

ENSAMBLE DE UN BANCO DE MEZCLADO ESTÁTICO DE COMBUSTIBLES JET A-1 Y  
BIODIESEL PARA SU USO EN TURBINAS DE AVIACIÓN

GRACE ARIZALA TRIANA

UNIVERSIDAD ECCI  
TECNOLOGIA EN MECANICA AUTOMOTRIZ  
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2023

ENSAMBLE DE UN BANCO DE MEZCLADO ESTÁTICO DE COMBUSTIBLES JET A-1 Y  
BIODIESEL PARA SU USO EN TURBINAS DE AVIACIÓN

GRACE ARIZALA TRIANA

ALBERTH RENNE GONZALEZ CARANTON  
PhD INGENIERÍA QUÍMICA

UNIVERSIDAD ECCI  
TECNOLOGIA EN MECANICA AUTOMOTRIZ  
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2023

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Presidente del Jurado**

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Jurado 1**

**Firma:** \_\_\_\_\_

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Jurado 2**

### **Dedicatoria**

A mi madre, quien siempre creyó en mí, me brindó su apoyo incondicional y me inspiró a alcanzar mis metas. Su amor y sacrificio son la razón por la que hoy estoy aquí.

A mis profesores, cuya sabiduría y paciencia han guiado mi camino académico. Gracias por compartir su conocimiento y por alentarme a explorar nuevas fronteras del aprendizaje.

A todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a este logro, les dedico esta tesis. Este trabajo es un reflejo de la gratitud que siento por cada uno de ustedes. Gracias por ser parte de mi camino hacia el conocimiento y el crecimiento personal.

## **Agradecimientos**

Un agradecimiento de antemano a la universidad ECCI la cual es intermediaria en el desarrollo de mi vida técnica y profesional por aportarme herramientas que me ayuden a futuro en cumplir metas y propósitos en el área laboral, en poder ser ante los ojos de Dios y de la sociedad una persona eficiente, capaces de resolver problemas, contribuir con el progreso de Colombia y ser un digno ejemplo a seguir a nivel global. Al director del proyecto D.Sc. Alberth Renne González, a la institución que compone la Fuerza Aérea Colombiana la cual nos enorgullece cada día y nos llena de amor patrio. A mi familia por su vital esfuerzo, por apoyarme en momentos de adversidad y vulnerabilidad. A cada uno de mis profesores y compañeros que estuvieron ahí cuando más los necesitaba para resolver inquietudes, por su paciencia y comprensión.

## TABLA DE CONTENIDO

Presentación .....	1
Nota de aceptación.....	3
Dedicatoria y agradecimientos.....	4
Tabla de contenido.....	5
Tabla imagenes.....	7
Lista de tablas.....	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	10
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. OBJETIVOS	11
5. ALCANCE	12
6. MARCO TEÓRICO.	13
6.1. Contexto ambiental de biocombustibles	13
6.2. Biodiesel y biocombustibles en aviación.	14
6.3. Proceso de mezclado.	15
6.4. Mezclado estático	15
6.4. Tipos de mezcladores.	17
6.5. Desempeño.	19
6.13. Consideraciones acerca de bancos de mezclado estático.	20
6.14. Selección de materiales.	26
6.15. Diseño del mezclador estático.	28
<b>7. ANTECEDENTES.</b>	<b>30</b>
7.1. Recolección de la información (Normativa y estándares).	33
7.2. Normas ASME utilizadas para el mezclador estático.	35
7.3. Descripción del ensamble.	36
7.4. Etapas de construcción del mezclador.	36
7.5. Ensamble del mezclador.	38
7.6. Ensamble sistema eléctrico.	40
7.7. Etapas para el desarrollo metodológico:	41
7.8. Operación.	42
8.2. Conexiones generales.	45
8.3. Especificaciones técnicas del mezclador	46
Elementos del mezclador:	46

Tabla de mangueras:	48
Tabla de elementos eléctricos.	49
8.4. Consideraciones del Montaje del mezclador estático	51
8.5. Planos del mezclador.	53
8.6. Mantenimiento del Mezclador estático	56
<b>9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b>	<b>58</b>
9.1. Análisis de elementos esenciales en el Banco de Mezclado estático.	58
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
11. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO	60
12. REFERENCIAS.	60

### **Tabla de imágenes**

Figura 1:Patrones de flujo en mezcladores estáticos.....	16
Figura 2: Mezcladores estáticos.....	17
Figura 3: Número J.....	19
Figura 4: Diseño 3D del tubo y brida del mezclador estático.....	27
Figura 5: Mezcladores estáticos en línea disponibles en el mercado.....	28
Figura 6: Modelos CAD Mezcladores Estáticos.....	30
Figura 7: Modelos de mezcladores estáticos comerciales.....	30
Figura 8:Construcción del mezclador estático.....	36
Figura 9: Explosionado línea de presión.....	37
Figura 10:Cableado eléctrico caja on-off.....	38
Figura 11: Diagrama de flujo mezclador estático.....	42
Figura 12:Patrones de flujo en mezcladores estáticos.....	43
Figura 13: Ensamble mezclador estático para combustible Jet A-.....	50
Figura 14: Mezclador estático para combustible.....	51
Figura 15: Bombas de alto caudal.....	52
Figura 16: Líneas de vacío.....	53
Figura 17: Medidor digital.....	54

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1: accesorios y

acoples.....44

Tabla 2:

mangueras.....46

Tabla 3: elementos eléctricos.....47

## **1. INTRODUCCIÓN**

El mezclado estático ofrece una alternativa energéticamente viable para mezclar fluidos similares, ya que su proceso se basa en las propiedades y la velocidad del fluido en condiciones de régimen turbulento. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en la industria petrolera debido a las altas viscosidades de los crudos. Para manejar dichas viscosidades, estos dispositivos cuentan con sistemas de calentamiento térmico, lo que reduce su viscosidad. Aun así, el consumo de energía es menor en comparación con los sistemas convencionales de mezclado que emplean tanques de agitación. En términos de aplicaciones mecánicas a nivel industrial, los dispositivos de mezclado estático presentan oportunidades de uso en pequeña y mediana escala, especialmente en plantas de procesamiento de alimentos y combustibles. Sin embargo, es importante considerar la naturaleza de los fluidos a mezclar y el régimen de operación, así como los posibles efectos de transferencia de calor durante el proceso. Estos factores son clave para asegurar un



funcionamiento eficiente y óptimo de los dispositivos de mezclado estático en estas aplicaciones industriales.

En esta tesis, se llevó a cabo el ensamblaje de un banco de mezclado estático de combustible para la Fuerza Aérea Colombiana. Su propósito principal es ser utilizado en bancos de aviación de la Fuerza Aérea Colombiana, con el objetivo de mezclar dos tipos de combustible para motores de aviación y lograr una mezcla homogénea. El banco de mezclado consistió en un tubo con corrugaciones que alberga elementos estacionarios conocidos como mezcladores estáticos. Estos componentes de mezcla interrumpen el flujo de los fluidos, generando turbulencia y, al mismo tiempo, asegurando uniformidad en las propiedades de la mezcla final. Es importante destacar que los mezcladores estáticos se emplean ampliamente en diversas industrias para lograr una mezcla continua de polímeros, tintes, adhesivos y otros líquidos. Su uso se considera atractivo debido a su bajo mantenimiento y facilidad de instalación.

## **2. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Actualmente la preocupación con las emisiones de carbono ha impulsado el uso de combustibles renovables en procesos de transporte terrestre y aéreo, como estrategia de mitigación de emisiones que permita cumplir los acuerdos de París NDC del año 2016 y las metas de reducción de emisiones de los diferentes países <sup>[1]</sup>. Por otro lado, la cadena productiva de biocombustibles en el caso de Colombia aún no supe las necesidades para sustituir totalmente los combustibles convencionales por biocombustibles, globalmente, es una práctica utilizar combustible de aviación convencional (JET A-1) con combustible sostenible aeronáutico, denominado SAF, por sus siglas en inglés (sustainable aeronautic fuel) <sup>[2]</sup>. En Colombia, el primer ejercicio

experimental, está siendo realizado por la FAC, donde se están evaluando combustibles provenientes de biomasa con mezclas hasta el 50% con JET A-1 <sup>[3]</sup>, para evaluar el comportamiento de los motores. Una de las dificultades de estos bancos, es que no existe un sistema de mezclado actualmente y las mezclas se realizan por diferenciación de volúmenes en tanques, con una agitación muy precaria.

La industria de combustibles convencionales utiliza como práctica el mezclado estático de combustibles, optimizando los procesos en la tubería y reduciendo los costos del mezclado en términos de control y automatización <sup>[4]</sup>, adicionalmente los efectos convectivos del mezclado mecánico en tanques de almacenamiento, ocasiona problemas de formación de vapores causando problemas en las propiedades de transporte y en su almacenamiento.

En la actualidad la fuerza aérea en conjunto con la Universidad ECCI realiza estudios de evaluación térmica y energética de biocombustibles de aviación con combustibles convencionales en motores de aviación tipo turbo jet y turbofán <sup>[5]</sup>. El banco de pruebas no posee un adecuado sistema de mezcla. Al ser realizadas las mezclas manualmente, resulta ineficiente en el banco ya montado de aviación, generando mezclas poco homogéneas. Adicionalmente, este tipo de mezclado no garantiza propiedades de transporte constantes, lo que a su vez genera ruidos experimentales que afectan las mediciones en el motor <sup>[6]</sup>

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La investigación se justifica con el apoyo de técnicos expertos en mecánica automotriz en el campo del montaje en una pequeña planta piloto, ya que las habilidades adquiridas pueden complementar el trabajo de los ingenieros. En este proyecto en particular, el montaje constituyó un elemento clave en el montaje del sistema y su funcionamiento en tiempo real. Actualmente, el

proyecto FAC considera el uso de mezcladores estáticos en bancos aeroespaciales, por lo que este proyecto complementará el proyecto de ingeniería Air Force-ECCI sobre el diseño y montaje de bancos de mezcla estáticos para futuros bancos aeroespaciales dedicados principalmente a experimentos de dinámica de fluidos.

#### **4. OBJETIVOS**

##### 4.1. Objetivo general.

Realizar el ensamblaje del banco de mezclado estático para sistemas de pruebas en motores de aviación en la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

##### 4.2. Objetivos específicos.

Dar a conocer los elementos necesarios para el montaje del banco de mezclado.

Determinar las condiciones del montaje en términos estructurales, así como los elementos auxiliares requeridos.

Diseñar un manual de mantenimiento que sirva de guía paso a paso en el ensamble de la máquina.

#### **5. ALCANCE**

El desarrollo de esta investigación se realiza la construcción de un banco de mezclador estático para combustible jet A-1 y biocombustible, El enfoque principal será evaluar la viabilidad técnica mediante estudios detallados sobre los mezcladores y su características, esto con el fin participar en el ensamble de un mezclador estático para mezclar JET A-1 y Biodiésel auxiliando a los

estudiantes de ingeniería Mecánica en el montaje del Prototipo. También se fundamenta en dejar al usuario un protocolo de uso y mantenimiento simple del sistema, de tal forma que el banco lo pueda operar cualquier profesional que lo requiera en la base aérea.

