

DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DE ADMISIÓN GLP PARA MOTOR DIESEL

ANDRÉS DAVID LARA GONZÁLEZ

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS

PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C

2019

DISEÑO Y MONTAJE DEL SISTEMA DE ADMISIÓN GLP PARA MOTOR DIESEL

ANDRÉS DAVID LARA GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Director
ALEXANDER GARCÍA MARIACA
Ingeniero Mecánico

Co - Director
Jorge Armando Villaba Vidales
Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ

2019

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bogotá, junio de 2019

Dedicatoria ...

A Jehová, el único Dios verdadero y magnífico instructor en el camino de la sabiduría, que comparado con tú imponente soy solo una partícula de polvo flotando en tú imponente creación.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Universitaria Los Libertadores, por la financiación de este proyecto.

Al ingeniero Alexander García Mariaca por su asesoría, guía, aporte y colaboración en este proyecto de investigación.

A Santiago Osorio, por toda su valiosa colaboración, por su compromiso total y autentico profesionalismo y calidad humana, los cuales durante todo este tiempo no solo ha formado un gran equipo de trabajo, sino también, un lazo de hermandad.

A Miguel Lara, mi padre el mejor de todos por supuesto, al ingeniero de mí vida, creador y soñador, que me enseñó a no rendirme, por darme la oportunidad de ser su hijo, a quien jamás dejé de creer en mí. ¡Gracias totales!

A Elizabeth González, mi madre que por durante veinticinco años lo ha dado todo por nuestra felicidad y a la cual le debo la vida y espero seguir haciéndote feliz por la eternidad. ¡Gracias infinitas!

A mi Esposa Carolina, la mujer que es el motor de mi vida, que sin yo saberlo apostó por mí, la persona que me ve como su más extremo orgullo y que sin importar la situación más se aferra a mí, sí, ella que cuando no tienes nada te anima a realizar tus planes, ella que con tu camisa desgastada y una caricia te hace olvidar el peso de la vida ¡Te amo mi Abigail, por toda la eternidad!

A Jesse, por su amistad incondicional, por los momentos que hemos compartido llenos de sueños y anhelos, secretos, risas y por sobre todo: amistad contenida en cada taza de café. Cada preciado segundo quedará atesorado eternamente en mi corazón.

A Alejandro y Daniel, mis hermanos en los que nunca dejaré de creer en su talento y gran futuro, el que todos logramos gracias a Jehová.

Te veré pronto Nancita....

¡Gracias por Tanto y Perdón por lo poco!

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	OBJETIVOS	13
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	14
4.	JUSTIFICACIÓN	15
5.	MARCO DE REFERENCIA.....	16
5.1	MARCO TEÓRICO	16
5.1.1	Comburente	16
5.1.2	Carburante.....	16
5.1.3	Composición de sistema de admisión de motores de combustión interna encendido por alta compresión	18
5.1.4	Composición de sistema de admisión GLP	20
5.1.5	Motores sobrealimentados.....	22
5.1.6	Diseño mecánico	22
5.2	MARCO CONCEPTUAL	23
5.3	ESTADO DEL ARTE.....	30
6.	MATERIALES Y METODOS	32
6.1	MATERIALES	32
6.3	METODOLOGÍA	33
CAPITULO 1		Error! Bookmark not defined.
7.	DISEÑO DE ELEMENTOS	34
CAPITULO 2		Error! Bookmark not defined.
8.	MONTAJE EXPERIMENTAL	38
	ANÁLISIS LÓGICO DEL MONTAJE.....	38
8.2	PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAMBLE	40
CAPITULO 3		Error! Bookmark not defined.
9.	ANÁLISIS Y RESULTADOS	42
10.	CONCLUSIONES.....	49
11.	RECOMENDACIONES	50
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	51
13.	ANEXOS.....	53

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores de rugosidad en tuberías comerciales. Fuente: Cengel A.Y, &. C. (2012). <i>Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones</i> . New York: McGraw-Hill.	26
Tabla 2. Coeficientes de pérdida para accesorios. Fuente: Cengel A.Y, &. C. (2012). <i>Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones</i> . New York: McGraw-Hill.....	28
Tabla 3. Coeficientes de pérdida para codos.	28
Tabla 4. Propiedades del fluido para el primer segmento. Fuente: Autor.....	43
Tabla 5. Propiedades del fluido para el segundo segmento. Fuente: Autor.	45
Tabla 6. Propiedades del fluido para transferencia de calor. Fuente: Autor	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de admisión de motor de combustión encendido por alta compresión. Fuente: maqpe.com/sistema-admision/sistema-de-admision-y-escape-de-motores-diesel/	18
Figura 2. Sistema de admisión GLP. Fuente: https://www.ircongas.com/	20
Figura 3. Soportería. Fuente: Autor.	34
Figura 4. Montaje de la tobera. Fuente: Autor.	35
Figura 5. Diseño tobera. Fuente: Autor.	35
Figura 6. Diseño tobera perfil. Fuente: Autor.....	36
Figura 7. Brida. Fuente: Autor	36
Figura 8. Cilindro de inyectores. Fuente: Autor.	37
Figura 9. Vista de perfil del sistema de admisión. Fuente: Autor.....	38
Figura 10. Vista frontal. Conexión cilindro de inyectores. Fuente: Autor	39
Figura 11. Entrada de aire del motor. Fuente: Autor	39
Figura 12. Sistema de admisión del motor. Fuente: Autor.....	39
Figura 13. Montaje del MAF - heater en el banco de pruebas. Fuente: Autor	40
Figura 14. Tubería de silicona en forma de codo de 90°. Fuente: Autor	40
Figura 15. Primer segmento de análisis. Fuente: Autor.....	42
Figura 16. Diagrama de Moody. Fuente: Cengel A.Y, & C. (2012). <i>Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones</i> . New York: McGraw-Hill.....	44
Figura 17. Segundo segmento de análisis. Fuente: Autor.....	45
Figura 18. Diagrama de Moody. Fuente: Cengel A.Y, & C. (2012). <i>Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones</i> . New York: McGraw-Hill.	46
Figura 19. Tercer segmento de análisis, cámara de mezclado. Fuente: Autor.....	48

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A	53
ANEXO B. : PLANOS DE COMPONENTES DISEÑADOS.	54

GLOSARIO

GLP: Gas licuado del petróleo.

MEC: Motor de combustión interna encendido por alta compresión.

MCI: Motor de combustión interna por chispa.

RESUMEN

En este proyecto de grado se realizó el diseño y modificación del sistema de admisión en un motor de combustión interna encendido por compresión (MCI-EC), monocilíndrico en la ciudad de Bogotá. Basándose en el principio físico de flujo en tuberías, se diseñaron componentes que permitieron un mejoramiento en el desarrollo del flujo de aire trabajando en conjunto con elementos operativos de GLP, los cuales favorecieron que el trayecto del aire se mezclara con el carburante alternativo utilizado en la investigación antes de llegar a la cámara de combustión del motor.

PALABRAS CLAVE: Elementos de diseño, Flujo de aire, Gas Licuado del Petróleo, Sistema de admisión, Mezcla aire-GLP, Motor de combustión interna encendido por compresión (MCI-EC).

1. INTRODUCCIÓN

El inicio de un proceso sano de combustión depende de un sistema de admisión funcional y operativa, elementos que le permitan proveer al motor aire limpio según sea la necesidad del mismo a una temperatura y velocidad ideal [9]. Fundamentalmente cabe precisar el principal sentido del motor, el cual logra transformar la energía, de térmica en mecánica [19]. El origen de esta energía depende de dichas sustancias capacitadas para arder, las cuales son derivados de la refinación de hidrocarburos, a saber, que para generar las condiciones idóneas de la quema de combustible es necesaria la existencia del aire [14].

Por consiguiente, es indispensable que el sistema de admisión de aire de una máquina térmica, permita que el oxígeno que aporta el aire circule sin ninguna restricción por el conducto diseñado, que además incluirá un suministro de combustible GLP tal y como se muestra en el consiguiente trabajo de grado.

En este trabajo de grado el proyecto se centra en el diseño, modificación e instalación del sistema de admisión aire - GLP para un banco de prueba de un (MCI-EC), cabe destacar que los procedimientos y demás material servirán como aporte al taller de motores de combustión interna (MCI), en la Facultad de Ingeniería, y Ciencias Básicas al programa de Ingeniería Mecánica de la Fundación Universitaria los Libertadores en su afán por la formación profesional y académica de sus estudiantes.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Adecuar el sistema de admisión de aire y combustible un motor de combustión interna encendido por compresión, el cual permita el suministro controlado de GLP y la medición del flujo másico de aire.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar elementos que favorezcan el ingreso de aire, de acuerdo a los requerimientos del proyecto de investigación global.
- Instalar equipos y piezas en el sistema de admisión de aire y suministro de combustible.
- Verificar que cada pieza del sistema de admisión o modificada trabaje de manera adecuada de acuerdo a los requerimientos de operación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación titulado Evaluación de la viabilidad técnica de motores diésel operando con GLP, requiere para su fase experimental la adecuación del sistema de suministro de aire y combustible de un MCI-EC, ya que se requiere pasar de la inyección tradicional diésel a una inyección de GLP de manera indirecta, lo que con lleva a una serie de modificaciones del sistema de admisión del motor.

Con base en lo anteriormente expuesto, se requiere que se desarrolle un trabajo de grado el cual realice las modificaciones necesarias para llevar a cabo las experimentaciones necesarias para cumplir con el proyecto de investigación general. Este trabajo de grado deberá contemplar de manera general el diseño de elementos mecánicos, el estudio del movimiento de fluidos y la transferencia de calor entre sólidos y fluidos.

Pregunta de investigación

De acuerdo al problema planteado la pregunta de investigación que surge es ¿Cuáles son los diseños o modificaciones necesarias en el sistema de admisión de aire combustible de un MCI-EC para que se garantice una mezcla adecuada de GLP con aire?

4. JUSTIFICACIÓN

La elaboración del presente proyecto de grado permite al autor, consolidar los diferentes conocimientos logrados a lo largo del desarrollo de la Ingeniería Mecánica, así como adquirir habilidades investigativas para darle una solución a un problema de ingeniería. En este trabajo de grado también se pretende solucionar un problema de investigación con el cual se busca subsanar dos aspectos importantes, los cuales son: la formación en investigación y la visualización del programa por medio del desarrollo de proyectos de investigación.

En consecuencia, se contempla para su ejecución, fortalecer diferentes indicadores de investigación, por medio de artículos de revistas científicas, proyectos de grado relacionados y manuales de instalación especializados. Con todo esto se procura dejar un precedente en la universidad, ya que consolidará espacios académicos tales como motores de combustión, máquinas térmicas e ingeniería automotriz.

.

5. MARCO DE REFERENCIA

Este proyecto surge en el marco de conceptos y definiciones teóricas de diseño, instalación y funcionamiento de un sistema de admisión GLP en un motor diésel, donde se evidencia componentes y métodos importantes utilizados en líneas generales, al igual que rasgos distintivos en pro de mejorar la operatividad de la práctica.

5.1 MARCO TEÓRICO

Las definiciones y conceptos considerados por diferentes fuentes de información, se muestran de forma breve en este apartado, dirigido al empleo y alcance del proyecto.

5.1.1 Comburente

Se entiende por comburente, a la sustancia que contribuye en la combustión oxidando al combustible. El más habitual lo encontramos en el oxígeno que lleva el aire, con una concentración porcentual en volumen aproximada del 21%. Por consiguiente, para que se genere la combustión es necesaria la presencia de una porción mínima de oxígeno. [14] [9].

Aire

Por lo que se refiere al aire, es el componente esencial para el proceso del funcionamiento de los motores alternativos de combustión interna, todo esto se debe a la proporción de oxígeno que posee. Gracias a esto, los combustibles reaccionan y transmiten su contenido energético al motor al realizar el ciclo termodinámico [14] [9].

5.1.2 Carburante

En el caso del carburante se conoce por ser líquido o gaseoso, generalmente con hidrocarburo, así mismo se caracteriza por tener un elevado nivel de volatilidad que hace idónea la mezcla con el aire de forma homogénea, ardiendo muy rápidamente originando una gran cantidad de energía en forma de calor. [9].

Gases Licuados del Petróleo (GLP)

Se da este nombre a los gases licuados del petróleo (GLP) a las mezclas de hidrocarburos compuestos en su mayoría por el propano y butano [9] [11], por tanto, una de sus propiedades más llamativas, por el que es comparado con el GNC, es su almacenamiento, ya que bajo a moderadas presiones cambia su fase a estado líquido, lo que reduce su volumen a 250 veces.

Para facilitar su detección a posibles fugas, se refuerza en el proceso de desprendimiento del petróleo con derivados sulfurados para hacerlo inoloro, además no es tóxico, pero en contraposición es altamente inflamable e incoloro [3].

De forma paralela para evitar su cambio de fase durante su almacenamiento en temperaturas frías se emplea una mayor cantidad de propano, aunque de otro modo para ambientes cálidos la mayor cantidad de butano permite presiones de reserva más baja [3] [9].

APLICACIÓN DE SISTEMA GLP EN EL PARQUE AUTOMOTOR

Actualmente existen dos tipos de gases de uso vehicular, como lo es el gas natural comprimido (GNC) y el ya mencionado GLP. A pesar de que su aplicación es para el mismo campo y provienen de los mismos yacimientos del petróleo, su composición química es diferente y queda evidenciado en sus formas de manipulación y uso. [9] Así pues, una marcada diferencia entre estos dos combustibles la encontramos en lo que respecta a su almacenamiento, puesto que el GNC al ser un gas más liviano, requiere almacenarse a alta presión (200 bares), que con respecto al GLP puede almacenarse a una presión baja (7 bares). [9] [11]

Las características del GLP hacen que su uso sea cada vez más común en los automóviles a nivel mundial, a pesar de esto en Colombia se espera que se dé el paso para que esta alternativa de combustible vehicular se consolide rápidamente en el sector automotriz. *“Según el registro único nacional de tránsito (RUNT), precisa en un informe de Gasnova, que un total de 14'346.623 millones de vehículos conforman el parque automotor en Colombia: 57% corresponde a motocicletas, 42% a vehículos y el 1% restante a maquinaria, remolques y semirremolques.”* [15]

Bajo la misma línea de pensamiento el rendimiento de un combustible y la potencia que confiere el vehículo son argumentos a favor del autogás, por su alto poder calorífico, los motores no pierden su fuerza y los tanques de almacenamiento de combustible que se adaptan a los vehículos de transporte sin pequeños [8].

Ahora bien, el GLP brinda facilidades de almacenamiento y transporte, ya que se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales de presión y temperatura, por lo tanto, se expresan características significativas de este carburante como lo son:

- En lo que se refiere al rendimiento del motor se estima que los motores de los vehículos alimentados con GLP soportaba pérdidas en la potencia del motor de entre 5% y el 10%, pero actualmente los componentes diseñados por los fabricantes se adaptan para que no se produzca. [9] [11]
- De acuerdo a las mismas investigaciones el índice de octano relativamente alto ofrece margen para aumentar la relación de compresión y de eficiencia energética de los motores específicos. “Congreso mundial del GLP. 5 preguntas y 25 respuestas”. [22]
- No tiene color, es transparente como el agua en su estado líquido [8].

- El GLP, es muy frío, ya que al ser licuado se somete a muy bajas temperaturas, qué en consecuencia, al estar al contacto con la piel puede generar el mismo efecto que lo hace el fuego. [22] [11]
- No es corrosivo y se disuelve en muchos otros productos, puedes ser suministrado a granel o en envasados [8].
- Las emisiones de CO₂ son extremadamente bajas con una reducción entre el 10% y 20% respecto a los equipados con gasolina. [8] [22]
- La reducción de emisiones de (NO_x) óxidos de nitrógeno alcanza aproximadamente el 70%.
- El GLP es un combustible económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles. [22]
- Se disminuye la dependencia del petróleo.

Para cuestiones de eficiencia, económica e impactos ambientales, el GLP tiene las características más favorables para una verdadera alternativa en comparación con los combustibles vehiculares (diésel – gasolina) [8].

5.1.3 Composición de sistema de admisión de motores de combustión interna encendido por alta compresión

El sistema de admisión en síntesis se refiere a la entrega de aire limpio por medio de un conjunto de elementos que trabajan juntos para así proveer al motor las cantidades acordes de oxígeno de acuerdo al régimen del motor.

