debido a su inestabilidad es necesaria la neutralización del catalizador para estabilizar el producto y prolongar la vida útil, adicionando hidróxido de sodio, etilénfosfonato, tetraetilenfosfonato, ácido 1-Hidroxietilen-1,1-difosfónico y/o una sal de sodio del ácido dipicolínico. En la bibliografía mencionamos

una patente, en la que se emplea HEDP como estabilizante del ácido peracético, para que este no se descomponga tan rápido. [25]

Existe un tercer método, el cual es una síntesis electrolítica. Este método consiste en suministrar un gas que contenga oxígeno a un cátodo de una unidad de electrólisis y hacer reaccionar el oxígeno presente en el gas para formar especies de peróxido en un electrolito en el cátodo. Luego se hace reaccionar las especies de peróxido con un precursor de ácido peracético para formar el ácido. En este proceso se obtiene una mezcla que esta compuesta por ozono, ácido peracético y peróxido de hidrógeno. Este proceso es muy utilizado en clínicas y centros hospitalarios en la desinfección y esterilización de material quirúrgico, estas entidades cuentan con un equipo de electrólisis el cual se encarga de producir lo que necesita (On– Demand) para tratar el material contaminado [28]

Para la selección de la tecnología, apoyándonos en la patente europea EP 1 004 576 A1, en la presente tesis se propone implementar el segundo método de obtención. El primer método se descartó debido a la peligrosidad de manejar grandes volúmenes de acetaldehído (inflamabilidad principalmente, pues maneja altas presiones y temperaturas), además de tener un alto % de conversión, y el ácido peracético altamente puro no es comercial; y el tercer método se descartó por tener un alto costo de implementación y poco retorno de inversión, debido al bajo costo del ácido peracético en el mercado peruano (\$ 1 por Kg en promedio). El siguiente entregable que se trabajó fue el diagrama de bloques (BFD). A continuación, conforme a los datos de la patente, se obtuvo **(Ver Figura 12, pag N° 51)**

El siguiente entregable que se trabajó fue el diagrama de flujo del proceso (PFD). A continuación, conforme a los datos de la patente, se obtuvo **(Ver Figura 13, pag N° 51)**

Figura 12
Diagrama de bloques (BFD) para el proceso productivo de la planta

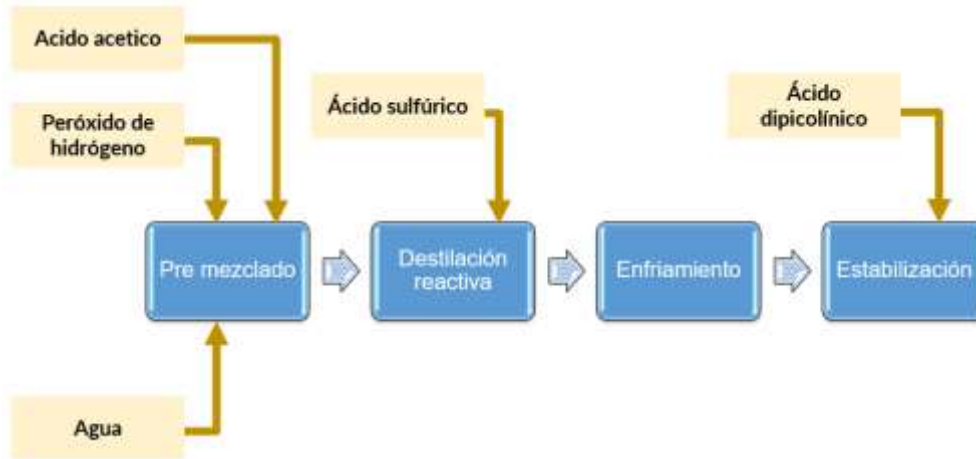
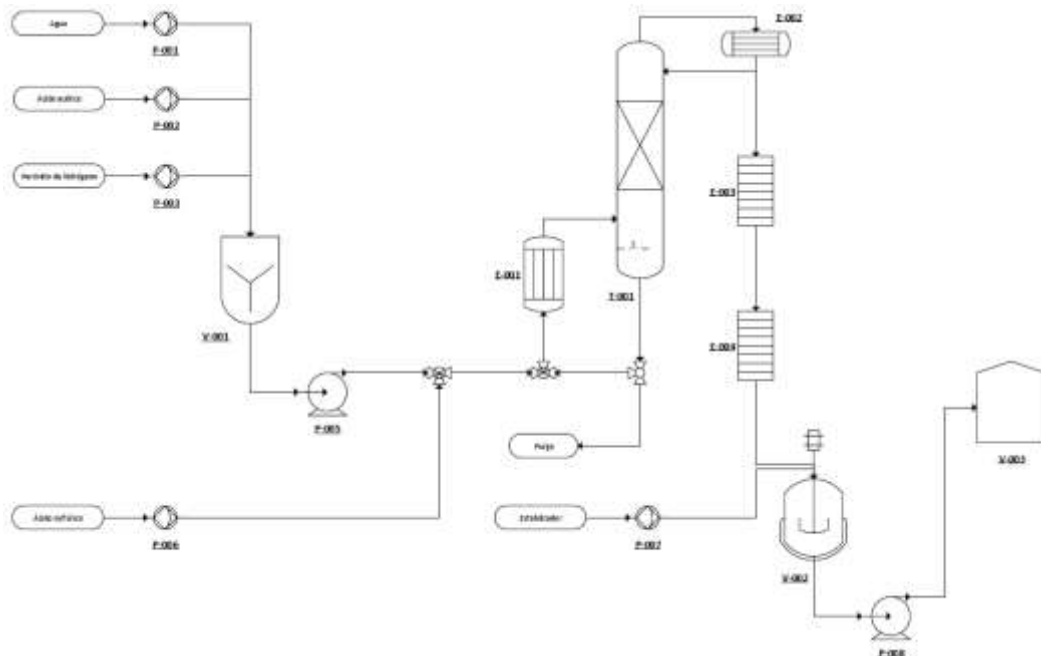
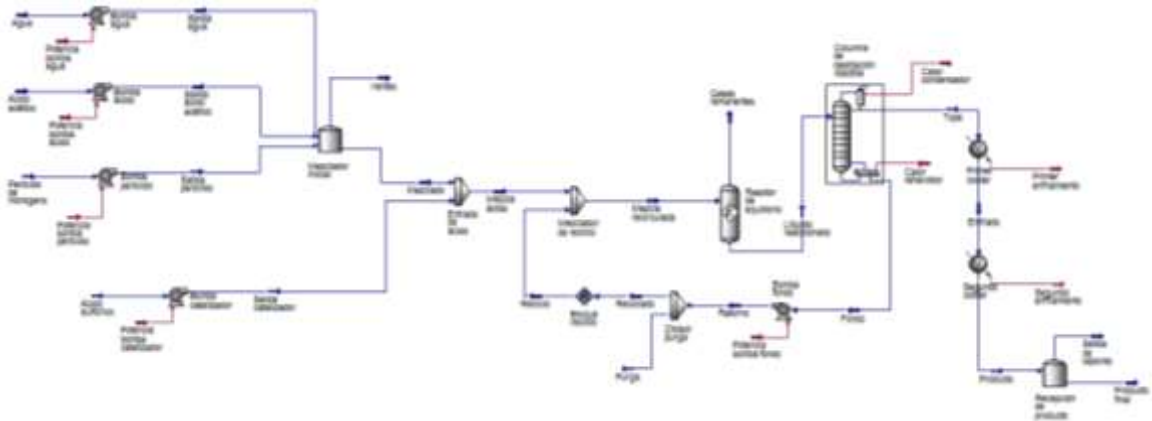


Figura 13
Diagrama de flujo de proceso (PFD) para el proceso productivo de la planta



Se prosigió con el balance de materia y energía. Para ello nos apoyamos en el software Aspen HYSYS, que posee un modelo de convergencia para procesos de destilación patentado. Se procedió primero a trasladar el PFD hacia el entorno de Aspen HYSYS:

Figura 14
Diagrama de flujo de proceso (PFD) en el entorno de Aspen HYSYS



Para los balances de materia y energía, se empleó en el simulador el paquete termodinámico UNIQUAC. Se ingresaron los datos del proceso de la patente. Para la constante de equilibrio, se ingresó la siguiente data tabulada.

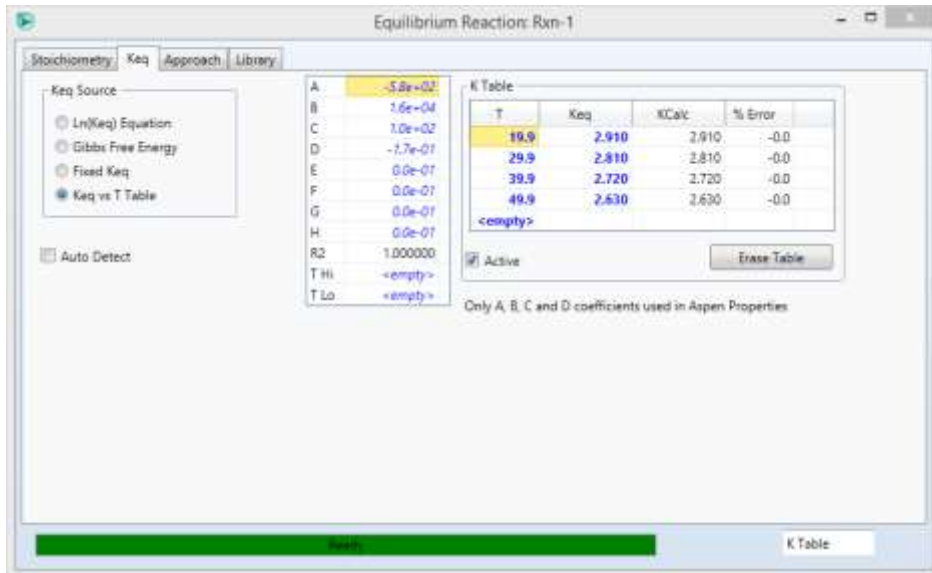
Tabla 12
Variación de la constante de equilibrio con la temperatura

Temperatura	Constante de equilibrio
19,85°C	2,91
29,85°C	2,81
39,85°C	2,72
49,85°C	2,63

Yuan, 1997

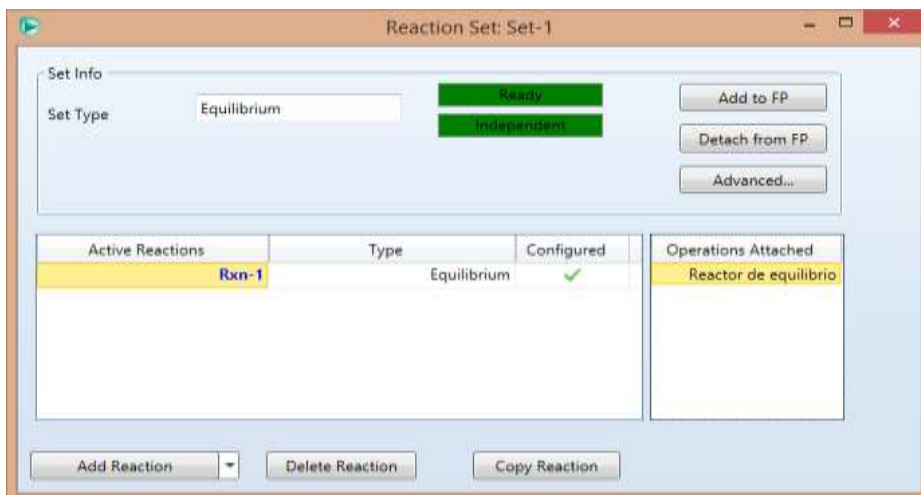
Luego de colocar la data correctamente tabulada y la estequiometría de la reacción, se procedió a correr la primera parte de la simulación, como se muestra en la **figura N° 15 (Ver pag. N° 53)**

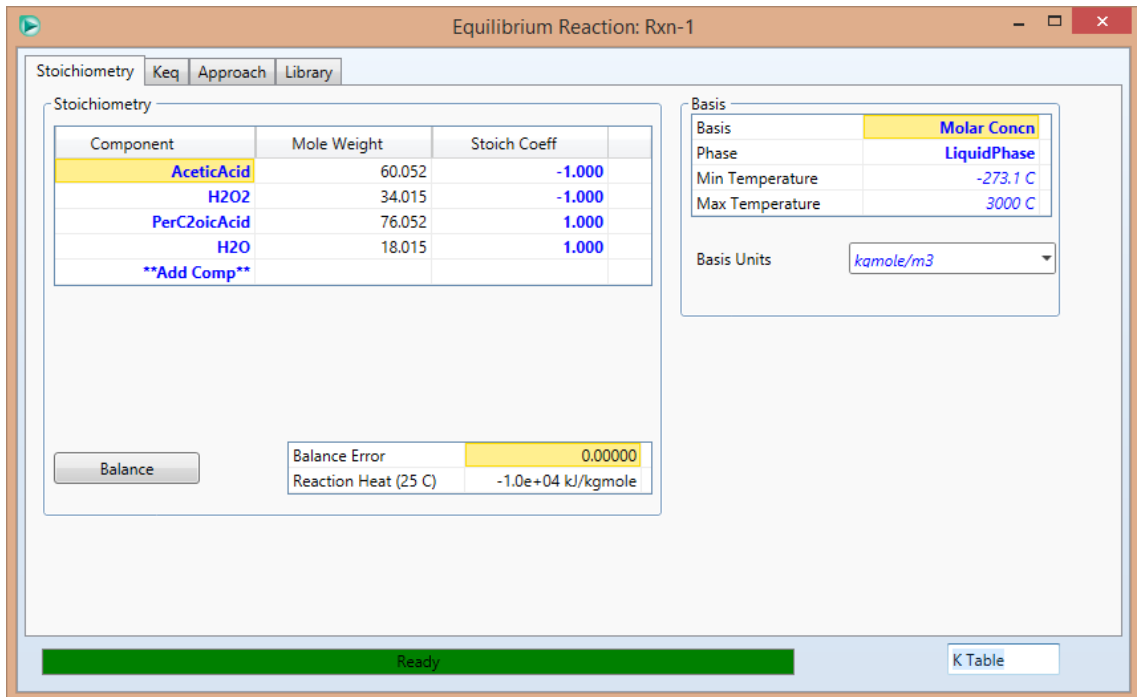
Figura 15
Ingreso de datos de equilibrio para simulación



A partir de los datos de equilibrio y datos de proceso ingresados, procedemos a realizar los balances de materia y energía dentro del simulador. Por tratarse de una destilación, para una mejor representación de la operación, representaremos el rehervidor con un reactor tipo equilibrio, donde según la patente es el equipo en el que se lleva la reacción química.

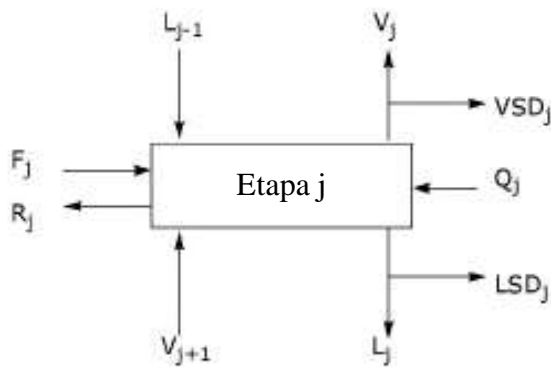
Figura 16
Modelamiento de reacción química para simulación





El modelo de balance de una etapa teórica “j” se presenta a continuación.