El proyecto fue principalmente concebido con el propósito de satisfacer las necesidades de la Fuerza Aérea, específicamente en el contexto del combustible Jet A-1. Sin embargo, es importante destacar que su versatilidad se extiende más allá de esta aplicación inicial. Cualquier objeto o vehículo aeroespacial que utilice combustibles con composiciones químicas similares puede beneficiarse de la implementación de esta solución. El enfoque del proyecto se adapta a una amplia gama de aplicaciones aeroespaciales, proporcionando un valor significativo en términos de eficiencia y rendimiento en el manejo de combustibles con características químicas comparables como lo son el Jet A y el Jet B.

## **6. MARCO TEÓRICO.**

### **6.1. Contexto ambiental de biocombustibles**

Los biocombustibles para avión representan una oportunidad significativa para reducir la huella ambiental de la aviación y avanzar hacia un sistema de transporte aéreo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. A medida que la tecnología y la infraestructura sigan evolucionando, se espera que estos biocombustibles desempeñen un papel crucial en la mitigación del impacto climático de la industria de la aviación <sup>[7]</sup>

Los biocombustibles para avión han surgido como una opción prometedora para reducir la huella de carbono de la industria de la aviación y abordar los desafíos relacionados con las emisiones de

gases de efecto invernadero y el cambio climático, este representa varios beneficios a nivel ambiental:

1. Reducción de emisiones de carbono:

Los biocombustibles para avión tienen el potencial de reducir significativamente las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en comparación con los combustibles fósiles convencionales.<sup>[8]</sup>

2. Mitigación de impactos ambientales locales:

Aunque los biocombustibles no están exentos de desafíos ambientales, como el uso de tierras y agua para cultivos, su producción suele tener un menor impacto ambiental local en comparación con los combustibles fósiles. Biocombustibles en la industria aeronáutica <sup>[9]</sup>

3. Fomento de la economía circular:

Los biocombustibles para avión pueden ser producidos a partir de recursos biológicos de manera que podrían ser desechados. Esto promueve la economía circular al convertir residuos agrícolas o aceites materiales en combustibles útiles.<sup>[10]</sup>

## **6.2. Biodiesel y biocombustibles en aviación.**

Origen y Materias Primas: El biodiesel es producido a partir de aceites vegetales o grasas animales a diferencia del diesel renovable que es producido por residuos agrícolas, forestales y algas, mediante procesos como hidrotreatmento y fermentación.

Composición y Propiedades: El biodiesel está compuesto por ésteres (ésteres de ácidos grasos) del ácido graso. Tiene propiedades similares al diésel convencional <sup>[11]</sup>, pero con un perfil de emisiones más limpio, los biocombustibles de Aviación: Tienen composiciones más variadas

dependiendo de la materia prima y el proceso de producción. Se diseñan para cumplir con especificaciones de calidad y rendimiento en motores de avión.<sup>[12]</sup>

Usos y Aplicaciones: El biodiesel: Utilizado en vehículos diésel, camiones y maquinaria pesada, a diferencia del biocombustible de avión que está diseñado para su uso en motores de avión, ya sea en mezclas con combustibles de aviación convencionales o como reemplazo total.

Reducción de Emisiones: Ambos biocombustibles tienen el potencial de reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles convencionales, Los biocombustibles de aviación son especialmente importantes para reducir las emisiones en la industria aérea, ya que es una de las fuentes más significativas de reducción de emisiones de (CO<sub>2</sub>). obtención de biodiesel a partir de diferentes.<sup>[13]</sup>

### **6.3. Proceso de mezclado.**

Los mezcladores estáticos e intercambiadores son dispositivos que permiten mezclar, procesar y acondicionar con precisión líquidos, gases y emulsiones<sup>[14]</sup>, los cuales están completamente equipados a los volúmenes de flujo de proceso deseados con diámetros variables para crear una mezcla homogénea distribuida entre líquidos y/o gases en un proceso continuo<sup>[15]</sup>. Esto hace que los mezcladores estáticos sean de muy bajo mantenimiento y extremadamente seguros desde un punto de vista técnico, este es fácil de limpiar en un ciclo CIP y dependiendo de los requisitos del proceso, el sistema puede tener un acabado totalmente sanitario.

#### **6.4. Mezclado estático**

Un mezclador estático de combustible para aviones es un dispositivo diseñado específicamente para mezclar combustible para aviones con aditivos. Este proceso es crítico en la industria aeronáutica para asegurar que el combustible esté en las condiciones adecuadas para su uso en aviones, con muchas tuberías o elementos estáticos, similares a los de otros mezcladores estáticos.<sup>[16]</sup>

Los elementos estáticos están diseñados para crear turbulencia y mezclar eficientemente los aditivos con el combustible. Los fluidos fluyen a través de una serie de elementos estáticos dispuestos en el interior. La geometría específica de estos elementos estáticos está diseñada para que, cuando el fluido fluya a través de ellos, se produzca una mezcla completa y uniforme debido a la turbulencia y las interacciones moleculares algunas características clave de los mezcladores estáticos:

##### **1. Diseño geométrico específico:**

La mezcla se consigue a través de la geometría interna del mezclador estático. Los mezcladores estáticos suelen tener una serie de elementos o aletas que permiten que los fluidos interactúen a medida que fluyen a través de ellos.<sup>[17]</sup>

##### **2. Sin piezas móviles:**

La principal ventaja de los mezcladores estáticos es que no tienen piezas móviles, lo que los hace más fiables y fáciles de mantener que los mezcladores con piezas mecánicas.

##### **3. Baja pérdida de presión:**

Los mezcladores estáticos generalmente tienen menores pérdidas de presión en comparación con otros métodos de mezcla, lo que los hace energéticamente eficientes.

#### 4. Fácil de instalar:

Son fáciles de instalar en líneas de producción o tuberías y no requieren mucho espacio.

Mezcladores estáticos a medida. (2023). <sup>[18]</sup>

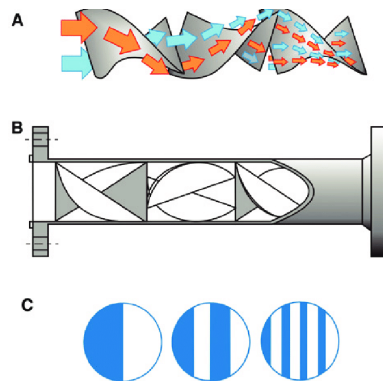


Figura 1. Patrones de flujo en mezcladores estáticos <sup>[19]</sup>

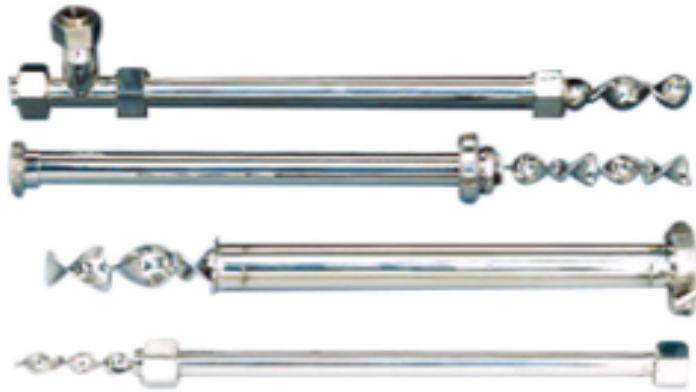
#### 6.4. Tipos de mezcladores.

##### *Mezclador tipo KB*

En cuanto a la fabricación de los tipos de mezclador evaluados, el mezclador tipo KB requiere de procesos de manufactura de mayor complejidad, como conformación volumétrica o incluso manufactura aditiva de metales, mientras que los mezcladores tipo HEV y KB pueden ser fabricados mediante el uso de corte laser y plegado de chapa, procesos típicamente utilizados en la industria nacional.

De acuerdo con lo mencionado los mezcladores estáticos son dispositivos que requieren muy poco mantenimiento, por tal motivo este criterio no se considera relevante para la selección de la alternativa a implementar. Por lo anteriormente descrito se selecciona el mezclador tipo KB como la mejor alternativa de diseño para realizar el proceso de mezclado de JET- A1 y Biodiesel como aditivo.





**Figura 2.** Mezcladores estáticos , extraído de <sup>[20]</sup>

*Mezclador estático de aleación de metal y acero inoxidable:*

En los procesos industriales, la mezcla eficiente de diferentes materiales es esencial para obtener productos de alta calidad. El uso de mezcladores estáticos ha demostrado ser una solución efectiva para lograr una distribución homogénea de los componentes en una mezcla. En particular, la combinación de aleaciones de metal y acero inoxidable en un mezclador estático ofrece numerosas ventajas en términos de calidad, resistencia y durabilidad de los productos finales <sup>[21]</sup>

✓ **Mezclador de elementos estáticos simples:** estos son los mezcladores estáticos más

básicos y constan de elementos o tubos estáticos rectos. La mezcla se logra interrumpiendo y cambiando la dirección del flujo y la difusión en regiones de alta turbulencia.

✓ **Mezcladores de elementos estáticos en espiral:**

Estos mezcladores tienen un elemento en forma de espiral dentro del tubo. La forma en espiral crea turbulencias adicionales y mejora la mezcla.

✓ **Mezcladores de elementos estáticos con deflectores:**

En estos mezcladores, el elemento estático contiene deflectores que dirigen específicamente el flujo para promover una mezcla más eficiente.

✓ **Mezcladores de elementos estáticos de geometría variable:**

Estos mezcladores cuentan con elementos estáticos cuya geometría cambia a lo largo de su longitud. Esto permite un control más preciso de la mezcla y la adaptación a diferentes aplicaciones.

## **6.5. Desempeño.**

En teoría el fluidodinámico del mezclador Koflo Blade <sup>[22]</sup> se constituye como la mejor alternativa para realizar el proceso de mezclado entre Jet-A1 y el Biodiesel como aditivo, con concentraciones de 5%, 10%, 15% y 25%. debido a que este, presenta un Coeficiente de variación de mezclado sumamente pequeño en comparación con los otros tipos de mezclador evaluados, evidenciando que es capaz de alcanzar un alto grado de homogeneización de mezclado. Adicionalmente dicho mezclador también posee la mejor relación en cuestión de Homogeneización de la mezcla y la síntesis de biocombustibles de estos tipos para la aviación o cualquier tipo de mecanismo que pueda utilizar esta clase de fuente energética. <sup>[23]</sup>

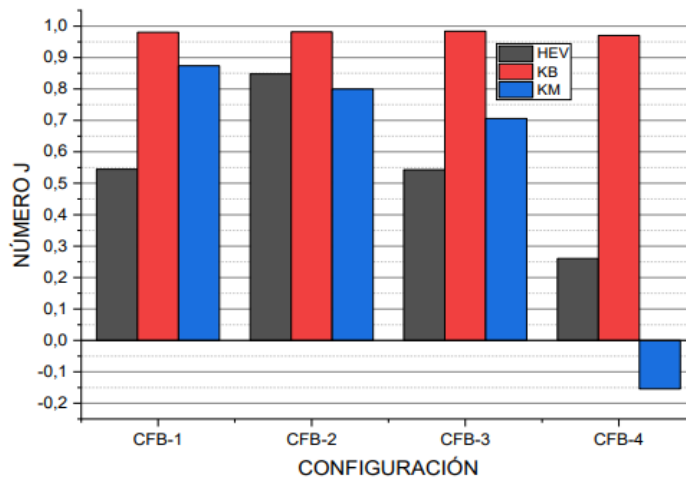


Figura 3. Orellano Lasprilla, J. L. (2023). Número J.Extraído de [23]

En la figura anterior es un análisis creado por Orellano [23] se muestra el desempeño entre tres tipos de mezcladores ( HEV, KB y KM) mostrando que el mezclador tipo KM decae su rendimiento con el aumento de la concentración de Biodiesel en la mezcla hasta alcanzar un valor inferior al obtenido con la tubería vacía, mientras que el mezclador tipo KB posee un desempeño superior al 95% para todas las concentraciones evaluadas.Orellano [23]

### 6.13. Consideraciones acerca de bancos de mezclado estático.

Bancos de pruebas de combustibles líquidos:

Un banco de pruebas de combustible líquido es una instalación especialmente diseñada que se utiliza para realizar pruebas y análisis exhaustivos de combustibles líquidos, como los utilizados en las industrias aeroespacial, automotriz y marina. Estos bancos de pruebas juegan un papel importante en el desarrollo y control de calidad de combustibles líquidos. Los bancos de pruebas de combustible líquido pueden evaluar la calidad y composición del combustible, incluida la verificación de la presencia de impurezas.

