

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas de un Motor a Diésel para Evaluación de Combustible Híbrido (mezcla de diésel con biodiésel de aceite vegetal).**

Trabajo de Investigación

**Felipe Daniel Bastidas Játiva**

**Aldo José Cunalata Ponce**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de titulación presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 4 de diciembre de 2018

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

## **Colegio de Ciencias e Ingeniería**

### **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas de un Motor a Diésel para Evaluación de Combustible Híbrido (mezcla de diésel con biodiésel de aceite vegetal).**

**Felipe Daniel Bastidas Játiva**

**Aldo José Cunalata Ponce**

Calificación: \_\_\_\_\_

Nombre del profesor, Título académico:

David Escudero PhD.  
Docente Departamento de Ingeniería  
Mecánica

Firma del profesor: \_\_\_\_\_

Quito, 4 de diciembre de 2018

## Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Felipe Daniel Bastidas Játiva

Código: 00122295

Cédula de Identidad: 1725370785

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Aldo José Cunalata Ponce

Código: 00118369

Cédula de Identidad: 1714943311

Lugar y fecha: Quito, 4 de diciembre de 2018

## RESUMEN

El desarrollo de un banco de pruebas permite evaluar el rendimiento de un motor Nissan CD20 y parametrizar su desempeño para validar un funcionamiento estandarizado, en este se desea llevar un control de: la temperatura de aceite del motor, la presión de los inyectores de combustible, la temperatura de entrada de aire al motor, la temperatura del combustible en las cañerías de inyección, la temperatura de entrada y salida de refrigerante en el radiador y las revoluciones de operación validando el comportamiento del motor a 2000 rpm y 3000 rpm respectivamente y la opacidad de las emisiones generadas evaluadas bajo parámetros dictados por entidades pertinentes. Se busca evaluar el rendimiento del motor utilizando distintas mezclas de diésel convencional con biodiésel obtenido a través del uso de la planta de la Universidad San Francisco de Quito. Tras utilizar el banco de pruebas en un motor a diésel, se obtiene como resultado la posibilidad de insertar un combustible híbrido B20, es decir, 20% de biodiésel, obtenido a partir de aceite vegetal reutilizado, y 80% de diésel convencional, sin comprometer el rendimiento del motor. Se validaron los datos al realizar una comparación del motor operando con combustibles B0, B5, B10, B15 y B20, de donde se propone la mezcla con 10% de biocombustible y 90% de diésel como la óptima para el funcionamiento del motor en cuestión debido a los resultados de opacidad y la propuesta favorable para la Universidad San Francisco de Quito, como productora del biodiésel a través del proceso de transesterificación. Como resultado se puede garantizar la posibilidad de utilizar esta combinación de combustible en los vehículos de transporte de personal de la universidad tanto como para las finalidades que esta entidad considere pertinente.

**Palabras clave:** Banco de Pruebas, Biodiésel, Combustible Híbrido, Eficiencia, Estandarización, Parámetros de Operación, Rendimiento.

## ABSTRACT

The development of a test bench allows to evaluate the performance of a Nissan CD20 engine and parametrize its development to validate a standardized behavior. In the present Test Bench, it is desired to keep track of: the engine oil temperature, the pressure of the fuel injectors, the air inlet temperature to the engine, the fuel temperature in the injection pipes, the coolant inlet and outlet temperature in the radiator and engine revolutions of operation validating the behavior of the engine to 2000 rpm and 3000 rpm respectively, and the opacity of the generated emissions evaluated under parameters dictated by pertinent entities. The aim is to evaluate the performance of the engine using different mixtures of conventional diesel with biodiesel obtained using the San Francisco de Quito University's plant. After using the test bench in a diesel engine, the result is the availability of inserting a B20 hybrid fuel (mixture of 20% biodiesel and 80% conventional diesel) without compromising the performance of the engine. Data were validated by a comparison of the engine operating with fuel B0, B5, B10, B15 and B20. The mixture with a 10% of biofuel and 90% of diesel is proposed as the optimum for the Nissan CD20 engine due to the opacity results and it will be a favorable proposal for the San Francisco de Quito University, as a producer of biodiesel through the process of transesterification. Finally, as a result, the possibility of using this combination of fuel in the personnel transport vehicles of the university can be guaranteed as well as for the purposes that this entity considers pertinent.

**Key Words:** Biodiesel, Efficiency, Hybrid Fuel, Operation Parameters, Performance, Standardization, Testing Bench.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	14
Justificación .....	18
Objetivos.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos. ....	19
MARCO TEÓRICO.....	21
Parámetros de Diseño .....	21
Simulación de Esfuerzos.....	23
Parámetros de Biocombustible .....	25
Equipos de Medición .....	29
METODOLOGÍA .....	35
Primera Etapa: Diseño y Construcción del Banco de Pruebas .....	36
Segunda Etapa: Instrumentación y Monitoreo del Motor a Ensayarse.....	41
Tercera Etapa: Obtención del Biocombustible a Base de Aceite Vegetal Usado.....	44
Cuarta Etapa: Diseño de Experimentos .....	45

RESULTADOS.....	49
Resultados Análisis de Esfuerzos .....	49
Resultados Temperatura de Aceite .....	54
Resultados de Temperatura de Motor.....	58
Resultados de Temperatura de Inyección de Combustible.....	63
Resultados de Opacidad.....	68
DISCUSIÓN .....	72
Simulación .....	72
Temperatura de Aceite.....	73
Temperatura de Motor .....	74
Desempeño con combustible híbrido.....	77
Esfuerzos en el banco de pruebas .....	78
CONCLUSIONES .....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83
ANEXOS.....	85
Anexo A: Manual de Operación de Planta de Biodiésel: .....	85
Pasos básicos.....	85

Transferencia de aceite al tanque de almacenamiento .....	85
Secado del aceite .....	87
Anexo B: Resultados de Opacidad para cada Ensayo .....	88
Ensayo N°1 – Diésel 100% .....	88
Ensayo N°2 – Diésel 100% .....	89
Ensayo N°3 – Diésel 100% .....	90
Ensayo N° 4– Diésel 100% .....	91
Ensayo N°1 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%) .....	92
Ensayo N°2 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%) .....	93
Ensayo N°3 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%) .....	94
Ensayo N°4 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%) .....	95
Ensayo N°1 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%) .....	96
Ensayo N°2 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%) .....	97
Ensayo N°3 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%) .....	98
Ensayo N°4 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%) .....	99
Ensayo N°1 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%) .....	100
Ensayo N°2 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%) .....	101

Ensayo N°3 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%). .....	102
Ensayo N°4 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%). .....	103
Ensayo N°1 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%). .....	104
Ensayo N°2 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%). .....	105
Ensayo N°3 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%). .....	106
Ensayo N°4 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%). .....	107
Anexo C: Planos de Taller del Banco de Pruebas y sus Componentes .....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades del Diésel vs. Biodiésel.....	29
Tabla 2. Especificaciones Motor Nissan CD20.....	32
Tabla 3. Temperatura Máxima de Aceite Alcanzada en el Ensayo Completo.....	58
Tabla 4. Resumen de Resultados de Opacidad.....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura de Mezcla de Biodiésel con Diésel Convencional. ....	29
Figura 2. Esquema de Funcionamiento Registrador de Datos. ....	30
Figura 3. Especificaciones Generales Opacímetro MDO2LON. ....	31
Figura 4. Ciclo Diésel (Ilustración con Pistón de Motor).....	33
Figura 5. Métodos de Ensayo. ....	47
Figura 6. Ensamble en SolidWorks de la Estructura y sus Componentes. ....	49
Figura 7. Estructura Aislada para Simulación de Esfuerzos. ....	50
Figura 8. Detalle de Juntas Permanentes. ....	50
Figura 9. Mallado Fino sobre Apoyos. ....	51
Figura 10. Mallado Resultante.....	51
Figura 11. Esfuerzo Máximo en Tracción. ....	52
Figura 12. Esfuerzo Máximo en Compresión.....	52
Figura 13. Resultado de Esfuerzo de Von Mises.....	53
Figura 14. Punto Crítico en Junta Soldada. ....	53
Figura 15. Factor de Seguridad Resultante.....	54
Figura 16. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para Diésel. ....	55