Figura 17
Esquema de modelo de balance para una etapa teórica de destilación



Aspentech, 2023

Donde :

- F** : Corriente de alimentación a la etapa
- L** : Corriente de líquido que va a la etapa inferior
- V** : Corriente de vapor que va a la etapa superior
- LSD** : Drenaje lateral de líquido de la etapa
- VSD** : Drenaje lateral de vapor de la etapa
- Q** : Corriente de energía entrante a la etapa

La ecuación de Francis Weir es el punto de partida para calcular el caudal de líquido que sale de una bandeja:

$$L_N = C\rho l_w h^{1.5}$$

Donde:

L_N : Flujo de líquido que deja la etapa N

C : Constante de conversión de unidades

ρ : Densidad del líquido en el plato

l_w : Longitud del vertedero

h : Altura del líquido sobre el vertedero

El caudal de vapor que sale de una bandeja viene determinado por la ecuación de resistencia:

$$F_{\text{vap}} = k\sqrt{\Delta P_{\text{fricción}}}$$

Donde :

F_{vap} : Flujo de vapor que deja la etapa N

k : Conductancia, que es una constante que representa el recíproco de resistencia al flujo

$\Delta P_{\text{fricción}}$: Caída de presión en el orificio seco

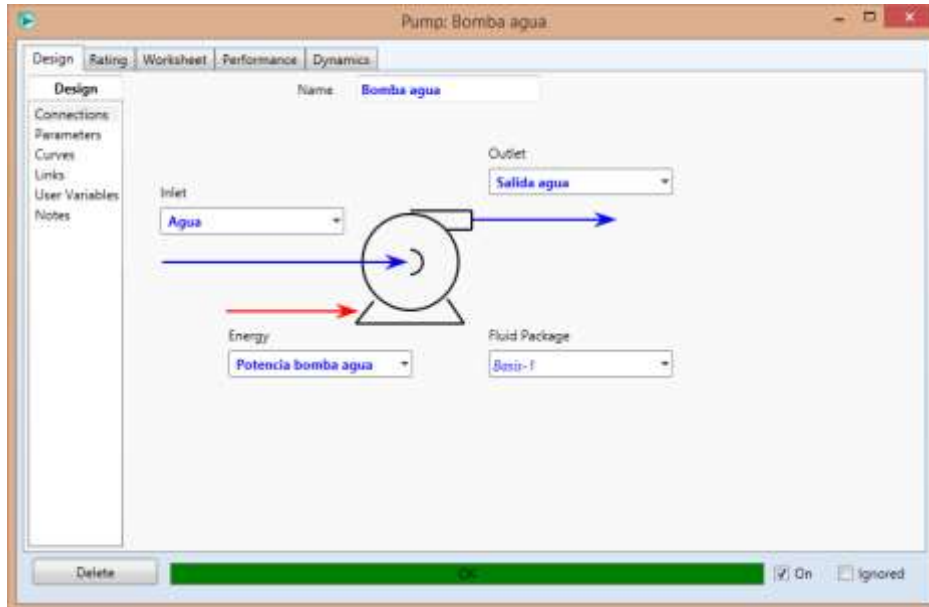
Para las columnas, la conductancia, k , es proporcional al cuadrado del diámetro de la columna. La caída de presión en una etapa se determina sumando la carga estática y las pérdidas por fricción.

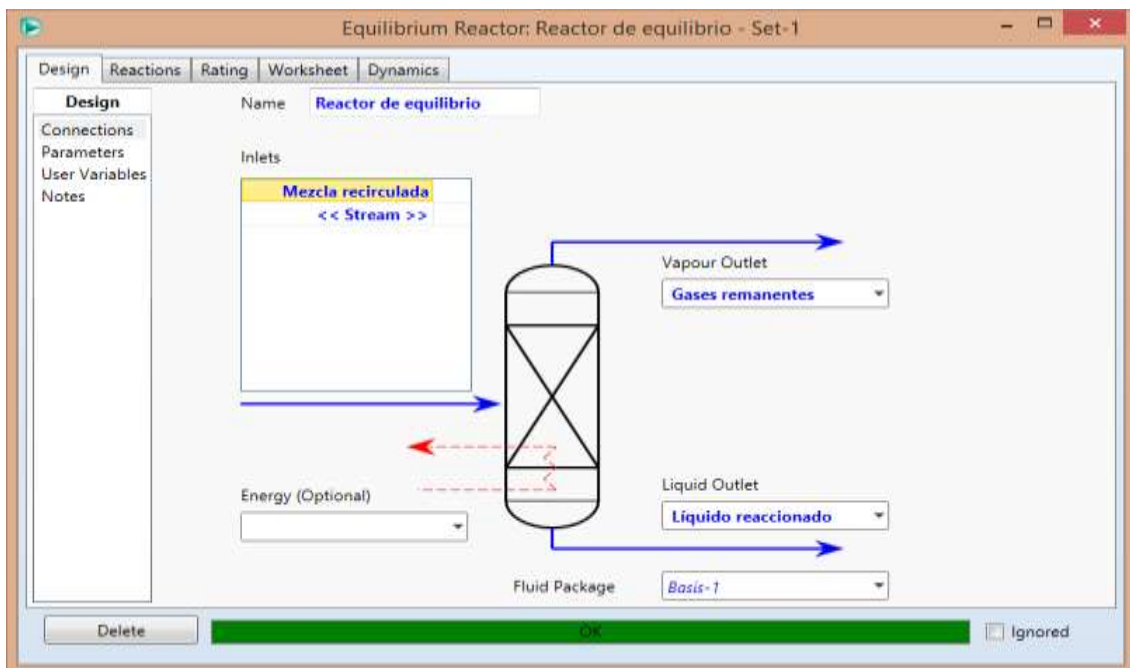
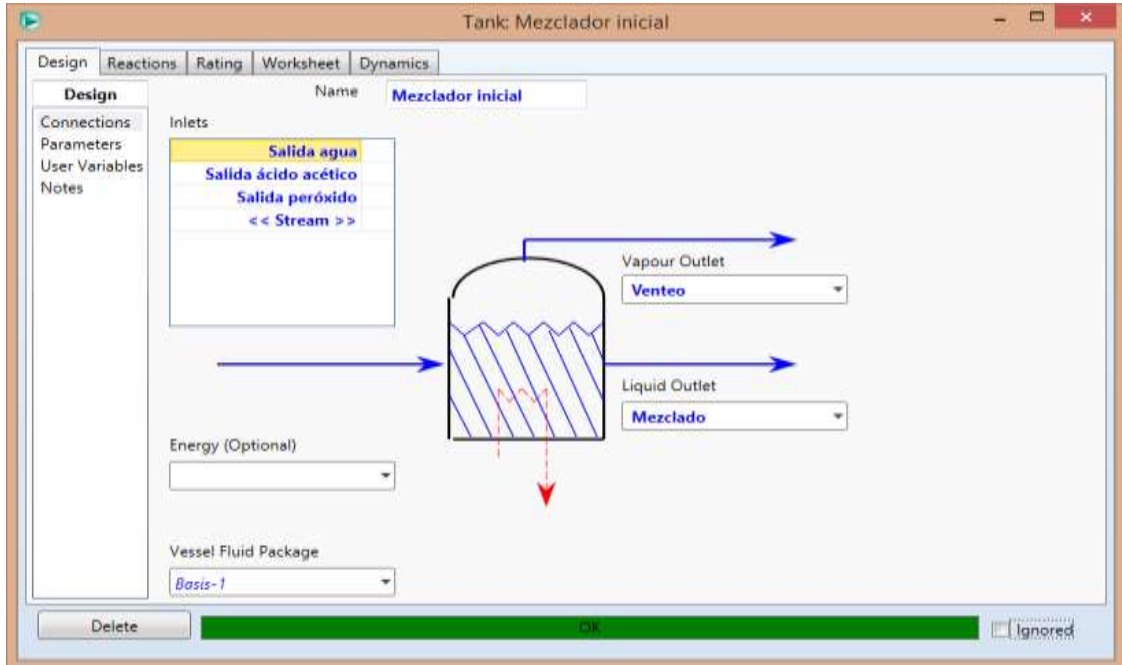
Aspen HYSYS tiene la capacidad de modelar goteo e inundación dentro de la columna. Si $\Delta P_{\text{fricción}}$ es muy pequeño, el escenario muestra goteo. Por lo tanto, es posible tener un flujo de líquido a la etapa inferior incluso si la altura del líquido sobre el vertedero es cero.

Para la condición de inundación, el volumen de líquido se acerca al volumen de la bandeja.

Para efectos de ingeniería básica, debemos detallar todos los parámetros de proceso, para que el programa nos ayude a realizar el balance de materia y energía. Colocando los datos de la patente, vemos que todos los equipos convergen, tal como se muestra a continuación.

Figura 18
Convergencia de equipos para el balance de materia y energía





Equilibrium Reactor: Reactor de equilibrio - Set-1

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Equilibrium Reaction Details

Reaction Set: **Set-1** Reaction: **Rxn-1**

Stoichiometry
 Basis
 Keq
 Approach
 View Rxn...

Stoichiometry Info

Component	Mole Wt.	Stoich Coeff
AceticAcid	60.052	-1.000
H2O2	34.015	-1.000
PerC2oicAcid	76.052	1.000
H2O	18.015	1.000
Add Comp		

Balance Error: 0.00000
Reaction Heat (25 C): -1.0e+04 kJ/kgmole

Delete OK Ignored

Column: Columna de destilación reactiva / COL1 Fluid Pkg: Basis-1 / UNIQUAC - Ideal

Design Parameters Side Ops Rating Worksheet Performance Flowsheet Reactions Dynamics

Column Name: **Columna de** Sub-Flowsheet Tag: **COL1** Condenser: Total Partial Full Reflux

Condenser Energy Stream: **Calor condensador**

Delta P: 0.0000 kPa Ovhld Liquid Outlet: **Topo**

Inlet Streams

Stream	Inlet Stage
Liquido reacciona	8_Main Towr
<< Stream >>	

Optional Side Draws

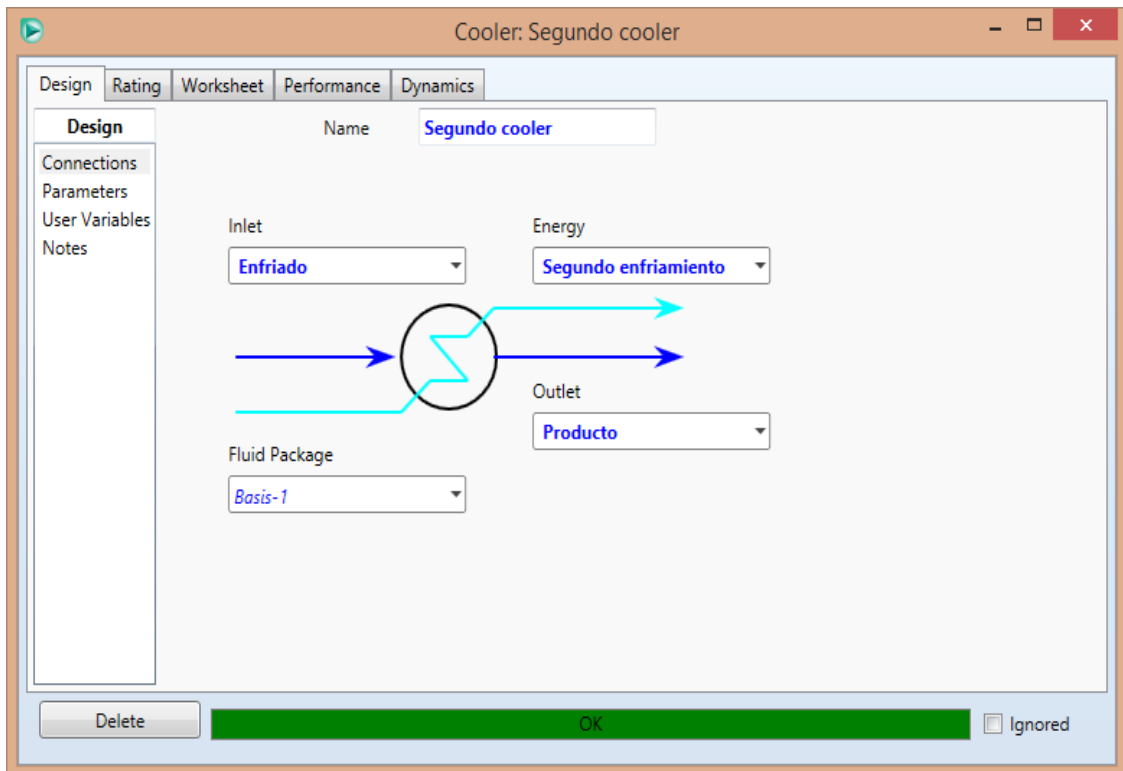
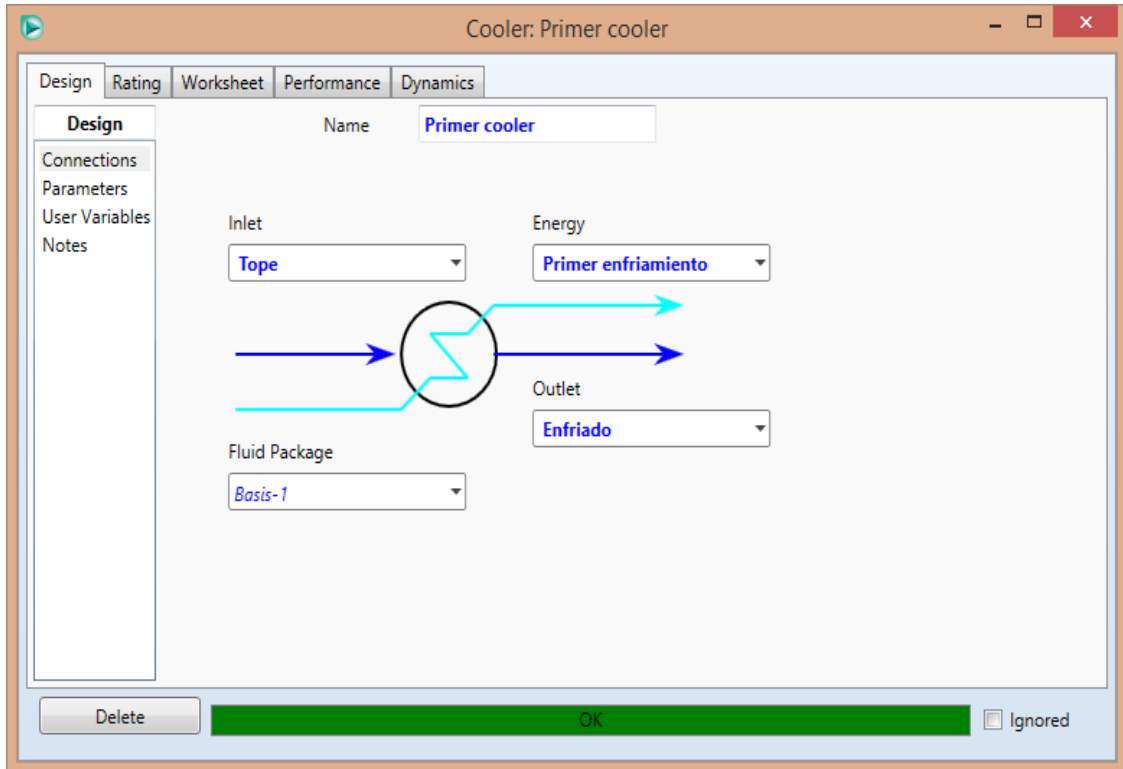
Stream	Type	Draw Stage
<< Stream >>		