Los bancos de pruebas también se utilizan para evaluar el rendimiento del combustible líquido y la compatibilidad con motores y sistemas de combustión específicos. Los bancos de pruebas se utilizan para garantizar que los combustibles líquidos cumplan con las regulaciones y estándares establecidos por autoridades y organizaciones. Industrial, incluidas pruebas de emisiones, seguridad y medioambientales.

Los bancos de pruebas de combustibles líquidos son herramientas importantes para el desarrollo, control de calidad y optimización de los combustibles utilizados en diversas industrias. Estas instalaciones pueden realizar análisis exhaustivos, pruebas de rendimiento y evaluaciones de calidad para garantizar el cumplimiento de las normas y reglamentos y mejorar la eficiencia y el rendimiento de los combustibles líquidos.

Consideraciones de diseño:

Las consideraciones clave de diseño abarcan factores como la selección de la instrumentación, el control del caudal, los sistemas de regulación de la presión y los protocolos de seguridad para garantizar unos resultados de las pruebas precisos y fiables.

Introducción a los mezcladores estáticos:

Los mezcladores estáticos son dispositivos pasivos utilizados para mezclar y homogeneizar combustibles líquidos sin necesidad de partes móviles. Su importancia radica en la mejora de la eficiencia de la combustión y la reducción de las emisiones.

Principio de funcionamiento:

Los mezcladores estáticos funcionan según el principio de inducir turbulencias y mejorar la mezcla a través de la geometría de sus elementos internos, como aspas, deflectores o elementos retorcidos, los mezcladores estáticos para combustibles de aviación funcionan al generar turbulencias y movimientos de flujo en el combustible, lo que permite una mezcla más efectiva con los aditivos presentes. Estos dispositivos son una solución eficiente y confiable para lograr una mezcla homogénea de combustible y aditivos en el sector de la aviación.

La forma y el diseño específicos de los elementos estáticos en el mezclador determinan el grado de turbulencia y mezcla que se logra. La calidad de la mezcla, además, puede depender de factores como la velocidad y la viscosidad del flujo del combustible. Al pasar por el mezclador, el combustible se encuentra con estos elementos estáticos, que provocan una serie de choques y cambios de dirección. Estos cambios generan turbulencias, que favorecen una mezcla más eficiente con los aditivos presentes.

El flujo se divide en dos corrientes separadas por los elementos estáticos, que tienen forma de hélice o espiral. Los elementos estáticos inducen una rotación axial y radial en el flujo, que hace que el combustible y el aditivo se intercambien desde el exterior hacia el interior y viceversa. Cada elemento estático sucesivo invierte la dirección de giro, lo que produce un corte de las capas del fluido y aumenta la turbulencia o la laminación, según el régimen de flujo. Este proceso mejora la homogeneización y la distribución de los componentes del fluido, lo que resulta en una mezcla óptima para los combustibles de aviación.

**Aplicaciones:**

Los mezcladores estáticos encuentran diversas aplicaciones en el procesamiento de combustibles líquidos, incluyendo la mezcla de combustibles para motores de combustión, la producción de emulsiones y la adición de aditivos para combustibles. Los mezcladores estáticos se utilizan en la producción de combustible de aviación para asegurar que los diferentes componentes del combustible se mezclan de manera uniforme y precisa. Breakup of Liquid Sheets and Jets. Sung P. Lin, 2003, D:/Usuario/Downloads/Breakup\_of\_Liquid\_Sheets\_and\_Jets.pdf. Accessed 2023.

Los mezcladores estáticos se pueden utilizar en sistemas de suministro de combustible para garantizar que los diferentes tipos de combustible se mezclen adecuadamente durante el suministro para evitar la contaminación cruzada. Algunos mezcladores estáticos están equipados con sensores de densidad que pueden detectar cualquier cambio en la densidad del combustible. Esto es útil para detectar la presencia de agua o cualquier otro contaminante que pueda afectar la calidad del combustible.

En conclusión estos bancos de pruebas encuentran amplias aplicaciones, incluyendo el análisis de la calidad del combustible, la eficiencia de la combustión, la caracterización de emisiones y el desarrollo de sistemas de inyección de combustible.

#### **Ventajas:**

Las ventajas clave de los mezcladores estáticos incluyen una mayor eficiencia de mezcla, menor consumo de energía, diseño compacto y facilidad de instalación como lo es su geometría y su fácil sistema de transporte, los mezcladores estáticos están diseñados con altos estándares de seguridad en mente. Cumplen con regulaciones y normativas estrictas y son sometidos a pruebas rigurosas para garantizar su fiabilidad y funcionamiento seguro.

El mezclador estático presenta un diseño avanzado para garantizar una mezcla de combustible precisa y uniforme. Esto es vital para mantener la calidad y el rendimiento adecuados del combustible, asegurando un rendimiento óptimo del motor de la aeronave. Los mezcladores estáticos están diseñados para minimizar la pérdida de presión durante el proceso de mezcla. Esto significa que se requiere menos energía para mezclar, lo que resulta en un menor consumo de combustible y, por lo tanto, un funcionamiento más eficiente.

La estructura y funcionamiento del mezclador estático es sencillo, lo que facilita enormemente su mantenimiento. No tienen piezas móviles ni componentes complejos que requieran un mantenimiento costoso o complejo. Los mezcladores estáticos de combustible de aviación están fabricados con materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o polímeros de alta resistencia. Esto garantiza una mayor durabilidad y longevidad del dispositivo. Conectores eléctricos para industrias específicas - Energy5. (2023). recuperado November 19, 2023, de [energy5.com](https://energy5.com)

### *Consideraciones de diseño:*

Las consideraciones de diseño abarcan factores como caudales, caídas de presión de 4 GPM, compatibilidad de materiales y requisitos de temperatura deben estar por debajo de los 50°C para mezcladores estáticos en aplicaciones de combustibles líquidos [24]

El diseño geométrico del mezclador estático es crucial para lograr una mezcla adecuada. Esto implica considerar la forma y el tamaño del mezclador, se debe hacer la relación de flujo y velocidad de los fluidos que ingresan al mezclador es importante para lograr una mezcla eficiente.

Los materiales utilizados para fabricar el mezclador deben ser compatibles con los fluidos y las condiciones de operación. Deben ser resistentes a la corrosión y capaces de soportar las temperaturas y presiones involucradas en el proceso, esto es importante ya que si los materiales no son compatibles el mezclador puede sufrir daños en su estructura.

### *Evaluación del rendimiento:*

El rendimiento de los mezcladores estáticos puede evaluarse mediante diversos métodos, como técnicas de visualización del flujo, simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) y pruebas experimentales [25]

La mezcla de combustible se efectúa en un mezclador estático el cual comprende un tubo de con ocho alternancias semicircular con este mezclador se utilizaron una serie de experimentos para determinar el coeficiente de varianza del biocombustible, la disminución de compuestos orgánicos volátiles (cov) los cuales son contaminantes del aire que cuando se mezclan con óxidos



de nitrógeno reaccionan ocasionando el ozono, los elementos en la mezcla provienen de un efecto no laminar esto quiere decir que el flujo ya no se mueve en láminas paralelas ,este mezclador tiene un gran beneficio ya que su costo es bajo de fabricación y sus reparaciones no son costosas [26]

Los mezcladores estáticos tienen una serie de insertos estáticos estacionarios y rígidos como elementos de mezcla en tubos de transferencia o conductos, este tiene como propósito reducir el flujo en una sola dirección transversal para promover turbulencia y mezclado [27]. Este tipo de mezcladores tiene una gran variedad de procesos para fluidos que se mueven en regímenes laminares y turbulentos. Los mezcladores estáticos suelen tener menos consumo de energía y menor necesidad de mantenimiento esto lo hace un producto bastante asequible este también ofrece un mayor control en la dilatación en los sistemas de alimentación y proporcionan una excelente mezcla y bajas tasas de cizallamiento [28]

Para evaluar un mezclador estático se debe basar en dos criterios el primero sería la calidad de la mezcla, esta se determina por observaciones visuales, colocando un tinte o mezcla y el segundo es la presión de la misma este criterio es hasta ahora insuficientemente comprendido ya que muchos investigadores han dado datos del factor de fricción o patrones de mezclas en documentos de investigación experimental [29]

#### **6.14. Selección de materiales.**

*Propiedades del metal y sus aleaciones:*

Las aleaciones de metal, como el aluminio, el cobre o el hierro, estas aleaciones tienen una mayor resistencia, dureza y capacidad de soportar altas temperaturas. Esto hace que sean ideales para aplicaciones industriales que requieren materiales con características personalizadas.

#### Ventajas del acero inoxidable:

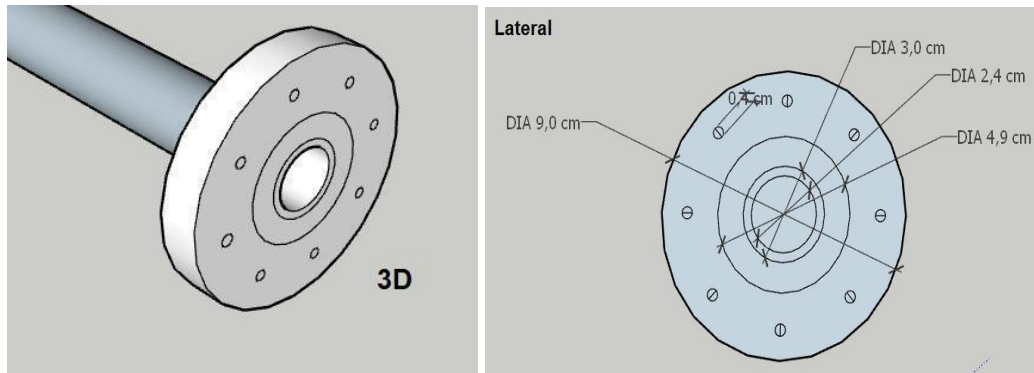
Este es utilizado en sectores alimentarios, química y farmacéutica debido a su capacidad de resistencia a ambientes agresivos y mantener la integridad de los productos. El acero inoxidable también es fácil de limpiar y mantener, lo que garantiza la higiene y la calidad de los productos procesados.