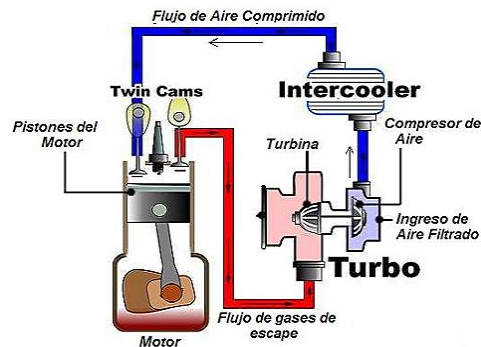


Figura 1. Sistema de admisión de motor de combustión encendido por alta compresión. Fuente: [maqpe.com/ sistema-de-admision-y-escape-de-motores-diesel/](http://maqpe.com/sistema-de-admision-y-escape-de-motores-diesel/).

Filtro de aire

Partiendo de la premisa que, en el ambiente, el flujo de aire está compuesto por múltiples y milésimas de partículas de impurezas, las cuales puede ocasionar un desgaste prematuro en el sistema y por ende en el motor, representando gastos de combustible y mayor concentración de emisiones. [19] Este componente tiene la responsabilidad de filtrar el flujo de aire, por esta razón el filtro de aire siempre se encuentra ubicado al inicio del circuito.

Conductos de admisión de aire

Son tramos de tubería que funcionan como simples conductos por donde circula el flujo de aire desde el exterior donde es llevado en primer lugar hasta el filtro de aire y luego al motor. [19]

Sensor MAF (sensor de masa y flujo de aire)

El sensor MAF es un sensor que va entre la caja del filtro de aire y el cuerpo de aceleración, este elemento posee un calentador el cual mide la masa de aire que ingresa al motor, la resistencia es un fino alambre de platino que aproxima a una temperatura de 200° C al momento en que el motor trabaja y varía debido al enfriamiento cuando el aire es admitido por el múltiple de admisión de acuerdo a la carga del motor. [19] [11]

Respiraderos del motor

Son los encargados de descargar la presión al interior del motor y al depósito de aceite, que como ganancia sirve como segundo filtrado de aire, que va directamente al motor con el objetivo de ser lo más cuidadoso posible con la entrada de partículas indeseadas al motor. [19]

Turbocompresor

Un turbocompresor es un componente que se usa explícitamente para obtener un ingreso de aire mayor a los cilindros a la que es producida solo por la presión atmosférica [19]. Por consiguiente, al obtener gran cantidad de oxígeno en la cámara de combustión se incrementará la potencia del motor.

A razón de que el flujo de aire debe ser llevado casi a presión atmosférica hasta el punto de ignición, se puede producir un cascabeleo en los cilindros, pero gracias al turbo, el aire no llega a presión atmosférica sino la sobre pasa dejándola más cercana a la presión de ignición del combustible [19].

Intercambiador de calor

Debido a que el aire comprimido que sale del turbocompresor viaja a temperaturas entre los 90°C – 20°C, es necesario llevar el flujo de aire a temperaturas más bajas para que la potencia del motor no disminuya, por eso pasa por este componente para que la temperatura del aire de admisión llegue a unos 60°C, obteniendo una ganancia de potencia del 10 – 15% gracias al intercooler, en comparación a un motor solamente turboalimentado sin este dispositivo de enfriamiento [19].

Múltiple de admisión

Es un colector de aire que tiene un diseño especial para poder suplir el orden de encendido y las distancias. En él se alojan bujías de precalentamiento, que son en sí, resistencias para poder calentar el aire en frío que proviene del exterior [19].

5.1.4 Composición de sistema de admisión GLP

En el parque automotriz generalmente se ha empleado el circuito de combustible - GLP, no funcionan simultáneamente, pero ambos por aparte son operativos. A continuación, se evidencia los componentes de un sistema GLP.

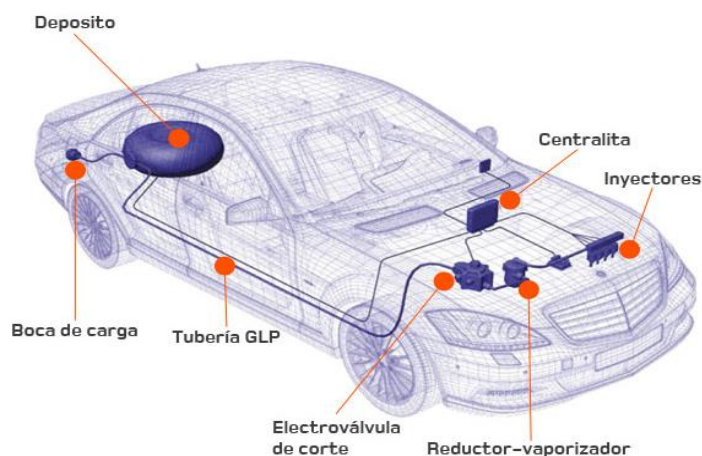


Figura 2. Sistema de admisión GLP. Fuente: <https://www.ircongas.com/>.

Depósito

Es el lugar donde se almacena de forma líquida el GLP a una presión de hasta 8 bares. No es necesaria una bomba que impulse el gas, todo esto debido a que la presión del tanque es quien permite que el combustible fluya por los conductos [11].

Multiválvula

Contiene una sucesión de dispositivos que incorpora varios elementos como son:

- Indicador de nivel, que es netamente y 100% mecánico.
- Llave manual de obturación de GLP, es la que permite el paso del flujo.
- Válvula limitadora de volumen, la cual impide el llenado máximo del depósito.
- Flotador de nivel.
- Sensor de nivel GLP, es un potenciómetro que indica el nivel de GLP en el cuadro de instrumentos.
- Electroválvula de apertura GLP, es una válvula solenoide de paso de gas.
- En conjunto posee también una válvula termofusible y otra de sobrepresión que garantiza la seguridad del depósito.

Reductor - vaporizador

El GLP circula por las tuberías en forma líquida hasta llegar al evaporador, en este punto, este elemento se encarga de cambiar el estado del combustible, siendo el responsable de dosificar la mezcla de aire – gas hacia el motor en las proporciones que exija el motor [14].

- Ingreso de GLP, es donde el combustible entra en forma líquida a 8 bares aproximadamente [14].
- Electroválvula de GLP, encargada de permitir el paso de GLP [14], abre en conjunto o a la par con la electroválvula del conjunto de la multiválvula.
- Tubo dirigido al filtro de aire, es un componente de seguridad.
- Salida de gas al motor, en este punto el GLP sale de forma gaseosa con a presión regulada para su posterior combustión [11].
- Entrada y salida de tubos de refrigeración, es el lugar donde el agua del motor calienta el evaporador [14].

Filtro de gas

El sistema de GLP posee dos filtros en el circuito, uno de ellos se encuentra en el interior del evaporador y el otro intercalado en la tubería de gas que sale del evaporador en dirección al motor. Por consiguiente, requieren un mantenimiento y se deben sustituir de acuerdo a las especificaciones de fabricante.

Riel de inyectores y sensor de presión

A continuación, el gas llega al riel de inyectores procedente del evaporador con la presión regulada, es allí donde se alojan cuatro inyectores, que se encargan de dosificar el hidrocarburo de modo indirecto, quiere decir esto, que su ubicación será detrás de la válvula de admisión en el múltiple de admisión [14], como efecto, en el momento en que la válvula de admisión abra y aspire la mezcla aire – gas se dirija al interior del cilindro.

En lo que refiere al sensor, este incorpora un sensor de temperatura, el cual permite leer la presión interna del riel de inyectores y también la temperatura del gas, enviando una señal a la unidad de control para calcular el control del GLP y el tiempo de apertura de los inyectores [11] [9].

Unidad de control de GLP

Este componente trabaja conjuntamente con la unidad de control de inyección del combustible, pero para que funcione correctamente requiere una serie de señales tales como:

- Señal de la sonda de temperatura refrigerante motor.
- Señal de la sonda lambda.
- Señal de presión y/o caudal de aire.
- Señal de encendido del 1er cilindro.

Inicialmente el motor no arranca con GLP, solo lo hace cuando llega al umbral de la temperatura de refrigerante, y es ahí donde la unidad de control desconecta los inyectores del 1er combustible y emula para que no arroje averías, y a partir de ese punto en base a las señales y valores mencionados anteriormente, desconecta la bomba del 1er combustible y se mantiene en funcionamiento en modo GLP [17].

5.1.5 Motores sobrealimentados

La eterna relación entre un motor y su potencia, hace que sea un camino de interés común en muchos campos de la ingeniería, se utilizan diferentes maneras y métodos que los han llevado a ser un complemento perfecto con el transcurrir del tiempo [13]. Tanto para motores diésel como para los de gasolina, por mucho que sea el aumento de combustible, si este no encuentra aire suficiente para quemarse, no lograra incrementar la potencia.

Así mismo, para alcanzar este objetivo sin variar componentes internos del motor es necesario que en el interior del cilindro ingrese un volumen de aire mayor al que hace entrar una aspiración normal por vacío que genera el motor [14].

Sobrealimentación en los motores Diésel

Para este tipo de motores la sobrealimentación no representa un problema, es todo lo contrario, es un beneficio para el rendimiento del motor, ya que al introducir un exceso de aire en el cilindro aumenta la compresión y facilita el encendido, quemando por completo el combustible inyectado [8].

5.1.6 Diseño mecánico

El diseño mecánico tiene como objetivo dar figura, tamaño, tecnología de producción y colocar en marcha elementos que desempeñen determinadas funciones o requerimientos. Siempre se vincula el diseño a la ingeniería mecánica por sus diversos campos de creatividad y evolución tecnológica [13].

La existencia de esta rama de ingeniería se debe a la necesidad de desarrollar destrezas y habilidades para elaborar diseños y cálculos sobre instrumentos gráficos, que incluyan pautas requeridas de formas, tamaños y características del grupo de piezas mecánicas y sirviendo de mediador entre el diseñador de una máquina y el que se ocupa en elaborarlo, haciendo del diseño mecánico una expresión correcta y específica [5].

El trabajar en un diseño mecánico se deben tener en cuenta y conocer básicamente los fundamentos operativos de las máquinas y sus elementos para después desarrollar métodos mecánicos competentes para realizar tareas que posibiliten construir, acoplar y experimentar elementos de unidades que compensen determinadas necesidades personales y grupales [9].

En el proceso de análisis y diseño se usan herramientas de procesamiento de datos como el análisis por medio de componentes y tamaños finitos, además la dinámica de fluidos computacional, por tal motivo, se desarrollan software para análisis de diseños mecánicos, como lo son:

- Software Solid Edge
- Software AutoCAD

- Software Autodesk Inventor
- Software ANSYS
- Software CATIA
- Software Matlab
- Software SolidWorks

Con el fin de cubrir las diferentes necesidades se realiza un análisis de los elementos finitos, representación, creación de los planos y fabricación, montaje y control del componente diseñado [13].

5.2 MARCO CONCEPTUAL

Por lo que se refiera a la representación teórica del sistema y su funcionamiento, donde se plantean las temáticas con sus respectivas ecuaciones que aportan principios físicos con sus respectivos datos numéricos que se tienen en cuenta para el diseño y montaje de los elementos que actúan en el sistema de admisión.

MECANICA DE FLUIDOS

Ecuación de estado del gas ideal

Se llama ecuación de estado del gas ideal [5] porque describe propiedades de los fluidos y mezclas donde relaciona la presión, densidad y temperatura, a su vez, es una relación sencilla de propiedades suficientemente generales y exactas y se expresa como:

$$Pv = RT \quad o \quad P = \rho RT \quad (1)$$

En donde P es la presión absoluta, v es el volumen específico, T es la temperatura absoluta, ρ es la densidad, R es la constante del gas y es diferente para cada gas [5]. Esta ecuación también se puede escribir relacionando masa m como:

$$PV = mRT \quad (2)$$

Relación estequiometria

La entrada de energía a un motor proviene de la combustión de un combustible de hidrocarburo. El aire se utiliza para suministrar el oxígeno necesario para esta reacción química [26]. Para que ocurra una reacción de combustión, deben estar presentes las cantidades relativas adecuadas de aire (oxígeno) y combustible. La relación aire-combustible (AF) y la relación combustible-aire (FA) son parámetros utilizados para describir la relación de mezcla:

$$AF = m_a/m_f = \dot{m}_a/\dot{m}_f \quad (3)$$

$$FA = m_f/m_a = \dot{m}_f/\dot{m}_a = 1/AF \quad (4)$$

Donde m_a masa de aire, $\dot{m}_a$ flujo másico, m_f masa de combustible y $\dot{m}_f$ flujo másico del combustible. Este concepto hace referencia a la mezcla ideal de la relación Aire – Fuel, para lograr la eficiencia más alta de una maquina térmica [5].

El AF ideal o estequiométrico para muchos combustibles de hidrocarburos de tipo gasolina es muy cercano a 15: 1, con una combustión y un AF mayor a 19 es demasiado pobre. El sistema de entrada de combustible de un motor, inyectores de combustible o carburador, debe ser capaz de regular la cantidad adecuada de combustible para cualquier flujo de aire dado [26].

Presión atmosférica

La presión atmosférica se refiere al peso de la columna de aire que hay sobre cualquier punto o lugar de la tierra y es por tanto el peso por unidad de superficie [5] [2].

Presión dinámica

Representa a un fluido en movimiento por una tubería, en la cual existirá un caudal que será mayor cuanto mayor sea la diferencia de presiones, esta presión se ejerce en la dirección de movimiento, como resultado de la velocidad del fluido [5].

$$P_d = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (Pa) \quad (5)$$

Donde ρ es la densidad del fluido en Kg/m^3 y V es la velocidad del fluido en m/s . La presión dinámica está dada en Pascales (Pa).

Presión estática

No incorpora efectos dinámicos, es decir, representa la presión de un fluido en estado de reposo. Es la que ejerce presión en todas las paredes de la tubería actuando en todas las direcciones con la misma intensidad. La presión estática sirve para vencer los rozamientos y otras resistencias ofrecidas al circular el fluido en el interior de la tubería [5] [2].

$$P_e = P_{atm} + \rho gh \quad (6)$$

Donde ρ es la densidad del mercurio, g es la aceleración de la gravedad y h es la altura de la columna de mercurio.

Presión total

Expresada como la suma de la presión estática y dinámica también llamada presión de estancamiento o total [5]. Por consiguiente, si el aire se encuentra en reposo, la presión total será igual a la presión estática [5].

$$P_T = P_e + P_d$$

$$P_T = P + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (7)$$

Número de Reynolds

Para determinar el régimen de flujo depende de factores como la geometría, la rugosidad del material, la temperatura de la superficie, la velocidad y el tipo de fluido. Así pues, esta razón depende de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas en el fluido.

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} Re &\leq 2300 \quad \text{flujo laminar} \\ 2300 &\leq Re \leq 4000 \quad \text{flujo transicional} \\ Re &\geq 4000 \quad \text{flujo turbulento} \end{aligned}$$

Para V_{prom} es la velocidad promedio del flujo, D se refiere a la longitud característica de la geometría, y μ es la viscosidad dinámica. El número de Reynolds es adimensional [5].

Diámetro hidráulico

El diámetro hidráulico se define de tal manera que se reduce a diámetro ordinario para tubos de sección circular [5] [6]. A_c Hace referencia al área de sección transversal de la tubería y p es el perímetro mojado [5] [6].

$$\text{Tuberías circulares} \quad D_h = \frac{4A_c}{p} = \frac{4(\pi D^2/4)}{\pi D} \quad (9)$$

$$\text{Tuberías cuadradas} \quad D_h = \frac{4A_c}{p} \quad (10)$$

PERDIDAS MAYORES

Pérdida de presión

La pérdida de presión es ocasionada por efectos viscosos, es decir, es representada cuando un fluido de viscosidad fluye a través de una tubería de diámetro uniforme D y longitud L a velocidad promedio V_{prom} .

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} \quad (11)$$

Donde f es el *factor de fricción de Darcy*. Para estas pérdidas aplica para todos los flujos internos desarrollados (flujos laminar y turbulento, en tuberías circulares o no circulares, para superficies lisas y rugosas, en tuberías horizontales o inclinadas [5].

Pérdida de carga

La pérdida de carga representa la altura adicional que el fluido necesita para elevarse por medio de una bomba con la finalidad de superar las pérdidas por fricción en la tubería h_L .

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} \quad (12)$$

Se obtiene cuando se divide ΔP_L entre ρg . Esta pérdida de carga se produce por la viscosidad [5] [6].