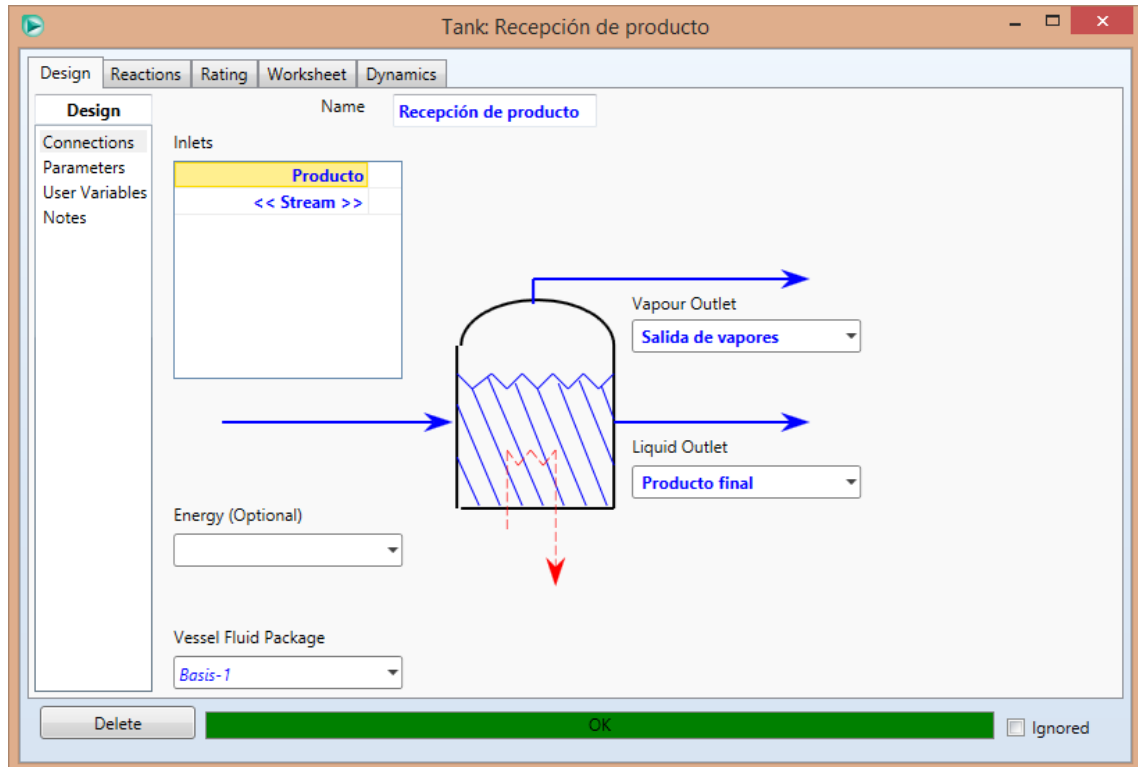
Reboiler Energy Stream: **Calor rehervidor**

Bottoms Liquid Outlet: **Fondo**

Stage Numbering: Top Down Bottom Up Edit Trays...

Delete Column Environment... Run Reset OK Update Outlets Ignored

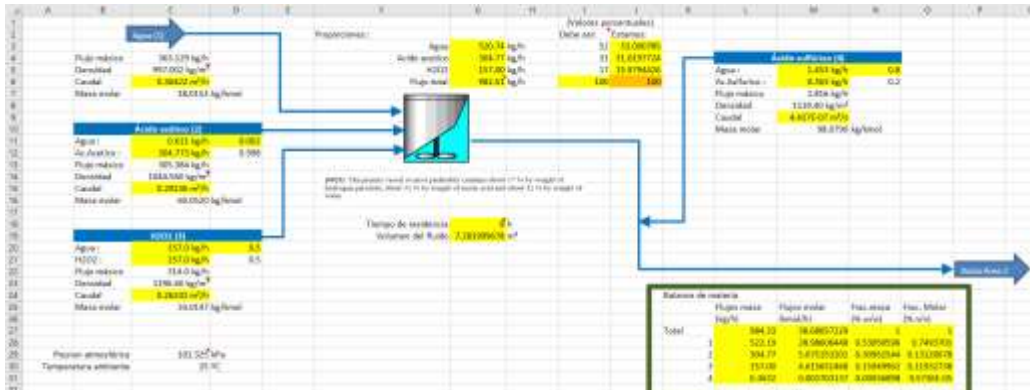




Es importante mencionar que en el esquemático de proceso no se ha incluido el HEDP. Esto es debido a que el Aspen HYSYS no posee un bloque de balance para simulación de corrientes enteramente sólidas. Sin embargo, corroboraremos los resultados del balance empleando Microsoft Excel, y en el cálculo final incluiremos el HEDP, que según la patente ingresa en relación de 20% de sólido por cada Kg de ácido peracético obtenido a la salida del tanque de recepción de producto.

Luego se procedió a ir realizando los balances de materia en la primera etapa del proceso, en función a lo señalado en la patente, tal que se mantuvieron las relaciones porcentuales indicadas. Es importante mencionar que el punto de partida fueron los valores indicados en el software Aspen HYSYS, tal que los valores de las propiedades termodinámicas fueron directamente extraídos de ese software. El tiempo target de producción se consideró de 8 horas (turno típico de planta). Para ello se trabajó con la opción Buscar Objetivo de Microsoft Excel. Así, para la primera etapa del proceso, en el tanque de reacción, se tuvo:

Figura 19
Balance de materia – Tanque de reacción



Con el volumen de fluido de mezcla reaccionante hallado (7,28199 m³), se procedió a diseñar el mecanismo de agitación para el reactor, siguiendo la metodología indicada en [17]:

1) Cálculo de la capacidad

$$V_{liquido} = 7,28 \text{ m}^3$$

Volumen del recipiente

$$V_R = 1,2 \times V_{liquido}$$

$$V_R = 1,2 \times 7,28 \text{ m}^3$$

$$V_R = 8,74 \text{ m}^3$$

2) Diseño de detalles

Para el diseño de este tanque se utilizó Acero AISI 316.

3) Cálculo de la presión de diseño

$$P_d = 1,1(P_{atm} + p_{cl})$$

$$p_{cl} = \rho \times g \times H$$

$$p_{cl} = 1,2 \times 9,81 \times H/1000$$

$$p_{cl} = 0,02868 \text{ KPa}$$

$$P_d = 1,1 (101,325 + 0,02868)$$

$$P_d = 104 \text{ kpa}$$

4) Cálculo del espesor de la pared

$$t = \frac{P_d \cdot R}{S \cdot E - (0.6 \cdot P_d)} + C_1 + C_2$$

$$C_1 = 1,2 \text{ mm} \quad \text{sobreespesor por corrosión}$$

$$C_2 = 1 \text{ mm} \quad \text{sobreespesor por defecto de fabricación}$$

$$E = 0,85$$

$$S = 7\,000 \text{ bar} = 700\,000 \text{ kpa}$$

$$t = \frac{104 \text{ kpa} \cdot \frac{2,44 \text{ m} \times 1 \text{ mm}}{2 \cdot 1\,000 \text{ m}}}{700\,000 \text{ kpa} \times 0,85 - (0.6 \times 104 \text{ kpa})} + 1,2 \text{ mm} + 1 \text{ mm}$$

$$t = 2,20 \text{ mm}$$

$$t = \frac{2,20 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} \times 1 \text{ pulg}$$

$$t = 0,09 \text{ pulgadas}$$

5) Cálculo de acero (mm–pulg)

Se seleccionó el inmediato superior disponible comercialmente:

$$t = 13 \text{ pulg} = 330,20 \text{ mm}$$

6) Cálculo de la altura del fondo del cilindro

$$V_R = 1,3 \times V_{\text{fluido}}$$

$$V_R = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_a$$

H_a = altura total del recipiente

D = Diámetro del recipiente

$$V_R = \frac{\pi}{4} \times D^3 \times 1,3$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_R}{\pi \times 1,3}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times 8,74}{\pi \times 1,3}}$$

$$D = 2,44 \text{ m} = 95,92 \text{ in}$$


$$\text{Para una relación de } \frac{H_A}{D} = 1,5$$

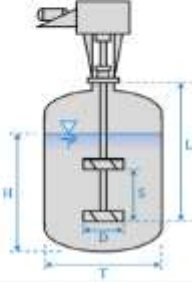
$$\text{Determinamos } H_A = 1,5 \times 2,44 \text{ m}$$

$$H_A = 3,6547 \text{ m}$$

Para el dimensionamiento del sistema de agitación se procedió a emplear una hoja de cálculo de un vendor disponible comercialmente. Los resultados se muestran en la **Figura 20**

Figura 20
Dimensionamiento del sistema de agitación – Tanque de reacción

COMPANY:		TITLE:		CALCULATIONS REPORT - MIXER			
		DOCUMENT:		CTF-PRO-DOC-0029			
		INTERNAL CONTROL					
REV.	ISSUED BY	CHECKED BY	APPROVED BY	DATE	STATUS		
0	ACM	SCC	SCC	15/03/2023	OK		

SECTION I FLUID CHARACTERISTICS		SECTION IV SCHEMATIC MODEL	
Fluid density	1.1700 g/mL		
Fluid viscosity	1.2000 cP		
Fluid density	1170.0000 kg/m³		
Fluid viscosity	0.0012 kg/m.s		
SECTION II VESSEL CHARACTERISTICS			
Vessel diameter (T)	2.4400 m		
Impeller diameter (D)	0.6472 m		
Number of baffles	4		
Vessel height	3.6547 m		
Freeboard ratio	4/5		
Liquid depth (H)	2.9238 m		
D/T ratio	13/49		
SECTION III AGITATOR CHARACTERISTICS			
Agitation speed	240.0000 rpm		
Agitation speed	4.0000 rps		
Reynolds number (Re)	1633369.7201		
Since Re is higher than 10000, we can proceed:			
Scale of agitation	4.0000		
Bulk velocity	0.1219 m/s		
Batch volume	16.4056 m³		
Equivalent diameter	2.7540 m		
Pumping rate	0.7263 m³/s		
Pumping number (Nq)	0.6699		
Power number (Np)	0.4100		
Agitation speed	4.00000 rpm		
Conversion factor (gc in SI Units)	1		
Mixer required power	3485.0797 W		
Mixer required power	3.4851 kW		
Estimated losses (motor, gearbox, bearings)	20 %		
Drive required power	4.3563 kW		
Drive power (IEC standard)	4.5 kW		
Drive power (NEMA standard)	6 HP		

Se tuvo el dimensionamiento del sistema de agitación para los parámetros de 240 rpm, que fue el valor obtenido de nuestra parte experimental. Basado en ello se obtuvo la potencia de 6 HP para el sistema de agitación.

Después de esto se procedió al diseño de la columna de destilación. Para ello se procedió combinando los valores de la patente junto con los datos indicados por el simulador, y empleando la metodología indicada en [26].

Las composiciones que se obtuvieron en la columna fueron:

Tabla 13
Composiciones en la columna

Tope (etapa 1)	AA	H₂O₂	APA	H₂O
Molar	0,070733806	2,96E-05	0,056655872	0,872580706
Masa	0,174967603	4,15E-05	0,177482046	0,647508855

Fondos (etapa 8)	AA	H₂O₂	APA	H₂O
Molar	0,498116741	0,046092829	0,149010097	0,306780333
Masa	0,618804788	3,24E-02	0,234432118	0,114329823

Para las densidades de flujos, se trabajó también con los datos obtenidos del simulador, considerando las proporciones indicadas en la patente. Para el tope se tuvo:

Tabla 14
Densidades de flujos – Tope

Tope (etapa 1)	AA	H₂O₂	APA	H₂O	
Densidad sustancia pura a T,P de tope	965,2000	1 352,0000	1 023,00	0,5850	Kg/m ³
Masa molar	60,0520	34,0147	76,05	18,0153	Kg/Kmol
Masa molar promedio	24,2800	kg/kmol			
Densidad del gas a CN	1,0800	Kg/m ³			
Densidad del flujo de gas	0,7900	Kg/m ³			
Densidad del flujo de líquido	350,8800	Kg/m ³			

Tabla 15
Densidades de flujos – Fondos

Fondos (etapa 8)	AA	H₂O₂	APA	H₂O	
Densidad sustancia pura a T,P de tope	945,40	1 334	2,596	0,615	Kg/m ³
Masa molar promedio	48,34	Kg/Kmol			
Densidad del gas a CN	2,16	Kg/m ³			
Densidad del flujo de gas	1,51	Kg/m ³			
Densidad del flujo de líquido	628,96	Kg/m ³			

Calculando los flujos totales en la columna, se obtuvo:

Tabla 16
Flujos totales en la columna

Flujos totales de la columna	Alimentación	Destilado	Fondos
Molar (kmol/h)	39,9215	39,720	0,2015
Masa (kg/h)	974,1000	964,359	9,7410
Relación de reflujo	2,0000		

Finalmente:

$$V = 119,16 \text{ kmol/h}$$

$$L = 79,44 \text{ kmol/h}$$

$$L' = 119,3615 \text{ kmol/h}$$

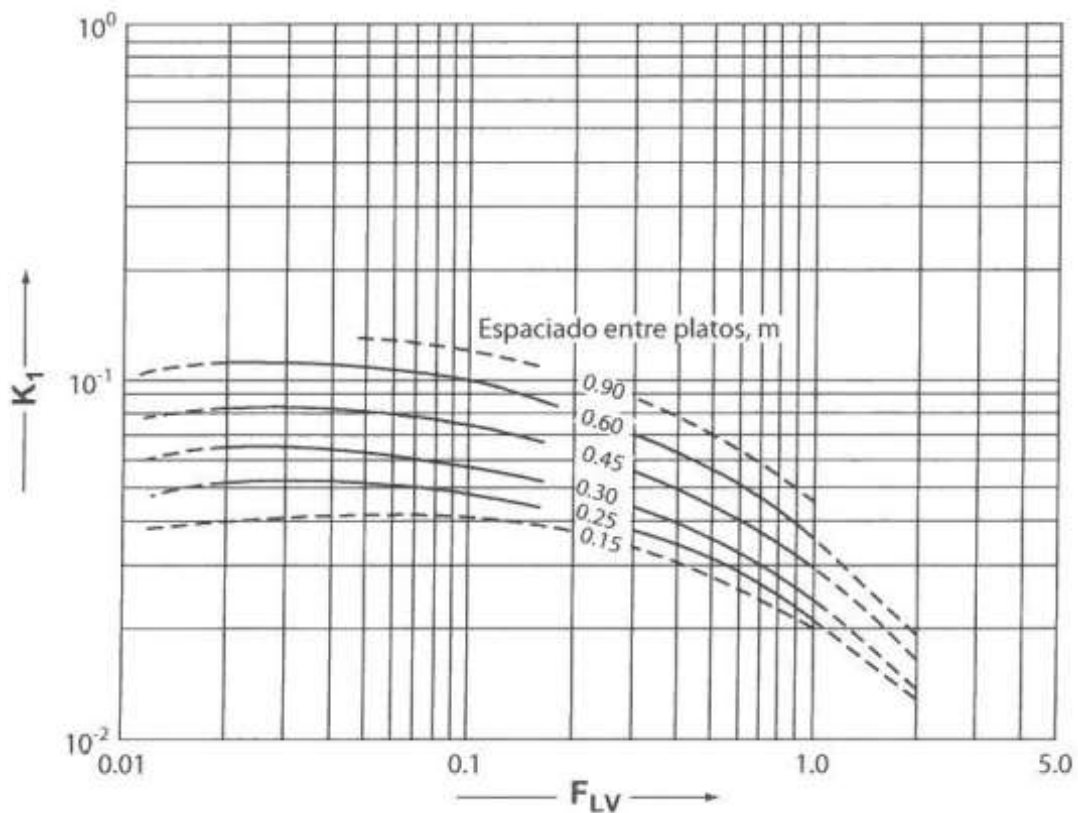
Se despreciaron las diferencias en los pesos moleculares entre el vapor y el líquido, para encontrar los factores de flujo líquido – vapor (F_{LV}):

$$F_{LV} \text{ fondos} = \frac{79,44}{119,16} \sqrt{\frac{0,79}{350,88}} = 0,0316$$

$$F_{LV\ tope} = \frac{119,3615}{119,16} \sqrt{\frac{1,51}{628,96}} = 0,049$$

Se asumió un espaciado entre platos de 375 mm. Luego, se procedió a calcular las constantes de flujo, a partir de:

Figura 21
Constantes de flujo



Turton, 2012

$$K_{1\ tope} = 0,078$$

$$K_{1\ fondos} = 0,075$$

Se aplicó un factor para la corrección para las tensiones superficiales, y a partir de allí se calculó la velocidad de inundación:

$$\text{Fondos } K_1 = \left(\frac{0,0313}{0,02}\right)^{0,2} \times 0,075 = 0,0820$$

$$\text{Tope } K_1 = \left(\frac{0,053}{0,02}\right)^{0,2} \times 0,078 = 0,0948$$

$$\text{Fondos } \mu_f = 0,0820 \sqrt{\frac{628,96-1,51}{1,51}} = 1,672 \text{ m/s}$$

$$\text{Tope } \mu_f = 0,0948 \sqrt{\frac{350,88-0,79}{0,79}} = 1,9973 \text{ m/s}$$

El diseño se consideró para un 85% de inundación al caudal máximo **[26]**.
Luego calculamos la velocidad actual basada en área neta (u_n), tanto para el tope como para los fondos:

$$\text{Fondos } u_n = 1,672 \times 0,85 = 2,92 \text{ m/s}$$

$$\text{Tope } u_n = 1,9973 \times 0,85 = 1,50 \text{ m/s}$$

Luego hallamos el caudal volumétrico máximo:

$$\text{Fondos} = \frac{119,16 \times 48,34}{1,51 \times 3\,600} = 1,0595 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tope} = \frac{119,16 \times 24,28}{1,08 \times 3\,600} = 0,7144 \text{ m}^3/\text{s}$$

Después se halló el área neta requerida:

$$\text{Fondos} = \frac{1,0595}{2,92} = 0,74549 \text{ m}^2$$

$$\text{Tope} = \frac{0,7144}{1,50} = 0,43672 \text{ m}^2$$

Para una primera corrida, se tomó el área del bajante como el 12% del total. **[26]**

Después se calculó el área transversal de la columna:

$$\text{Fondos} = \frac{0,74549}{0,88} = 0,84715 \text{ m}^2$$

$$\text{Tope} = \frac{0,43672}{0,88} = 0,49627 \text{ m}^2$$

Luego, se calculó el diámetro de la columna:

$$\text{Fondos} = \sqrt{\frac{0,84715 \times 4}{\pi}} = 0,2949 \text{ m}$$

$$\text{Tope} = \sqrt{\frac{0,49627 \times 4}{\pi}} = 0,2985 \text{ m}$$

Usar el mismo diámetro por encima y por debajo de la alimentación, reduciendo el área perforada para los platos por encima de la alimentación. Esto es demasiado grande para usar una tubería estándar, por ellos se redondea al alza al tamaño de tubería estándar comercial más cercano, que era diámetro interno 304,8 mm (12 inch)

Entonces, el diámetro de la columna $D_c = 0,3048 \text{ m}$

Área del bajante $A_d = 0,12 \times 0,84715 = 0,10165 \text{ m}^2$, al 12%

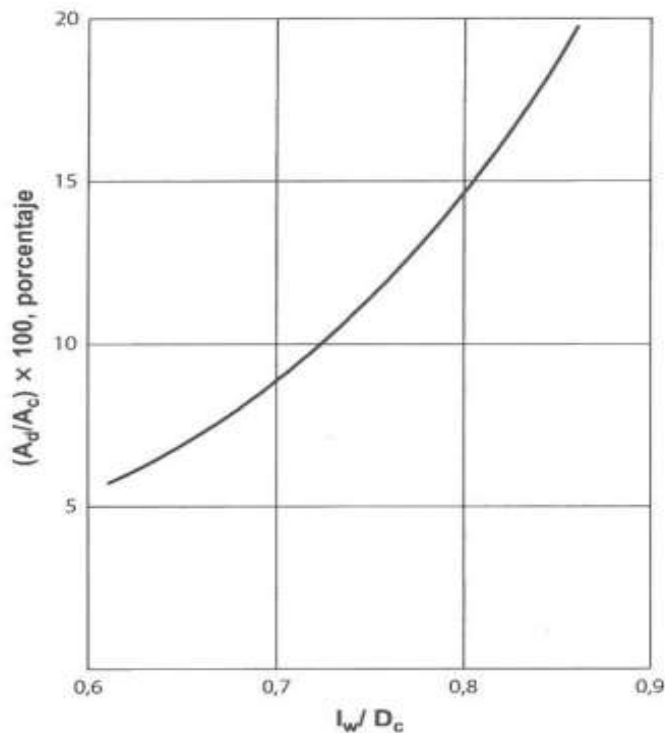
Área neta $A_n = A_c - A_d = 0,84715 - 0,10165 = 0,74549 \text{ m}^2$

Área activa $A_a = A_c - 2A_d = 0,84715 - 2 \times 0,10165 = 0,6438 \text{ m}^2$

Para el área del orificio A_h al inicio se tomó el 10% de A_a como inicialización = 0.064 m^2 . Después de iterar, se llegó al valor de 7,74%, dado que al 10% se producía lloriqueo. [26]

Luego, para la longitud del vertedero, a partir de la **Figura 22**

Figura 22
Altura del vertedero



Turton, 2012

Para 12%, acorde al gráfico, el valor de l_w/D_c es 0,76

Entonces, la longitud del vertedero es $= 0,76 \times 0,3048 = 0,2316 \text{ m}$

Se tomó altura del vertedero 35 mm [26]

Diámetro del orificio 3 mm [26]

Grosor del plato 3 mm [26]

Luego se llevó a cabo la verificación del lloriqueo.

$$\text{Caudal máximo de líquido} = \frac{79,44 \times 24,28}{3600} = 0,5357 \text{ kg/s}$$

$$\text{Caudal mínimo de líquido } 70 \% \text{ de rendimiento de retorno} = 0,7 \times 0,5357 = 0,375 \text{ Kg/s}$$

Para la altura de la cresta (h_{ow}), se hizo:

$$\text{Máximo } h_{ow} = \left(\frac{0,535}{350,88 \times 0,231648} \right)^{2/3} = 0,0144 \text{ mm liquido}$$

$$\text{Mínimo } h_{ow} = \left(\frac{0,375}{350,88 \times 0,231648} \right)^{2/3} = 0,007 \text{ mm liquido}$$

$$\text{A caudal mínimo } h_w + h_{ow} = 35 + 0,0177 = 35,01 \text{ mm}$$

Luego, a partir de la **Figura 23 (Ver pag. N° 70)**

De la **Figura 23 (Ver pag. N° 70)**:

$$K_2 = 29,4$$

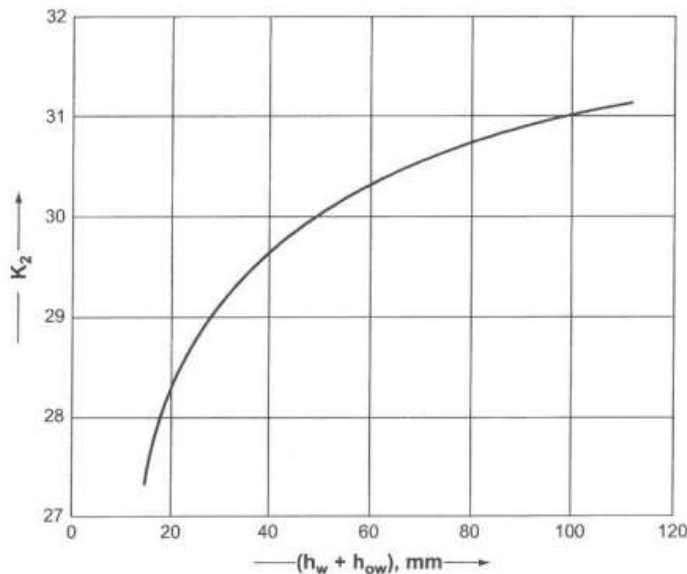
Luego, se calculó la velocidad mínima de diseño de vapor:

$$u_h(\text{min}) = \frac{[29,4 - 0,90(25,4 - 3)]}{(0,79)^{1/2}} = 10,4035 \text{ m/s}$$

Velocidad del vapor mínima real

$$= \frac{\text{velocidad minima del vapor}}{A_h} = \frac{0,7 \times 0,74144}{0,04983} = 10,4149 \text{ m/s}$$

Figura 23
Alturas de la cresta y vertedero



Turton, 2012

Como la velocidad del vapor mínima real es mayor a la velocidad mínima de diseño de vapor, no existe lloriqueo.

Luego, se halló la caída de presión en cada plato.

Se calculó la velocidad de vapor máxima a través de los orificios:

$$u_h(max) = \frac{1,0595}{0,0498} = 21,26136 \text{ m/s}$$

Luego, nos dirigimos a la gráfica siguiente, en base a lo indicado en [26]

A partir de la **Figura 24 (Ver pag. N° 71)**, para el espesor del plato/diámetro del orificio = 1, y $\frac{A_b}{A_h} \cong \frac{A_h}{A_a} \cong 7,74$, $C_0 = 0,824$

Después se procedió a calcular la caída de presión seca en el plato (h_d):

$$h_d = 51 \left[\frac{21,26136}{0,824} \right]^2 \frac{0,79}{350,88} = 37,38 \text{ mm liquido}$$

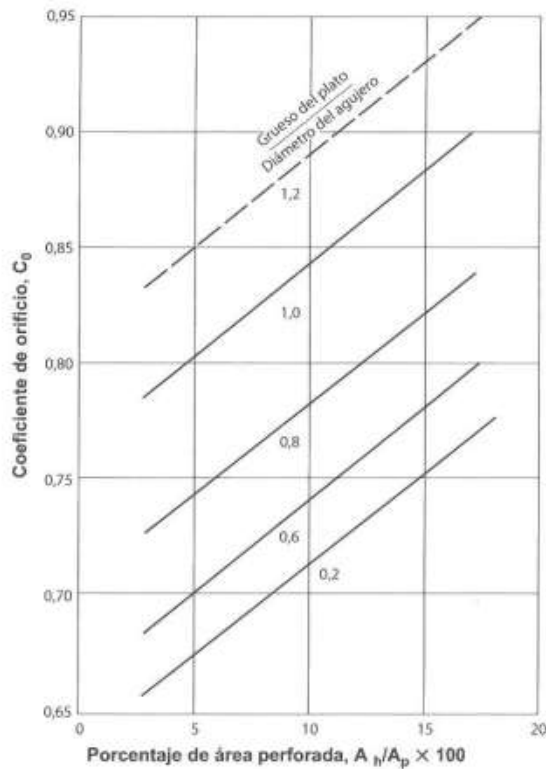
Luego se calculó la carga residual:

$$h_r = \frac{12,5 \times 10^3}{350,88} \cong 35,6249 \text{ mm liquido}$$

Finalmente se calculó la caída de presión total en el plato:

$$h_t = 35 + (0,0144 + 37,38) + 35,6249 = 108,021 \text{ mm liquido}$$

Figura 24
Coefficiente de descarga del orificio (C_o) para platos perforados



Turton, 2012

La condición de trabajo es que la caída de presión debe ser menor a 138 mm de líquido [26]. Al estar por debajo, estamos correctamente en esta etapa, para pasar a la siguiente.

Luego, se procedió a calcular el retroceso ascendente (back up) de los bajantes del líquido.

Para la pérdida de presión de los bajantes, se tomó $h_{ap} = h_w - 10 = 25 \text{ mm}$

Después de halló el área bajo el delantal, $A_{ap} = 0,025 \times 0,231648 \times 10^{-3} = 0,0057912 \text{ m}^2$

Como esta es menor a $A_d = 0,10165 \text{ m}^2$ usar A_{ap} en el cálculo.

$$h_{dc} = 166 \left[\frac{0,53571}{350,88 \times 0,0057912} \right]^2 = 11,5379 \text{ mm}$$

Luego, se encontró el retroceso ascendente en el bajante

$$h_b = (35 + 0,0144) + 108,021 + 11,5379 = 154,57387 \text{ mm}$$

Empleando el criterio de **[26]**:

$154,57387 \text{ mm} < \frac{1}{2}$ (espaciado entre platos + altura del vertedero) , por ello el espaciado entre platos que se trabajó es aceptable.

Después, se comprobó el tiempo de residencia

$$t_r = \frac{0,10165 \times 0,15457387 \times 350,88}{0,5357} = 10,29199 \text{ s}$$

Como el tiempo hallado $> 3 \text{ s}$, entonces el calculo de esta etapa fue satisfactorio.

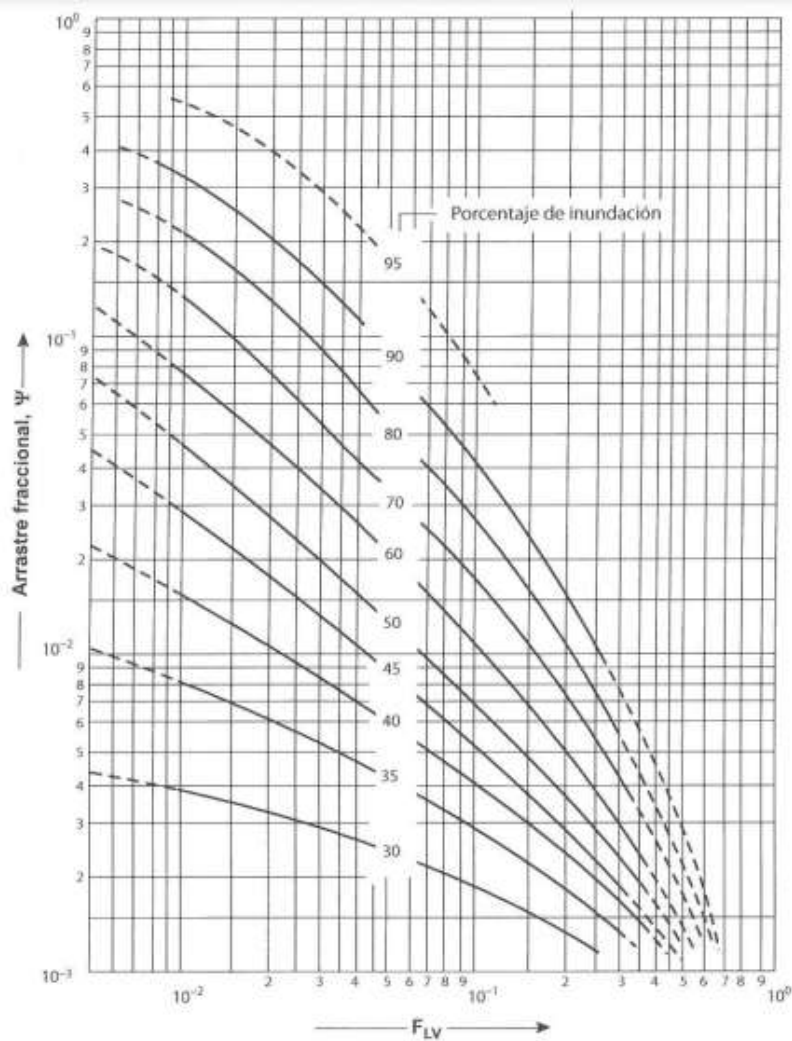
Luego se realizó la comprobación del arrastre (entrainment).