Se deben seguir los siguientes pasos para la selección de materiales en un mezclador estático, Identificar los fluidos a mezclar: Comienza por determinar los tipos de fluidos que se mezclarán en el mezclador estático. Esto incluye conocer sus características físicas y químicas, como la viscosidad, la temperatura, la presión y la compatibilidad química. Identifica los requisitos de resistencia química: Evalúa la resistencia química de los materiales disponibles. Los materiales deben ser compatibles con los fluidos a mezclar y no deben reaccionar ni corroerse con ellos. Optar por materiales de alta calidad: Utiliza materiales de alta calidad que cumplan con los estándares de fabricación y tengan una larga vida útil. Realiza pruebas de laboratorio: Si tienes dudas sobre la elección de materiales, considera realizar pruebas de laboratorio para determinar la compatibilidad y la resistencia de los materiales con los fluidos específicos de tu aplicación. Por último documenta la selección de materiales: Asegúrate de mantener registros detallados de los materiales seleccionados y los motivos de su elección para futuras referencias y para cumplir con los requisitos de documentación.

Al seleccionar un material para la fabricación de mezcladores estáticos, es esencial considerar la naturaleza de los fluidos o materiales que se van a mezclar, las temperaturas y las condiciones de operación, así como las consideraciones de seguridad y normativas específicas de la industria para obtener un buen funcionamiento por parte del mezclador .

#### **6.15. Diseño del mezclador estático.**

El diseño más simple consta de un tubo de inserción rígido presurizado y semicircular que está unido o enlazado a dos acoples de forma hermética y funcionan como soporte del tubo rígido, generalmente transparente para poder visualizar el caudal y flujo de la mezcla, así analizar el comportamiento del líquido que se está conformando por el mezclador. Estos acoples están unidos por una serie de tuercas para fijar la estructura tubular a los componentes del mezclador y no haya ninguna posibilidad que exista alguna fuga. Las conexiones finales con bridas permiten un fácil montaje del mezclador estático en la tubería de proceso. Como norma general, los mezcladores estáticos metálicos tienen bridas de cara levantadas según las normas ASME B16.5 o ASME B16.47 (para tamaños superiores a 24"). Para la construcción de la parte interna del mezclador estático se puede encontrar una estructura de forma helicoidal metálica el cual su propósito es mezclar dos o más líquidos por medio de un proceso de flujo molecular; este elemento de mezclado está protegido por el tubo rígido presurizado el cual se le puede encontrar según su diseño y tipo de uso en un material metálico o un polímero resistente para este tipo de aplicaciones.



**Figura 4.** Diseño 3D del tubo y brida del mezclador estático, fuente propia.

En la Figura 4 se puede ver la brida principal en un plano 3D y la parte lateral del mezclado estático, con el fin de mostrar su diseño. La parte interna del mezclador es la que proporciona la turbulencia y rapidez de mezclado reduciendo costos de mezclado y minimizando el riesgo operativo de formación de mezclas con vapor, al utilizar mezcladores con agitación mecánica, que generan vórtices y condiciones de saturación.



**Figura 5.** Mezcladores estáticos en línea disponibles en el mercado

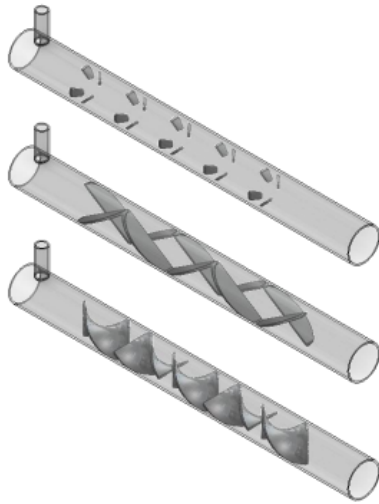
En la figura 5 se observan diferentes configuraciones internas para mezcladores estáticos, el cual tiene una serie de aspas las cuales hacen la mayor función del mezclador. Estos segmentos forman una cadena de elementos dentro de la tubería los cuales garantizan el mezclado de las corrientes de flujo, estos suelen tener un diámetro mínimo de 50 mm, se caracterizan por sus elementos helicoidales.

## 7. ANTECEDENTES.

En cuanto a los antecedentes de este campo de estudio, se han recopilado archivos y evidencias de investigaciones previas que ayudan a complementar este trabajo y perfeccionarlo para futuras generaciones interesadas en esta área. Los trabajos anteriores abarcan desde los inicios de la

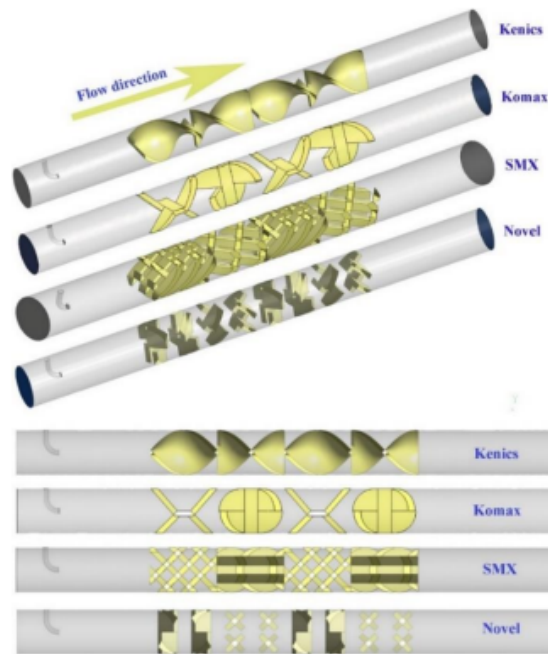
creación de mecanismos y métodos de canalización, la mecánica de los fluidos y la revolución industrial, hasta las tecnologías modernas que se basan en métodos científicos, teóricos y prácticos para hacer más eficiente la labor y permitir estudiar proyectos de manera más profunda.

En 2023, el estudiante graduado de la Universidad ECCI, José Luis Orellano Lasprilla, realizó un análisis computacional de dinámica de fluidos de un mezclador estático para combustible de aviación y biodiesel JET A-1. Este proyecto de tesis fue una parte importante del desarrollo del ensamble ya que observó la eficiencia a través de las curvas de concentración de masa, densidad, velocidad y viscosidad de la mezcla dentro de cada mezclador, muestra la diferencia entre el mezclado convencional y el mezclado estático dando como resultado que el mezclador estático tiene una mayor eficiencia que el mezclado convencional ya que este es carente de partes móviles, es decir, que la mezcla únicamente depende del movimiento de las corrientes del flujo, en la siguiente imagen se muestra diferentes modelos de mezclador realizados en AutoCAD con el fin de mostrar las diferencias entre cada uno de ellos <sup>[23]</sup>. Actualmente el diseño original del mezclador proviene de la tesis de ingeniería titulada diseño de un Banco de Mezclado estático para Combustibles de aviación, donde se concebía la idea original de este ensamble.



**Figura 6.** Modelos CAD Mezcladores Estáticos [23]

En la Universidad de Santander los graduados Owen Javier Rubio García y Andrés Felipe De La Rosa Rodao realizaron un proyecto de Simulación de un mezclador estático horizontal para la dilución de crudo donde recalcan la importancia de un mezclador estático ya que a nivel comercial es importante para evitar sobrecostos de tiempo y dinero en la operación, con el fin de realizar estudios experimentales o simulaciones numéricas, o una combinación de ambos, para probar diferentes geometrías y tamaños de mezcladores buscando aquella que genere los mejores resultados de mezcla.



**Figura 7.** 2020. Modelos de mezcladores estáticos comerciales <sup>[30]</sup>

En la imagen anterior se muestra un estudio comparativo de los resultados de mezcla y el desempeño de tres modelos de mezcladores estáticos comerciales (Kenics, Komax y SMX) con el de un nuevo diseño propuesto por Owen Rubio y Andres De La Rosa. El criterio utilizado para comparar el resultado del nuevo mezclador con los modelos comerciales fue el consumo de energía y la eficiencia de mezclado, estos resultados demostraron que el nuevo diseño de mezclador estático tuvo un mejor desempeño presentando una mejor eficiencia de mezclado <sup>[31]</sup>

METODOLOGÍA.

### 7.1. Recolección de la información (Normativa y estándares).

ASME es una organización estadounidense cuyos estándares tienen alcance global. Muchos países y organizaciones internacionales adoptan y adaptan las normas ASME en sus códigos y normas nacionales. Esto crea un marco coherente para el comercio y la cooperación



internacionales al garantizar que los productos y equipos cumplan con los mismos estándares independientemente de su origen.

En la industria de procesos, la eficiencia y la seguridad son aspectos fundamentales para garantizar la calidad de los productos finales. En este contexto, los mezcladores estáticos juegan un papel crucial al permitir la mezcla precisa y homogénea de diferentes componentes. Para asegurar la confiabilidad y el rendimiento óptimo de estos equipos, se han establecido normas y estándares, como las normas ASME (American Society of Mechanical Engineers). Una de las ventajas clave de adherirse a las normas ASME es que proporcionan criterios claros y específicos para el diseño y construcción de los mezcladores estáticos. Según Smith (2019), estas normas abordan aspectos esenciales, como los materiales utilizados, las dimensiones y tolerancias, las pruebas de presión y las consideraciones de seguridad. Al seguir estos criterios, los fabricantes pueden garantizar la calidad y la integridad estructural de sus mezcladores estáticos. <sup>[32]</sup>

En conclusión, las normas ASME desempeñan un papel importante en la ingeniería moderna ya que proporcionan pautas estrictas que garantizan la seguridad, confiabilidad y eficiencia en aplicaciones industriales. Su enfoque en la colaboración, la seguridad y la calidad infunde confianza en los dispositivos y sistemas diseñados y construidos según estos estándares, estas normas se han convertido en un pilar fundamental de la ingeniería mecánica y han evolucionado constantemente para abordar los desafíos cambiantes de la industria

Las Normas ASME abarcan una amplia gama de áreas de aplicación como lo son:

Los equipos de presión: Las normas ASME para recipientes a presión, como calderas y tanques, garantizan su diseño seguro y su operación confiable.

Tuberías y Piping: Las normas ASME relacionadas con tuberías aseguran la integridad de los sistemas de transporte de fluidos, desde agua potable hasta productos químicos corrosivos.

Códigos para Calderas y Recipientes a Presión: La sección I del Código ASME para Calderas y Recipientes a Presión establece estándares para la fabricación segura de calderas, mientras que la sección VIII se enfoca en recipientes a presión.