Figura 17. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B5.....	56
Figura 18. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B10.....	56
Figura 19. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B15.....	57
Figura 20. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B20.....	57
Figura 21. Temperatura de Motor vs. Tiempo para Diésel. ....	59
Figura 22. Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B5. ....	60
Figura 23. Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B10. ....	61
Figura 24. Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B15. ....	62
Figura 25. Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B20. ....	63
Figura 26. Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para Diésel. ....	64
Figura 27. Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B5.....	65
Figura 28. Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B10.....	66
Figura 29. Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B15.....	67
Figura 30. Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B20.....	68
Figura 31. Resultado de Opacidad vs Tiempo para Combustible 100% Diésel.....	69
Figura 32. Comparación de Porcentajes de Opacidad vs. Iteración Realizada. ....	71
Figura 33. Temperatura de Motor vs. Tiempo para ensayo a 2000 rpm. ....	75

Figura 34. Temperatura de Motor vs. Tiempo para ensayo a 3000 rpm. .... 76

## INTRODUCCIÓN

El uso de combustibles fósiles para el funcionamiento de motores de combustión interna ha sido la base para el transporte en Ecuador desde hace más de cuarenta años y se ha intensificado con el crecimiento demográfico en el país. De igual manera, el desarrollo de nuevas carreteras ha permitido que la demanda de automóviles en el país aumente y con esto las emisiones de contaminantes hacia la atmósfera. Es por este motivo que resulta de suma importancia reducir el impacto ambiental que representa la alta cantidad de vehículos en el país (ProEcuador, 2013).

Si bien es cierto, Ecuador no ha puesto atención al desarrollo de biocombustibles en el pasado al ser considerado un país petrolero que pertenece a la Organización de Países Petroleros del Mundo (Organization of the Petroleum Exporting Countries, 2018), sin embargo, existen iniciativas presentadas como planes piloto gubernamentales para la producción de biocombustibles (ProEcuador, 2013) y desarrollo de plantas de generación de biodiésel por instituciones académicas privadas como es el caso de la Universidad San Francisco de Quito (Yépez, 2017).

Se puede mencionar como alternativa el uso de biodiésel a partir del método de transesterificación, pues este usa como materia prima aceite vegetal reciclado. Este biocombustible reduce directamente las emisiones nocivas para el medio ambiente pues su presencia en mezclas de combustible híbrido permite producir menores emisiones de óxidos de sulfuro ( $\text{SO}_x$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), material particulado y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) (Liu et al., 2017).

Por otro lado, se puede mencionar el interés en los vehículos con motores a diésel como fundamentales al momento de desear reducir el impacto ambiental pues generalmente

son utilizados como vehículos de transporte de maquinaria, mercancía, materiales pesados y otros elementos producidos a nivel industrial, motivo por el cual sus horas de operación son mayores a la de los vehículos a gasolina y por lo tanto, las emisiones generadas es un factor a considerar si se desea reducir el impacto ambiental a nivel nacional (Ortiz V., 2014). Para tratar este tema, no se puede considerar la eliminación de estos vehículos o reducir el uso de los mismo debido a su demanda a nivel nacional, por lo que se desea evaluar la posibilidad de utilizar un combustible híbrido para reducir la contaminación emitida por estos vehículos, sin necesidad de generar un decremento en el rendimiento de estos (Ramalingam, Rajendran, & Ganesan, 2018).

La metodología para validar esta posibilidad yace en realizar un banco de pruebas para evaluar el funcionamiento de un motor a diésel Nissan CD20 utilizando como combustible diésel mezclado con biodiésel proveniente de aceite vegetal previamente utilizado, donde se variará la mezcla en intervalos de porcentajes de 5% hasta alcanzar una relación de 80% diésel convencional y 20% de biodiésel. El presente proyecto consta de cuatro etapas principalmente, donde se parte del diseño y construcción del banco de pruebas, se continua con la adaptación de los equipos para realizar mediciones y se culmina con las etapas de evaluación y comparación de rendimiento del motor en presencia de los diferentes tipos de combustibles.

Los bancos de prueba se utilizan a menudo hoy en día para simular el funcionamiento de un motor de combustión interna en un vehículo, el cual puede funcionar con gasolina o con diésel. Para que un banco de pruebas opere de manera adecuada se debe garantizar que, tanto el torque como la velocidad en el cigüeñal del motor adaptado al sistema deben rastrear los valores que el motor de combustión interna experimentaría en el vehículo (Passenbrunner, Formentin, Savaresi, & del Re, 2014). Además, el torque de carga,

generalmente, debe ser evaluado con el uso de un dinamómetro. Si los valores registrados por parte de los sensores del banco de pruebas son similares, las mediciones en un vehículo pueden reemplazarse por mediciones en un banco de pruebas con ventajas significativas en términos de reproducibilidad, tiempo y costos reducidos al calibrar mapas de una unidad de control de motor o desarrollar nuevos conceptos de control del motor (Köten & Parlakyiğit, 2018).

En cuanto al biodiésel que se busca utilizar, es importante mencionar que se han realizados pruebas de motores funcionando con biodiésel provenientes de distintas fuentes, como semillas de mostaza o arroz. Sin embargo, el presente banco de pruebas tiene como finalidad utilizar biodiésel desarrollado por parte de la planta de combustible alternativo de la Universidad San Francisco de Quito, donde lo fundamental es mencionar que este combustible utiliza aceite vegetal previamente usado y lo somete a un proceso de transesterificación, garantizando la obtención de un biocombustible con alto número de cetano y alta eficiencia de combustión (Cabrera, 2018).

Gracias a este proceso se garantiza no solo la disponibilidad de los elementos para desarrollarlo sino la probabilidad de que el biocombustible sea más amigable a las mezclas que desean realizarse, es decir que pueda homogeneizarse con diésel convencional y pueda funcionar como combustible para un motor a diésel. Adicionalmente, se debe destacar un comportamiento más amigable con el medio ambiente por el uso de este combustible, justificándose a partir de no utilizar productos vírgenes para la generación de combustible (Cabrera, 2018; Yépez, 2017).

De otro modo se menciona las pruebas de biodiésel previamente realizadas, en estas se puede hacer referencia al uso de arroz para obtener aceite vegetal como base para la

obtención del combustible. Esto se presenta como una ventaja pues es de bajo costo, no convencional y se encuentra en la categoría de bajo grado de aceites vegetales; no obstante, esta no es una opción pertinente pues la viscosidad cinemática del arroz es significativamente mayor a la del diésel regular, lo cual genera problemas en el bombeo del fluido y en la pulverización de este último (Chhabra, Sharma, & Dwivedi, 2017).

Por otro lado, otra experimentación realizada consiste en desarrollo de biodiésel a partir del uso de semillas de mostaza, donde de resultados se obtuvo un precio de producción más bajo que el del diésel obtenido del petróleo si este no contase con el subsidio del gobierno, del mismo modo es importante mencionar que este combustible fue utilizado en un banco de pruebas donde se llevó control de las variaciones de la presión del cilindro, la tasa de liberación de calor, la liberación del calor acumulado, eficiencia térmica indicada (ITE), duración de combustión, y las emisiones observando emanaciones de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y humo (Uyumaz, 2018). De donde se puede mencionar que, en el caso de las variaciones de presión en los cilindros el comportamiento de un motor con biodiésel es similar al de un motor con diésel convencional, por otro lado, en cuanto a la eficiencia térmica y la liberación del calor acumulado los valores favorecen al combustible a base de mostaza. Finalmente, la disminución en emisiones de gases nocivos es significativo al utilizar un combustible amigable con el medio ambiente, lo cual es el motivo fundamental para promover el uso de biodiésel en motores convencionales de combustión interna, de este modo esta investigación promueve el uso de un banco de pruebas para definir cuales biocombustibles son factibles para resultados de este tipo (Köten & Parlakyiğit, 2018).