Flujo Turbulento

De forma general, el flujo turbulento es el que se da con mayor frecuencia, debido a que se caracteriza por fluctuaciones aleatorias y rápidas de regiones giratorias del fluido, también llamados remolinos, que transporta con mayor rapidez energía, masa y cantidad de movimiento, entre otros [5] [6].

Factor de fricción

También llamado coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach, definido como un parámetro adimensional que se usa en la dinámica de los fluidos para calcular la pérdida de carga en una tubería debido a la fricción [5] [6].

Para un flujo turbulento, el coeficiente de fricción f , en una tubería circular depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa ϵ/D , la cual se expresa como la razón de la altura media de rugosidad de la tubería al diámetro de la tubería [5] [16]. En la tabla 1, se dan valores de rugosidad de tuberías comerciales

MATERIAL	ft	mm
Vidrio, plástico, PVC	0.0000049	0.0015
Concreto	0.003-0.03	0.9-0
Duela de madera	0.00016	0.5
Hule, aislado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.0085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

Tabla 1. Valores de rugosidad en tuberías comerciales. Fuente: Cengel A.Y, & C. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. New York: McGraw-Hill.

Diagrama de Moody

El diagrama de Moody que se proporciona en el anexo A, representa el factor de fricción de Darcy para flujo en tubería en función del número de Reynolds y ε/D , sobre un amplio margen de valores [5] [6].

PÉRDIDAS MENORES

El fluido en un sistema de tubería suele pasar a través de codos, válvulas, uniones, entradas y salidas, ensanchamientos y contracciones además de los tramos rectos de tubos, por todo ello, el fluido se ve irrumpido provocando pérdidas adicionales debido al fenómeno de separación y mezcla del flujo que producen [5]. En tubos largos, este tipo de pérdidas son menores con respecto a la pérdida de carga por fricción en los tubos [7].

Las pérdidas menores se expresan en términos de *coeficiente de pérdida* K_L , que se define como:

$$K_L = \frac{h_L}{V^2 / (2g)} \quad (13)$$

Donde h_L es la pérdida de carga irreversible adicional en el sistema de tuberías provocada por la inserción del accesorio como:

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} \quad (14)$$

Cuando el coeficiente de pérdida para un accesorio está disponible, la pérdida de carga para este accesorio [5].

$$\text{Pérdida menor} \quad h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (15)$$

En conclusión, este coeficiente de pérdida depende de la geometría del accesorio y del número de Reynolds, y de la misma manera que del factor de fricción [5] [7].

Longitud equivalente

Las pérdidas menores también se expresan de términos de la longitud equivalente, es decir, la carga de pérdida que provoca el accesorio equivale a la pérdida de la carga causada por un tramo del tubo cuya longitud es la longitud equivalente [5].

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} = f \frac{L_{equi}}{D} \frac{V^2}{2g} = L_{equi} = \frac{D}{f} K_L \quad (16)$$

Donde f es el factor de fricción del accesorio y D es el diámetro de la tubería que contiene el accesorio.

Coeficientes de pérdida representativos para entrada, salida, codos, cambios de áreas repentinos.

En la tabla 2 se muestran los coeficientes de pérdida representativos K_L para codos.

CODOS	Embridado	Enroscado
Codo suave de 90°	$K_L = 0.3$	$K_L = 0.9$
Codo de retorno de 180°	$K_L = 0.2$	$K_L = 1.5$
Codo enroscado de 45°		$K_L = 0.4$

Tabla 2. Coeficientes de pérdida para accesorios. Fuente: Cengel A.Y, & C. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. New York: McGraw-Hill.

En la tabla 3 se muestran los coeficientes de pérdida representativos K_L para codos.

EXPANSION GRADUAL	d pequeño / D	para = 20°
$K_L = 0.30$	para d/D	0.2
$K_L = 0.25$	para d/D	0.4
$K_L = 0.15$	para d/D	0.6
$K_L = 0.10$	para d/D	0.8

Tabla 3. Coeficientes de pérdida para codos.

Pérdida de carga total

Es la sumatoria de todos los coeficientes de pérdida, es decir, la pérdida de cada tramo de la tubería con diámetro constante y la pérdida de cada accesorio que provoca una pérdida menor [5].

$$h_{Ltotal} = h_{Lmayores} + h_{Lmenores}$$

$$\sum f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum K_L \frac{V^2}{2g} \quad (17)$$

Tramo de tubería con diámetro cte. + Cada accesorio que provoca una pérdida menor

Pérdida de carga total ($D = \text{cte.}$)

$$h_{Ltotal} = \left(f \frac{L}{D} + \sum k_L \right) \frac{V^2}{2g} \quad (18)$$

Tanto la V y D son la velocidad del flujo promedio a través de todo el sistema

TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor estudia la rapidez de transferencia de energía térmica, ampliamente consta de bastantes áreas de aplicación desde la misma naturaleza hasta elementos de uso común y simple. Además, que resaltan aplicaciones de la física y del mundo real [6].

Convección

Se define como el mecanismo de transferencia de calor a través de un fluido, en presencia de un movimiento masivo de éste. Además, se clasifica como convección natura (libre) y forzada, todo en factor de la manera en la que se inicia el movimiento del fluido [6].

Convección interna forzada

La transferencia de calor a través fluido es por convección cuando existe un movimiento en este. Para aplicaciones de calentamiento o enfriamiento, los flujos de líquido o gas se presentan a través de tubos o ductos, donde el fluido se desplaza por medio de una bomba o un ventilador por los mismos, que son suficientemente extensos para que exista una transferencia de calor específica [6].

Flujo constante de calor en la superficie ($\dot{q}_s = \text{constante}$)

Esta condición térmica en la superficie se da cuando el tubo se somete a calentamiento por radiación o por una resistencia eléctrica de manera uniforme desde todas las direcciones [6]. En el caso de $\dot{q}_s = \text{constante}$, la velocidad de la transferencia de calor también se puede expresar como:

$$\dot{Q} = \dot{q}_s A_s = \dot{m} C_p (T_e - T_i) \quad (19)$$

Siendo $\dot{q}_s$ la transferencia de calor en la superficie, A_s el área superficial, $\dot{m}$ el flujo másico del fluido, C_p el calor específico, T_e y T_i corresponden a las temperaturas en la superficie y media del fluido. Donde la temperatura media del fluido en la salida del tubo queda

$$T_e = T_i + \frac{\dot{q}_s A_s}{\dot{m} C_p} \quad (20)$$

La temperatura media del fluido se incrementa linealmente en la dirección del flujo en este caso [6].

Número de Nusselt

El número de Nusselt representa el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección, se define como:

$$Nu = \frac{h L_c}{k} \quad (21)$$

Donde h es la conductividad térmica del fluido y L_c es la longitud característica. Esta relación expresa que a mayor sea el número de Nusselt, será más eficaz la convección [6]. En el flujo turbulento está relacionado el factor de fricción se puede determinar a partir de la primera ecuación de Petukhov dada como:

$$\text{Tubos lisos: } f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3000 < Re < 5 \times 10^6 \quad (22)$$

Según la referencia [6] [15] la exactitud de la relación del número de Nusselt al modificarla como:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re - 1000) Pr}{1 + 12.7((f/8))^{0.5}(Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \quad (23)$$

Donde se puede determinar el factor de fricción a partir de la relación apropiada, como la ecuación 23.

Número de Prandtl

El parámetro del número de Prandtl describe el espesor relativo de las capas límite de velocidad y térmica [6], siendo un número adimensional expresado como:

$$Pr = \frac{\text{Difusividad molecular de la cantidad de movimiento}}{\text{Difusividad molecular del calor}} = \frac{\mu C_p}{k} \quad (24)$$

Cámaras de mezclado

Una cámara de mezclado se caracteriza por la mezcla de dos corrientes de fluido, que por principio de la conservación de la masa para este caso requiere de la suma de los flujos másicos entrantes sea igual al flujo másico de la mezcla saliente [4].

5.3 ESTADO DEL ARTE

Dado al ámbito de investigación, diferentes autores y revistas científicas publican estudios sobre la mezcla aire – GLP en motores de combustión interna de encendido por compresión, dando a conocer los impactos que llega a tener los cuales nos muestran los siguientes resultados:

La revista INGENUIS en su artículo científico. [8] analizaron en Ecuador en 2010 la reducción de la contaminación de aire a partir de la construcción de un sistema de inyección de gas que inyecta GLP en el colector de admisión de forma dual con diésel Premium con un 0.05% de azufre utilizando mezclas de GLP con porcentajes de 5.28%, 12.5% y 30.8%, encontrando que las concentraciones de monóxido de carbono (CO) son menores a medida que se aumentaban las revoluciones a diferencia del óxido de Nitrógeno (NOx), que a su vez con estos datos muestran que con este tipo de porcentajes de la mezcla GLP no sobrepasa los límites de legislación ambiental.

La facultad de ingeniería de la universidad de Alejandría publicó en el 2015 una revisión crítica para mejorar los parámetros de rendimiento combustión y emisión de GLP [1] encontrando que el uso de GLP en un motor diésel como operación dual

es una de las medidas destacadas y efectivas para superar el combustible fósil, todo esto debido al producto de los escasos de emisiones del motor diésel y que a su vez la carga parcial puede ser mejorada optimizando los parámetros de operación del motor y los factores de diseño, entre ellos el tiempo de inyección, la condición del colector de admisión y el combustible gaseoso en la admisión.

Mauricio Arturo Barrera [3] en su trabajo de grado en 2012 en Ecuador acerca del estudio de sistema GLP como combustible alternativo para vehículos automotrices evidencia y expresa una clasificación de sistemas de admisión GLP para motores de combustión interna de encendido por chispa, dando como recomendación un sistema de conversión de última tecnología, la cual garantiza una inyección de gas más controlada y de acuerdo a las necesidades del motor, siendo así, deja claro que este tipo de equipamiento adicional de GLP no sustituye al del sistema de admisión original de los vehículos si no que más bien lo convierte en un vehículo “bifuel”.

Pablo et. Al. [17] Analizaron en Cuenca en 2011 un banco funcional con sistema de alimentación dual GLP-gasolina utilizando un motor con gestión electrónica, llegaron a la conclusión de que es importante respetar los diferentes mantenimientos que se le deben realizar a estos sistemas de alimentación y que por su puesto quien opere este tipo conversión debe ser el personal calificado ya que garantiza el bueno uso del motor y del sistema de admisión. A su vez de acuerdo al análisis de los componentes del GLP sugieren realizar un estudio debido a la corrosión que estos tienen que hace que presenten significativamente las propiedades mecánicas de los cauchos y siliconas.

6. MATERIALES Y METODOS

En la siguiente unidad se nombran los diferentes elementos requeridos con el objetivo de lograr el montaje adecuado y la metodología para el desarrollo del mismo.

6.1 MATERIALES

A continuación, se mencionan los materiales necesarios suministrados por la Fundación Universitaria Los Libertadores.

Banco de pruebas: Para el montaje del sistema de admisión es indispensable el banco de prueba ya que gracias a sus características facilitó la realización del proyecto, en las cuales se destaca:

- Estructura de base en acero estructural, con ruedas y soportes para accesorios.
- Ducto de salida de gases.

Filtro de aire: Componente fundamental el cual permite retener las impurezas que puedan acceder al circuito de admisión, evitando el desgaste de los cilindros en la cámara de combustión.

Sensor del flujo de masa (MAF): Es el encargado de medir el volumen de aire que ingresa al motor.

Calentador de admisión (Intake heater): Es el encargado de proveer aire caliente facilitando el arranque en frío del motor diésel, debido a esto se aprovecha la temperatura del aire para que la mezcla con el GLP beneficie al motor, consta de las siguientes especificaciones:

- Estructura de acero inoxidable.
- Aislamiento térmico de la estructura.
- Elemento tipo loza alúmina refractaria con alambre bobinado para 220 V Y 14 A.

Reductor: Durante el circuito, es en este componente donde se lleva a cabo un proceso importante, porque es allí hasta dónde llega el GLP en estado líquido por tuberías de alta presión, y su función es cambiar su estado líquido a gaseoso.

Riel de inyectores secuenciales de GLP: Encargado de esparcir el GLP en el tubo de inyectores diseñado para este montaje, los inyectores cumplen con la función de abrirse y cerrarse cuantas veces sea necesario, sin permitir el escape del GLP.

MOTOR

Para el montaje del sistema de admisión se utilizó un motor con las siguientes características:

- Diámetro x carrera (mm) 86x72.
- Cilindrada 418.
- Relación de compresión 19:1.
- Potencia Máxima 10 (hp) rpm 3600.
- Tipo de eje Cuña-Rosca Diámetro toma fuerza 1".
- Tipo de filtro de aire Doble (espuma-papel).
- Sistema de arranque Manual/Eléctrico.
- Capacidad de aceite (l) 1,65.
- Aceite recomendado Enermax SAE 15W-40 API CH-4.
- Capacidad de tanque (gal) 1,45.
- Consumo de combustible 2.1.
- Dimensiones 50x46x56.
- Peso 53 Kg.

6.3 METODOLOGÍA

Para este momento se toman en cuenta el procedimiento del diseño y los diferentes aspectos teóricos que se llevan a la práctica, es aquí donde comienza la descripción para la elaborar las condiciones del proyecto.

7. DISEÑO DE ELEMENTOS

La aplicación de elementos previamente diseñados y mecanizados brindan la oportunidad de hacer más fácil el montaje del sistema de acorde a los mismos parámetros que allí se requieran garantizando que su funcionamiento este a la altura de las necesidades del proyecto, con todo esto son piezas imprescindibles en pro de ser arte y parte de la alimentación de aire del motor [13].

En la misma línea de argumentación, a continuación, se presenta los elementos diseñados y sus respectivas especificaciones:

1. Soportería: Su característica de diseño es de ser capaz de soportar el peso de los elementos, en los cuales se sitúan componentes como el filtro de aire, sensor MAF, el calentador de aire (heater), pieza de inyectores, el riel de inyectores y tubos siliconados. Por consiguiente, como función secundaria evita al máximo las vibraciones que puedan suceder en la línea de funcionamiento. Por ello, se consideró diseñar este tipo de soportes, como se muestra en la figura 3, en acero inoxidable con abrazaderas encauchadas, con el fin de que los elementos sean fijos en el banco de motor.

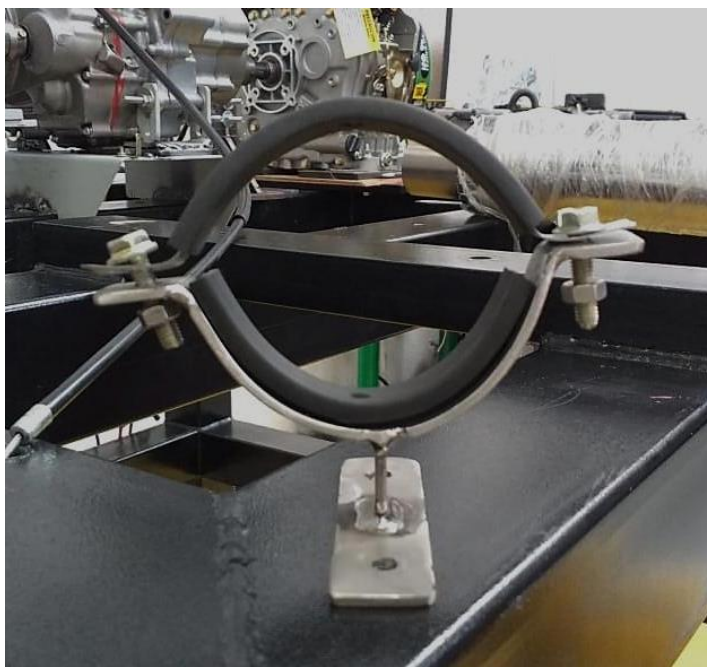


Figura 3. Soportería. Fuente: Autor.

El plano de diseño de los soportes se encuentra en anexos B.

2. Tobera: Se conoce como el instrumento que aumenta la velocidad del fluido a expensas de la presión ya que el área de la sección transversal disminuye en el sentido del flujo. Por este principio, la ubicación de este elemento facilita el recorrido

del fluido en su interior, En las figuras 5 y 6 se muestran los parámetros de diseño para su posterior fabricación



Figura 4. Montaje de la tobera. Fuente: Autor.