## **7.2. Normas ASME utilizadas para el mezclador estático.**

Una de las normas ASME más relevantes para los mezcladores estáticos es la norma ASME BPE (Bioprocessing Equipment). Esta norma tiene como objetivo proporcionar criterios para el diseño, materiales, construcción e instalación de equipos utilizados en la industria bioprocesadora. Según ASME (2021), la norma ASME BPE aborda aspectos cruciales como la selección de materiales, soldadura, superficies de contacto con productos, pruebas y requisitos de documentación. Al cumplir con esta norma, los fabricantes pueden garantizar la calidad y la higiene de los mezcladores estáticos utilizados en aplicaciones bioprocesadoras, en este caso para la mezcla de dos fluidos.<sup>[33]</sup>

Otra norma relevante es la norma ASME B31.3, que se aplica a las tuberías de proceso y se utiliza para dimensionar, calcular y fabricar componentes de mezcladores estáticos.<sup>[34]</sup>, esta norma especifica requisitos de resistencia estructural, pruebas de presión, materiales y juntas utilizados en la construcción de mezcladores estáticos. Cumplir con ASME B31.3 garantiza que el mezclador está diseñado y fabricado con buenos estándares, lo que garantiza que funcione de manera segura y eficiente.<sup>[35]</sup>

### **7.3. Descripción del ensamble.**

En la elaboración de este dispositivo, el objetivo principal fue comprender y aplicar los parámetros establecidos y supervisados por el profesor Alberth Gonzales y los estudiantes de ingeniería. Gracias al valioso aporte de material por parte del profesor, se pudo ensamblar el banco de mezclado, asegurándose de verificar las uniones de las piezas y reforzando cada junta para garantizar su óptimo funcionamiento. Para comprender el funcionamiento del dispositivo y asegurar de llevar a cabo un proceso de ensamblaje sin errores, se utilizan los planos proporcionados, en los cuales se basa parte del documento que fundamenta la parte del diseño. Después de haber comprendido el estudio del proyecto, se realiza una reunión en el laboratorio de la universidad, en el área destinada a la construcción. Una vez se mandaron a hacer las piezas en las fábricas encargadas de basadas en el diseño elaborado por los encargados de la dirección del proyecto, se verificó el ensamble ideal de cada pieza utilizando el diseño computacional. En aquellos casos en que no se encontraban piezas a nivel nacional, se importaron las piezas correspondientes y se anexaron al dispositivo de mezclado. Una vez se trajeron en su gran mayoría las piezas, se comienza el proceso de ensamble según lo planeado. Se comienza uniendo las piezas de los conductos donde se encuentran ubicados los medidores de flujo y presión, reforzando las juntas como correspondía. Se continua con la ubicación en el banco donde van sostenidos, se completa la parte eléctrica que proporciona fuente de energía a las bombas de líquido y, finalmente, se realiza la finalización del ensamblaje de las láminas y la estructura que soporta todo el dispositivo de mezcla.

### **7.4. Etapas de construcción del mezclador.**

La construcción de un ensamble de un mezclador estático para combustible de aviación sigue un proceso específico que garantiza su funcionamiento óptimo y la seguridad en su uso. A continuación, se describe la construcción de este ensamble paso a paso:

**Diseño de ensamblaje:** El diseño de ensamblaje del mezclador estático de combustible de aviación debe seleccionar primero materiales adecuados que sean resistentes a la corrosión y puedan soportar altas temperaturas y presiones.

**Preparación de componentes:** Los componentes de ensamblaje, como placas o elementos de mezcla estática, se fabrican mediante técnicas de conformado y mecanizado de precisión. debe asegurarse de que cada componente cumpla con las tolerancias y especificaciones requeridas para su correcto funcionamiento.

**Ensamblaje de los componentes:** Los componentes del ensamble se unen de acuerdo con el diseño establecido. Esto puede implicar la fijación de las placas o elementos de mezcla estática dentro de una carcasa o tubería utilizando soldadura, abrazaderas o adhesivos especiales.



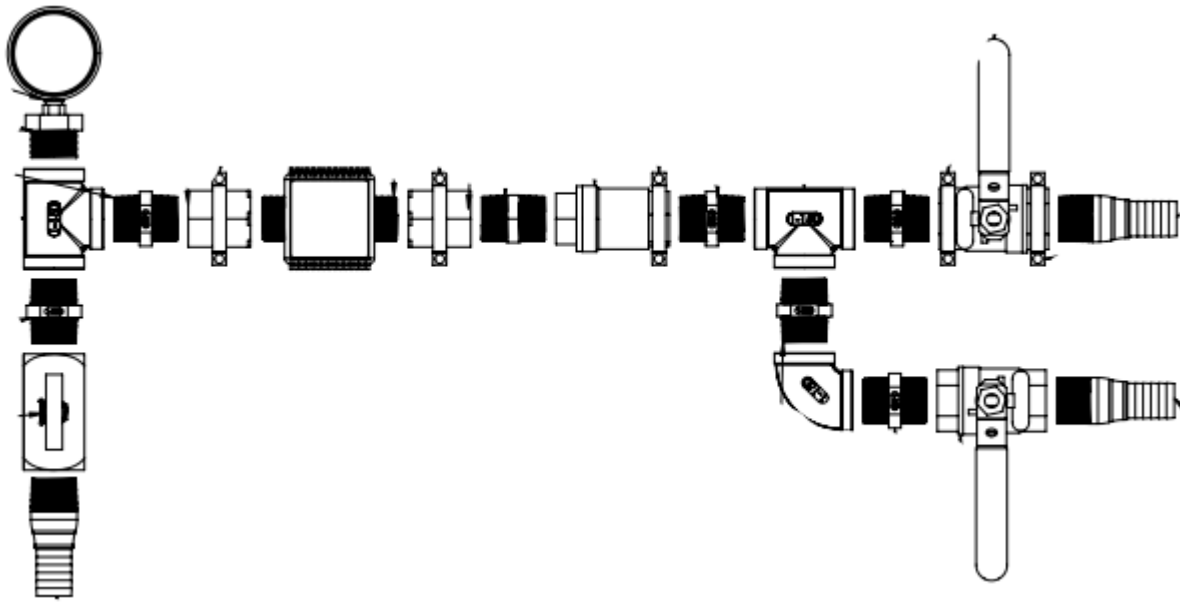
**Figura 8.** Construcción del mezclador estático, Fuente Propia.

Una vez que el ensamble del mezclador estático está terminado en la universidad ECCI se traslada a la fuerza aérea con el fin de empezar a realizar pruebas, estas pruebas pueden incluir pruebas de fugas, pruebas de resistencia a la presión y pruebas de funcionamiento en condiciones simuladas.

### **7.5. Ensamble del mezclador.**

A continuación, se presenta un despiece de un mezclador estático para combustibles de aviación.

Este despiece muestra los componentes principales que conforman el ensamble del mezclador:



**Figura 9:** Mariaga H y Porras M (2023). Explosionado línea de presión.

*Preparación de los componentes:* para el ensamble de esta línea de presión se reúnen todos los elementos necesarios, como las tuberías de alta presión, las válvulas de control y los accesorios de conexión.

*Conexión del mezclador:* Primero se conecta la línea de presión al punto de salida de combustible del mezclador, usando una junta o sello adecuado para asegurar una conexión hermética.

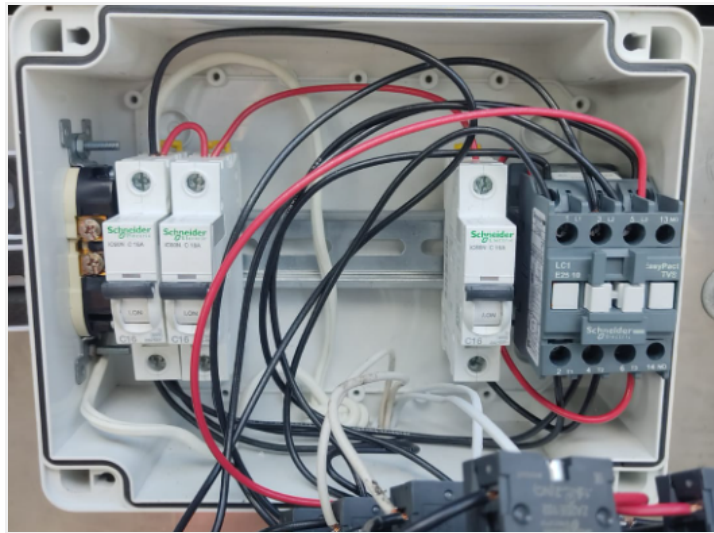
*Conexión de válvula:* luego de conectar la línea de presión se debe instalar la válvula de control en la tubería, está se instala de acuerdo con el diseño del sistema. Antes de conectar la válvula a la línea de presión, asegúrese de que la válvula esté en la posición correcta.

Es fundamental seguir las instrucciones y los procedimientos específicos proporcionados en el manual de mantenimiento del mezclador estático para garantizar un ensamblaje adecuado y seguro. Además, es crucial cumplir con las regulaciones y estándares de seguridad aplicables.

## 7.6. Ensamble sistema eléctrico.

El ensamblaje del sistema eléctrico en un mezclador estático para combustible de aviación implica los siguientes pasos:

1. En primera instancia se reúnen todos los elementos necesarios para el sistema eléctrico, como los cables, conectores, pulsadores, botones y rieles eléctricos, se debe verificar que todos los componentes estén en buen estado y cumplan con las especificaciones técnicas necesarias.
2. luego se debe determinar la ubicación y el recorrido óptimo de los cables dentro de la caja, se debe tener en cuenta la seguridad y la eficiencia del cableado. Considerar también las distancias, las necesidades de protección y aislamiento.
3. Se deben conectar los cables al interruptor principal del sistema eléctrico, conecta el cable de alimentación principal del mezclador estático a la fuente de alimentación eléctrica.



**Figura 10.** cableado eléctrico caja on-off. Fuente Propia

### **7.7. Etapas para el desarrollo metodológico:**

Análisis de elementos esenciales en el Banco de Mezclado estático como lo son los planos realizados a computador para su debido ensamble.

Especificaciones de los materiales, así se asegura que los materiales soporten el fluido y sus composiciones.

Paso a paso del despiece y ensamble de cada uno de los componentes, para esto se revisan los planos del ensamble al mismo tiempo que se ensambla con el fin de asegurar una correcta unión de las piezas.

Pruebas de fugas con aire por línea de cada circuito, esto se hace con el fin de revisar que la máquina no tenga fugas por donde se puede salir el fluido.



Prueba del sistema con combustibles líquidos, se realiza con el propósito de evaluar la eficiencia de este dispositivo en la mezcla de diferentes componentes o fluidos, estas pruebas son importantes por varias razones:

**Homogeneidad de la mezcla:** La prueba de fluidos permite determinar si el mezclador estático logra una distribución uniforme de los componentes en el fluido.

**Reducción de Residuos:** Un buen mezclador estático puede minimizar la formación de residuos o áreas de concentración en el fluido.

**Ahorro de Costos:** Un mezclador estático que funcione eficazmente puede ayudar a reducir costos operativos al minimizar pérdidas de materia prima y asegurar una calidad consistente del producto.

**Investigación y Desarrollo:** En el campo de la investigación y desarrollo, las pruebas de fluidos en mezcladores estáticos son esenciales para evaluar nuevas tecnologías y procesos de mezcla antes de su implementación a gran escala.

**Medición de parámetros de flujo y presión en los sensores.** Los sensores de flujo y presión desempeñan un papel crucial en la recolección de datos y el control de procesos, como lo son la eficiencia energética, la detección de pérdidas o fugas, y la detección de fallas, como lo puede ser la caída de presión dentro del sistema. Diseño de un mezclador estático que permitirá producir una mezcla de combustibles en el aire. Zecua Lechuga Pedro Dante, 2016, <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10984/ultima%20version-tesis-enrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Accessed 2023).