El trabajo realizado con la semilla de mostaza sirve de cimiento para el desarrollo del banco de pruebas presentado, donde se tiene como prioridad medir los mismos parámetros mencionados en la investigación referenciada. Además, es importante mencionar

que se busca definir la mezcla ideal de biodiésel proveniente de aceite vegetal con diésel para un mejor rendimiento en el motor del vehículo, garantizando la viabilidad de utilizar el biodiésel generado en el laboratorio de la Universidad San Francisco de Quito para sus vehículos a diésel.

## **Justificación**

El interés de realizar un banco de pruebas que permita realizar la evaluación de un motor a diésel convencional a partir del uso de un combustible conformado por una mezcla con biodiésel nace del impacto ambiental que genera la quema de combustibles fósiles y la cantidad de dinero invertido en el campo automotriz.

El primer punto mencionado se refiere a que hoy en día Ecuador ocupa el puesto número 73 en países con más emisiones de CO<sub>2</sub>, generando 24 834 000 toneladas métricas de este contaminante al año, si bien este número representa tan sólo el 0.1% del total producido en el mundo, es un valor exorbitante que busca ser reducido. Un proceso significativo en la generación de dióxido de carbono y otros gases nocivos para el medio ambiente son los ciclos de los motores a diésel, por lo que evaluar una posibilidad donde se tome en cuenta un combustible menos dañino es una justificación pertinente para evaluar la posibilidad de la implementación de este producto en los motores convencionales del Ecuador (European Comission, 2017).

Por otro lado, si se toma en cuenta el dinero que se mueve dentro del campo automotriz y de sistemas industriales que funcionan con motores a diésel, se encuentra una oportunidad de mercado que es de gran importancia. Como propuesta se plantea el desarrollo de un banco de pruebas en el cual se puede observar la factibilidad de la implementación de biocombustibles en motores diseñados para funcionar con derivados del petróleo, por lo que

el garantizar una viabilidad de esta idea permitiría evaluar las posibilidades de proponer un proyecto más amigable con el medio ambiente que pueda ser rentable al tener un fundamento teórico y práctico de respaldo.

## **Objetivos**

### **Objetivo general.**

- Diseñar y construir un banco de pruebas para un motor a diésel Nissan CD20, considerando su funcionamiento con una mezcla híbrida de diésel y biodiesel (máximo 20%) para realizar pruebas de rendimiento.

### **Objetivos específicos.**

- Diseñar un banco de pruebas para un motor a diésel modelo Nissan CD20.
- Analizar distintos parámetros de operación para distintas mezclas de combustible variando la mezcla de 5% hasta 20% aumentando el 5% en cada iteración.
- Realizar la instrumentación del motor Nissan CD20 para poder evaluar su comportamiento en el banco de pruebas.
- Medir la temperatura de aceite del motor en cada una de iteraciones realizadas.
- Medir la presión de los inyectores de combustible como parámetro de estandarización en cada una de las iteraciones realizadas para cada combustible.
- Medir la temperatura de entrada de aire al motor como parámetro de control durante cada prueba.
- Medir la temperatura del combustible en las cañerías de inyección durante cada iteración.

- Medir la temperatura de entrada y salida de refrigerante en el radiador durante cada experimentación.
- Medir las revoluciones de operación validando el comportamiento del motor a 2000 rpm y 3000 rpm durante intervalos de 3 minutos.
- Medir la opacidad de las emisiones generadas y evaluarlas bajo parámetros dictados por la norma INEN 2 202:2000.
- Recopilar y analizar los datos obtenidos para determinar la mezcla adecuada de biocombustible para no comprometer el rendimiento del motor e implementar la mayor cantidad de biocombustible posible.

## MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo del marco teórico se parte de seccionar los temas tratados con la finalidad de facilitar la comprensión de los fundamentos teóricos explicados. Las secciones desarrolladas son: Parámetros de Diseño, Simulación de Esfuerzos, Parámetros de Biocombustible y Equipos de Medición.

### **Parámetros de Diseño**

El desarrollo de un banco de pruebas tiene varios parámetros de diseño que deben ser abarcados, se puede partir por mencionar los materiales que se utilizan para el desarrollo de la estructura con la finalidad de que pueda soportar la carga del motor y los equipos en funcionamiento sin verse comprometida en ningún momento (Álvarez, 2013).

Se desarrolló una estructura cuadrada de acero a base de vigas de tipo UPN cortadas. El acero utilizado generalmente cuenta con las siguientes calidades: ASTM A-36 o ST-37-2 (Materiales los Andes, 2010). El perfil UPN es un producto laminado con una sección en forma de U. Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las interiores representan una inclinación del 8% respecto a las exteriores, eso provoca que tengan grueso decreciente hacia los extremos. La superficie interior de la unión entre el alma y las alas esta redondeada. Las alas tienen el canto exterior con arista viva y la superficie interior redondeada, es importante mencionar el diseño de la viga pues se seleccionó como material para el desarrollo del banco de pruebas por su tipo de acero que es generalmente utilizado para refuerzos estructurales y construcción de maquinaria (INCAFE2000, 2018).

Una vez decidido el material para realizar la construcción se diseñó el sistema de tal manera que aproveche los puntos de anclaje con los que cuenta el motor Nissan CD20 y a

su vez permita la instalación de sensores y equipos adicionales con facilidad. La estructura de un banco de pruebas debe permitir la visualización del motor en su totalidad y el fácil acceso a las diferentes secciones del motor. Mencionando la parte superior de la fuente motriz se debe tomar en cuenta el sistema de inyección de combustible, mientras que con respecto a la parte inferior el reservorio de aceite, y en los costados la banda de accesorios junto con el sistema de escape y en el caso en cuestión la transmisión (Álvarez, 2013).

Por otro lado, se debe lidiar con las vibraciones que siente el banco de pruebas al momento de encender y operar el motor, para esto se utilizan soportes anti vibratorios también conocidos como cauchos para base de motor. La presencia de efectos vibratorios no tratados pueden reducir la vida útil del banco de pruebas y comprometer el desarrollo de pruebas en él, donde se pueden mencionar efectos como ruido, desplazamiento de las piezas y desalineación de equipos, lo cual a su vez puede afectar en la recolección de datos (García, 2014; Luo, 2016). Para lidiar con este factor se seleccionan soportes Marino en V, debido a que estos últimos son realizados para situaciones donde la carga es baja pero el nivel de vibración es alto, lo cual son los factores con los que debe lidiar el banco de pruebas cuando el motor se encuentra funcionando (AMC, 2018).

Del mismo modo, se puede mencionar los criterios de diseño utilizados para definir la ubicación de los componentes adicionales para permitir la operación del motor. En primer lugar, debido a la ubicación del escape fija, se colocó el tanque de combustible en el extremo opuesto por seguridad puesto que el múltiple de escape es el foco de calor más relevante en el sistema. En cuanto a los demás componentes añadidos fueron adaptados tomando en cuenta la comodidad de trabajo de los operadores al momento de utilizar el banco de pruebas, es decir dejando libre el acceso a los puntos importantes mencionados con anterioridad.

## **Simulación de Esfuerzos**

Una de las principales simulaciones que deben realizarse durante el proceso de diseño previo a la construcción de una estructura es la simulación de esfuerzos a los cuales estará sometido un cuerpo o estructura para determinar diversos factores críticos a la hora de su funcionamiento en tiempo real. Es importante mencionar que para el caso únicamente se consideró un análisis de esfuerzos estático del banco debido a la extensión del proyecto puesto que un análisis de transferencia de calor y de efectos vibratorios complementaría el estudio, sin embargo, al tener una variable crítica como es la implementación de una mezcla de combustible que puede afectar el comportamiento del motor, el proyecto se tornaría extenso y no se abarcaría el principal objetivo de la evaluación del biocombustible. Mencionado esto y partiendo de un modelado del sistema en el software SolidWorks, se puede exponer a diferentes escenarios al banco de pruebas, donde se puede recrear las cargas que debe soportar, los contactos con otros componentes y los esfuerzos que se desarrollan en los materiales que forman parte del banco de pruebas.