$$u_v = \frac{0,74144}{0,745493} = 0,9945 \text{ m/s}$$

$$\text{Porcentaje de inundación} = \frac{0,9945}{1,9973} = 49,7944 \%$$

Como los factores de flujo eran $F_{LV} = 0,14$, a partir del siguiente gráfico se determinó el arrastre fraccional:

Figura 25
Arrastre fraccional



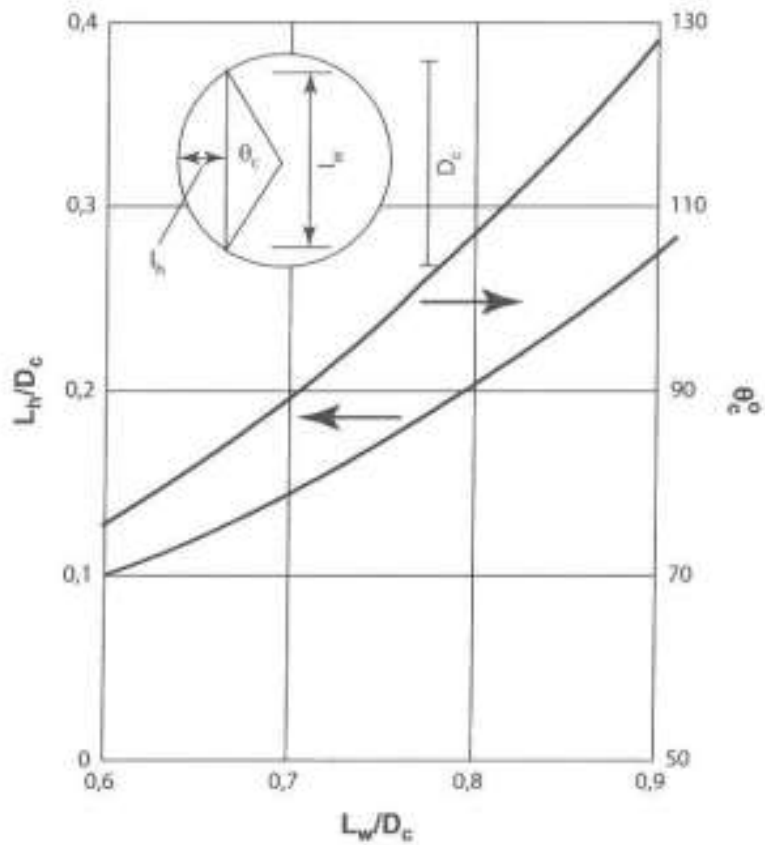
Turton, 2012

Entonces, a partir de la **Figura 25** anterior, $\varphi = 0,015$, bastante por debajo de 0,1, según el criterio indicado en **[26]**

Para la distribución se planteó usar una construcción tipo cartucho. Se señaló emplear una franja circular de 50 mm no perforada en el borde de la placa, con 50 mm de ancho de zonas de calma, acorde a datos validados con Sulzer y Koch–Glitsch.

Para el área perforada, se procedió conforme a la siguiente gráfica:

Figura 26
Razón entre el ángulo subtendido por la cuerda



Turton, 2012

Luego:

$$\frac{L_w}{D_c} = 0,76 ; \theta_c = 94,5^\circ$$

Luego, el ángulo subtendido por el borde del plato es $= 180 - 94,5 = 85,5^\circ$

Después se halló la longitud promedio, franjas del borde no perforadas =

$$(0,3048 - 30 \times 10^{-3}) \pi \times \frac{85,5}{180}$$

$$= 0,41 \text{ m}$$

El área de franjas del borde no perforadas es $= 30 \times 10^{-3} \times 0,41 = 0,0123 \text{ m}^2$

Para la longitud promedio de la zona de calma, se realizó = longitud del vertedero + anchura de la franja no perforada

$$= 0,23164 + 30 \times 10^{-3} = 0,26168 \text{ m}$$

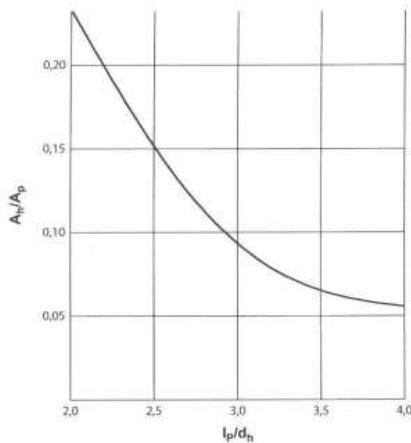
Después se halló el área de las zonas de calma $= 2(0,26168 \times 30 \times 10^{-3}) = 0,01569 \text{ m}^2$

Luego se halló el área total para la perforación, $A_p = 0,6438 - 0,0123 - 0,01569 = 0,6158 \text{ m}^2$

$$\frac{A_h}{A_p} = \frac{0,04983}{0,6158} = 0,0809$$

Para la validación del criterio, se procedió a revisar la siguiente gráfica:

Figura 27
Razón entre el área del orificio y el paso o distribución



Turton, 2012

A partir de la **Figura 27**:

$$\frac{l_p}{d_h} = 2,52$$

El valor hallado fue satisfactorio, dentro de 2,5 a 4,0

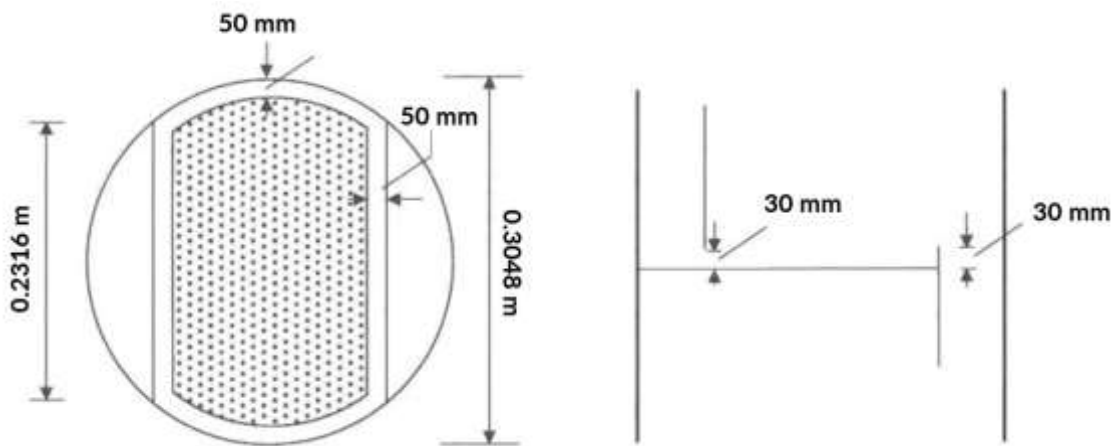
Después se revisó el cálculo del número de orificios.

El área de un orificio se calculó en base al diámetro de agujero inicialmente fijado (3 mm) y luego $= 7,0685 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Luego, el número de orificios se halló como $= \frac{0,04983}{7,0685 \times 10^{-6}} = 7\ 049$

Finalmente, para la especificación del plato a nivel conceptual, se generó:

Figura 28
Especificación conceptual del plato



Diámetro interno del plato 0,3048 m

Tamaño del agujero 3 mm

Agujeros activos 7 049

Rendimiento de retorno 70% del caudal máximo

Material del plato Acero inoxidable 316

Material de bajante Acero inoxidable 316

Espacios entre platos 0,375 m

Grosor de los platos 5 mm

Caída de presión de los platos 120 mm liquido =1,1 kpa

El diseño a detalle del plato es del tipo de alta eficiencia. El fabricante Koch Glitsch recomienda los platos SUPERFRAC® para esta aplicación:

Figura 29
Plato de alta eficiencia para transferencia de masa



Adaptado de Koch–Glitsch, 2017

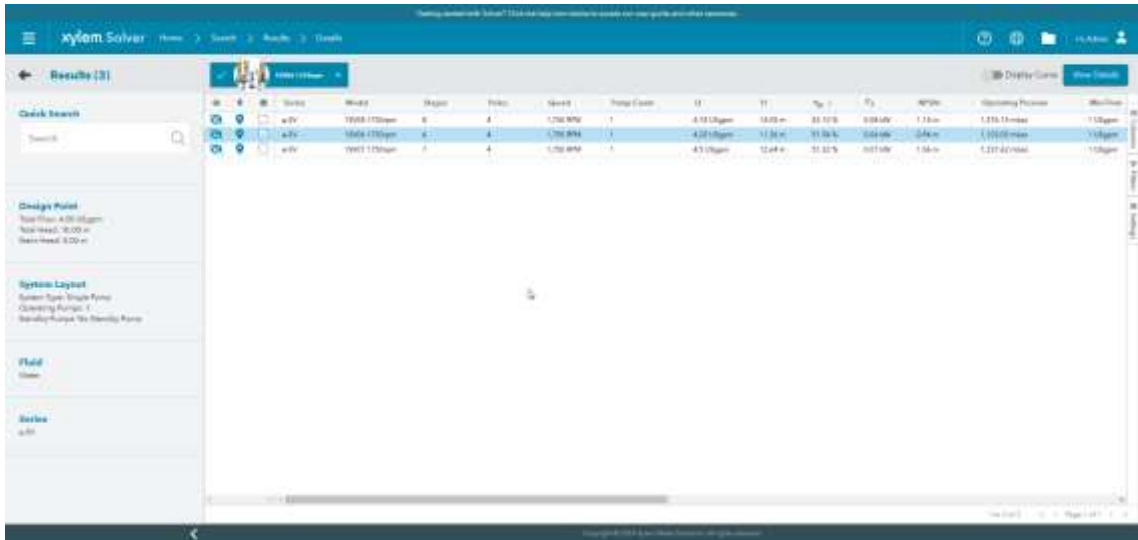
Para las bombas, se emplearán bombas centrífugas, dado que las propiedades de la mezcla son cercanas al agua. Se empleó el software Xylem Solver, el cual incluye información de las bombas Goulds, de procedencia americana:

Los parámetros de entrada que se consideraron fueron:

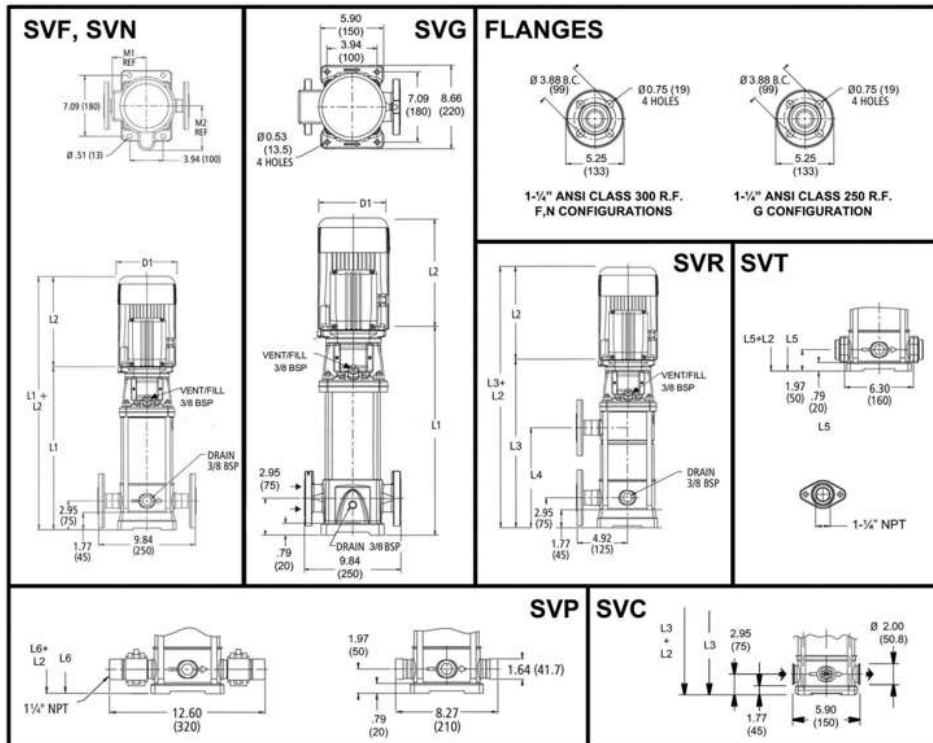
- a)** Caudal: 4 gpm
- b)** ADT: 10 m ... (se asume contrapresión de columna suficiente)
- c)** Aplicación resistente para ácidos
- d)** Aplicación resistente a temperaturas altas

Los resultados del software nos arrojó el modelo 1SV6NA8F66, del tipo bomba centrífuga vertical multietápica. Los resultados se observan a continuación:

Figura 30
Dimensionamiento de los equipos de bombeo

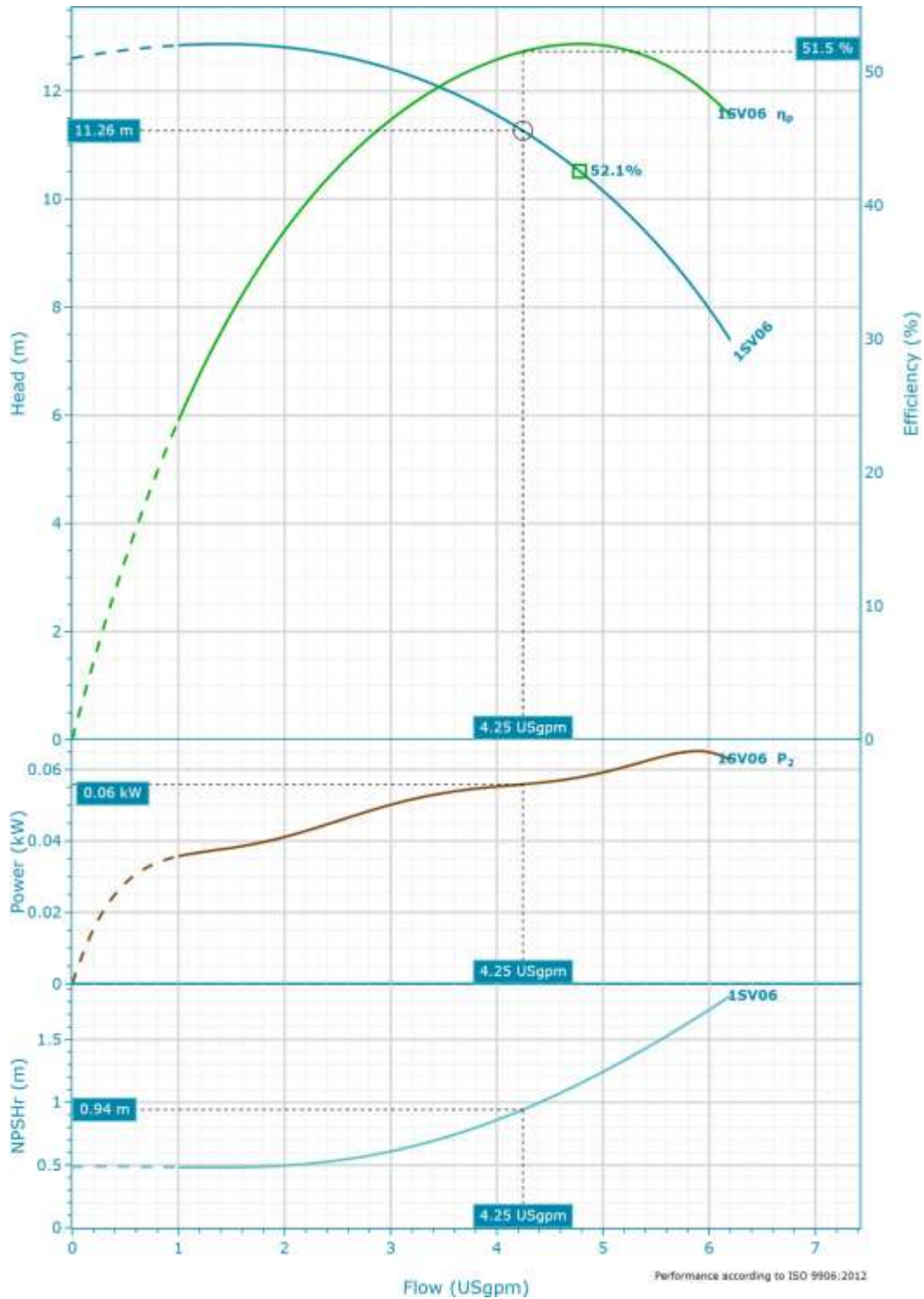


1SV6NA8F66 | Dimensional Data & Drawing



Dimensions

L1	397 mm	D1 (MAX.)	182.63 mm	Total Weight	27 kg
L2	258.32 mm	NEMA Frame	56C		
L5	372.11 mm	D2	165.1 mm		
L6	372.11 mm	M (Ref.)	132.84 mm		



De los modelos que el software encontró, dado que se tiene aplicación a alta temperatura, con formación de fase vapor, se escogió el modelo con menor NPSH_R, a fin que no se tengan problemas de cavitación.