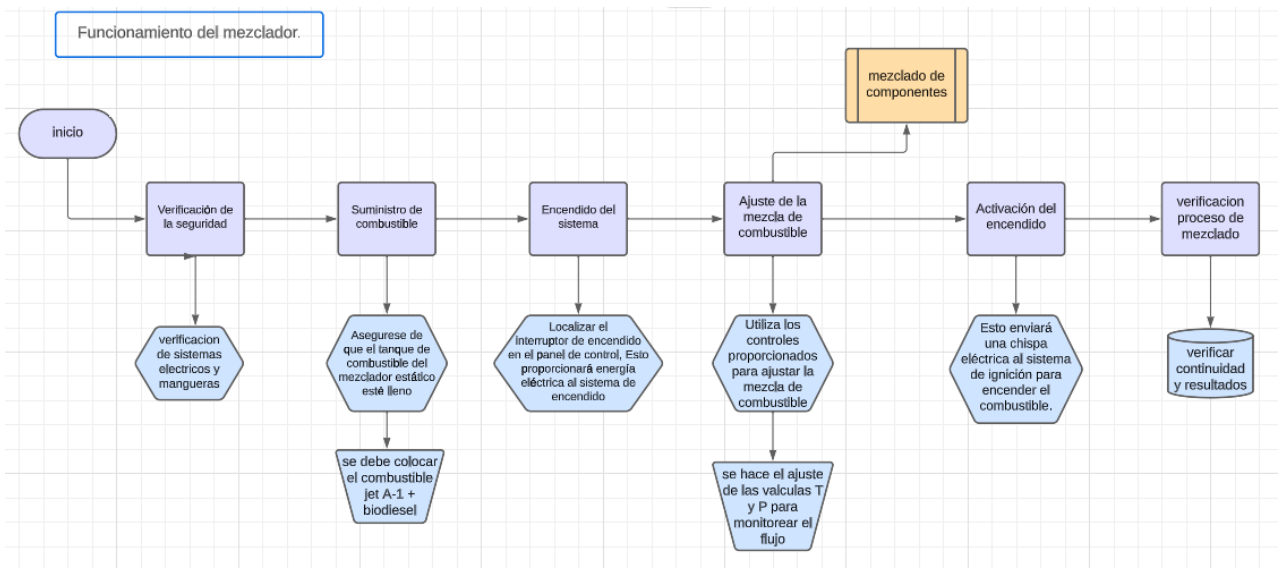
## **7.8. Operación.**

Los elementos de mezcla helicoidal dirigen radialmente el flujo hacia las paredes del conducto. Se logra una completa mezcla eliminando gradientes radiales de temperatura, velocidad y composición. La geometría de las pestañas convierte eficientemente la energía turbulenta en una mezcla uniforme. Esto asegura un flujo uniforme controlado por los elementos de la mezcla a través de las estructuras de vórtice. Un mezclador estático consiste en elementos estáticos dentro de un conducto. El fluido se introduce en el mezclador a través de una entrada específica, creando turbulencia que promueve la interacción molecular. Al pasar por los elementos estáticos, los fluidos se mezclan completamente, eliminando gradientes radiales de temperatura y velocidad. La mezcla resultante sale por la salida. Los mezcladores presentan varias ventajas clave en su funcionamiento.

Eficiencia: Mezclado uniforme y de alta calidad sin partes móviles, reduciendo el desgaste y el mantenimiento. Bajo consumo energético: Requiere menos energía que una batidora con batidor o hélice. Funcionamiento continuo: Puede funcionar de forma continua sin problemas.

## **8. RESULTADOS:**

### **8.1. Funcionamiento del mezclador estático:**

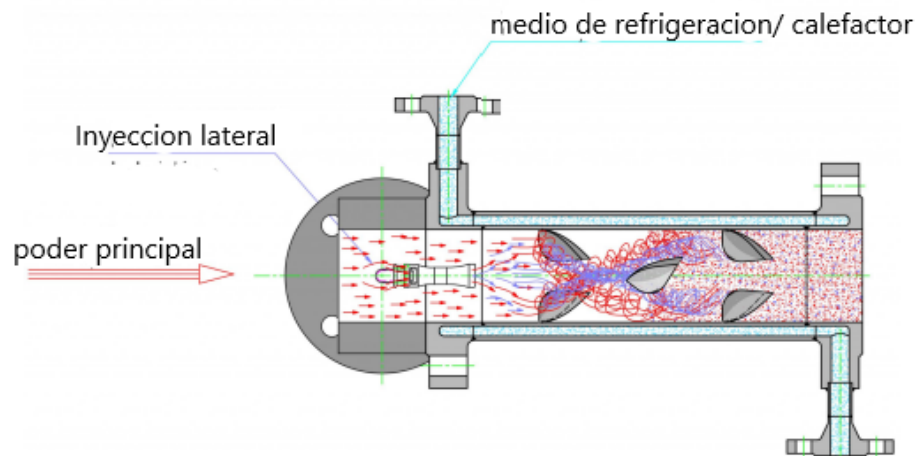


**Figura 11.** Arizala, G.A (2023). *diagrama de flujo mezclador estático* [editor]. Fuente Propia

El mezclado estático se fundamenta en el movimiento natural de los fluidos y su mezclado por fenómenos relacionados con transferencia de cantidad de movimiento [31], en virtud de las velocidades de los fluidos al ser sometidos al contacto con una obstrucción física, lo que fuerza a los fluidos a intercambiar energía en forma de difusión y cantidad de momento. Estos dispositivos consisten en una serie de elementos internos, como láminas, deflectores y anillos, que se encargan de mezclar los materiales al pasar por el equipo, están fabricados con aleaciones de metal y acero inoxidable, garantizando su resistencia y durabilidad. Al pasar por el mezclador estático, los fluidos se mezclan de manera eficiente y homogénea, esto asegura la mezcla uniforme final resultante.

Los mezcladores estáticos pueden ser diseñados a partir de una amplia gama de aceros, grados y aleaciones. Las aleaciones metálicas, como el acero inoxidable, destacan por su impresionante resistencia a la corrosión y su capacidad para soportar entornos de procesamiento extremadamente exigentes. Dado que cada proceso es único en su aplicación, no se recomiendan

materiales de construcción específicos, sino que se permite que el cliente seleccione los materiales con los que se fabricará el mezclador. Por lo general, estos mezcladores se fabrican siguiendo normativas como ASME B31.3, ASME B31.4, ASME B31.1 y ASME Sección VIII DIV 1, aunque también se pueden adaptar a requisitos específicos de proyectos. La cantidad óptima de elementos de mezcla se determina en función del resultado deseado para la aplicación de mezcla, teniendo en cuenta factores como el tipo de fluido, la aplicación y el proceso, y se calcula utilizando la longitud de la mezcla [27]



**Figura 12:** Patrones de flujo en mezcladores estáticos [36]

## 8.2. Conexiones generales.

Las conexiones con bridas permiten el fácil montaje del mezclador. Los mezcladores tienen bridas de cara elevada según la norma ASME 16.5, con tamaños menores a 24 pulgadas; estos también cuentan con unos extremos roscados NTP macho y hembra. Además, cuentan con un puerto de inyección, el cual permite que una corriente de aditivo se inyecte directamente en el mezclador estático. Luego, tenemos los elementos de mezcla extraíbles; estos están disponibles

para la limpieza y eliminación de desechos. Por último, tenemos el enderezador de flujo, el cual se utiliza en todos los mezcladores con el fin de eliminar los movimientos centrífugos.

### 8.3. Especificaciones técnicas del mezclador


#### *Materiales de construcción*

Para la construcción de un mezclador estático destinado al manejo de combustible de aviación, se requieren materiales que cumplan con altos estándares de seguridad, resistencia a la corrosión y compatibilidad con los combustibles utilizados en la industria aeronáutica. Este tipo de mezclador se realiza por lo general en acero inoxidable este conocido por su resistencia a la corrosión y su durabilidad, El acero inoxidable de grado adecuado puede ser una opción sólida para resistir los efectos del combustible de aviación y las condiciones de operación.

#### *Elementos del mezclador:*

La mesa de mezcla estática de combustible de aviación es una estructura especialmente diseñada para mezclar de manera precisa y efectiva diferentes aditivos con combustible de la industria de la aviación. La estructura de la mesa de mezcla consta de varios componentes básicos para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Estos componentes incluyen:

#### *Tabla de accesorios y acoples.*

ITEM	Descripción del elemento	Cantidad	Elemento	Proveedor
Tee acero inox. 1"	Unión fabricada en acero inoxidable, clase 150, con conexión roscada NPT según ANSI/ASME B1.20.1	1 ud		Ferreoriente
	Fabricada en acero inoxidable AISI 304 con presión de 0-150			









Bushing Inox 150l 1 X 1/4	psi (0-10 bar), conexión rosca tipo NPT y normativa ASTM A351 / MSS-SP 114	1 ud		Ferreoriente
Bushing Inox 150l 1 X 1/2	Fabricado en acero inoxidable AISI 304 con presión de 0-150 psi (0-10 bar) Rosca tipo NPT y normativa ASTM A351 / MSS-SP 114	1 ud		Ferreoriente
Valvula Bola Inox P/f 1.000l 1" If	Fabricado en acero inoxidable, rosca npt presión de 600 PSI, con normativa UL/FM	2 uds		Ferreoriente
Codo Inox 150l R 1" If	Codos en acero inoxidable / R 1,5 Y 90° de normativas AISI-304 y AISI-316.	1 ud		Ferreoriente
Codo Inox 150l R 1.1/2"	Codos en acero inoxidable / R 1,5 Y 90° de normativas AISI-304 y AISI-316.	2 uds		Ferreoriente
Tapon Macho Inox 150l R 1.1/2" If	Fabricado en acero inoxidable AISI 304L con presión de 3000 PSI, Rosca tipo NPT, con normativa B16.11 / ASTM A182 F304 / 304L	1 ud		Ferreoriente
Empaque Flexitalico 150l 1.1/2" If	Fabricado en acero inoxidable AISI 304 y Grafito con presión de 600 PSI con normativa ASME B16.20 / ASME B16.5	3 uds		Ferreoriente
Cheque Pd Inox 200l Roscado 1" If	Fabricado en acero inoxidable, con rosca NPT, su temperatura máxima es de 150° y una presión máxima de 800w	1 ud		Ferreoriente

Tabla de mangueras:





ITEM	Descripción del	Cantidad	Elemento	Proveedor
Manguera U-SDH-1	Manguera para transferencia de hidrocarburos y combustibles fabricada con compuesto NBR con refuerzo de nylon y espiral de acero, presión 300 psi, capacidad de vacío 30 hg	15 metros		Unirubber mr
Manguera U-DH-1	Manguera para descarga de hidrocarburos y combustible. Está fabricada en compuesto NBR con refuerzos en nylon.	15 Metros		Unirubber mr
Acoples machos rosca NPT de 1"	Acople fabricado en acero con roscas Macho o Hembra tipo NPT para usos en diversas aplicaciones industriales y agrícolas.	18 uds.		Tuvalrep
Medidor de flujo PRO-K24	<p>Entrada y salida: 1 "</p> <p>Precisión: ± 1%</p> <p>Repetibilidad: ± 0.5%</p> <p>Presión máxima: 20 BAR</p> <p>Voltaje: 2.3-3.3V</p> <p>Tiempo en espera: 2 años</p> <p>Rango de flujo: 10-120 L / MIN</p> <p>Acumulación única: 0.00-9999.9</p> <p>Acumulación total: 0.00-999999.9</p> <p>Unidad: L, GAL, PTS, QTS</p> <p>Zero set: RESET.</p> <p>Fuente de alimentación: 2 x pilas AAA.</p>	1 ud		Vbestlife