En primer lugar, al momento de realizar un análisis mecánico, se puede hablar acerca de un análisis macroscópico desarrollado a partir de un comportamiento microscópico de los materiales al ser expuestos a una fuerza. El análisis macroscópico se refiere a las tensiones involucradas en el sistema, las deformaciones que pueden presentarse y el desplazamiento macroscópico que puede desarrollarse al momento de someter un cuerpo a una carga determinada (Storti et al., 2013).

Generalmente, estos problemas son analizados dentro del campo de elementos finitos ya que al momento de involucrar las propiedades características de un material sujetos a una carga relativamente grande como la del motor montado en el banco de pruebas, resulta

sencillo definir una simulación en el cual opera el sistema, es decir un dominio para el fenómeno presentado. De esta manera se puede especificar en un software parámetros y variables que estarán presentes en el instante de exponer una estructura a una carga real, pero sin correr el riesgo de colapsarla. Al utilizar diferentes herramientas de diseño se puede aprovechar la tecnología para optimizar este último, puesto que se puede trabajar en un modelado realizando ajustes que permitan mejorar y aumentar la resistencia de una estructura. En general, se busca plantear un problema donde se homogeneice el campo macroscópico con el microscópico de la mecánica de materiales y al lograr este punto se puede describir el sistema por completo.

Debido a la complejidad que abarca describir un banco de pruebas de la forma propuesta por la bibliografía, se busca un software que permita simular este fenómeno a través de la definición de menos variables y limitándose al alcance del proyecto como tal. En este caso SolidWorks, permite realizar un análisis de esfuerzos considerando aspectos como condiciones de borde o puntos de contacto que aproximan mucho más a la realidad la simulación. Un análisis de esfuerzos consiste en observar el comportamiento de los materiales bajo cargas establecidas, es decir que la simulación permite anticipar si un material fallaría debido a la carga a la que se encuentra expuesto, considerando falla si el material es deformado de forma permanente. A partir de los resultados obtenidos de la simulación se pueden definir los materiales requeridos para la construcción del sistema (Hernández & Pérez, 2008).

Es importante mencionar que para cualquier diseño se debe contar con un factor de seguridad pertinente por lo que los análisis de cargas en las simulaciones deben ser sobredimensionados por lo menos por un factor de 2, considerando que el mínimo requerido para una estructura es de 1.5. Tomando en cuenta este valor para situar las cargas, se puede

observar los puntos críticos del sistema y determinar si existe la necesidad de un rediseño de la estructura para garantizar que la misma cumpla su funcionalidad (Budynas & Nisbett, 2008).

Por otro lado, es fundamental mencionar que el diseño de los soportes Marino en V, tienen la habilidad de absorber la mayoría de las vibraciones transmitidas del motor en funcionamiento hacia la estructura en la que se encuentra montada, de esta manera, no se analiza los efectos vibratorios en la estructura pues las cargas estáticas representan un factor de diseño más relevante al momento de seleccionar parámetros estructurales para el banco de pruebas. Se puede decir que las cargas vibratorias pueden ser interpretadas como cargas dinámicas y oscilatorias, pero al no comprometer la estructura se puede realizar el análisis vibracional en el sistema posterior a la construcción de este. Adicionalmente, se sugiere un análisis vibracional bajo el funcionamiento de diferentes combustibles en el motor (AMC, 2018).

### **Parámetros de Biocombustible**

En primer lugar, se puede decir que existen múltiples formas de obtener biocombustibles que puedan funcionar en un motor a diésel, entre ellas se encuentran micro emulsiones, pirólisis y transesterificación como se mencionó en la introducción. También existen investigaciones donde se presentan trabajos previos obteniendo biocombustibles tan solo de una fuente orgánica en especial, como arroz o mostaza, es por esto que es de suma importancia mencionar los parámetros establecidos para el desarrollo del biocombustible que es utilizado para las experimentaciones propuestas (Cabrera, 2018; Chhabra, Sharma, & Dwivedi, 2017; Uyumaz, 2018).

En este caso se utilizó el proceso de transesterificación, el cual fue seleccionado por tres motivos principales: la disponibilidad de la materia prima, ya que al ser aceite vegetal no virgen usa un desperdicio para su generación, lo que no solo se abarca el tema de reciclaje sino el de tratar residuos post consumo y garantiza su accesibilidad. Este proceso es el utilizado en la planta de la Universidad San Francisco de Quito, es decir que ya fue previamente seleccionado y mencionado en otros trabajos de titulación como el método de obtención de biodiésel más económico al requerir químicos fáciles de conseguir para la institución, en bajas cantidades en relación a la producción generada y por el alto grado de cetano tanto como su alta eficiencia de combustión (Cabrera, 2018).

El alto grado de cetano resulta interesante en un proceso de combustión a diésel pues es un indicativo de la capacidad o facilidad de ignición. El número de cetano es un valor generalmente medido bajo condiciones controladas en laboratorio y mientras mayor sea el valor mejor se define la calidad del combustible; del mismo modo se establece que un nivel de cetano pertinente para diésel se encuentra entre 40 y 50, abarcando la calidad del combustible de Estados Unidos, Colombia y la Unión Europea como referencia. Mencionando esto también es fundamental decir que, a diferencia de la gasolina, entre mayor sea la altitud mayor será el requerimiento de cetano (Santamaria, 2001).

El proceso de transesterificación consiste en una reacción a través de la cual un aceite o grasa se mezcla con alcohol y un catalizador para formar ésteres y glicerol (Leung et al., 2010; Cabrera, 2018). Según Pantoja Cabrera en el trabajo de titulación Caracterización de las Propiedades Físicoquímicas de Biodiésel Extraído de Aceite Reciclado de Origen Vegetal, “Se considera también que el biodiésel producido se debe a la conversión de aceites triglicéridos en ésteres metílicos si se utiliza metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) como la opción de alcohol o ésteres etílicos si se utiliza etanol. Basados en esto para el proceso productivo se escogió la

alternativa de usar metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) y como catalizador uno de tipo homogéneo específicamente hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) gracias a su bajo costo y alta actividad catalítica a bajas temperaturas y presión atmosférica, a pesar de que el mismo tiende a producir cierta cantidad de agua; sin embargo este efecto contraproducente puede ser revertido y el proceso general es el más adecuado considerando su bajo costo y desenvolvimiento del proceso de transesterificación” (2018).

Para hacer más específicos en el proceso se puede hacer referencia a la siguiente cita del trabajo de Daniela Pantoja Cabrera, donde a su vez se hace referencia al trabajo de Paredes y Vidal que describe brevemente el proceso de transesterificación con el que opera la planta que produjo el biocombustible utilizado.

“Todo inicia con el proceso de purificación del aceite debido a los contaminantes que este posee originalmente, este proceso denominado también filtrado se realiza con una tela de algodón y una malla que retiene sólidos y grasa, el aceite debe pasar por esta etapa entre 2 y 3 veces con la finalidad de retener la mayor cantidad de residuos sólidos y grasa de la materia prima. Posteriormente se eleva la temperatura del recipiente que contiene el aceite purificado y precalentado, hasta evaporar el agua; este secado se realiza a una temperatura mínima de  $95\text{ }^\circ\text{C}$ , durante aproximadamente 2 horas donde se debe verificar que visualmente ya no existan gotas de agua en la parte inferior del recipiente, indicando así la evaporación completa del agua. Una vez concluido este proceso se realiza la titulación química a temperatura ambiente como parte del proceso previo a la transesterificación, para ello se usa una solución de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) y agua destilada, una muestra del aceite secado y filtrado y catalizadores que a través de la agitación permite que reaccionen los compuestos; este proceso es necesario para indicar que porcentaje y cantidad de compuesto químico será necesario en el proceso de transesterificación de toda la producción. De manera paralela

mientras el aceite secado desciende a una temperatura entre 40 y 60 °C, se calientan y se mezclan los compuestos químicos hidróxido de sodio (NaOH) y metanol (CH<sub>3</sub>OH) para una reacción más completa y se inicia con el proceso de transesterificación una vez que se una al aceite, en esta etapa es importante controlar la temperatura de la mezcla y garantizar una mezcla homogénea a través de agitación continua.