Acorde con la necesidad de los demás componentes que lo precede cuenta con un diseño único por el cambio de geometría en su longitud, el cual permite que se ajuste perfectamente al diámetro del sensor MAF como al tubo siliconado que se encuentra en la parte superior del sistema al ingreso del aire al motor, y a las bridas diseñadas para el mismo. Se utilizó una lámina de cold rolled para su fabricación (figura 4).

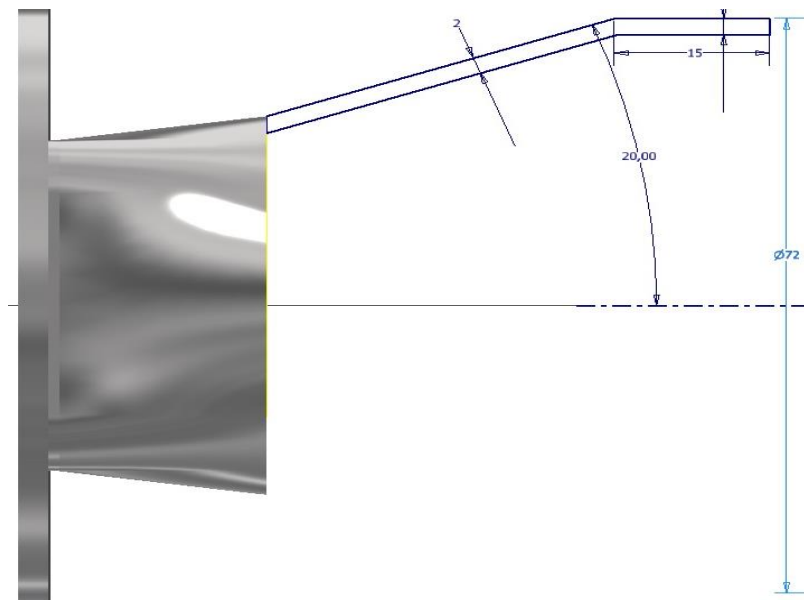


Figura 5. Diseño tobera. Fuente: Autor.

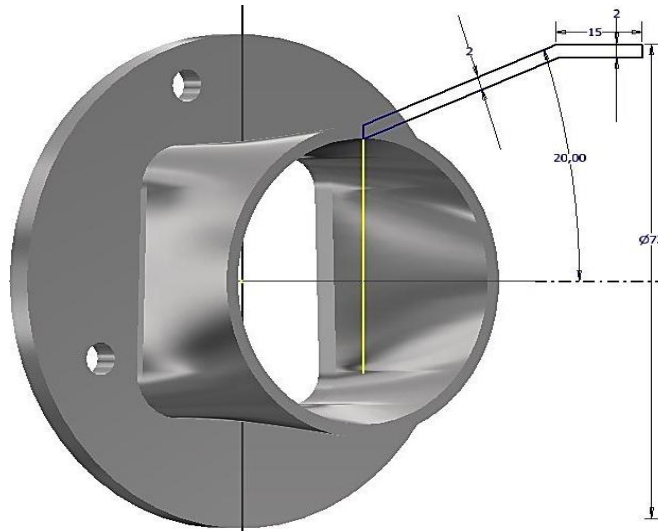


Figura 6. Diseño tobera perfil. Fuente: Autor.

CONDICIÓN DE DISEÑO: El análisis de este accesorio tomó en cuenta la geometría, como se muestra en el anexo B, también el ángulo de la garganta cuyo objetivo es permitir una expansión gradual del fluido y minimizar las pérdidas en el interior de este componente.

3. Brida: Este componente permite la unión de dos partes importantes que conforma el circuito de aire, dicho de otra manera, el diseño corresponde a una necesidad en concreto; juntar el filtro de aire con la tobera anterior al sensor MAF, así como la tobera situada a la entrada del motor posterior al tubo siliconado.



Figura 7. Brida. Fuente: Autor

El material empleado para su diseño es acero inoxidable, ya que permite ser desmontado sin operaciones destructivas en el sistema de admisión. (Figura 7).

CONDICIÓN DE DISEÑO: Partiendo del diseño original de la admisión del motor, para su modificación se tuvo en cuenta la brida donde se soporta originalmente la carcasa del filtro de aire, ya que su geometría no es uniforme, con esta característica particular, fue de consideración no solo para la fabricación de este elemento sino también para incluirlo en el diseño de la tobera. El plano de diseño de los soportes se encuentra en anexos B.

4. Cilindro de inyectores: De los elementos ya mencionados, sin lugar a dudas, es el componente que más se destaca en toda la práctica.



Figura 8. Cilindro de inyectores. Fuente: Autor.

El plano de diseño del cilindro de inyectores se encuentra en anexos B.

CONDICIÓN DE DISEÑO: Como ya se resaltó en el párrafo anterior, es un elemento indispensable, por consiguiente, sus condiciones de diseño tienen que suplir:

1. Dado que se ubica en la zona medular del sistema, su diseño tiene como objetivo ser el punto de mezcla homogénea entre el oxígeno que aporta el aire y el GLP.
2. Evidencia configuración triangular de tres tubos a un ángulo de 45° , como se muestra en la figura #, la cual garantiza la descarga plena de GLP que viene de los inyectores en dirección del flujo de aire, sin malgastar el combustible gasificado.
3. El material escogido fue el acero inoxidable ya que suple las exigencias de temperatura y hermeticidad precisas para este punto del sistema.
4. Por último, la medida del cilindro es de 3 pulgadas, con el fin de mantener un diámetro constante en toda la línea de admisión.

8. MONTAJE EXPERIMENTAL

ANALISIS LOGICO DEL MONTAJE

De acuerdo con las especificaciones de fabricación de los diferentes componentes que conforman el sistema, se estipula un orden de ubicación para cada uno de estos, puesto que al realizar el diseño y modificación respectivo de la alimentación de aire al motor busca generar una mejoría en el desarrollo del flujo de aire y que tenga un efecto positivo con el GLP, todo esto con el fin de que se obtengan resultados de una mejoría en la combustión que sucede en el interior del motor.

En este mismo orden de ideas, se validará la instalación y a su vez los cálculos que permitirán visualizar las condiciones de diseño que se tomaron en cuenta para el total funcionamiento del sistema. Para la figura 9, se evidencia los equipos e instrumentos ubicados para su correcto funcionamiento que seguidamente se enumeran y se describen:

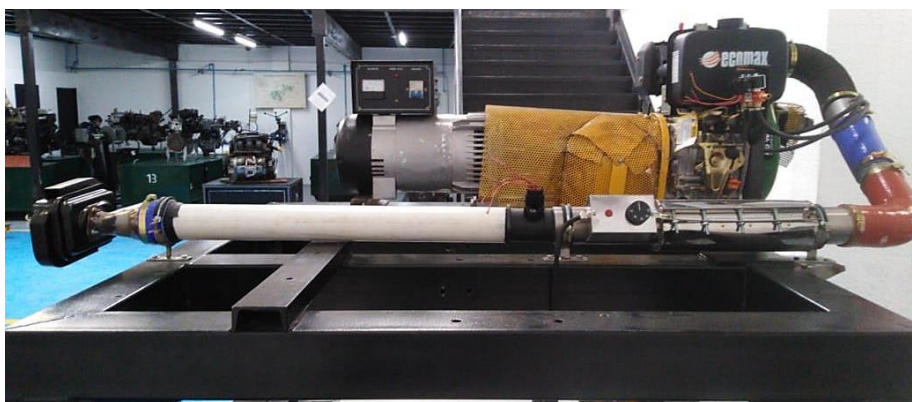


Figura 9. Vista de perfil del sistema de admisión. Fuente: Autor

En la figura 10 se muestra los componentes como: riel de inyectores, utilizados para el montaje del sistema GLP, cabe destacar que, durante la modificación del sistema de admisión del motor, estos elementos no fueron alterados en su interior de sus respectivos mecanismos, teniendo en cuenta su función se distribuyeron de forma ordenada y lógica en el banco de pruebas del motor. Se muestran tubos flexibles que distribuyen el combustible al elemento de diseño (cilindro de inyectores), que se encuentra acoplado al ducto de la entrada de aire al motor.

Seguidamente en las figuras 11 y 12, se conoce el diseño original del sistema de admisión del motor, donde claramente se encuentra ubicado el filtro de aire en la parte frontal para evitar que el material articulado contaminante llegue a la cámara de combustión. Cabe anotar que el papel que retiene las impurezas del aire, fue diseñado por el fabricante con un sentido de flujo.

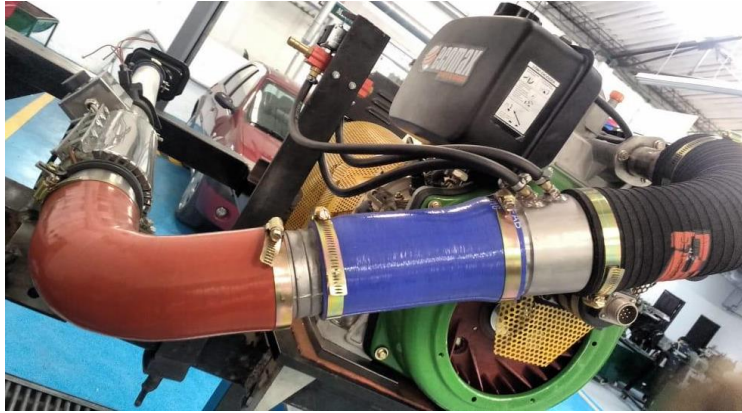


Figura 10. Vista frontal. Conexión cilindro de inyectores. Fuente: Autor

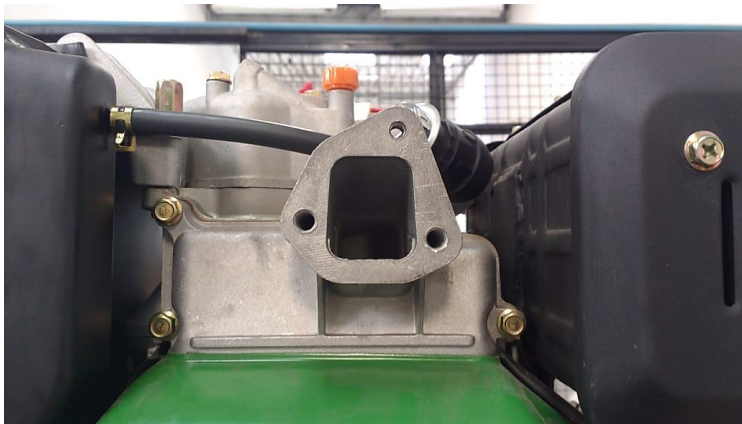


Figura 11. Entrada de aire del motor. Fuente: Autor



Figura 12. Sistema de admisión del motor. Fuente: Autor.

Para la figura 13, se observa el sensor MAF, dicho componente permite la lectura de la masa de aire que pasa en su interior desplazándose hacia el heater (tubo de acero inoxidable, bobinado con resistencia eléctrica y loza alúmina refractaria), el cual puede elevar la temperatura del aire hasta 150°C (423.15 K) en dirección a la entrada de aire del motor. Se divisa que se encuentran fijados soportes en acero y abrazaderas encauchadas con el fin de sujetar los componentes al banco de prueba y prevenir vibraciones.



Figura 13. Montaje del MAF - heater en el banco de pruebas. Fuente: Autor

Seguidamente en la figura 14, se aprecia la tubería de silicona en forma de codos de 90 grados. Sus aplicaciones son varias, por lo general se utilizan para motores turbo, intercoolers, admisión y reemplazo de tubos de sistema de calefacción y refrigeración, todo esto debido a que su refuerzo textil de 3 capas de tejido poliéster le permite soportar temperaturas extremas: -60°C (-140 F) a 180°C (356 F).

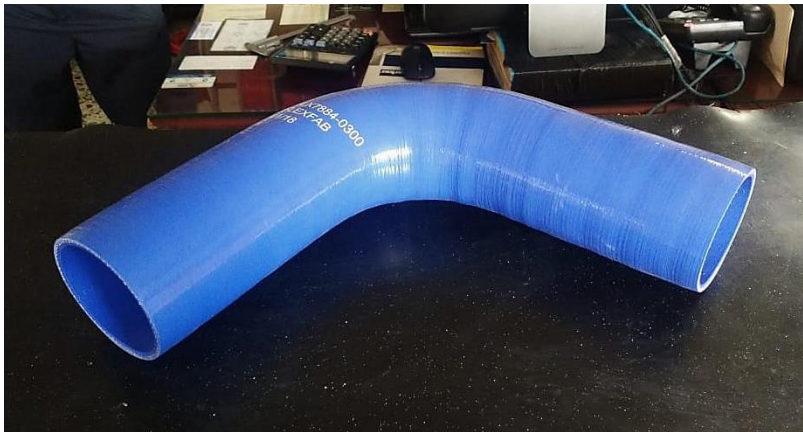


Figura 14. Tubería de silicona en forma de codo de 90°. Fuente: Autor

8.2 PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAMBLE

A continuación, se expone el procedimiento para el ensamble del sistema de admisión aire - GLP en el motor de combustión interna encendido a alta compresión.

- Se toman las medidas de cada uno de los elementos que se fijaran al banco de prueba.

- Al inicio de la línea de admisión se une el filtro de aire con la brida de la primera tobera, que posteriormente irán fijados al banco de prueba con un soporte de acero.
- Se acopla un tubo de PVC a la boca de la tobera que está conectada al filtro de aire, con su respectiva abrazadera metálica.
- Se establece el espacio del sensor MAF que ira unido al tubo de PVC y al heater, los cuales van anclados al banco de pruebas con dos soportes de acero. Se verifica que el acople entre estos componentes disponga de sus respectivos o 'rings para retener escapes de aire.
- Se establece la medida de la tubería de silicona en forma de codo 90°, que ira conectado a la salida del heater con su respectiva abrazadera metálica.
- Se junta el codo siliconado con la entrada de la pieza de inyectores, con su respectiva abrazadera metálica.
- Se despliega del tanque de almacenamiento de GLP un tubo flexible con recubrimiento especial para el transporte del combustible, el cual será conducido al reductor o riel de inyectores.
- Se fija al banco de prueba el riel de inyectores a una altura de 40 cm, es a este componente al que llega el GLP que posteriormente permitirá el paso de combustible por medio de tubos flexibles conectados a las boquillas de la pieza de inyectores, con el fin de ser esparcido al interior de este último.
- Se procede a juntar el segundo tubo de silicona en forma de codo 90° a la salida de la pieza de inyectores, con su respectiva abrazadera metálica.
- Por último, se encaja el tubo de silicona en forma de codo, que proviene de la pieza de inyectores, a la boca de la tobera que se encuentra fijada en la entrada de aire del motor, con su respectiva abrazadera metálica.

9. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se infiere un adecuado funcionamiento de los elementos ya mencionados, que evidencien un suministro controlado de GLP y medición de flujo másico de aire, donde:

1. Los elementos de fijación usados quedan sujetos al banco de prueba, certificando que ante cualquier caso especial que se presente supla la necesidad, hablando específicamente de vibraciones o manejo de temperaturas elevadas.
2. Se consideró una prueba de fugas o escape del fluido en el interior de cada componente diseñado y fabricado, como en el caso y ubicación del difusor y la tobera.
3. Para el cilindro de inyectores se garantizó que estuviese inmóvil en la zona medular de la mezcla de aire – GLP, y que en la instalación de los conectores de tubos flexibles permitieran la descarga sin pérdidas de combustible.

Entre tanto los principios físicos de mecánica de fluidos, transferencia de calor y termodinámica, que exponen un análisis del sistema de admisión para su diseño y modificación, evidencian datos teóricos que van centrados a los requerimientos de operación de la instalación. El cual divide en tres tramos, los cuales son:

FILTRO DE AIRE – HEATER

Para este segmento de la tubería se realiza análisis de mecánica de fluidos.