Lam inox T304 2B CAL14 (1,9MM) 4X8,  
Forjado entre 1150° –  
1250°C 1



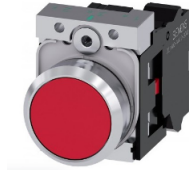

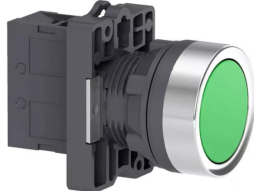





Tisco

*Tabla de elementos eléctricos.*

Item	Descripción del elemento	cantidad	elemento	proveedor
Caja de paso eléctrica 15x15 para interior	Fabricado en ABS + PC, certificado por IEC 61084-2-1, UL 94 HB, modelo DXN500DG.	1 Und		Schneider electric
Riel electrico din	Fabricado en metal galvanizado, ancho 3,5cm, peso 0,095 kg	1 Und		Internacional de electricos
Cable rojo calibre 14	Cable conductor de cobre suave con aislamiento de policloruro, ofrece gran resistencia al calor, tensión máxima de 600v, temperatura máxima de 90°C.	5 m		Promelsa
Cable negro calibre 14	Cable conductor de cobre suave con aislamiento de policloruro, ofrece gran resistencia al calor,, tensión máxima de 600v, temperatura máxima de 90°C.	5 m		Promelsa



Cable verde calibre 14	Cable conductor de cobre suave con aislamiento de policloruro, ofrece gran resistencia al calor, humedad,, tensión máxima de 600v, temperatura máxima de 90°C.	5m		Promelsa
Cable duplex calibre 10	Resistencia Eléctrica DC a 20°C 3.44 Ohm/km, Temperatura Máxima de Operación de Nominal: 75°C	10m		cablexcol
Pulsador nc rojo para 120v sin piloto	perforaciones estándar de 22mm de diámetro y se conecta mediante un bloque de contactos NC con sistema de conexión por tornillo y abrazadera	1 und		Schneider
Botón parada de emergencia	Modelo: XB2-BS542 Contactos: 1NC Nivel de protección: IP40 Corriente: 10A Voltaje: 240V Dimensión: 22mm	1 und		Schneider
Pulsador na verde para 120v sin piloto	Estructura metálica, Diseñado para adaptarse a perforaciones estándar de 22 mm, Las terminales de conexión de sujeción de tornillo garantizan una alta resistencia a las vibraciones	1 und		Schneider
Piloto lumínico verde 120v	se le suministra 110V a 120V, utiliza un LED integral, este cuenta con una cubierta metálica, Este es resistente al impacto, al polvo, al agua y a las vibraciones gracias a sus interfaces IP66 y IP67.	3 unds		Schneider

Breaker para riel de 1 x 16	Este cuenta con una sensibilidad 300mA, su capacidad de corte es de hasta 6 kA a 230/400 V AC y en corrientes nominales es hasta 63A, El contacto auxiliar de ajuste inferior se puede montar en el S200 para ahorrar un 50% de espacio.	3 unds		Schneider
Contactor de 25 amp a 110v	Este cuenta con 3 Polos, está diseñado para aplicaciones de motor, Tiene una bobina de 110V AC 50/60Hz y corriente nominal de 25A, 2 contactos auxiliares 1NA y 1NC	1 und		Schneider
Selector dos posiciones on/off para 120v	Este cuenta con terminales de fijación por tornillo, <math>\leq 2 \times 1.5 \text{ mm}^2</math> con terminal acorde a IEC 60947-1, cuenta con 2 posiciones de 90°, tensión de alimentación nominal de 110 a 120 V AC en 50/60 Hz	3 unds		Schneider

#### 8.4. Consideraciones del Montaje del mezclador estático

El montaje de un mezclador estático se refiere a la configuración e instalación de este dispositivo en un sistema de tuberías o conductos para mezclar fluidos de manera efectiva. Este proceso incluye varios pasos clave.

En primera instancia, está la selección del mezclador estático. Se debe escoger el tipo adecuado para la aplicación, como un mezclador para combustible de aviación. Luego, se diseña el sistema, creando las tuberías o conductos donde se instalará el mezclador estático. Esto implica determinar la ubicación del mezclador en el sistema, la disposición de las tuberías de entrada y salida, así como la elección de materiales compatibles con los fluidos

.Luego, se llevan a cabo pruebas y ajustes. Antes de poner en funcionamiento el sistema, se deben verificar las conexiones, asegurándose de que estén bien ajustadas, se le pone cinta teflon con el fin de que las piezas queden bien justas. También es posible realizar pruebas de presión y flujo para verificar que el mezclador esté funcionando correctamente. Si es necesario, se pueden hacer ajustes en la configuración del mezclador o en el sistema en general.



**Figura 13.** *Ensamble mezclador estático para combustible Jet A-1, Fuente propia*

Por último, una vez que el montaje se ha completado con éxito y se han realizado las pruebas necesarias, el sistema se pone en funcionamiento para realizar la mezcla de fluidos de acuerdo con las necesidades de la aplicación. (Arizala Triana, Grace, editor. *Montaje mezclador*. 2023).



**Figura 14.** Mezclador estático para combustible Jet A-1, Fuente propia

### **8.5. Planos del mezclador.**

En el manual de mantenimiento, se encontrará la base del mezclador por la cara superior y trasera con sus debidos nombres. Por la parte posterior, se encuentra el mezclador de combustible con geometría intercambiable. La generación de la malla se inicia de forma independiente de la geometría en sí, y los elementos son cubos rectangulares que pueden interceptar arbitrariamente el límite entre sólido y líquido.

El sistema de sujeción de accesorios ajustables, estos van sujetos a la pared y tienen como función sujetar la manguera por la que va a pasar la mezcla. Luego, en la parte inferior trasera, se encuentra una bomba de alto caudal con certificado para combustible. Estas son adecuadas para aplicaciones en procesos industriales y cualquier aplicación que requiera el manejo de agua en alto volumen, como lo son las mezcladoras de combustible.



**Figura 15.** Bombas de alto caudal, Fuente propia

El sistema de calefacción y enfriamiento son los que mantienen el motor a una temperatura estable. Contará con un sistema modular, el cual nos permitirá hacer un espacio donde se colocará la bomba. Esta tendrá una potencia de 115 voltios con el cual se distribuye el líquido para la mezcla.

En la parte posterior de la base, se encuentra el sistema de control eléctrico individual con auxiliar de 15 amperios, el cual genera corriente que se distribuye por el circuito eléctrico. En la orilla superior derecha, se encuentra la entrada auxiliar para la mezcla, donde se coloca el combustible que pasa por la manguera de transferencia de combustible. En la parte izquierda, se encuentra la instrumentación y el control de combustible para mezcla. En la parte inferior, se encuentra la instrumentación para el sistema de vacío, el cual funciona succionando el aire y retirándose de la tubería, con el fin de promover el flujo y evitar acumulación de fluidos.

Posteriormente se muestra un cheque vertical de acero inoxidable con un diámetro de 1 pulgada. Luego, encontramos un niple tuerca inoxidable de 1 pulgada, el cual tiene una tuerca hexagonal en el centro que permite apretarlo y aflojarlo fácilmente en cualquier aplicación para la que sea requerida.

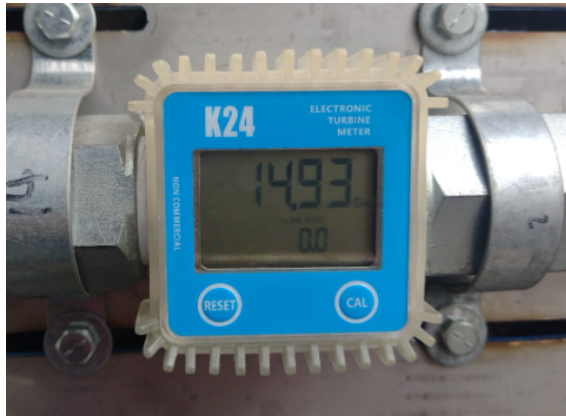
Continuando, hay un tee de tuerca de acero inoxidable, el cual es una pieza de ajuste para pernos en acero de 1 pulgada. Después, vemos un manómetro de 2 ½ pulgadas, cuya función es medir la presión contenida en el tubo del mezclador.

Posteriormente, se observa una válvula aguja hembra-hembra, diseñada con el fin de controlar el flujo de líquido disminuyendo gradualmente hasta apagarse. También, se encuentra un adaptador H-H1 NPT, que sirve para unir las conexiones de los tubos.



**Figura 16.** Líneas de vacío, Fuente propia

El medidor digital de flujo diésel K24-A ha sido diseñado para monitorear el flujo de fluidos de baja viscosidad y se conecta mediante un par de abrazaderas a lado y lado del sistema. Finalmente, el sistema está equipado con un codo de acero inoxidable que sostiene un par de válvulas de bola, las cuales controlan el paso del líquido al abrir o cerrar el flujo. (ArizalaTriana, Grace. planos del mezclador. 2023)



**Figura 17.** Medidor digital, Fuente propia

### **8.6. Mantenimiento del Mezclador estático**

El mezclador fijo de tipo Koflo Blade, que se enfoca en el mezclado de dos tipos de fluidos: combustible Jet A-1 y biocombustibles para aviación, y está diseñado para trabajar con dos tipos de motores específicos. La turbulencia generada por el mezclador es óptima para homogeneizar la mezcla y evitar la aglomeración de partículas, así como el flujo no deseado laminar. En comparación con otros tipos de mezcladores, el mezclador de tipo Koflo Blade presenta tanto ventajas como desventajas. Por ejemplo, otros mezcladores pueden tener la capacidad de variar el ángulo de los álabes para regular el flujo dinámico de la mezcla y su composición química, ya que la mezcla varía según su presión, velocidad y el promedio de su simetría tetraédrica. Sin embargo, para este caso, el mezclador Koflo Blade es eficiente en la homogeneización de la mezcla y trabaja en condiciones bajas de funcionamiento, lo cual lo hace ideal para las condiciones previstas en el proyecto y evita análisis extendidos del fluido dinámico alterado por otras variables de mezcla que se alejan de una mezcla perfecta. (Koflo Corporation. “Static Mixer

- Static Inline Mixers - Motionless Mixer.” *Koflo Corporation*, 2023, <https://www.koflo.com/static-mixers.html>. Accessed 24 October 2023).

La limpieza regular de los equipos relacionados con el suministro de combustible en la industria de la aviación es crucial para garantizar su eficiencia y seguridad, Normalmente dos alojamientos de mezclador estático están conectados al adaptador del mezclador estático en la manguera integradora a continuación se mostrarán una serie de pasos a seguir para la limpieza del mezclador estático:

- ✓ Asegúrese de que el mezclador esté apagado y desconectado de la fuente de energía antes de comenzar cualquier tarea de mantenimiento.
- ✓ Se debe inspeccionar visualmente el mezclador para detectar cualquier signo de daño o desgaste. Si encuentra alguna pieza rota o en mal estado, es necesario reemplazarla antes de continuar con el mantenimiento.
- ✓ Comienza limpiando las superficies exteriores del mezclador con un trapo limpio y agrega un solo combustible a la máquina para realizar la limpieza interna. Esto ayudará a eliminar cualquier residuo de combustible y evitará la acumulación de suciedad.
- ✓ Luego, retira las tapas o cubiertas protectoras del mezclador. Esto puede requerir el uso de llaves adecuadas según el diseño del mezclador.