Finalmente, luego de aproximadamente dos horas de agitación, se deja que repose y se obtendrán dos productos alrededor de 12 horas después: ésteres (biodiesel) y glicerol (Leung et al., 2010), de estos dos productos se separa al biodiesel y con el fin de remover los catalizadores se lo lava con agua destilada a 50°C entre 2 y 3 veces para retirar impurezas; para mejorar su apariencia turbia que implica presencia de agua se eleva la temperatura del biodiesel para el secado a 95°C durante tres a cuatro horas para deshidratar el producto obtenido. Para mayor detalle dirigirse al documento original (Paredes y Vidal, 2017) donde se detalla su proceso de fabricación y funcionamiento.” (2018).

Adicionalmente, se puede mencionar que para realizar las pruebas en el banco se realizó el proceso de secado y filtrado nuevamente al biodiésel utilizado y se realizó una prueba de densidad para validar su estado y garantizar que los resultados de la prueba sean los deseados. La prueba de densidad consiste en verificar la presencia de componentes volátiles en el biocombustible al no variar su densidad con la teórica propuesta (Cabrera, 2018), mientras que el proceso de filtrado se realizó nuevamente para corroborar que el biocombustible se elaboró de la manera adecuada pues obtener el mismo no se encontraba en el alcance del presente trabajo de titulación. Las propiedades de los combustibles empleados se presentan en la Tabla 1, donde se puede observar las características del biocombustible empleado en comparación con el Diésel Premium local.

Tabla 1. Propiedades del Diésel vs. Biodiésel.

Parámetro	Diésel	Biodiésel
Densidad [kg/l]	0,84	0,89
Viscosidad Cinemática [mm <sup>2</sup> /s]	3,2	4,2
Número de Cetano	45-50	47-51
Agua [ppm peso]	161	0,05% máx.
Punto de Inflamación [°C]	60-80	100-170
Punto de Ebullición [°C]	188-343	182-338

Finalmente, se puede explicar las mezclas que se utilizan en las experimentaciones, donde se mencionan los combustibles: B0, B5, B10, B15 y B20. Esta nomenclatura empleada consiste en el porcentaje de biodiésel que se emplea en la mezcla con diésel convencional como se puede observar en la Figura 1. Se desea comparar distintos parámetros manteniendo como variable sólo el combustible utilizado.

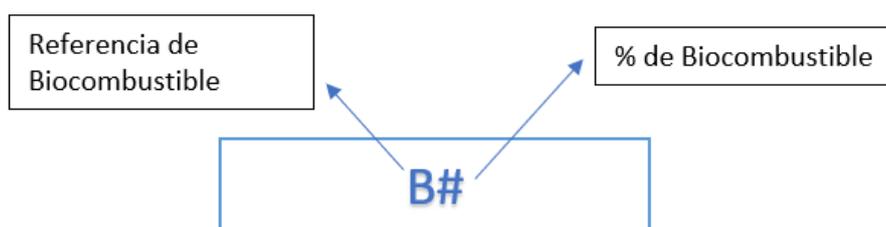


Figura 1. Nomenclatura de Mezcla de Biodiésel con Diésel Convencional.

## Equipos de Medición

El principal equipo para realizar las mediciones de los parámetros de interés en el banco de pruebas fue un Registrador de Datos Campbell Scientific modelo CR5000. Este dispositivo electrónico permite registrar datos en tiempo real por medio de instrumentos y

sensores propios o conectados externamente, basando su trabajo en microcontroladores internos (Scientific & Campbell Scientific Inc., 2010). A continuación, se muestra una imagen explicando en general las conexiones que permite el Registrador de Datos.

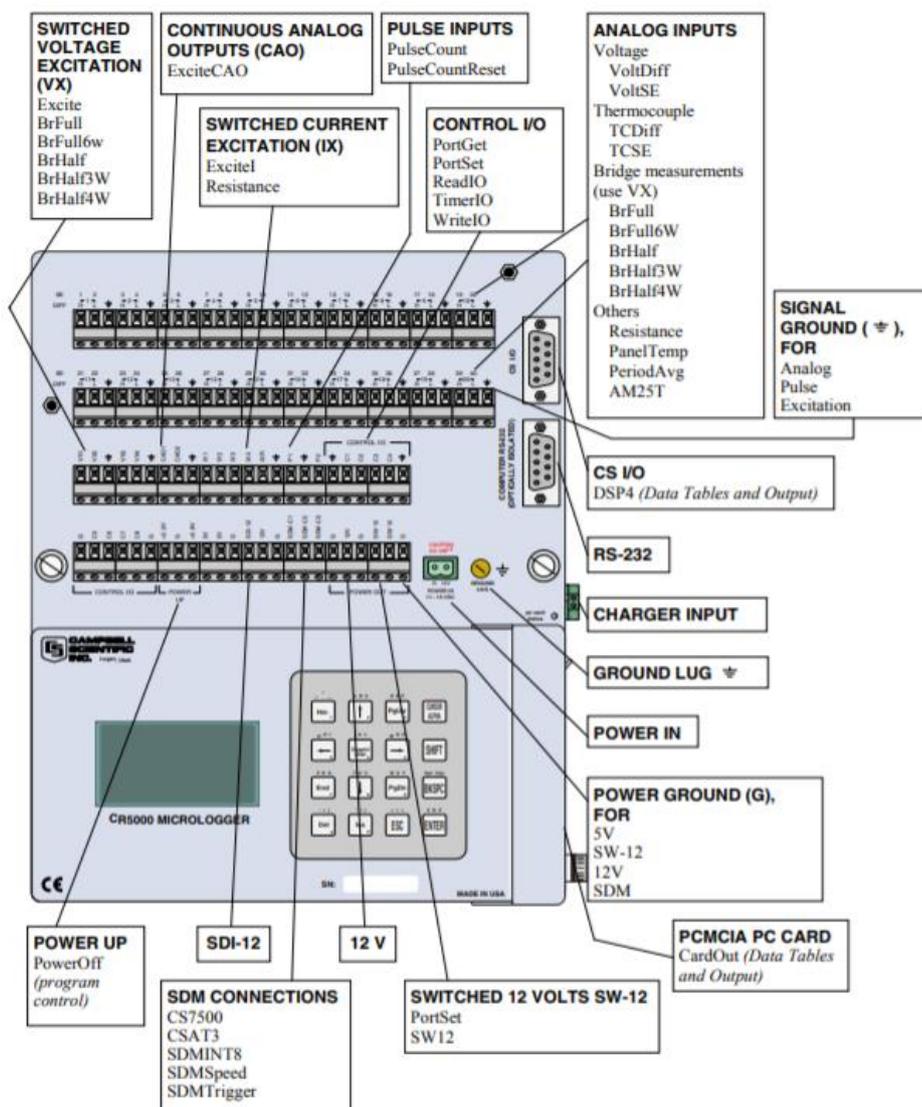


Figura 2. Esquema de Funcionamiento Registrador de Datos.

Por otro lado, al momento de medir la opacidad de los distintos combustibles se requiere un nuevo equipo pues el Registrador de Datos CR5000 no soporta el sistema operativo que acarrea la medición de opacidad. Para esta medición se utiliza un opacímetro MAHA modelo MDO2LON que permite obtener gráficas de opacidad sometiendo al motor a pruebas de aceleración libre dictadas por la norma INEN 2 202:2000. A continuación se

muestran las principales especificaciones del equipo, para más información del mismo se puede encontrar la ficha técnica del opacímetro alemán en su sitio web (MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co., n.d.).