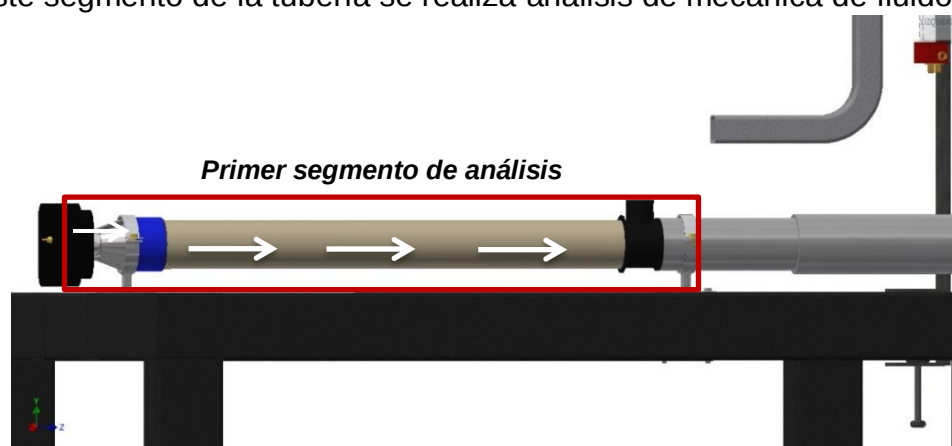


Figura 15. Primer segmento de análisis. Fuente: Autor

En la tabla 4 se muestra las propiedades del aire a trabajar para el primer tramo de la tubería

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad del Diésel	832	Kg/m^3
Presión Atm	73,4	kPa
Temperatura	20 = 293,15	$^{\circ}C - K$
Diámetro	0,0072	m
Diámetro Hidráulico	0,035	m
Gravedad	9,81	m/s^2
Cte. De gas ideal	0,287	$KJ/Kg * K$
Viscosidad dinámica	0,00001706	$Kg/m * s$

Tabla 4. Propiedades del fluido para el primer segmento. Fuente: Autor

El flujo másico del combustible se obtiene a partir del consumo del mismo en el motor, donde:

$$2.1 \frac{L}{h} * \frac{1}{1000} \frac{m^3}{L} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} * 832 \frac{Kg}{m^3} = 0.0004853 \frac{Kg}{s}$$

Despejando la ecuación (3) y reemplazando valores para el flujo másico del aire, se obtiene que:

$$\dot{m}_{air} = \frac{AF}{\dot{m}_f} = \frac{14,5}{0.0004853 \frac{Kg}{s}} = 0.00703733 \frac{Kg}{s} \quad (25)$$

Despejando y reemplazando la densidad de la ecuación (1) de estado del gas ideal:

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{73.4 \text{ kPa}}{(0.287 \text{ KJ/Kg} * K)(293.15 \text{ K})} = 0.872 \frac{Kg}{m^3} \quad (26)$$

A partir del valor de la densidad del aire de la ecuación, se procede a obtener el dato del flujo volumétrico:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho} = \frac{0.00703733 \frac{Kg}{s}}{0.872 \frac{Kg}{m^3}} = 0.0078735 \frac{m^3}{s} \quad (27)$$

Seguidamente se reemplazan los datos numéricos del diámetro hidráulico en la ecuación (10):

$$D_h = \frac{4 A_c}{p} = \frac{4(0.032 \text{ m})(0.037 \text{ m})}{0.138 \text{ m}} = 0.035 \text{ m} \quad (28)$$

De los resultados de las ecuaciones (28) y (29), se obtiene la velocidad del fluido:

$$\text{Sección de diámetro rectangular } V = \frac{0.0078735 \text{ m}^3/\text{s}}{0.035 \text{ m}} = 8,18355117 \text{ m/s} \quad (29)$$

$$\text{Sección de diámetro circular } V = \frac{0.0078735 \text{ m}^3/\text{s}}{0.072 \text{ m}} = 1.933 \text{ m/s} \quad (30)$$

Para determinar el régimen de flujo del fluido, que viene dado por la ecuación (8), se reemplazan las propiedades en sus respectivos datos numéricos:

$$Re = \frac{\rho V_{prom} D}{\mu} = \frac{(0.872 \text{ Kg/m}^3)(1.933 \text{ m/s})(0.072 \text{ m})}{0.00001706 \text{ Kg/m} \cdot \text{s}} = 7113 \text{ Régimen de Flujo Turbulento}$$

Donde se sustituye los valores de las ecuaciones (27) y (31). A continuación, se evidencia el procedimiento por medio del diagrama de Moody (figura #) y la rugosidad relativa, para saber el factor de fricción del primer segmento de la admisión.

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(0.0000015 \text{ m})}{(0.072 \text{ m})} = 0.00002 \quad (31)$$

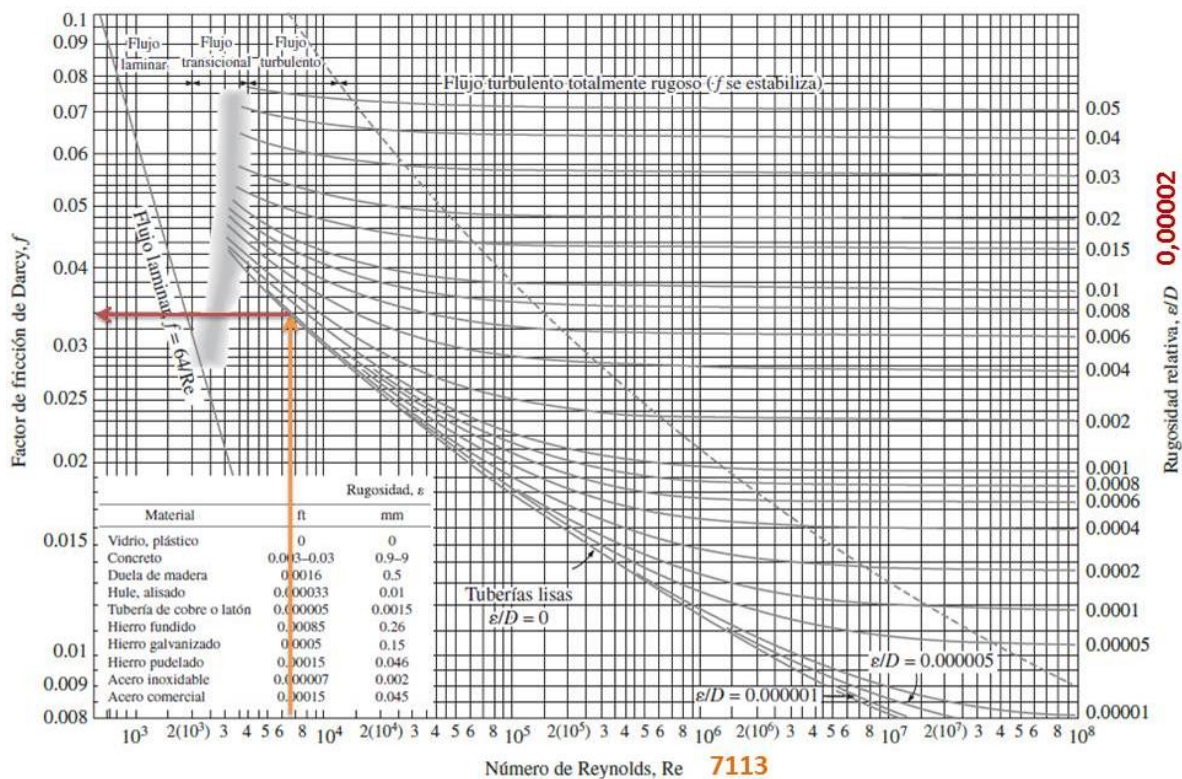


Figura 16. Diagrama de Moody. Fuente: Cengel A.Y, & C. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. New York: McGraw-Hill.

Como se muestra en la figura # se señala el número de Reynolds y rugosidad relativa, para un factor de fricción:

$$f = 0.034$$

Por consiguiente, con este valor, se procede a calcular la pérdida de presión, de la ecuación (11), y pérdida de carga, ecuación (12)

$$\Delta P_L = f \frac{L}{D} \frac{\rho V_{prom}^2}{2} = 0.034 \frac{(0,70 \text{ m})}{(0.072 \text{ m})} * \frac{(0.872 \text{ Kg/m}^3)(1.933 \text{ m/s})^2}{2} = 0.535 \text{ Pa}$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} = 0.034 \frac{(0.70 \text{ m})}{(0.072 \text{ m})} * \frac{((1.933 \text{ m/s})^2)}{2(9,81 \text{ m/s}^2)} = 0.062 \text{ m}$$

HEATER – CILINDRO DE INYECTORES

Para este segmento (figura 17) de la tubería se realizan análisis de mecánica de fluidos.

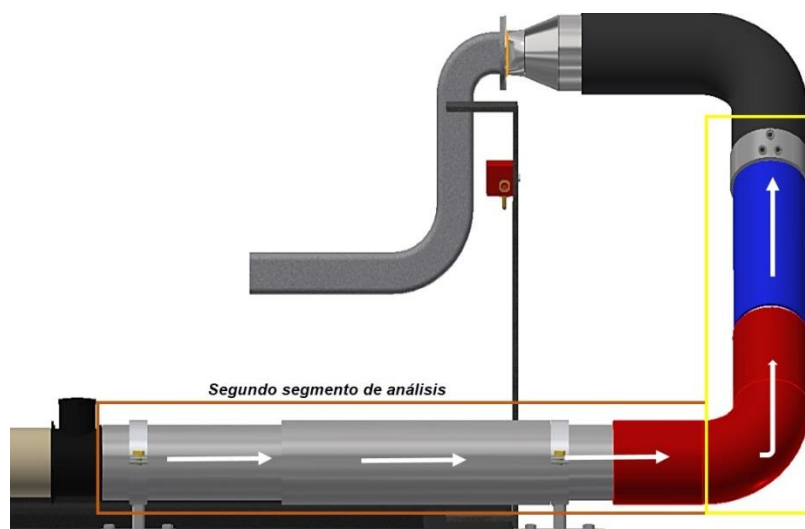


Figura 17. Segundo segmento de análisis. Fuente: Autor

En la tabla 5 se muestra las propiedades del aire a trabajar para el primer tramo de la tubería

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Densidad del aire	0.872	Kg/m^3
Presión Atm	73,4	kPa
Temperatura	150 = 423.15	$^{\circ}\text{C} - \text{K}$
Diámetro	0,072	m
Aceleración gravitacional	9,81	m/s^2
Velocidad	19.333	m/s
Cte. De gas ideal	0,287	$\text{KJ/Kg} * \text{K}$
Viscosidad dinámica	0,00001706	$\text{Kg/m} * \text{s}$

Tabla 5. Propiedades del fluido para el segundo segmento. Fuente: Autor.

Seguidamente, se procede la misma línea de trabajo del uso de las ecuaciones para el segundo segmento de la admisión, donde la densidad para el aire en el interior

del calentador a partir de la ecuación (1), el número de Reynolds de la ecuación (8) y la rugosidad relativa, según el material que se expone en la tabla #

$$\rho = 0.604 \text{ Kg/m}^3$$

$$Re = 4927$$

$$\varepsilon/D = 0.000027$$

En base a estos resultados, a continuación se muestra en el diagrama de Moody, figura #, el factor de fricción, el cual es:

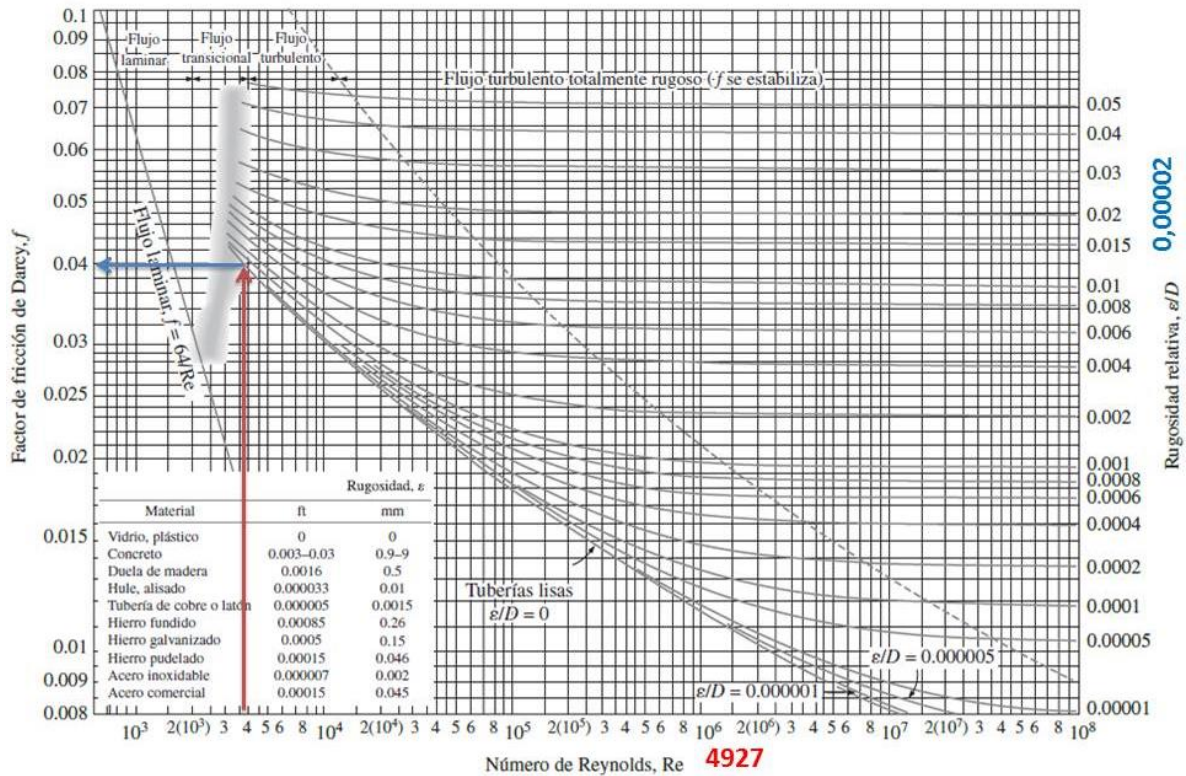


Figura 18. Diagrama de Moody. Fuente: Cengel A.Y, & C. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. New York: McGraw-Hill.

Como se muestra en la figura 18 se señala el número de Reynolds y rugosidad relativa, para un factor de fricción:

$$f = 0.04$$

Se reemplazan valores para la pérdida de presión, ecuación (11), y pérdida de carga, ecuación (12), donde:

$$\Delta P_L = 0.397 \text{ Pa} = 0.000004 \text{ Bar}$$

$$h_L = 0.067 \text{ m}$$

Por consiguiente los valores de pérdidas de carga irreversible adicional en el sistema de tuberías provocada por la inserción del accesorio, se da en la ecuación (14):

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = \frac{(0.397 \text{ Kg/m} \cdot \text{s}^2)}{(0.604 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2)} = 0.067 \text{ m}$$

La pérdida por accesorios, ecuación (15), para este caso son producidas por las tuberías de silicona en forma de codos de 90°, para los cuales su coeficiente de pérdida se da en la tabla #, donde :

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} = 0.3 \cdot \frac{((1.933 \text{ m/s}^2))}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} = 0.190 \text{ m}$$

Finalmente se obtiene de la ecuación (16) la pérdida menor expresada en términos de longitud equivalente, en donde:

$$L_{equi} = \frac{D}{f} K_L = \frac{(0.072 \text{ m})}{(0.04)} \cdot 0.3 = 0.54 \text{ m}$$

ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL HEATER

De acuerdo a las condiciones del flujo, en la tabla 6 se muestran sus propiedades

PROPIEDAD	VALOR	UNIDAD
Flujo másico del aire	0,007037	Kg/s
Diámetro	0,072	m
Velocidad	1,933	m/s
Viscosidad dinámica	0,00001706	$\text{Kg/m} \cdot \text{s}$
Calor específico a P = cte.	1,005	$\text{KJ/Kg} \cdot \text{K}$
Calor específico a v = cte.	0,718	$\text{KJ/Kg} \cdot \text{K}$
Temperatura de entrada	20 = 293,15	$^{\circ}\text{C} = \text{K}$

Tabla 6. Propiedades del fluido para transferencia de calor. Fuente: Autor

Para hallar el régimen de flujo, ecuación (19), en el interior del heater se toma como suposición que es una tubería hueca, donde:

$$Re = \frac{V_{prom} D}{\nu} = \frac{(1.933 \text{ m/s}^2)(0.072 \text{ m})}{0.0000594} = 2343 \quad \text{Regimen de flujo en transición}$$

Por consiguiente, se hace necesario saber el valor de la transferencia de calor en la superficie, que se despeja de la ecuación (20), donde:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A_s} = \frac{2 \text{ Kw}}{2\pi(0.036 \text{ m})(0.64 \text{ m})} = 13.88 \text{ Kw/m}^2 \quad (32)$$

Dado el valor de la ecuación (33), se reemplaza en la ecuación (21), donde se obtiene el valor de la temperatura media del fluido en la salida del aire en el heater:

$$T_e = T_i + \frac{\dot{q}_s A_s}{\dot{m} C_p} = T_e = 293 \text{ K} + \frac{(13.88 \text{ KW/m}^2)(0.144 \text{ m}^2)}{(0.007037 \text{ Kg/s})(1.005 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K})} = 575.60 \text{ K}$$

A continuación, se reemplazan valores en la ecuación (20), para determinar la velocidad de transferencia de calor:

$$\dot{Q} = \dot{q}_s A_s = \dot{m} C_p (T_e - T_i) = (0.007037 \text{ Kg/s})(1.005 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}) * (575.60 \text{ K} - 293 \text{ K}) = 1.996 \text{ KW}$$

CILINDRO DE INYECTORES (CÁMARA DE MEZCLADO)

Para este último segmento de la línea de admisión, se realiza el análisis de la cámara de mezclado aire – GLP, como se muestra en la figura 18.