Así mismo, el sello mecánico escogido es para alta temperatura, de composición SiC / SiC / EPR. Para la resistencia al carácter ácido de la mezcla, se tiene como material de construcción al acero inoxidable 316

Para las etapas de enfriamiento, se procedió a emplear el software ESP Thermal, del fabricante Bell & Gossett, propiedad de Xylem. De la base de datos del software, primero procedimos a validar los factores de ensuciamiento (fouling), para elegir qué fluido va por los tubos y qué fluido va por la coraza. Entonces:

Tabla 17
Factores de ensuciamiento

Factor de ensuciamiento (fouling)	Valor (BTU/ft.h.°F)
Ácido peracético	0,0010
Agua blanda para enfriamiento	0,0005

De lo anterior, elegimos al fluido con mayor factor de fouling por el lado tubo. De esa manera elegimos al ácido peracético por el lado de los tubos.

Así mismo, para las caídas de presión, en base a lo indicado en , para fluidos de baja viscosidad podemos asumir caídas de presión de 5 psi. Se procedió a dimensionar con el software:

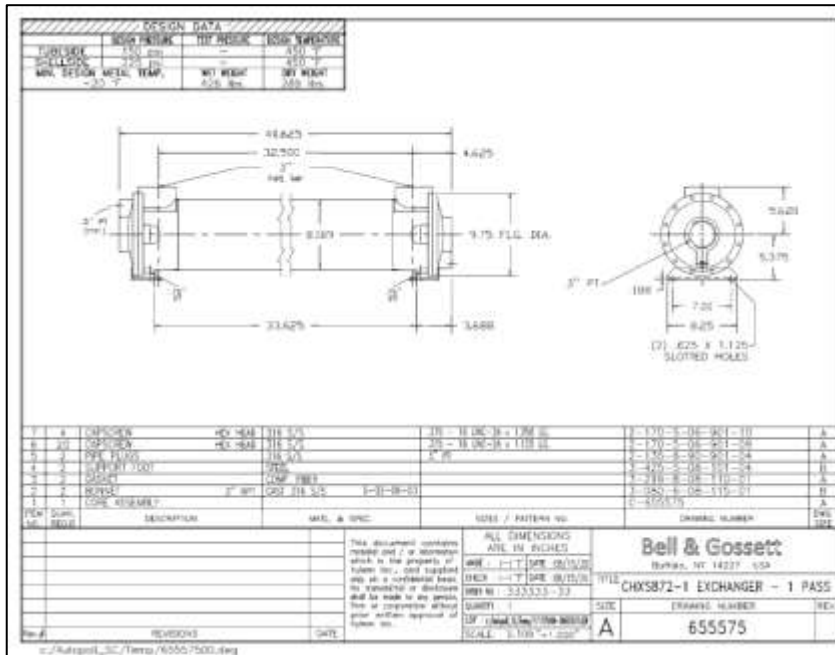
Figura 31
Dimensionamiento del intercambiador de calor



Figura 32
Reporte de diseño del intercambiador de calor

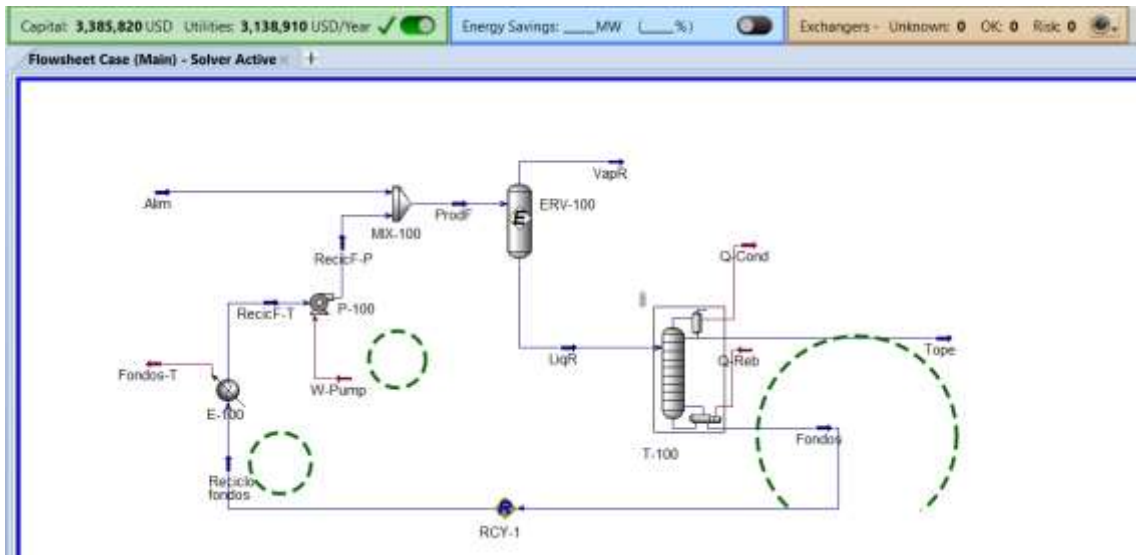
Bell & Gossett™ Shell & Tube Heat Exchanger Specification Sheet			
179 Stamford Parkway Chesham, New York 14227 1-800-447-7100 www.hytel.com/bellgossett			
Customer:	Date:	Sunday, December 09, 2009	
Invoice Number: 007823	Draw Number:	704	
Performance of One Unit: 8S084-1 CHXS PH 8N516008054001 Units Connected in Parallel: 1			
	Shell Side	Tube Side	
Fluid Name:	Water	Acetic Acid (liquid)	
Total Flow:	8.0 GPM	8.0 GPM	
Inlet Temperature:	50.0 °F	140.0 °F	
Outlet Temperature:	88.3 °F	77.0 °F	
Operating Pressure:	1 PSIG	0 PSIG	
Pressure Drop, Allow. (GAS):	0.7068 PSIG	5.18 PSIG	
Velocity, Bundle/Tube:	0.25 ft/s	0.07 ft/s	
Density:	62.2 lb/ft³	68.18 lb/ft³	
Viscosity, Mean:	0.98 cp	0.53 cp	
Viscosity, Wall:	0.87 cp	0.31 cp	
Specific Heat:	1.0 Btu/lb.°F	0.82 Btu/lb.°F	
Thermal Conductivity:	0.35 Btu/ft.°F	0.1 Btu/ft.°F	
Specified Fouling Factor:	0.00050 m.82.°F/ft²	0.00100 m.82.°F/ft²	
Total Heat Exchanged:	76,822.76 Btu/h	34,822.76 Btu/h	
Overall Heat Transfer Coefficient, Clean/Dirty:	18.22 18.8 Btu/h.82.°F	18.42 18.8 Btu/h.82.°F	
Overall Heat Transfer Coefficient, Service:	14.42	14.42	
Surface Area:	2.46 ft²	2.46 ft²	
Exposed Surface Area:			
Construction			
	Shell Side	Tube Side	
Number of Passes:	1	1	
Design Pressure:	218 PSIG	180 PSIG	
Design Temperature:	450(°F)	450(°F)	
Inlet Connection (Location) Type:	3.0 in NPT	3.0 in NPT	
Outlet Connection (Location) Type:	3.0 in NPT	3.0 in NPT	
Shell Flange Arrangement:		A	
Tube Material / Diameter:		316 3/8 / 3/8 in.	
No. Tubes / Gauge / Length / Finish:		210 / 24 / 24 / 0.4031	
Sheet Material:		316 3/8	
Head Type/Material:		CAST 316 0/S	
Tubeheet Material:		316 3/8	
Bundle Material / Spacing / Cut:		316 3/8 / 4.000 in / 25%	
Basket Material:		Cone Filter	
Tube to Tubeheet Joint:		Rolled	
Weight (dry):		285 lb	
Approvals:		Non-Code	
* Customer to verify fluid/material compatibility. Performance evaluation is dependent on customer's ability to provide sufficiently accurate measurements.			
NOTES:			
Adrian Manuel Cortez Maldonado 12/09/09 Rev. 10/09/09			

Figura 33
Esquema dimensional del intercambiador de calor



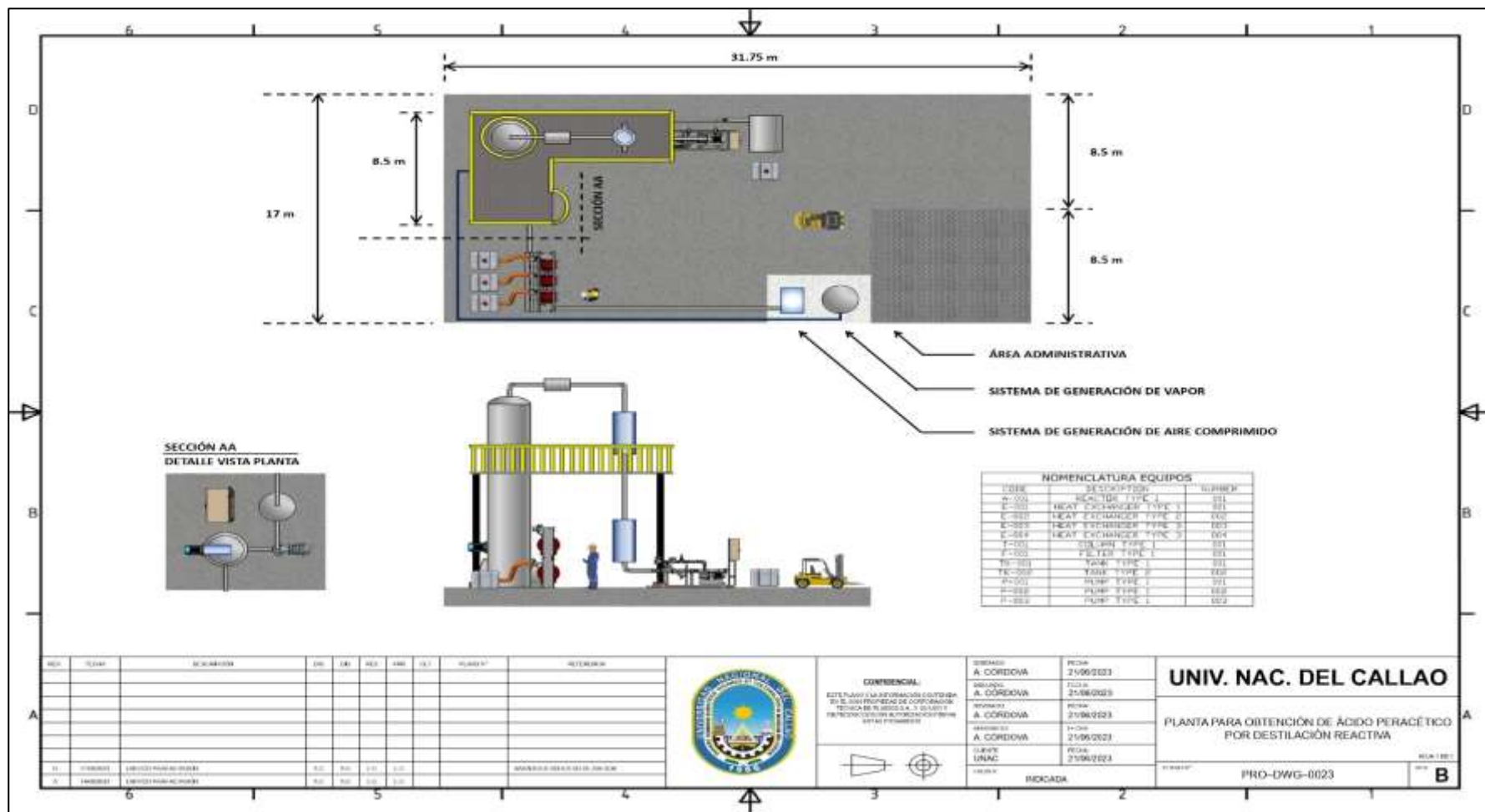
Una vez se esquematizaron los equipos, se validó con el simulador Aspen HYSYS para sacar la inversión a nivel budget.

Figura 34
Inversión budget para la planta



Se aprecia que la inversión Budget estimada para la planta es de 3,385M USD. Finalmente, para el plan layout, que consiste en diagramar el plan maestro (layout) del proceso, donde a grosso modo se ilustren las áreas que comprenderá nuestra planta de procesos, se propuso el siguiente arreglo **(Ver Figura N° 35 pag. N° 84)**

Figura 35
Plan layout para el diseño de planta



V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

Se procedió a enlistar los resultados obtenidos de la prueba experimental, a fin de determinar la relación entre las tres variables principales: temperatura, velocidad, y su influencia en los parámetros de la reacción en el tanque (volumen). Entonces, para el diseño experimental, se tuvo:

F : Número de factores o variables que se manipulan que son 3

n : Los niveles que se adoptaran en esta investigación son 3

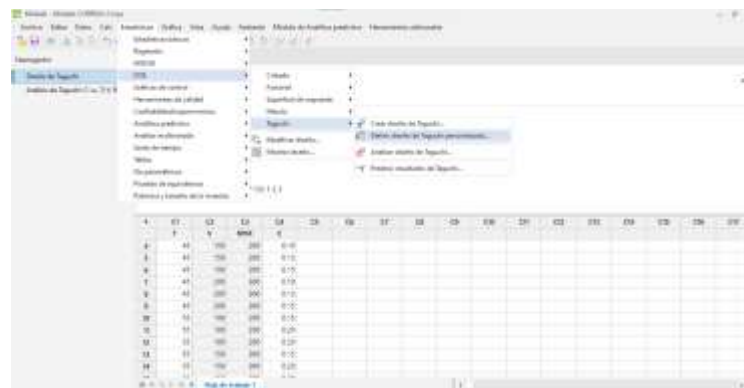
Los factores o variables que se manipulan son la temperatura ,volumen ,RPM y la concentración

Tabla 18
Factores y niveles para diseño experimental

NIVELES 3	FACTORES 3		
	TEMPERATURA (X_1)	VOLUMEN (X_2)	RPM (X_3)
1	45°C	100 mL	100
2	55°C	150 mL	200
3	65°C	200 mL	300

Se optó por seguir el método Taguchi en esta parte. El diseño de experimentos Taguchi se realizó utilizando el software Minitab 20, siguiendo: Stat/ DOE/ Taguchi/create Taguchi design como se muestra en la **Figura 36**

Figura 36
Diseño experimental con Minitab 20



El diseño experimental tuvo la forma:

Tabla 19
Diseño experimental

N°	Factores o variables independientes		
	x ₁	x ₂	x ₃
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	1
5	2	2	2
6	2	3	3
7	3	1	1
8	3	2	2
9	3	3	3

Los experimentos que se han desarrollado se detallan a continuación:

Tabla 20
Diseño experimental Taguchi para el proceso de determinación de concentración de ácido peracético

	x ₁	x ₂	x ₃
Experimento	T (C°)	V (ml)	rpm
1	45	100	100
2	45	150	200
3	45	200	300
4	55	100	200
5	55	150	300
6	55	200	100
7	65	100	300
8	65	150	100
9	65	200	200

Después se procedió a calcular la concentración promedio.