DESCRIPCIÓN:		DATOS TECNICOS:																					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aprobación oficial alemana: certificado PTB 18.09</li> <li>• Cumple con las normativas ECE R24 ISO 3173-y la ISO/TC22/SC 5 Directiva N 650</li> <li>• Procedimiento sin problemas y ahorrador de tiempo, diagnóstico de la opacidad de los gases mediante corriente de flujo parcial con libre aceleración o bajo carga del motor</li> <li>• Captación instantánea o continua de los valores medidos</li> <li>• Sensor de temperatura integrado</li> <li>• Calefacción de la cámara de medición de alta potencia</li> <li>• Registro de la temperatura del aceite, RPM y tiempo de aceleración</li> <li>• 2 interfases RS 232 de serie               <ul style="list-style-type: none"> <li>· Para conexión PC o terminal de mano</li> <li>· Para conexión a equipos externos (Bancos de potencia)</li> </ul> </li> <li>• Indicación de los resultados en el monitor del PC de la línea de pruebas (en lugar del terminal de mano)</li> <li>• Todos los componentes fabricados de acero afinado V2A</li> <li>• Juntas e material sintético estancas al calor</li> </ul>		<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Principio de medición</td> <td>Absorción fotométrica</td> </tr> <tr> <td>Longitud de onda de la luz proyectada</td> <td>567 nm</td> </tr> <tr> <td>Longitud de la célula de medición</td> <td>430 mm</td> </tr> <tr> <td>Diametro int./ext. cámara medición</td> <td>28 mm / 25 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de calentamiento aprox. de la célula de medición</td> <td>180 s</td> </tr> <tr> <td>Tensión de a bordo</td> <td>12 V / 24 V</td> </tr> <tr> <td>Consumo de potencia medio/máx.</td> <td>0,11 kW / 0,13 kW</td> </tr> <tr> <td>Alimentación de corriente</td> <td>1/N/PE 230 V 50 Hz</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones totales (La x An x Al)</td> <td>230 mm x 550 mm x 245 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>13 kg</td> </tr> </tbody> </table>		Principio de medición	Absorción fotométrica	Longitud de onda de la luz proyectada	567 nm	Longitud de la célula de medición	430 mm	Diametro int./ext. cámara medición	28 mm / 25 mm	Tiempo de calentamiento aprox. de la célula de medición	180 s	Tensión de a bordo	12 V / 24 V	Consumo de potencia medio/máx.	0,11 kW / 0,13 kW	Alimentación de corriente	1/N/PE 230 V 50 Hz	Dimensiones totales (La x An x Al)	230 mm x 550 mm x 245 mm	Peso	13 kg
Principio de medición	Absorción fotométrica																						
Longitud de onda de la luz proyectada	567 nm																						
Longitud de la célula de medición	430 mm																						
Diametro int./ext. cámara medición	28 mm / 25 mm																						
Tiempo de calentamiento aprox. de la célula de medición	180 s																						
Tensión de a bordo	12 V / 24 V																						
Consumo de potencia medio/máx.	0,11 kW / 0,13 kW																						
Alimentación de corriente	1/N/PE 230 V 50 Hz																						
Dimensiones totales (La x An x Al)	230 mm x 550 mm x 245 mm																						
Peso	13 kg																						

Figura 3. Especificaciones Generales Opacímetro MDO2LON.

De otro modo, se puede hablar acerca de los sensores instalados, empezando por las termocuplas utilizadas para medir la temperatura en distintos puntos de interés en el motor. Se emplearon termocuplas del tipo J, las cuales fueron seleccionadas por la idea de replicabilidad de la experimentación al ser económicas, comunes, fáciles de reemplazar y compatibles con el Registrador de Datos CR5000 (ARIAN, 2010).

Una termocupla está compuesta por dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura. Las termocuplas J son económicas, físicamente muy rígidas y cubren un amplio rango de temperaturas (-180 a 1370 °C) (ARIAN, 2010).

Adicionalmente, se puede hablar del sensor encargado de medir la presión en los inyectores. Este es un sensor WIKA modelo C10 (0 a 3000 psi), el cual actúa como un

transductor de presión al utilizar los valores de presión y transformarlos a valores de voltaje en un rango de 0 a 5 voltios permitiendo que sea posible que el Registrador de Datos los interprete en su programa (Wika, 2010).

En cuanto al control de revoluciones por minuto del motor al momento de realizar las pruebas en el banco, es de suma importancia que sea un valor estandarizado y controlado, de tal manera que se buscó la adaptación de un Servo modelo DIY, DS3218MG con ángulo de control de 270° ya que este ángulo de trabajo permite la completa apertura de la bomba de inyección mecánica del motor Nissan CD20 (Horizon Hobby, 2018).

Es importante mencionar las especificaciones del motor Nissan CD20, ya que al realizar las pruebas en este motor es un limitante de los resultados obtenidos. Sin embargo, para tratar este factor se diseñó las experimentaciones con intención de parametrizar los resultados con respecto a los valores de las mediciones con combustible diésel convencional, es decir sin presencia de biodiésel. Se muestran la Tabla 2 a continuación con los parámetros básicos de interés para describir el motor Nissan CD20, si se desea más especificaciones se puede recurrir al manual de operaciones del motor (Nissan, n.d.).

Tabla 2. Especificaciones Motor Nissan CD20

Especificaciones del motor	
Código del motor	CD20
Diseño	Recta-4, vertical
Tipo de combustible	Diesel
Producción	1991-2000
Desplazamiento	2.0 l, 1.974 cc (120.45 cu in)
Bomba de inyección	Bomba de inyección de combustible
Sumador de energía	ninguna
Max. Caballo de fuerza	105 CV (77 kW; 103 CV) a 6.000 rpm
Salida de par	132 N·m (13.5 kg·m, 97 lb·ft) a 2,800 rpm
Orden de abrir fuego	1-3-4-2
Dimensiones (L x H x W):	-
Peso	180.0 kg (396.8 lbs)

Finalmente, al mencionar un motor a diésel y un análisis de las temperaturas como la presión en diferentes puntos del motor, es importante describir el ciclo termodinámico que cumple este sistema y cómo este transforma energía química en energía mecánica o cinética para transmitir movimiento al motor. A continuación, se esquematiza el comportamiento en los pistones del motor de acuerdo con el ciclo de diésel donde se puede observar el efecto en la curva Presión vs. Volumen en relación con el movimiento del pistón.

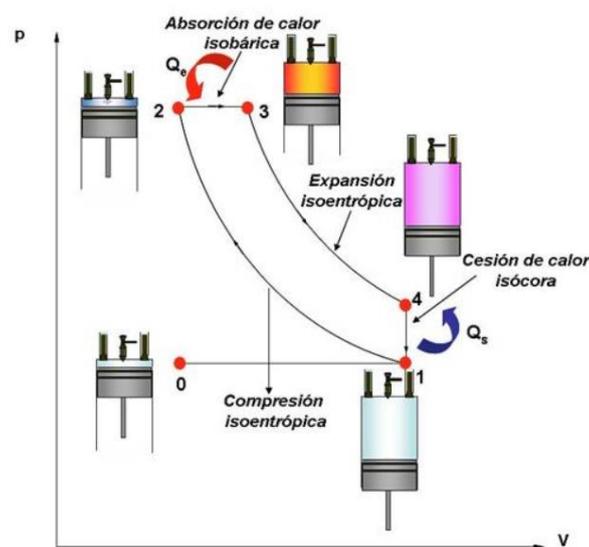


Figura 4. Ciclo Diésel (Ilustración con Pistón de Motor).

Para clarificación teórica, se hace referencia a la descripción de cada una de las etapas del ciclo de diésel en un motor de combustión interna. El ciclo teórico se compone de dos transformaciones adiabáticas (1-2) y (3-4), una isobárica (2-3) y una isocora (4-1).

- Primer tiempo (0 → 1): Por la válvula de admisión entra una carga de aire.
- Segundo tiempo (1 → 2): Con las válvulas cerradas se comprime adiabáticamente el aire alcanzando unos 800°C.
- Tercer tiempo (2 → 4): Comienza la inyección del combustible líquido finamente pulverizado, produciéndose la combustión (2 → 3) por efecto de la elevada temperatura a que se encuentra el aire. Este proceso se efectúa a presión constante

absorbiendo el sistema  $Q_e$  kJ de la fuente caliente por liberación de la energía química del combustible durante la combustión. Inmediatamente, ocurre la expansión adiabática ( $3 \rightarrow 4$ ) de los productos de la combustión, realizando el sistema un trabajo a expensas de su energía interna, hasta que el pistón llega al punto muerto inferior.