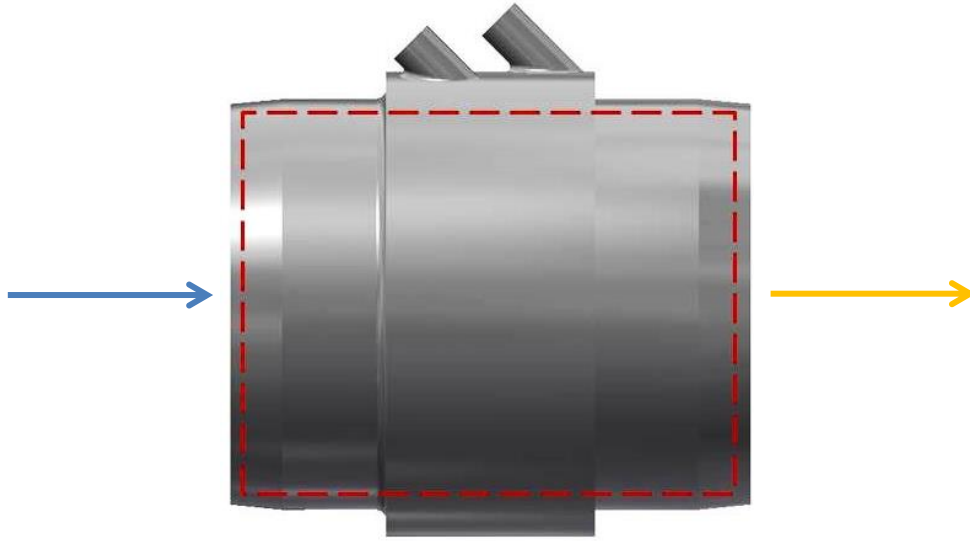


Figura 19. Tercer segmento de análisis, cámara de mezclado. Fuente: Autor

Para determinar la temperatura de salida de la mezcla, donde se despeja el m_f , el flujo másico del GLP de la ecuación (3):

$$m_{fGLP} = m_{air} * AF_{GLP} = (0.007037 \text{ Kg/s})(15.63) = 0.1097 \text{ Kg/s} \quad (33)$$

Se hace un balance de masa y energía, donde:

$$\dot{m}_{in} + \dot{m}_{out} = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3 \quad (34)$$

Teniendo los valores para m_{in} y m_{out} se reemplazan en la ecuación (35), para obtener el flujo másico de la cámara de mezclado a la salida donde:

$$(0.007037 \text{ Kg/s}) + (0.1097 \text{ Kg/s}) = (0.11673 \text{ Kg/s})$$

10. CONCLUSIONES

- Los elementos diseñados y desarrollados permiten que el flujo de aire se desarrolle y transite sin ninguna obstrucción, evitando posibles pérdidas de carga y presión considerables.
- A partir de la construcción del sistema de admisión, se puede afirmar que el motor genera el vacío necesario de aire para su posterior funcionamiento y acondicionamiento.
- La modificación del sistema de admisión es un paso ineludible para que el motor opere con GLP.
- Se evidenció que realizar la mezcla de gases incurre altos costos de fabricación.
- El análisis de este proyecto permitió consolidar al autor argumentos de desarrollo en el campo de la ingeniería.
- El diseño y modificación del sistema de admisión, puede llegar a presentar excelentes resultados importantes en su momento de acción operativa, inclusive se busca validar un procedimiento adecuado para realizar una recolección de datos para futuras investigaciones.

11.RECOMENDACIONES

- Continuar con la instalación de la línea de combustible con la compra del depósito de GLP
- Aplicar un cronograma de mantenimiento para los componentes fabricados del ducto de admisión.
- Se recomienda una adaptación pronta de escape de emisiones al motor del banco de pruebas.
- Implementar el miple neumático en la carcasa del filtro de aire, para realizar estudios posteriores con flujo de aire forzado.
- Instalar elementos de medición, como manómetros y termocuplas, para toma de datos experimentales.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ashok. B, D. A. (2012). GLP diesel dual fuel engine - A critical review. *Alexandria Engineering Journal.*, 3-32.
- [2] ASHRAE. (1993). *Handbook of Fundamentals*. Atlanta.
- [3] Barrera, M. (2012). Tesis de grado. *Estudio del sistema GLP como combustible alternativo de uso en vehículos automotrices*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay.
- [4] Boles, Y. A. (2015). *Termodinámica*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Cengel A.Y, & C. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. New York: McGraw-Hill.
- [6] Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. New York: McGraw-Hill.
- [7]Chávez, D. H. (Noviembre 17 / 2012). Determinación de las pérdidas de energía en tuberías por fricción y accesorios. *VITAE*, 1-20.
- [8]Chica. F, E. M. (2012). Gas licuado del petróleo como combustible alternativo para motores diésel con la finalidad de reducir la contaminación. *INGENIUS*, 2-17.
- [9] *Ciete Ingenieros*. (s.f.). Recuperado el 22 de Mayo de 2019, de Ciete Ingenieros: <http://ciete.es/gas-licuado-del-petroleo-glp-el-autogas/>
- [10]Colebrook, C. F. (London, 11 (1939)). "Turbulent Flow in Pipes, with Particular Reference to the Transition between the Smooth and Rough Pipe Laws". *Journal of the Institute of Civil Engineers*, 133-156.
- [11] COLOMBIA, U. (2019). *¿Qué es GLP?* Recuperado el 10 de Abril de 2019, de *¿Qué es GLP?*: <http://www.unigas.com.co/nosotros/que-es-glp>
- [12] Crawford, W. M. (1993). *Convective Heat and Mass Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- [13] Definición. (2015). *Diseño Mecánico*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de *Diseño Mecánico*: <https://www.definicion.xyz/2018/06/disenio-mecanico-ing-mecanica.html>
- [14] Digital, G. E. (26 de Enero de 2017). *Blog mecánicos*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de *Blog Mecánicos*: http://www.blogmecanicos.com/2017/01/como-funciona-un-sistema-glp_26.html.
- [15] Economía, R. (16 de Diciembre de 2018). Gas GLP, una alternativa para el sector automotor colombiano. *El Espectador*, págs. 11-12.

- [16] Haaland, S. E. (Marzo de 1983). "Simple and Explicit Formulas for the Friction Factor in Turbulent Pipe Flow". *Journal of Fluids*, 89-90.
- [17] Martínez, P. S. (2011). Tesis de grado. *Análisis y construcción de un banco de prueba funcional con sistema de alimentación dual GLP-Gasolina en un motor con gestión electrónica para el laboratorio de motores de combustión interna*. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- [18] Miller, R. W. (1997). *Flow Measurement Engineering Handbook 3a.ed.* New York: McGraw-Hill.
- [19] Morales, J. (27 de Septiembre de 2016). *Sistema de admisión, escape y distribución*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de Sistema de admisión, escape y distribución: <https://es.slideshare.net/julianmorales33/sistema-de-admisionescape-y-distribucion>.
- [20] Perkins, W. M. (1972). *Handbook of Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- [21] Petukhov, B. S. (1970). "*Heat Transfer and Friction in Turbulent Pipe Flow with Variable Physical Properties*". New York: editores T. F. Irvine y J. P. Hartnett, vol.
- [22] Piensasolutions. (s.f.). *Octanaje*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de Octanaje: <http://www.octanaje.es/>
- [23] Rivas, A. &. (2007 - 2008). *Flujo de aire a través de tuberías y toberas*. Universidad de Navarra, Navarra, España.
- [24] Skousen, P. L. (1998). *Valve Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- [25] Soler, J. (2011). *Diseño Mecánico de la banca de soportes*. Recuperado el 16 de Febrero de 2019, de Diseño Mecánico de la banca de soportes: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4946/fichero/Volumen+1%252FCapitulo+7.pdf>.

13. ANEXOS

ANEXO A

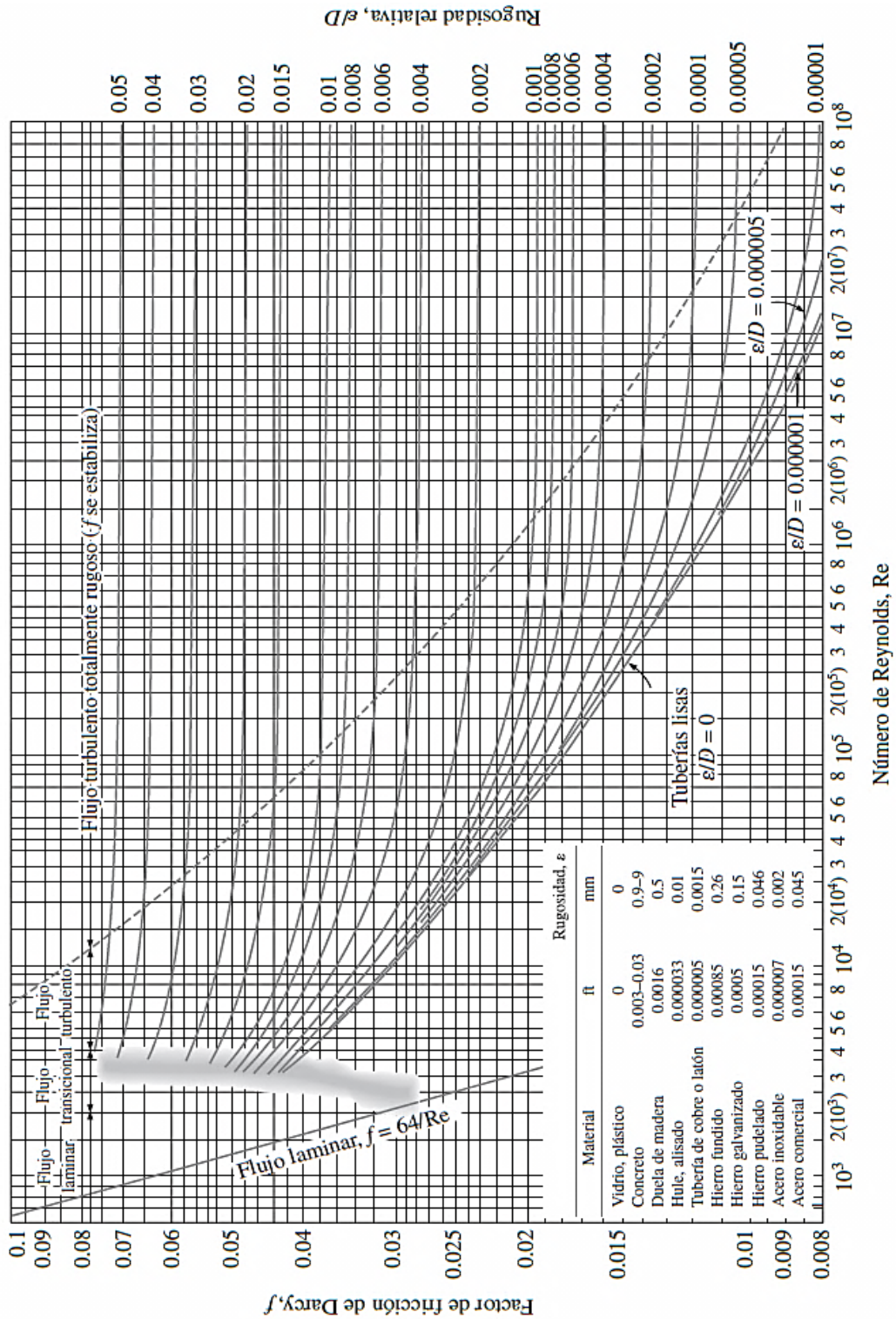
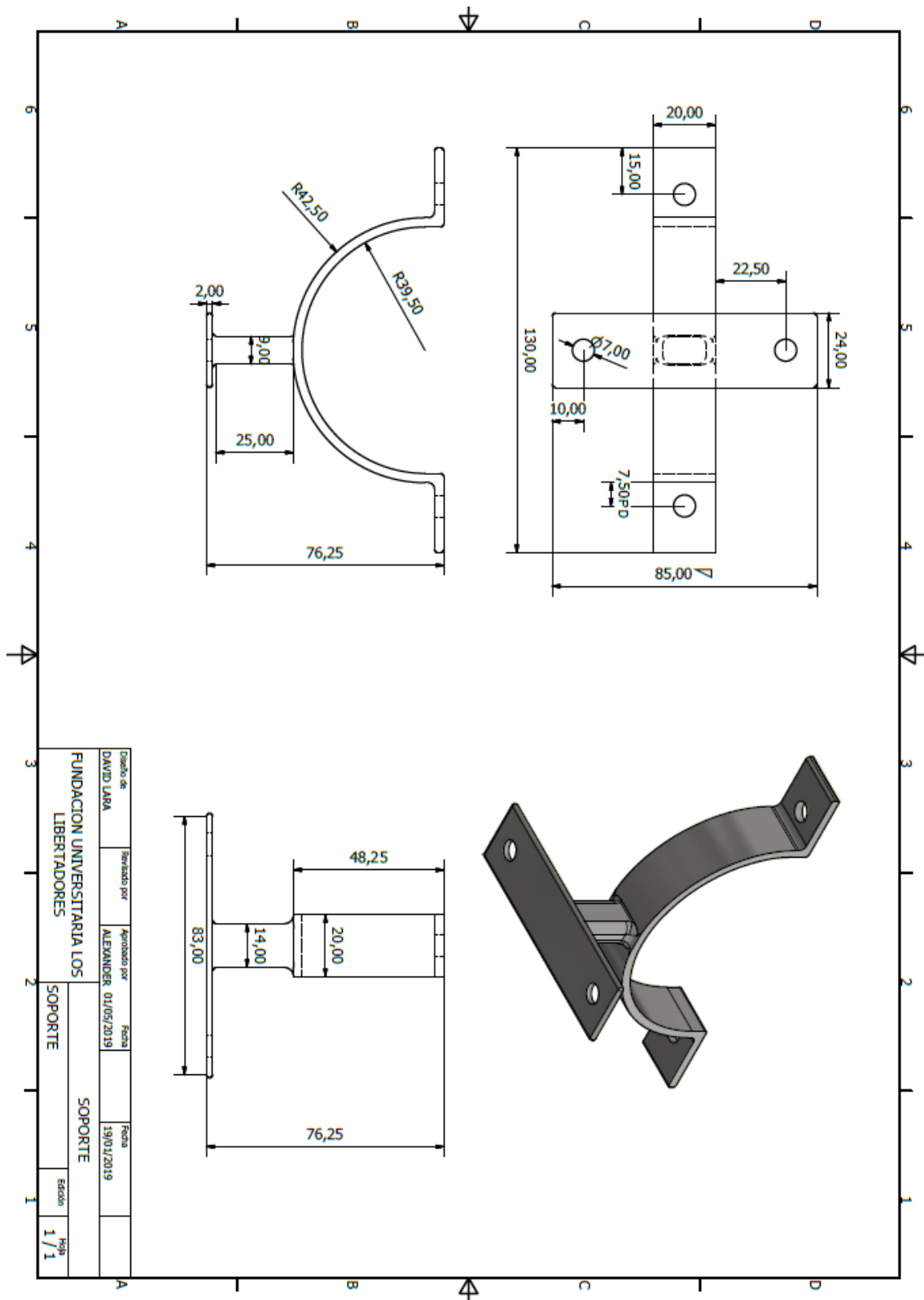
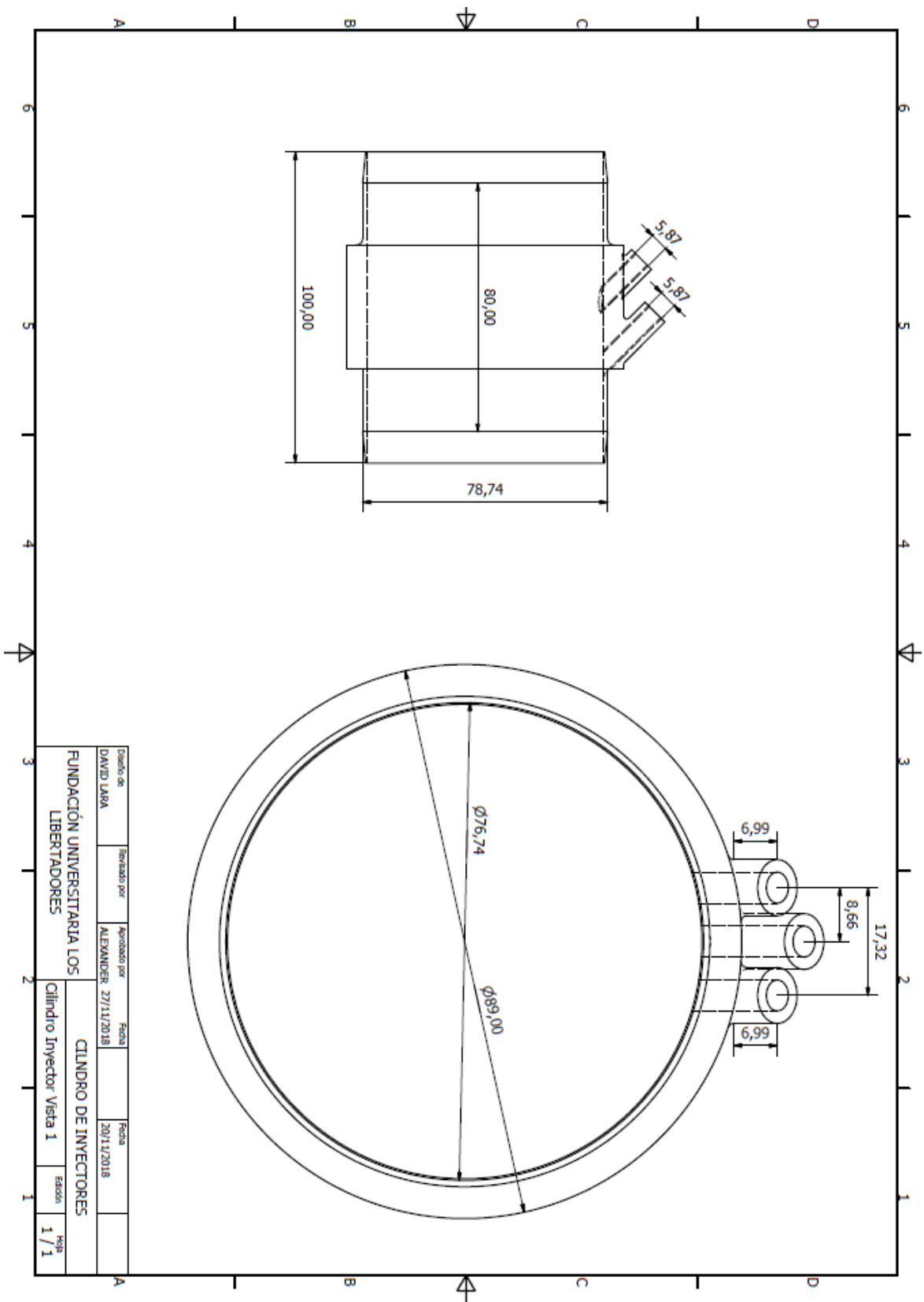