- ✓ Por último se realiza la verificación final de todas las conexiones y asegurándose de que estén firmes y seguras. verificar que no haya fugas de combustible en ninguna parte del mezclador.

## **9. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

### **9.1. Análisis de elementos esenciales en el Banco de Mezclado estático.**

En un banco de mezclado estático consta de varios mezcladores estáticos conectados en serie o en paralelo, los elementos esenciales se combinan para lograr una mezcla eficiente y homogénea de fluidos:

El mezclador estático es el componente principal de la estación de mezclado estático. Estos dispositivos están diseñados con geometrías específicas como canales, deflectores y elementos de mezcla que dirigen y modifican el flujo de fluido para lograr una mezcla adecuada sin necesidad de piezas móviles. El mezclador estático de combustible de aviación demuestra que el dispositivo es eficiente en la mezcla de combustible. Al dispensar, el mezclador estático en el banco debe estar conectado correctamente para permitir un flujo de entrada y salida adecuado.

- ✓ Se recomiendan pruebas adicionales para evaluar la capacidad del mezclador estático en condiciones de flujo variable y a lo largo del tiempo para garantizar que continúe produciendo combustible de aviación de alta calidad.
- ✓ El mezclador estático para combustible de avión Jet A-1 es una manera viable de que la Fuerza aérea no dependa de otros para el combustible, de esta manera ellos podrán

realizar su propio combustible contando con una máquina totalmente funcional y a su entera disposición.

## **10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En conclusión, el estudio y desarrollo de un mezclador estático para aplicaciones en la industria aeronáutica representa un avance significativo en la búsqueda de soluciones eficientes y seguras para el control de combustión en motores de aeronaves. A lo largo de esta investigación, se han examinado en detalle los principios de funcionamiento, diseño mezclador estático, evaluando su viabilidad y ventajas en comparación con otras tecnologías de mezcla.

Es importante destacar que, si bien el mezclador estático ofrece beneficios significativos, su implementación exitosa en aplicaciones aeronáuticas requiere un enfoque interdisciplinario que involucre la colaboración entre ingenieros mecánicos, aerodinámicos y químicos. Además, la validación experimental y las pruebas en condiciones realistas son esenciales para garantizar su funcionamiento confiable y seguro en entornos de vuelo.

Los resultados muestran que un mezclador estático puede ofrecer una mejora sustancial en la eficiencia de la combustión y la estabilidad de la llama, lo que se traduce en un rendimiento superior del motor y una reducción en las emisiones contaminantes. Además, se ha destacado la importancia de considerar factores como la geometría del mezclador, la distribución de flujo y las condiciones operativas para optimizar su funcionamiento.

## 11. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

En el plan de mejorar se propone ajustar la geometría interna del mezclador estático para lograr una mayor eficiencia en la mezcla, modificando el tamaño para promover una mayor turbulencia.

Integrar sensores de presión y flujo para monitorear y registrar en tiempo real las condiciones de funcionamiento del mezclador, Omron Corporation realizó un sensor que monitorea el flujo y el caudal dentro de la máquina.

Realizar simulaciones numéricas que evalúen el rendimiento por medio de CFD, ya que este programa puede medir la transferencia de calor o las reacciones químicas de forma dinámica.

Anteriormente, la única forma que tenía un ingeniero de optimizar su diseño era con pruebas físicas. Al avanzar la tecnología, se han implementado nuevos softwares que reemplazan estas pruebas, dando mejores resultados.

## 12. REFERENCIAS.

1. Cui, Q., Hu, Y. X., & Yu, L. T. (2022). Can the aviation industry achieve carbon emission reduction and revenue growth simultaneously under the CNG2020 strategy? An empirical study with 25 benchmarking airlines. *Energy*, 245, 123272.
2. Ng, K. S., Farooq, D., & Yang, A. (2021). Global biorenewable development strategies for sustainable aviation fuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111502.

3. Yamik, H. (2014). An investigation of effect of biodiesel and aviation fuel jeta-1 mixtures performance and emissions on diesel engine. *Thermal Science*, 18(1), 239-247.}
4. Somnuk, K., Soysuwan, N., & Prateepchaikul, G. (2019). Continuous process for biodiesel production from palm fatty acid distillate (PFAD) using helical static mixers as reactors. *Renewable Energy*, 131, 100-110.
5. Yu, Z. H. O. U., Xueyu, L. I., Shuiting, D. I. N. G., Shuai, Z. H. A. O., Kun, Z. H. U., Longtao, S. H. A. O., ... & Zheng, X. U. (2022). Technologies and studies of gas exchange in two-stroke aviation piston engine: A review. *Chinese Journal of Aeronautics*.
6. Gonzalez Caranton, A. R., Silva Leal, V., Bayona-Roa, C., Betancourt, M. A. M., Betancourt, C., Cortina, D., ... & López, M. (2021). Experimental Investigation of the Mechanical and Thermal Behavior of a PT6A-61A Engine Using Mixtures of JETA-1 and Biodiesel. *Energies*, 14(11), 3282.
7. Ryley, T., Baumeister, S., & Coulter, L. (2020). Climate change influences on aviation: A literature review. *Transport Policy*, 92, 55-64.
8. Kousoulidou, M., & Lonza, L. (2016). Biofuels in aviation: Fuel demand and CO2 emissions evolution in Europe toward 2030. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 166-181.
9. Schäfer, A. W. (2016). The prospects for biofuels in aviation. In *Biofuels for Aviation* (pp. 3-16). Academic Press.
10. Wang, M., Dewil, R., Maniatis, K., Wheeldon, J., Tan, T., Baeyens, J., & Fang, Y. (2019). Biomass-derived aviation fuels: Challenges and perspective. *Progress in Energy and Combustion Science*, 74, 31-49.

11. Sandquist, J., & Guell, B. M. (2012). Overview of biofuels for aviation. *Chemical Engineering Transactions*, 29.}
12. Chuck, C. (Ed.). (2016). *Biofuels for aviation: feedstocks, technology and implementation*. Academic Press.
13. Winchester, N., Malina, R., Staples, M. D., & Barrett, S. R. (2015). The impact of advanced biofuels on aviation emissions and operations in the US. *Energy Economics*, 49, 482-491.
14. Alamsyah, R., Tambunan, A. H., Purwanto, Y. A., & Kusdiana, D. (2010). Comparison of static-mixer and blade agitator reactor in biodiesel production. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 12(1).
15. Thakur, R. K., Vial, C., Nigam, K. D. P., Nauman, E. B., & Djelveh, G. (2003). Static mixers in the process industries—a review. *Chemical engineering research and design*, 81(7), 787-826.
16. Ghanem, A., Lemenand, T., Della Valle, D., & Peerhossaini, H. (2014). Static mixers: Mechanisms, applications, and characterization methods—A review. *Chemical engineering research and design*, 92(2), 205-228.
17. Zalc, J. M., Szalai, E. S., Muzzio, F. J., & Jaffer, S. (2002). Characterization of flow and mixing in an SMX static mixer. *AIChE Journal*, 48(3), 427-436.
18. Revathi, D., & Saravanan, K. (2020). Experimental studies on hydrodynamic aspects for mixing of non-Newtonian fluids in a Komax static mixer. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 26(4), 329-335.
19. Keil, F. J. (2018). Process intensification. *Reviews in Chemical Engineering*, 34(2), 135-200.

20. <https://jlsintl.com/es/products/static-mixer/helical-mixer.html>
21. Jegatheeswaran, S., Ein-Mozaffari, F., & Wu, J. (2020). Laminar mixing of non-Newtonian fluids in static mixers: process intensification perspective. *Reviews in Chemical Engineering*, 36(3), 423-436.
22. Medina, H., Anthony, J. M., & Eldredge, T. (2023). Evaluating the performance of static mixers using the-number: the case of the Koflo® mixer. *Engineering Research Express*, 5(1), 015026.
23. Lasprilla, J. L. O., Roa, C. A. B., Gomez, M. L., & Carantón, A. R. G. (2021). Analysis of a Static Mixer for an Aeronautical Test Bench of the Colombian Air Force: a Numerical Study of the Process Variables. *Chemical Engineering Transactions*, 86, 1315-1320.
24. Agarwal, T., Malhotra, A., Trivedi, P. C., & Biyani, M. (2011). Biocontrol potential of *Gliocladium virens* against fungal pathogens isolated from chickpea, lentil and black gram seeds. *Journal of Agricultural Technology*, 7(6), 1833-1839.
25. Hobbs, D. M., & Muzzio, F. J. (1998). Reynolds number effects on laminar mixing in the Kenics static mixer. *Chemical Engineering Journal*, 70(2), 93-104.
26. Liu, S., Hrymak, A. N., & Wood, P. E. (2006). Design modifications to SMX static mixer for improving mixing. *AIChE journal*, 52(1), 150-157.
27. Berkman, P. D., & Calabrese, R. V. (1988). Dispersion of viscous liquids by turbulent flow in a static mixer. *AIChE Journal*, 34(4), 602-609.
28. Derradji, A. F., Bernabeu-Madico, A., Taha, S., & Dorange, G. (2000). The effect of a static mixer on the ultrafiltration of a two-phase flow. *Desalination*, 128(3), 223-230.
29. Jurkowski, B., Pesetskii, S. S., Olkhov, Y. A., Krivoguz, Y. M., & Kelar, K. (1999). Investigation of molecular structure of LDPE modified by itaconic acid grafting. *Journal of Applied polymer science*, 71(11), 1771-1779.

30. Haddadi, M. M., Hosseini, S. H., Rashtchian, D., & Olazar, M. (2020). Comparative analysis of different static mixers performance by CFD technique: An innovative mixer. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 672-684.
31. Somnuk, K., Smithmaitrie, P., & Prateepchaikul, G. (2013). Optimization of continuous acid-catalyzed esterification for free fatty acids reduction in mixed crude palm oil using static mixer coupled with high-intensity ultrasonic irradiation. *Energy Conversion and Management*, 68, 193-199.
32. Szalai, E. S., & Muzzio, F. J. (2003). Fundamental approach to the design and optimization of static mixers. *AIChE journal*, 49(11), 2687-2699.
33. Marks, D. M. (2003). Equipment design considerations for large scale cell culture. *Cytotechnology*, 42(1), 21-33.
34. Armbruster, S., Brochard, A., Lölsberg, J., Yüce, S., & Wessling, M. (2019). Aerating static mixers prevent fouling. *journal of membrane science*, 570, 537-546.
35. Compadre Guerra, M. (2014). Modelado de un reactor catalítico heterogéneo para la producción de biodiesel a partir de aceite vegetal.
36. Bertsch, A., Heimgartner, S., Cousseau, P., & Renaud, P. (2001). Static micromixers based on large-scale industrial mixer geometry. *Lab on a Chip*, 1(1), 56-60.