- Cuarto tiempo ( $4 \rightarrow 0$ ): Se abre la válvula de escape y se produce un descenso de presión ( $4 \rightarrow 1$ ) con el consiguiente enfriamiento isocórico en el cual se ceden  $Q_s$  (calor que sale), kilo Joules a la fuente fría. A continuación, el pistón avanza al PMS y expulsa los gases producto de la combustión (escape). Ya en el PMS se abre la válvula de admisión y se vuelve a introducir una nueva mezcla de aire y combustible en repitiéndose el ciclo (Sujesh & Ramesh, 2018; Navarro 2012 ).

## METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se debe considerar su elaboración mediante una serie de etapas que permiten alcanzar diferentes objetivos y tener una visión clara de cuál es el estado del estudio y cuáles son los resultados por los cuales se está trabajando. Si bien es cierto que, el objetivo de la construcción del banco de pruebas se basa en un diseño universal para diversos modelos de motores a diésel que se puede encontrar en el mercado, para el caso en cuestión se realizarán las pruebas de rendimiento en un motor Nissan CD20 de cuatro cilindros con sistema de inyección mecánica con bomba rotativa. Posterior al diseño del banco de pruebas se deberán acoplar diferentes sensores, actuadores y dispositivos que permitan manejar diferentes parámetros de funcionamiento junto con el monitoreo en tiempo real del comportamiento del motor ensayado.

De esta manera, se obtiene resultados del funcionamiento del motor utilizando diésel como combustible para que posteriormente se elabore el combustible híbrido que se ensayará en producto de mezcla. Se utiliza combustible híbrido que incluye diésel convencional con un porcentaje del biodiésel obtenido por el proceso de transesterificación de aceite vegetal reciclado (Yépez, 2017). Es de suma importancia verificar y registrar el desempeño junto con las variables en análisis de la unidad motriz sin el combustible híbrido para obtener parámetros de referencia. Cada una de las mediciones que son propuestas como objetivo del trabajo de titulación cuentan con una finalidad, la cual puede ser referencial o de control. Por este motivo, se obtienen gráficas con respecto al tiempo de los valores obtenidos por los sensores implementados en el equipo.

Una vez definidas las gráficas y el comportamiento del motor operando con diésel, se desea evaluar el combustible híbrido, es decir cada una de las mezclas que se llevan a

cabo: B5, B10, B15, B20 como se mencionó con anterioridad. La metodología consiste en controlar la mayoría de las variables para realizar los experimentos bajo mismas condiciones con la intención de poder marcar como variable de estudio al combustible utilizado en las distintas iteraciones, de esta manera, se puede aprovechar el banco de pruebas junto con el motor a diésel para evaluar los efectos que se presentan al añadir biodiésel en un motor sin modificaciones.

### **Primera Etapa: Diseño y Construcción del Banco de Pruebas**

La primera etapa consiste en el diseño y construcción del banco de pruebas que permite la instalación de un motor Nissan CD20 para realizar diferentes pruebas operacionales bajo parámetros fijos. Se emplearán diferentes herramientas para la elaboración de la estructura. Para realizar el modelado en computadora y los diferentes análisis de diseño se utilizará el software SolidWorks 2018 (Versión Estudiantil) que cuenta con una amplia biblioteca de materiales, componentes y asistentes de diseño que facilitan el proceso. Posteriormente, una vez verificado el diseño y al no existir riesgo de cedencia o deformación permanente (resultados obtenidos a partir de la simulación de esfuerzos), se procederá a construir la estructura partiendo del mecanizado respectivo a cada elemento mediante una sierra automatizada y una cortadora plasma CNC facilitadas por la empresa Pro-Cortes. En la misma empresa se realizará el ensamblaje de los componentes de la estructura mediante soldadura (juntas permanentes) utilizando un proceso de suelda GMAW con soldadura MIG que agiliza el proceso y permite tener juntas resistentes con un mejor acabado

En la primera fase del proceso se debe considerar ciertos factores para obtener un diseño inicial, en este caso se considera importante la resistencia de la estructura y la

facilidad para incorporar accesorios a la misma sin limitar la accesibilidad al motor en caso de requerir trabajar sobre este último. De esta manera, se opta por un diseño simple del banco considerando un cerco metálico en forma rectangular que encierre al motor a ser ensayado y así se lo puede rodear con los diferentes accesorios que se requieren para que funcione como son el sistema de refrigeración, el tanque de combustible, el panel de control y los actuadores que permiten controlar el funcionamiento de la máquina. Al mismo tiempo el cerco debe ser resistente y no deformarse, ya que debe soportar una carga máxima que incluye los dispositivos, sensores y partes adicionales que son necesarias para permitir el monitoreo del motor operativo. Considerando estos requerimientos se opta por una estructura en forma de prisma rectangular basado en una distribución de carga que permita aprovechar de la mejor manera la geometría de los elementos estructurales del banco.

La carga máxima planteada que debe soportar la estructura tiene un valor de 450 kg encima y estará distribuida homogéneamente sobre tres puntos de anclaje. Este valor se asume por seguridad dado que el peso máximo del motor junto con la transmisión es de 400 kg. El excedente de 50 kg es considerado para los accesorios empleados, los sensores de medición y los fluidos requeridos. Finalmente, como materiales que se emplearán se plantean vigas UPN en el cerco metálico para aprovechar su inercia y su presencia tanto en el mercado ecuatoriano como en la librería de materiales de SolidWorks. Adicionalmente para los demás componentes que conforman el prisma se utilizará tubos de sección transversal cuadrada para los soportes del cerco, el material predefinido por el software corresponde a acero A-36 tanto para las vigas como los tubos (Materiales de los Andes, 2010).

Al tener el bosquejo inicial del banco se procede a realizar el modelado en SolidWorks. Inicialmente es requerimiento para el diseño del cerco tomar las dimensiones

máximas del motor a ensayarse, de igual manera las medidas en las cuales se apoya el motor para implementar los puntos de anclaje en el modelado. Por último, se deben considerar los concentradores de esfuerzo que se realizarán en la estructura para el anclaje de los diferentes soportes y accesorios. Una vez realizado el modelado del sistema y sus complementos que permiten sostener los demás componentes se realiza el ensamble de los elementos que contienen juntas permanentes (soldaduras) ingresando los parámetros del proceso como es el tipo de soldadura, electrodo empleado y radio del cordón. Al obtener la estructura ensamblada con sus juntas permanentes se define en el software los materiales de cada componente con los cuales posteriormente será construido. Para esto se emplea el material disponible en la librería precargada (Acero A36).

Es importante definir que el software categoriza a las vigas UPN y los tubos de sección cuadrada como “miembros estructurales” y se encuentran predefinidos en la librería. Esto se debe a que el programa realiza un análisis de esfuerzos sobre tales componentes diferente al de los cuerpos modelados, por lo que los resultados que se obtendrán deberán analizarse tanto para las placas soldadas en la estructura y sus respectivas juntas soldadas como para los miembros estructurales, de manera que permita analizar en qué componentes se encuentra la mayor concentración de esfuerzos y proceder con un rediseño o implementar una herramienta de optimización propia de SolidWorks.

Para realizar la simulación de esfuerzos, una vez que se tiene la estructura ensamblada, se define la carga que será aplicada al sistema, los puntos de interacción entre componentes de accesorios y con las bases donde se ancla el motor. Con todos estos requerimientos se lleva a cabo un análisis de esfuerzos para verificar los puntos críticos de la estructura. Realizado el análisis de esfuerzos del sistema se verificó un punto de falla en un soporte considerándolo como punto crítico en la estructura y que necesita un soporte para

mejorar su resistencia. Utilizando el análisis de diseño del software empleado se implementó nervaduras en el punto de apoyo del motor que se consideró como crítico para reducir el esfuerzo resultante sobre este punto. Las nervaduras empleadas son el resultado de la recomendación realizada por el asistente de diseño del programa.