Diagrama de Moody. Fuente: Cengel A.Y. & C. (2012). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. New York: McGraw-Hill.

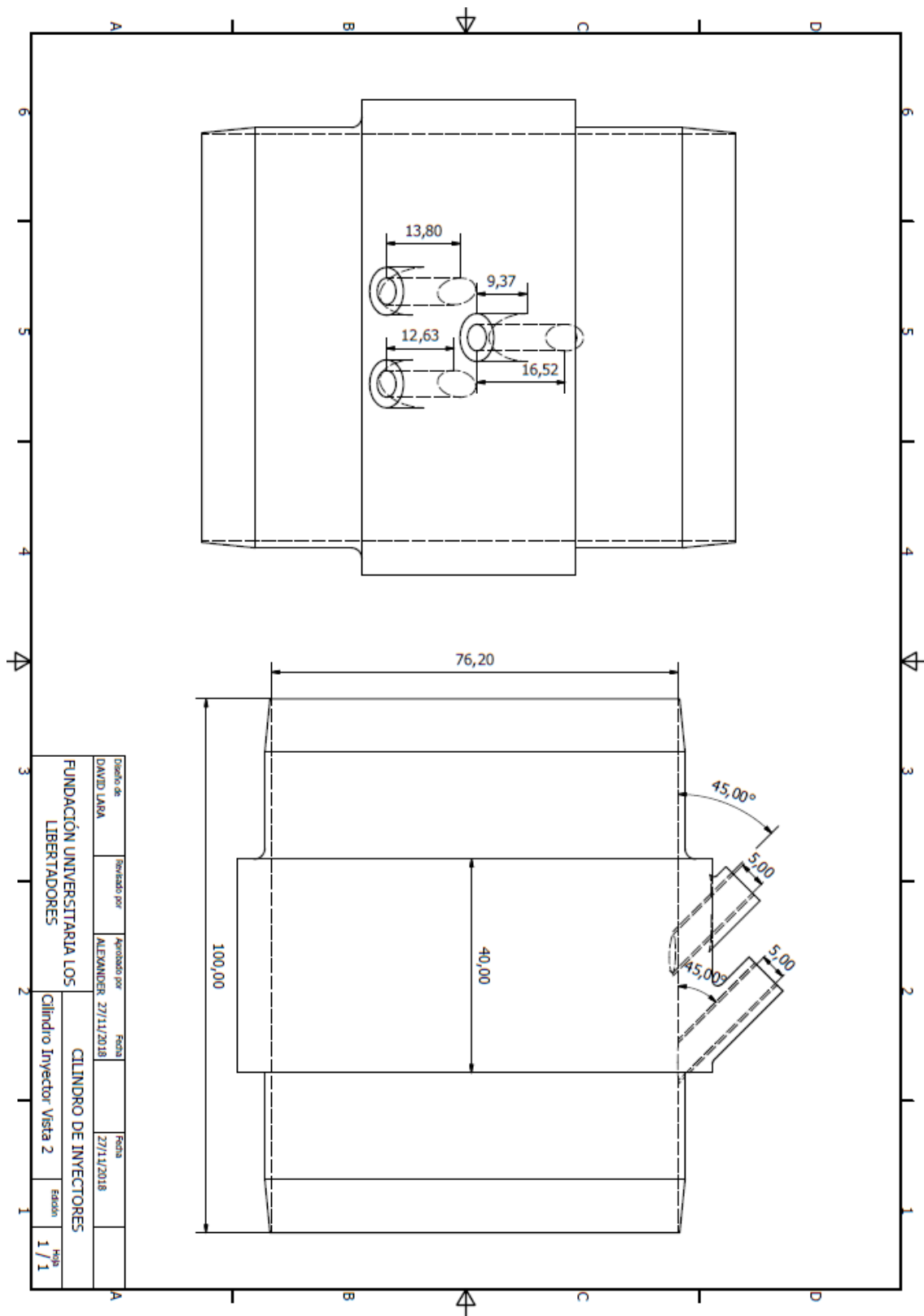
ANEXO B. : PLANOS DE COMPONENTES DISEÑADOS.



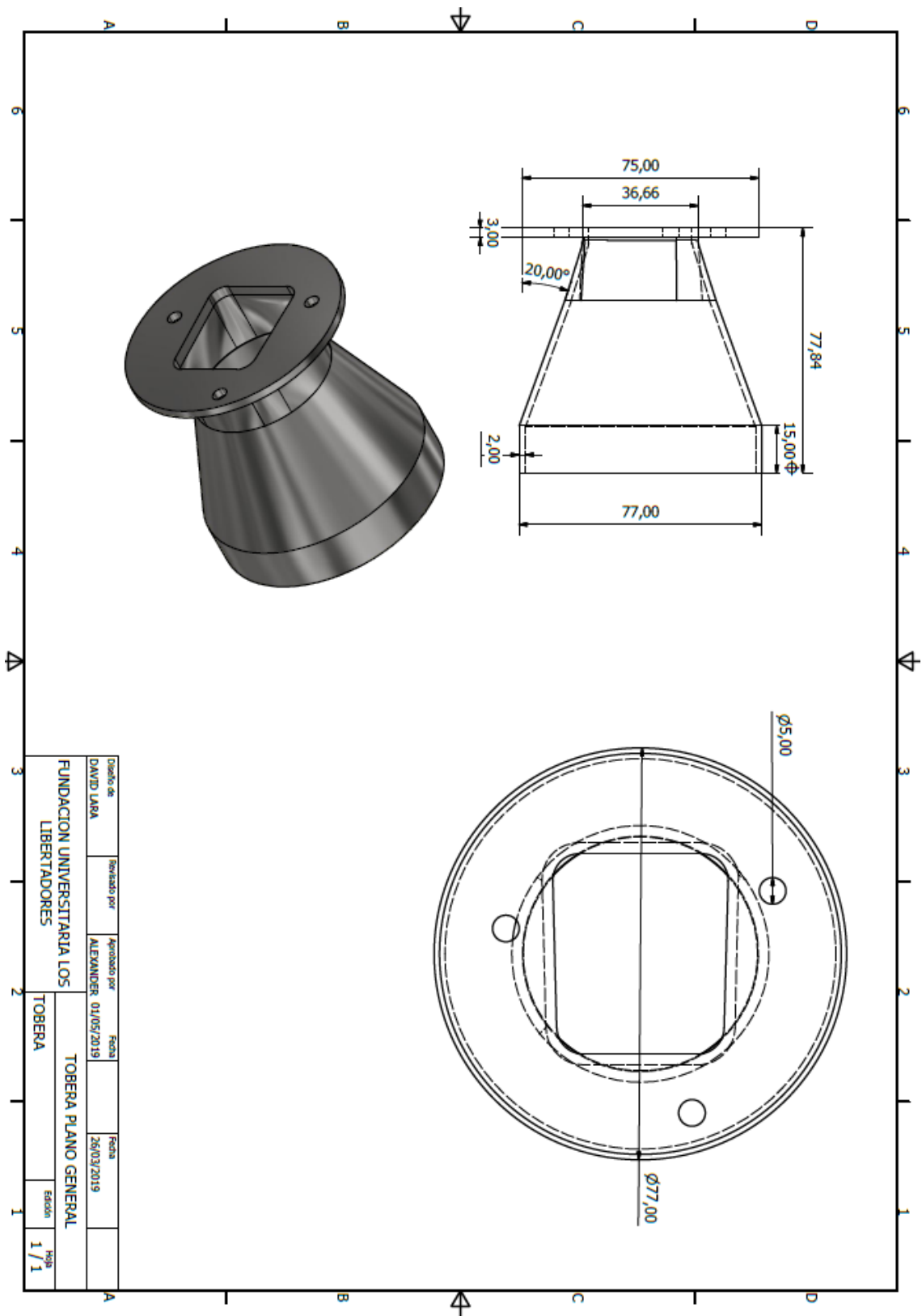
Plano de soporte. Fuente: Autor



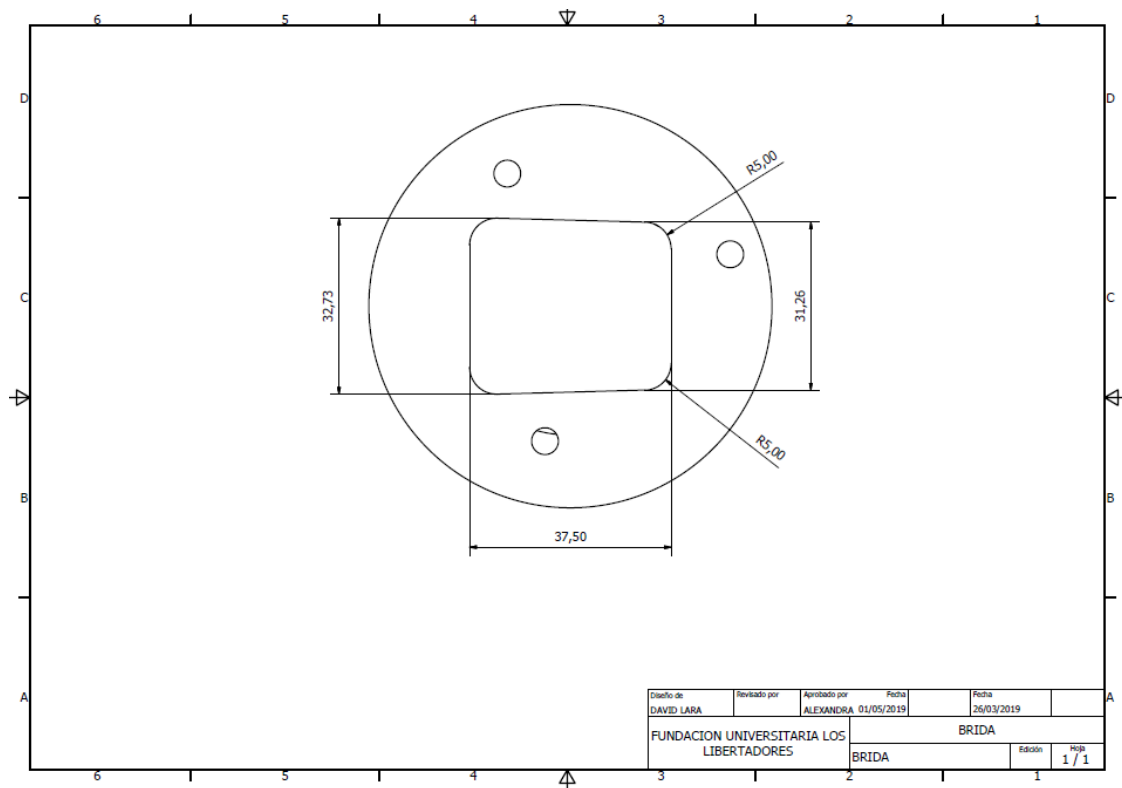
Plano de cilindro de inyectores. Fuente: Autor



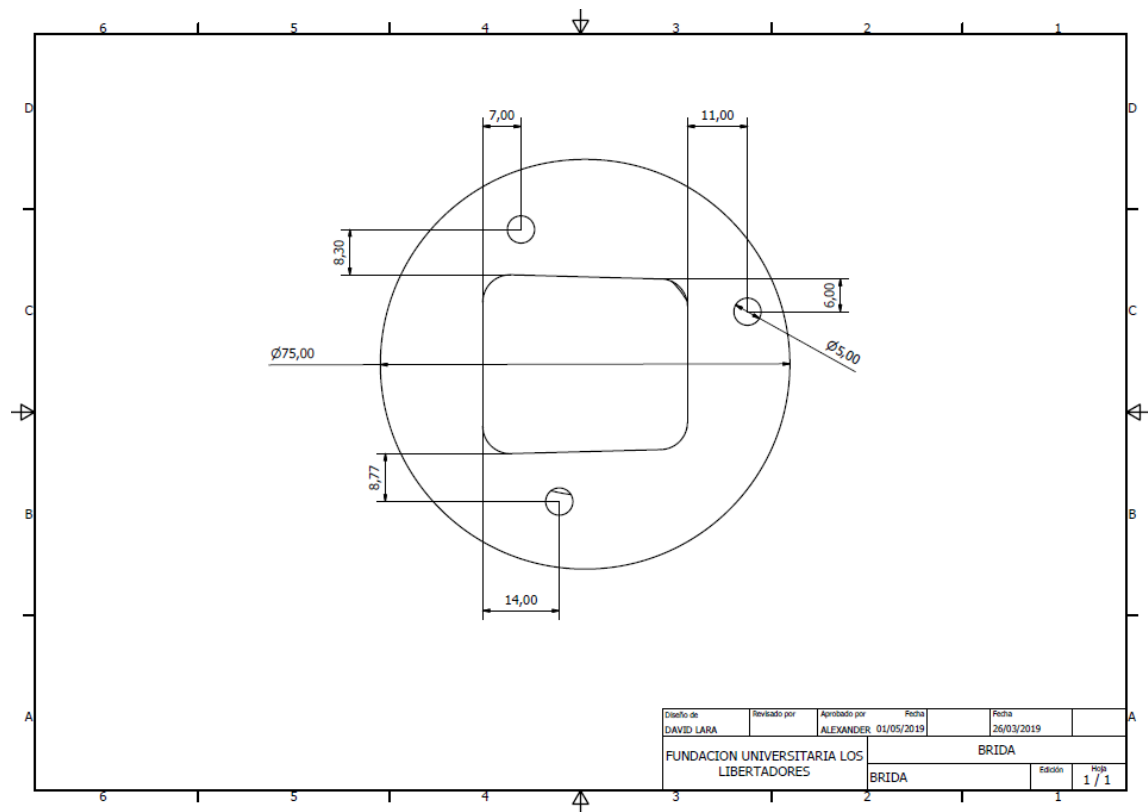
Plano de cilindro de inyectores. Fuente: Autor