Tabla 21
Cálculo de la concentración promedio

n	T (C°)	V (ml)	RPM	C	C promedio
1	45	100	100	0,10000	
2	45	100	100	0,13333	0,12778
3	45	100	100	0,15000	
4	45	150	200	0,10000	
5	45	150	200	0,13333	0,12778
6	45	150	200	0,15000	
7	45	200	300	0,10000	
8	45	200	300	0,13333	0,12778
9	45	200	300	0,15000	
10	55	100	200	0,15000	
11	55	100	200	0,20000	0,18333
12	55	100	200	0,20000	
13	55	150	300	0,15000	
14	55	150	300	0,20000	0,18333
15	55	150	300	0,20000	
16	55	200	100	0,16666	
17	55	200	100	0,20000	0,18889
18	55	200	100	0,20000	
19	65	100	300	0,15000	
20	65	100	300	0,20000	0,16667
21	65	100	300	0,15000	
22	65	150	100	0,16666	
23	65	150	100	0,20000	0,17889
24	65	150	100	0,17000	
25	65	200	200	0,18000	
26	65	200	200	0,20000	0,18778
27	65	200	200	0,18333	

Tabla 22
Variables dependientes e independientes

x_1 T (C°)	x_2 V (ml)	x_3 RPM	Y C promedio
45	100	100	0,12778
45	150	200	0,12778
45	200	300	0,12778
55	100	200	0,18333
55	150	300	0,18333
55	200	100	0,18889
65	100	300	0,16667
65	150	100	0,17889
65	200	200	0,18778

La tabla se diseñó con parámetros y resultados experimentales del laboratorio.

Los nueve experimentos que se realizaron según el diseño experimental Taguchi, se realizaron con dos replicas, con lo cual se obtuvo tres corridas experimentales para obtener mayor precisión, los resultados se detallan en la **Tabla 23**

Tabla 23
Concentración de la primera corrida de experimentos

Experimento	x_1 T (C°)	x_2 V (ml)	x_3 rpm	Y C ₁
1	45	100	100	0,10000
2	45	150	200	0,10000
3	45	200	300	0,10000
4	55	100	200	0,15000
5	55	150	300	0,15000
6	55	200	100	0,16667
7	65	100	300	0,15000
8	65	150	100	0,16667
9	65	200	200	0,18000

Tabla 24
Concentración de la segunda corrida de experimentos

Experimento	X ₁ T (C°)	X ₂ V (ml)	X ₃ rpm	Y C ₂
1	45	100	100	0,13333
2	45	150	200	0,13333
3	45	200	300	0,13333
4	55	100	200	0,20000
5	55	150	300	0,20000
6	55	200	100	0,20000
7	65	100	300	0,20000
8	65	150	100	0,20000
9	65	200	200	0,20000

Tabla 25
Concentración de la tercera corrida de experimentos

Experimento	X ₁ T (C°)	X ₂ V (ml)	X ₃ rpm	Y C ₃
1	45	100	100	0,15000
2	45	150	200	0,15000
3	45	200	300	0,15000
4	55	100	200	0,20000
5	55	150	300	0,20000
6	55	200	100	0,20000
7	65	100	300	0,15000
8	65	150	100	0,17000
9	65	200	200	0,18333

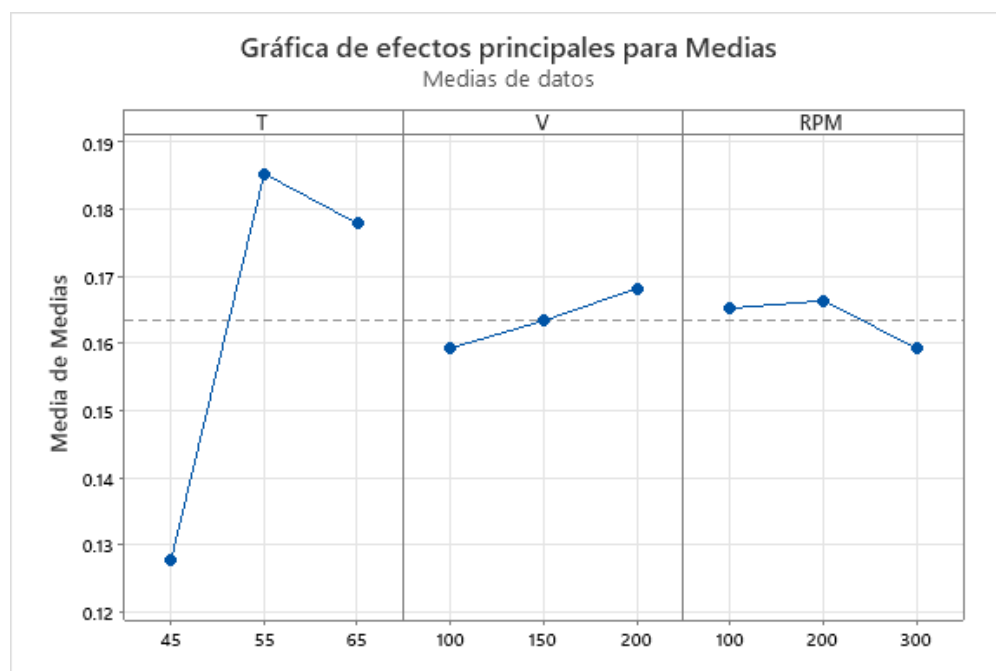
Tabla 26
Resumen de los valores promedio del experimento

Experimento	X ₁	X ₂	X ₃	Prueba	CONCENTRACION		PROMEDIO
	T (C°)	V (ml)	rpm		Replica 1	Replica 2	
1	45	100	100	0,10000	0,13333	0,15000	0,12778
2	45	150	200	0,10000	0,13333	0,15000	0,12778
3	45	200	300	0,10000	0,13333	0,15000	0,12778
4	55	100	200	0,15000	0,20000	0,20000	0,18333
5	55	150	300	0,15000	0,20000	0,20000	0,18333
6	55	200	100	0,16667	0,20000	0,20000	0,18889
7	65	100	300	0,15000	0,20000	0,15000	0,16667
8	65	150	100	0,16667	0,20000	0,17000	0,17889
9	65	200	200	0,18000	0,20000	0,18333	0,18778

5.2 Resultados inferenciales

Se realizo el análisis de diseño de Taguchi tomando en cuenta los 3 factores y el Minitab resultando el siguiente grafico de medias.

Figura 37
Gráficas de efecto



De la **Figura 37 (Ver pag. N° 90)** sobre la gráfica de efectos principales para medias obtenidas del Minitab, se concluye que los valores de las variables que más influye en la concentración del ácido peracético es la temperatura, siendo la más óptima de 55°C , mientras que el volumen y las RPM tiene una mucha menor influencia, siendo la velocidad óptima entre 200 y 300 RPM.

Como la experimentación se realizó con un nivel de confianza del 95 %, todas las respuestas cuyo p valor sean menor 0,05 resultan ser críticas sobre la variable respuesta, los resultados se muestran en la **Tabla 27**

Tabla 27
Coeficientes de modelos estimados para Relaciones SN

Término	Coef	EE del coef.	T	P
Constante	-16,1937	0,02639	-613,531	0,000
T 45	-2,0604	0,03733	-55,198	0,000
T 55	1,3488	0,03733	36,134	0,001
V 100	-0,1490	0,03733	-3,992	0,057
V 150	-0,0375	0,03733	-1,005	0,421
RPM 100	0,0981	0,03733	2,628	0,119

Con los valores de la **Tabla 24 (Ver pag. N° 28)** y tomando en cuenta el valor promedio de las concentraciones de ácido peracético, se realizó las regresiones en Microsoft Excel, se eligió el que tenía mayor índice de correlación, menor error típico con una confiabilidad del 95%

Tabla 28
Datos calculados para la determinación del modelo

$LN X_1$	$LN X_2$	$LN X_3$	$LN Y$	$1/X_1$	$1/X_2$	$1/X_3$	$1/Y$	x_1^2	x_2^2	x_3^2
3,80666	4,60517	4,60517	-	0,02222	0,01000	0,01000	7,82609	2 025	10 000	10 000
			2,05746							
3,80666	5,01064	5,29832	-	0,02222	0,00667	0,00500	7,82609	2 025	22 500	40 000
			2,05746							
3,80666	5,29832	5,70378	-	0,02222	0,00500	0,00333	7,82609	2 025	40 000	90 000
			2,05746							
4,00733	4,60517	5,29832	-	0,01818	0,01000	0,00500	5,45455	3 025	10 000	40 000
			1,69645							
4,00733	5,01064	5,70378	-	0,01818	0,00667	0,00333	5,45455	3 025	22 500	90 000
			1,69645							
4,00733	5,29832	4,60517	-	0,01818	0,00500	0,01000	5,29412	3 025	40 000	10 000
			1,66660							
4,17439	4,60517	5,70378	-	0,01538	0,01000	0,00333	6,00000	4 225	10 000	90 000
			1,79176							
4,17439	5,01064	4,60517	-	0,01538	0,00667	0,01000	5,59006	4 225	22 500	10 000
			1,72099							

4,17439 5,29832 5,29832 - 0,01538 0,00500 0,00500 5,32544 4 225 40 000 40 000
1,67250

La tabla se diseñó en Microsoft Excel 2019 con la ayuda de los datos las variables.

Tabla 29
Resumen de regresión lineal de los modelos aplicados

MODELO	ECUACION	Coefficiente de correlación múltiple	Coefficiente de determinación R ²	R ² ajustado	Error típico
LINEAL	Y = A+ BX	0,802039291	0,643267024	0,429227238	0,020854516
SEMILOGARITMICO	Y = A + B.LN X	0,829768418	0,688515628	0,501625004	0,019487073
EXPONENCIAL	Y = A .(B ^X)	0,810513173	0,656931603	0,451090564	0,132386399
POTENCIAL	Y = A .(X ^A)	0,838306908	0,702758473	0,524413556	0,123227533
HIPERBOLICO	Y = 1/ (A+ B.X)	0,818439149	0,669842641	0,471748226	0,851127628
INVERSO	Y = A + B/X	0,854976142	0,730984203	0,569574725	0,018109955
CUADRATICO	Y = A + B.X ²	0,772140266	0,596200590	0,353920945	0,022187651

El modelo inverso es el que mejor explica el experimento porque presenta el R² más alto así como el error típico menor.

Estos datos se obtuvieron con la ayuda del análisis de datos del Excel, específicamente de la regresión de los datos con 3 variable independientes.

$$y = f(x_1, x_2, x_3)$$

$$y = b_0 + b_1T + b_2V + b_3VEL$$

En la ecuación podemos ver que el b₀ es el coeficiente adimensional que afecta la ecuación del modelo inverso, asimismo b₁, b₂, b₃, b₄ son coeficientes dimensionales que influyen en las variables vistas: X₁, X₂, X₃, X₄ respectivamente.

$$y = A + \frac{B}{x_1} + \frac{C}{x_2} + \frac{D}{x_3}$$

El modelo mejor explicado resulto ser el inverso, determinamos la ecuación reemplazando los valores experimentales y aplicando el método de Gaus en el

sistema de ecuaciones, determinamos que matemáticamente se ve de la siguiente manera:

$$A = 0,0404364$$

$$B = 24,258846$$

$$C = -14,460258$$

$$D = -30,714102$$

$$y = 0.0404364 + \frac{24,258846}{x_1} + \frac{-14,460258}{x_2} + \frac{-30,714102}{x_3}$$

$x_1 = \text{valores de la temperatura en } ^\circ\text{C}$

$x_2 = \text{valores del volumen en ml}$

$x_3 = \text{valores de la rpm}$

$y = \text{valores de la concetracion}$

Coefficiente de correlación múltiple	0,854976142
Coefficiente de determinación R ²	0,730984203
R ² ajustado	0,569574725
Error típico	0,018109955

Tabla 30

Regresión lineal del modelo inverso para el proceso de determinación de concentración de ácido peracético.

Resumen

<u>Estadísticas de la regresión</u>					
Coefficiente de correlación múltiple	0,854976142				
Coefficiente de determinación R ²	0,730984203				
R ² ajustado	0,569574725				
Error típico	0,018109955				
Observaciones	9				
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	0,004455895	0,001485298	4,52875638	0,06868655
Residuos	5	0,001639852	0,000327970		
Total	8	0,006095748			

Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
---------------	--------------	---------------	--------------	--------------	--------------	----------------	----------------

Intercepción	0,317051131	0,047387552	6,69059948	0,0011279	0,195237551	0,43886471	0,195237551	0,438864712
Variable X 1	7,801033152	2,150739953	3,627139181	0,01510584	13,32968621	2,27238009	13,32968621	2,272380095
Variable X 2	1,698412698	2,904053479	0,584842087	0,58404920	9,163519822	5,76669442	9,163519822	5,766694425
Variable X 3	0,632478632	2,130992659	0,296800005	0,77855321	4,845412389	6,11036965	4,845412389	6,110369654

En forma complementaria al análisis tridimensional ya realizado se hizo regresiones monovariante con 9 datos experimentales.

Respecto a la temperatura X_1

Tabla 31
Análisis de regresión C vs temperatura X_1

	LINEAL	SEMILOG	EXPONENCIAL	POTENCIAL	HIPERBÓLICO	INVERSO	CUADRÁTICO
A' =			-2,720	-5,5036			
A =	0,0269	-0,3966	0,066	0,0041	12,25935	0,30793	0,097
B' =			0,016				
B =	0,0025	0,1402	1,016	0,9209	-0,10862	-7,76000	0,000
R =	0,7838	0,8137	0,797	0,8262	-0,80838	-0,84080	0,752
R ² =	0,6144	0,6621	0,635	0,6826	0,65348	0,70700	0,565

Respecto al rpm

Tabla 32
Análisis de regresión C VS RPM X_3

	LINEAL	SEMILOG	EXPONENCIAL	POTENCIAL	HIPERBÓLICO	INVERSO	CUADRÁTICO
A' =			-1,807	-2,0531			
A =	0,1547	0,1227	0,154	0,1283	6,56386	0,17104	0,159
B' =			2E-04				
B =	4E-05	0,0079	1,000	0,0441	-0,00139	-1,21460	0,000
R =	0,1403	0,1376	0,121	0,1194	-0,10376	-0,13280	0,140
R ² =	0,0197	0,0189	0,015	0,0142	0,01077	0,01764	0,020

Respecto al volumen X_2

Tabla 33
Análisis de regresión C vs vol X_2

	LINEAL	SEMILOG	EXPONENCIAL	POTENCIAL	HIPERBÓLICO	INVERSO	CUADRÁTICO
A' =			-1,900	-2,1763			
A =	0,1503	0,1007	0,150	0,1135	6,70328	0,17590	0,156000000
B' =			5E-04				
B =	9E-05	0,0127	1,000	0,0709	-0,00279	-1,70000	0,000000295
R =	0,1403	0,1389	0,121	0,1203	-0,10376	-0,13640	0,140000000
R ² =	0,0197	0,0193	0,015	0,0145	0,01077	0,01861	0,020000000

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Los resultados de la presente tesis señalan que el valor óptimo de las variables son $T=55^{\circ}\text{C}$, y 240 rpm en la agitación, lo cual apoyado en la simulación realizada mediante software de ingeniería permitió identificar las condiciones óptimas de operación, garantizando una concentración final de ácido peracético del 18,56% en peso. Respecto a lo indicado por [8], se pudo apreciar que la diferencia en nuestros resultados se dio por los softwares empleados, frente al simulador que se empleó en [8], que fue el Aspen Plus 11. Así mismo, el nivel de detalle logrado en la presente tesis llevó a que el análisis técnico sea mucho más fino, tal que a futuro en el análisis económico se pueda tener una mejor precisión en el nivel de inversión.