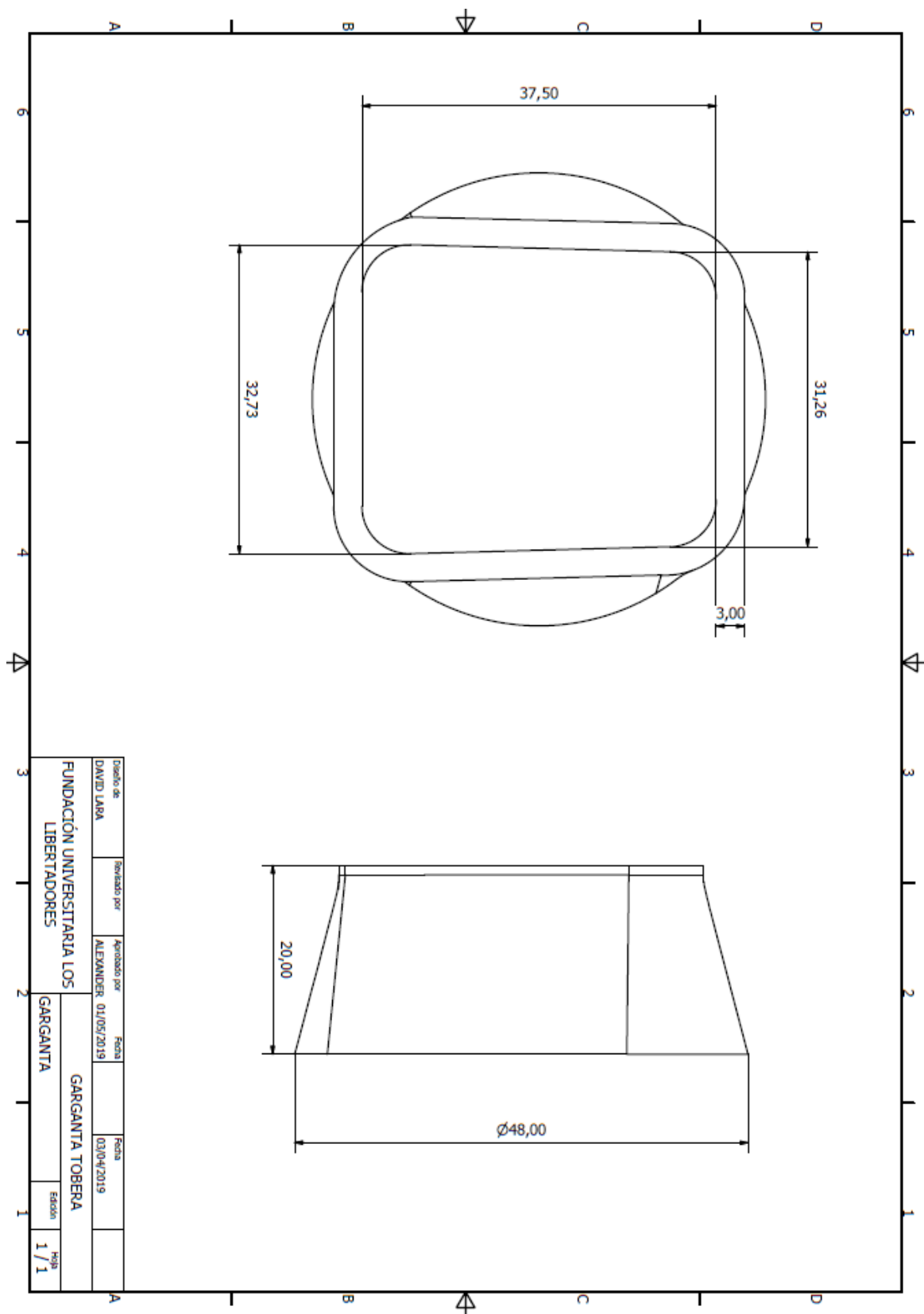
Plano de tobera y difusor. Fuente: Autor



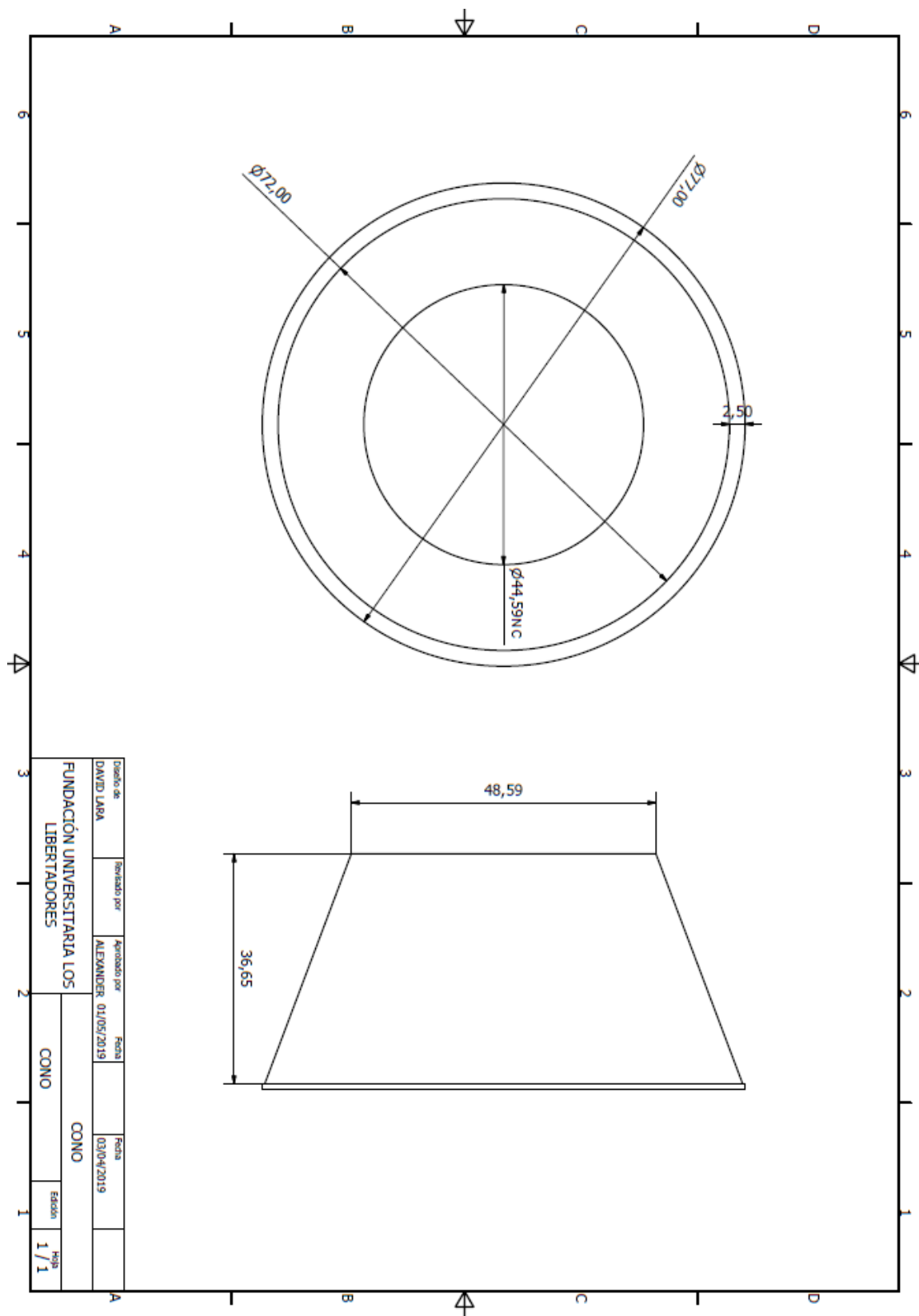
Plano de brida 1. Fuente: Autor



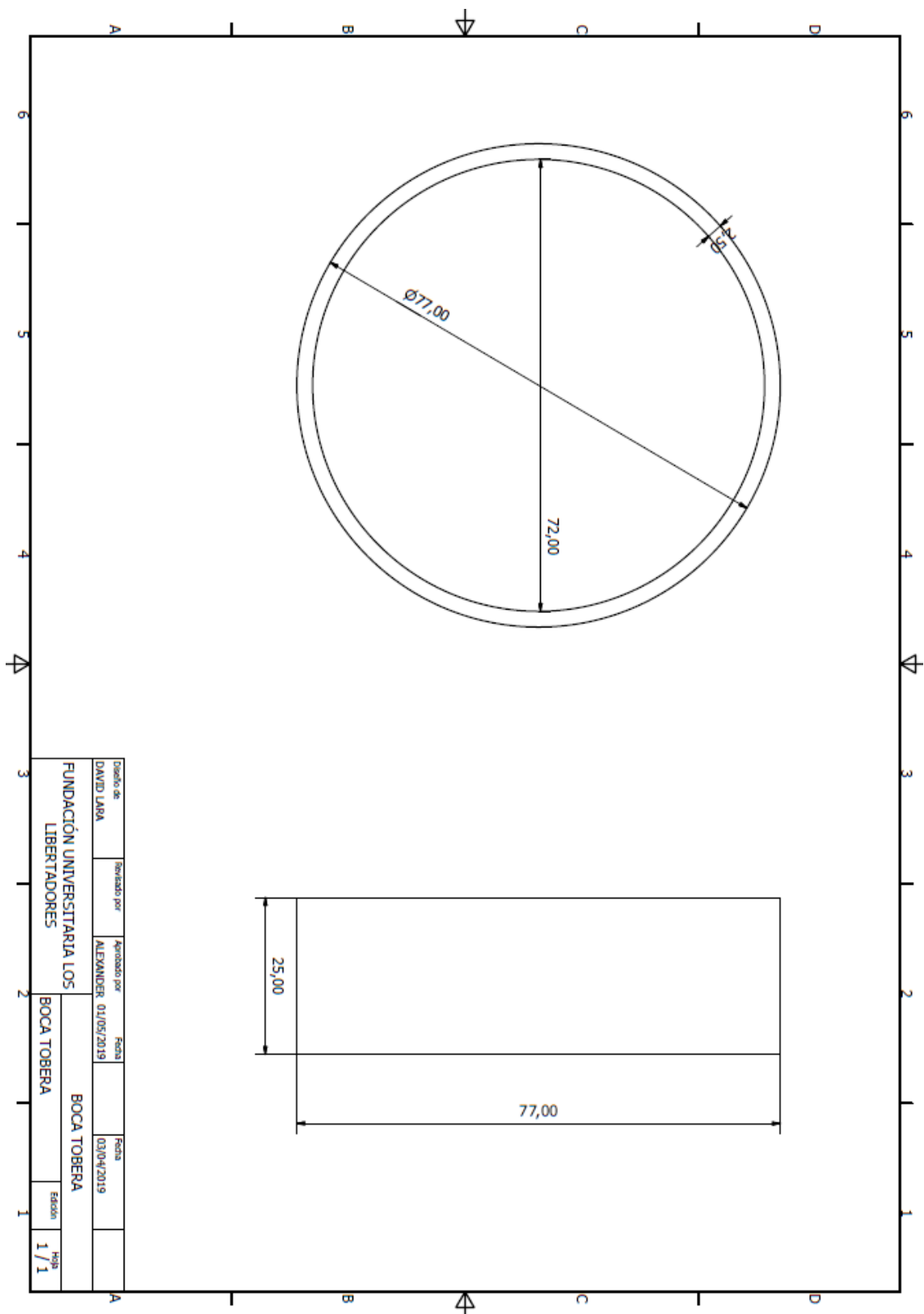
Plano de brida 2. Fuente: Autor



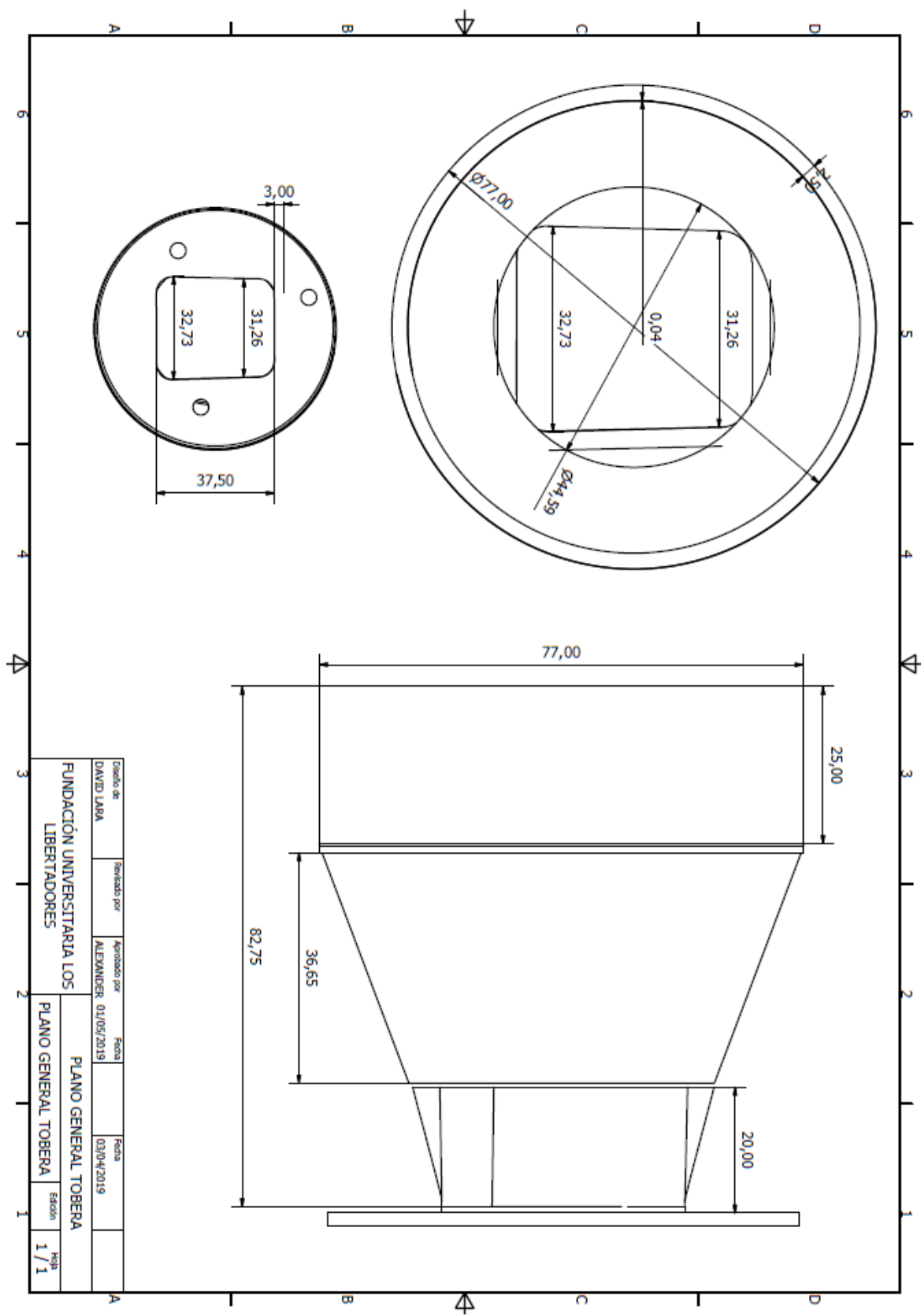
Plano de garganta de la tobera y difusor. Fuente: Autor



Plano del cono de tobera y difusor. Fuente: Autor



Plano de boca de la tobera y difusor. Fuente: Autor



Plano general de tobera y difusor. Fuente: Autor