En cuanto al diseño de los equipos clave, se observó que el reactor agitado juega un papel central en la eficiencia del proceso, porque actúa simultáneamente como reactor y fuente de calor. La selección de materiales y los sistemas de control asociados al reactor, al rehervidor y la columna de destilación fueron críticos para minimizar riesgos relacionados con la corrosión y el manejo de sustancias químicas reactivas. En contrastación con lo reportado por [21], que empleó un modelo ELECT–NRTL para el análisis de la reacción, en el presente trabajo se empleó UNIQUAC, y por ello también la diferencia de valores. Además, la integración del diseño CAD/BIM permitió optimizar la distribución en planta, asegurando un flujo continuo y seguro de los reactivos y productos.

Finalmente, los resultados destacan la importancia de desarrollar capacidades locales en la producción de insumos químicos estratégicos. La implementación de esta planta no solo contribuiría a la autosuficiencia en la producción de ácido peracético, sino también al desarrollo de tecnologías avanzadas en el sector químico peruano, fomentando la transferencia tecnológica y la creación de empleos especializados.

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

La principal contrastación se realizó versus lo indicado por [8] donde el autor concluyó en la viabilidad de un diseño para una capacidad total de planta de 390 000 L/año, que empleó destilación como proceso principal siempre y cuando se

cumpla con el manejo seguro de los reactivos involucrados, en especial el peróxido de hidrógeno, porque a grandes volúmenes tiende a presentar riesgo de explosión. En nuestro caso se trabajó con un tamaño de planta más pequeño (20,8 TM/día), lo cual devino en una inversión menor de 3,385 millones de dólares. Así mismo, [8] trabajó un valor de concentración (12%) diferente al nuestro, donde se validó que llegamos al 18,56% de conversión.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

El presente trabajo se redacta con las citas y referencias bibliográficas, que dan crédito a los autores. El trabajo se desarrollará en forma ética, estando de acuerdo al Reglamento de Código de ética de la Investigación de la UNAC, N° 260–2019–CU.

VII. CONCLUSIONES

- 1) La elección como el mejor método se basó fundamentalmente en el grado de conversión y su influencia en los costos.
- 2) Se logró identificar los principales equipos del proceso: reactor agitado, columna de destilación (específicamente para el proceso de destilación), los intercambiadores de calor, y la bomba de alimentación a la columna. Los valores de las variables del proceso, basados en el experimento realizado, son: $T = 55^{\circ}\text{C}$, y 240 rpm en la agitación, con lo cual se logra un 18,56% de concentración en peso de ácido peracético, siendo este resultado respaldado por el modelo matemático indicado en el trabajo.
- 3) El presente diseño de planta de ácido peracético se hizo mediante el uso de software CAD/BIM, lo cual permitió la optimización del proceso, habiéndose considerado un flujo eficiente y minimizando los riesgos de operación, lográndose uno de los objetivos establecidos.

VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Realizar pruebas piloto para validar a escala real las condiciones operativas establecidas en la simulación, asegurando que los parámetros definidos sean replicables en un entorno industrial y minimizando riesgos durante la fase de implementación.
- 2) Establecer protocolos estrictos para el manejo, almacenamiento y transporte del ácido peracético, considerando su naturaleza reactiva. Se sugiere trabajar en conjunto con proveedores de materiales para garantizar la calidad y seguridad de los recipientes de almacenamiento.
- 3) Buscar financiamiento a través de instituciones públicas y privadas que promuevan la innovación y la industrialización local. Esto puede incluir incentivos fiscales y subvenciones específicas para proyectos químicos estratégicos.
- 4) Promover programas de capacitación para el personal técnico y operadores de la planta, asegurando un adecuado conocimiento de los procesos involucrados y fomentando una cultura de seguridad y mejora continua en las operaciones.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AspenTech ®. **AspenTech: Optimizing Process Manufacturing**. Disponible en <http://www.aspentech.com/products/aspem-hsys.aspx> .
2. BUNTON, G.A. y otros. **Chemistry and Industry**. D.R., 1954, p. 191.
3. CARRASCO, Luis; CASTAÑEDA, Luz. **Modelamiento y simulación del proceso de esterificación del ácido acético con metanol en una configuración compleja**. Facultad de Ingeniería Química, UNAC, 2020.
4. CHAUCA-NOLASCO, Williams. **Información técnica de calderas a nivel industrial**. E.A.P. Ing. Mecánica de Fluidos, UNMSM, 2014.
5. DEGREMONT. **Manual técnico del agua**. Cuarta edición en español. 1979
6. FUNDACIÓN WIKIMEDIA. **Base de datos de Wikimedia Commons** ©. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada> .
7. INEI. **Base de datos del INEI**. Disponible en <http://inei.inei.gob.pe/inei/siemweb/publico/> – Consultado el 09/06/2014.
8. LÓPEZ SANTILLÁN, Óscar. **Estudio para el desarrollo de un proceso de destilación para la producción de ácido peracético (PAA)**. UNAM (División de Ciencias Básicas e Ingeniería), 2005.
9. LUYBEN, William L. **Reactive distillation: Design and control**. John Wiley & Sons, 2008.
10. MACHACA, Leonardo; RAMIREZ, Bernardino. **Modelado cinético de la velocidad de formación insitu de ácido peracético usando resinas de intercambio iónico en el proceso de epoxidación de aceite vegetal**. Facultad de Ingeniería Química, UNAC, 2019.
11. Merck Millipore ®. **CAS 64-19-7 (Acetic acid)**. V.2013
12. Merck Millipore ®. **CAS 79-21-0 (Peracetic acid)**. V.2013
13. Merck Millipore ®. **CAS 7722-84-1 (Hydrogen peroxide)**. V.2013
14. MILLER, J.C. y otros. **Estadística para química analítica**. 2da Edición. Addison Wesley. 1993
15. MINISTERIO DE LA PRODUCCION (Produce Peru). **Encuesta de Volumen Físico (IVF) del sector manufacturero**. Lima, Peru. 2016.

16. OSORIO DIAZ, U. **Programa de inocuidad alimentaria**. 1ra Edición. La Molina, Lima, Perú. 2024.
17. PETERS, M. y otros. **Plant Design and Economics for Chemical Engineers**. 5th Edition. McGraw–Hill, 2013.
18. Project Management Institute, PMI ®. **Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK ®)**. 5ta edición en español. 2013
19. POHJANVESI, S. **Storage stability; distillation to remove by-products; reacting acid, hydrogen peroxide in water with acid catalyst**. Kemira OYJ, Finlandia, 2004.
20. RUTALA, W. A y otros. **Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities**. (Volume 13) –6th Edition, 2008, p.10–13.
21. SHUAIFENG, Liu; XIAOJUAN, Zhang; ASSELIN; Edouard; ZHIBAO, Li. **A New Process for Peracetic Acid Production from Acetic Acid and Hydrogen Peroxide Based on Kinetic Modeling and Distillation Simulation**. ACS Journal, 2021.
22. SUNAT. **Base web de datos de SUNAT (Sección de Insumos Químicos)**. Disponible en: <http://www.aduanet.gob.pe/itarancel/arancelS01Alias>. Consultado el 09/06/2014.
23. SINGH, R. y otros. **Synthesis of phosphorus esters by transesterification mediated by N–heterocyclic carbenes (NHCs)**. Chem. Commun. 2005.
24. TORRES MACCANASCCA, Karina; CARDOZA SÁNCHEZ, Verónica. **Eficacia del ácido peracético para la desinfección in situ en el área de envasado de formas farmacéuticas estériles en un laboratorio de industria farmacéutica**. Universidad Norbert Wiener (Facultad de farmacia y Bioquímica), Perú, 2021
25. SOLVAY. **Process for producing peracetic acid – EP 1 004 576 A1**. European Patent Office. 2000.

26. TURTON, R. y otros. **Analysis, synthesis and design of chemical processes**. Prentice Hall. 4th Edition. 2012.
27. VERITRADE. **Base de datos de importaciones y exportaciones**. Disponible en <https://www.veritradecorp.com/es/paises/peru/exportaciones#>. Consultado el 06/09/2024.
28. WAGNER, Frank S. **Kirk – Othmer: Encyclopedia of Chemical Technology (Volume 1)**. 4th Edition, 2001, p. 78.
29. WAGNER, Frank S. **Kirk – Othmer: Encyclopedia of Chemical Technology (Volume 13)**. 4th Edition, 2001, p. 470.
30. YACHUN, Chen; RONG, Ding; YICHAO, Wang; YUNTAO, Ye; GUANGXU Zhang. **Kinetics study and process simulation of reactive distillation for the synthesis of ϵ - caprolactone**. Canadian Journal of Chemical Engineering. 2020.
31. ZHIRUN, Yuan; VAN HEININGEN, A.R. **Kinetics of Peracetic Acid Decomposition**. University of New Brunswick, Department of Chemical Engineering, 1997.

X. ANEXOS

8.1. Matriz de consistencia

DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO PERACÉTICO

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dependiente	Dimensiones
¿Cómo se debe diseñar una planta para producir ácido peracético a nivel industrial?	Diseñar una planta para la producción a nivel industrial de ácido peracético obtenido mediante destilación	El diseño de una planta de ácido peracético se puede realizar seleccionando la tecnología adecuada, estimando el tamaño de planta y mediante el uso de software de ingeniería de procesos.	y	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tamaño de planta ✓ Tecnología. ✓ Consideraciones técnicas para la implementación.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables independientes	Dimensiones
¿Cuál será la tecnología más apropiada para la producción a nivel industrial de ácido peracético?	Determinar la tecnología más apropiada para la producción a nivel industrial del ácido peracético	La tecnología basada en destilación y en un proceso continuo permite la obtención eficiente del ácido peracético.	x ₁	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Matriz comparativa de tecnologías
¿Cuáles son los equipos más importantes en una planta de producción de ácido peracético por destilación?	Identificar los equipos clave necesarios para la producción de ácido peracético por destilación.	Los equipos esenciales para la producción de ácido peracético son una columna de destilación con platos, y su reboiler.	x ₂	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Especificaciones técnicas de los equipos ✓ Distribución de planta
¿Cuáles son los valores de las variables que definen el proceso productivo del ácido peracético por destilación?	Definir los valores óptimos de las variables operativas en el proceso de producción de ácido peracético.	Las variables operativas del proceso de producción son la temperatura desde 45°C a 60°C, y la relación de reactantes de 1 a 2, en presencia de catalizador ácido de 1 al 3%.	x ₃	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Parámetros clave del proceso

RELACIÓN DE VARIABLES:

y ; Diseño de una planta industrial para la producción de ácido peracético

$$y : f(x_1, x_2, x_3)$$

x₁ ; Tecnología empleada para la producción del ácido peracético

x₂ ; Equipos esenciales para la planta de ácido peracético

x₃ ; Variables operativas del proceso de producción de ácido peracético

8.2. Instrumentos validados

CALIBRACIONES S.A.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CSA - 0710 - 20
Página : 1 de 2
Numero FTI : 0286-20

1. CLIENTE : INSTRUINGENIERIA S.A.C.
Dirección : Calle Lorenzo Astrana N° 275 Urb. San Pablo - San Luis

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:
Marca : KAYE INSTRUMENTS
Modelo : LTR-140
Serie : 51184H
Identificación : NO INDICA
Alcance : -25 °C a 140 °C
División mínima : 0.01 °C
Sensor : PT100
Procedencia : NO INDICA
Ubicación : NO INDICA

3. FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN:
Fecha de Calibración : 2024-03-25
Lugar de Calibración : Laboratorio de Temperatura de CALIBRACIONES S.A.

4. MÉTODO DE CALIBRACIÓN:
- Comparación directa, tomando como referencia la PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales. 2da edición 2012" INACAL-DM.

5. PATRÓN DE CALIBRACIÓN:
- Termómetro Digital con Certificado de Calibración N° LT-258-2019 Trazable al INACAL-DM.

6. RESULTADOS:
6.1 Inspección visual:
- El Instrumento de medición se encuentra en buen estado de conservación.
6.2 Resultado:
- Los datos de los ensayos ejecutados se detallan en la página 2
- La Gráfica de la siguiente página muestra la respuesta del Medio de Medición a fin de facilitar la interpolación de valores.

7. OBSERVACIONES:
- La Incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza aproximado de 95%.
- Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva - CALIBRACIONES S.A.

Los resultados del certificado son válidos para el instrumento calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con norma de producto.

CALIBRACIONES S.A. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.



Este certificado es trazable a patrones nacionales los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Se recomienda al usuario recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado, el mantenimiento, conservación y el tiempo que se utiliza.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto con autorización previa escrita por CALIBRACIONES S.A.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de CALIBRACIONES S.A.

Fecha de Emisión : 2024-03-25

 
Jenifer Chicacosta Guerra
COORDINADORA DE SERVICIO CSA

Sr. Mariano Caranza # 709 - Urb. Sta. Beatriz - Lima 1 471-7534/471-2596 operaciones@calibracionesperu.com

8.3. Consentimiento informado

TÍTULO DE PROYECTO DE TESIS: DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO PERACÉTICO

AUTORES:

- ADRIAN MANUEL CORDOVA MELENDEZ / ORCID: 0009-0008-3290-6057 / DNI: 47296416
- CRISTHOFER RENATO BRIGGES LOAYZA / ORCID: 0009-0005-1059-2331 / DNI: 47705026

PROPUESTA DE EXPERIMENTO:

NIVELES	TEMPERATURA	VOLUMEN	RPM
1	45°C	100 mL	100
2	55°C	150 mL	200
3	65°C	200 mL	300

CANTIDAD DE REACTIVOS A EMPLEAR:

- Ácido acético: 500 mL
- Peróxido de hidrógeno: 500 mL
- Ácido sulfúrico (**1% en peso de toda la masa reactiva**): 10 mL (solo se usarán gotas en cada corrida, como catalizador)

CANTIDAD DE MATERIALES A EMPLEAR:

- Vaso precipitado 250 mL
- Probeta 50 mL (02 unidades)
- Probeta 100 mL (02 unidades)
- Agitador / calentador magnético
- Termómetro
- Soporte universal
- Pinza y nuez de sujeción

ADRIAN MANUEL CORDOVA MELENDEZ



CRISTHOFER RENATO BRIGGES LOAYZA



8.4. Base de datos

n	T (C°)	V (ml)	RPM	C	C promedio
1	45	100	100	0,10000	
2	45	100	100	0,13333	0,12778
3	45	100	100	0,15000	
4	45	150	200	0,10000	
5	45	150	200	0,13333	0,12778
6	45	150	200	0,15000	
7	45	200	300	0,10000	
8	45	200	300	0,13333	0,12778
9	45	200	300	0,15000	
10	55	100	200	0,15000	
11	55	100	200	0,20000	0,18333
12	55	100	200	0,20000	
13	55	150	300	0,15000	
14	55	150	300	0,20000	0,18333
15	55	150	300	0,20000	
16	55	200	100	0,16666	
17	55	200	100	0,20000	0,18889
18	55	200	100	0,20000	
19	65	100	300	0,15000	
20	65	100	300	0,20000	0,16667
21	65	100	300	0,15000	
22	65	150	100	0,16666	
23	65	150	100	0,20000	0,17889
24	65	150	100	0,17000	
25	65	200	200	0,18000	
26	65	200	200	0,20000	0,18778
27	65	200	200	0,18333	