Una vez obtenido un resultado válido de la simulación de esfuerzos (factor de seguridad mayor a 1.5) se procede a verificar que los componentes utilizados en el programa cumplen con las dimensiones de los componentes que se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano. Para el caso en cuestión se realizó un ajuste en el espesor de los tubos de sección cuadrada ya que los elementos cargados en la librería del programa tienen una sección transversal de 6 mm de espesor y los tubos encontrados con los proveedores de este tipo de material en Ecuador tienen un espesor de 3 mm. Realizados los cambios en el modelado se observa una reducción del valor del factor de seguridad inicial como se presenta en la sección de resultados. Este factor de seguridad es considerado como válido debido a que no compromete la estructura ni su desempeño cumpliendo con el requerimiento mínimo de factor de seguridad para estructuras que corresponde a 1.5 (Álvarez, 2013; García, 2014).

Debido a que el enfoque del presente proyecto de titulación no corresponde a los efectos vibratorios del motor como resultado del uso de combustible, se despreció tales efectos en el diseño de la estructura y se consideró que el ligero sobredimensionamiento los puede absorber sin comprometerla junto con la implementación de bases reforzadas con elementos de caucho y apoyos independientes que absorben las vibraciones. Las bases de motor que se utilizarán son originales empleadas para ciertos vehículos y adicionalmente se emplean en aplicaciones marinas. De esta manera se evitan los efectos vibratorios sobre la estructura lo cual a su vez evita la fatiga excesiva de los materiales de construcción (AMC, 2018).

Una vez que se ha verificado que no existe cedencia o falla del banco sometido al esfuerzo real que representa el apoyo del motor sobre este, se procede a la construcción del banco iniciando por la adquisición de los materiales previamente seleccionados para realizar el mecanizado de estos y su dimensionamiento a las medidas necesarias para ensamblar todas las piezas entre sí mediante juntas soldadas. El proceso de soldadura mediante el cual se realizan las juntas permanentes corresponde a un proceso GMAW empleando una suelda MIG. Las juntas soldadas comprenden a la unión de los componentes estructurales como son el cerco metálico, los tubos de sección cuadrada, las placas base de apoyo de la estructura (que posteriormente se empernarán a ruedas que soporten 150 kilos cada una), el soporte frontal y el soporte lateral posterior que requiere las nervaduras. En todos los puntos de anclaje de accesorios se procedió a realizar agujeros con un diámetro mayor al de los pernos utilizados para permitir una correcta conexión sin interferencias. Además, se utilizará arandela plana y arandela de presión en ambas superficies de contacto del perno de 3/8 pulgadas de diámetro y su respectiva tuerca.

De igual manera, al construir el banco, las juntas se ensamblan con su respectivo torque (20 N.m para accesorios y 40 N.m para bases de motor), ya que el exceso de este podría comprometer prematuramente los componentes. Finalmente, al culminar con el ensamble del sistema se verifica que todos los componentes del sistema se encuentren en su lugar y no exista ninguna anomalía en el sistema para proceder con la segunda parte del proyecto. En la sección resultados se puede observar la estructura final ensamblada con todos los soportes para los accesorios del motor.

## **Segunda Etapa: Instrumentación y Monitoreo del Motor a Ensayarse**

La siguiente etapa del proyecto corresponde a la instrumentación del motor Nissan CD20 para poder registrar los datos de funcionamiento y poder monitorear ciertos parámetros en tiempo real. El elemento principal que debe utilizarse es un Registrador de Datos que permita monitorear el motor y, a su vez, registrar la información que los diferentes sensores están midiendo. Es importante que las condiciones de cada una de las pruebas sean las mismas pues lo que se desea es que puedan ser replicables y a su vez válidas para compararse entre sí, ya que la única variable que se desea observar es la del combustible utilizado. Los sensores que se ubican en el motor y el motivo por el cual fueron colocados se mencionan a continuación:

- Termocupla tipo J en el Carter: Este sensor permite medir la temperatura del aceite mientras se encuentra el motor en operación. Esto con la intención de controlar que se encuentre bajo los 150°C para que el aceite no pierda sus propiedades de lubricación durante todas las experimentaciones. Adicionalmente este parámetro permite definir el estado del motor una vez que el aceite alcance los 90 °C y se estabilice en esta temperatura ya que en este punto se considera que el motor se encuentra en temperatura de funcionamiento.
- Termocupla tipo J en la toma de aire: Este sensor permite medir las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesto el motor. De esta manera para validar una iteración es de suma importancia que la temperatura no diverja de forma significativa con respecto a la primera prueba. Además, se monitorea que el aire que ingresa al motor se encuentre a la misma temperatura en todas las iteraciones para descartar efectos de esta variable en los resultados finales.

- Termocupla instalada con acople en las cañerías de inyección de combustible: Este sensor permite medir la temperatura del combustible al momento de llegar a los inyectores antes de ingresar a la cámara de combustión. Este valor es importante pues permite concatenar la presión del sistema con la temperatura del combustible y analizar si esto tiene relación con la presencia de biodiésel en la mezcla. Por otro lado, permite proteger el sensor de presión pues se puede observar la temperatura en tiempo real y evitar que el combustible llegue a una climatización que comprometa el funcionamiento de tal sensor.
- Termocuplas tipo J en la entrada y la salida del radiador: ambos sensores son colocados con el propósito de evaluar el funcionamiento adecuado del radiador durante las iteraciones realizadas. Del mismo modo, la temperatura de entrada permite observar la temperatura a la que se encuentra expuesto el motor, valor de suma importancia al querer observar algún tipo de anomalía con la modificación de combustible y al momento de evaluar si el sistema de refrigeración es el adecuado cuando el motor usa un combustible híbrido.
- Sensor de presión C10 con acople en las cañerías de inyección de combustible: Este sensor permite observar la presión en los inyectores lo cual se desea que permanezca constante en cada iteración, sin embargo, en caso de no presentarse este escenario se puede analizar las variaciones de presión debido al combustible utilizado pues las mezclas de biodiésel cuentan con distinta viscosidad y densidad. Este efecto se podría considerar como crítico ya que existe la posibilidad de que se comprometa el motor en caso de observar una variación excesiva en la presión.

- Sensor de revoluciones CKP: Este sensor permite medir las revoluciones del motor al contar con un campo electromagnético, el cual cuando se interrumpe envía un pulso que puede ser leído por el Registrador de Datos para medir el número de revoluciones del motor.
- Opacímetro MDO2LON: Este dispositivo permite medir la opacidad de los gases de salida del motor y permite realizar una comparación directa entre los resultados de cada una de las iteraciones.

Los parámetros antes descritos permiten monitorear el estado del motor y sus componentes para tener una visión clara de su funcionamiento, mismos que pueden ser medidos mediante dispositivos que trabajan por medio de señales análogas. Adicionalmente, se debe incluir un actuador, en este caso un servomotor, a fin de simular un acelerador para el motor ya que es necesario monitorear el mismo a diferente número de revoluciones por minuto. El actuador seleccionado es un servomotor de alto torque. Algunos sensores presentes en el mercado se pueden conectar directamente a las partes del motor para monitorearlas, sin embargo, de ser el caso se realizan adecuaciones a los sensores antes mencionados para obtener una lectura real del parámetro a medirse. El objetivo de todos los sensores y dispositivos antes expuestos es conectarlos al registrador de datos y verificar su lectura a la vez que los almacena para poder analizarlos una vez finalizadas las pruebas que se realicen al motor.

Al tener todo el sistema conectado se debe realizar pruebas de funcionamiento con Diésel convencional que se puede obtener desde una estación de combustible y de esta manera observar el comportamiento del motor bajo todos los parámetros de interés mencionados anteriormente para obtener una referencia del comportamiento del motor

funcionando con combustible estándar. En base a estos datos, se comprueba cual es el comportamiento del motor una vez que sea sometido a pruebas empleando el combustible híbrido para validar cada mezcla y de ser el caso, verificar cual sería la mezcla óptima del combustible.

### **Tercera Etapa: Obtención del Biocombustible a Base de Aceite Vegetal**

#### **Usado**

Para el desarrollo del biodiésel se busca seguir una serie de pasos que ya se encuentran parametrizados por trabajos previos, entre estos se realiza un énfasis en el trabajo de Daniela Pantoja, donde se busca caracterizar el biodiésel elaborado en la Universidad San Francisco de Quito, esto resulta importante pues para evaluar los resultados obtenidos se debe estandarizar el proceso de elaboración del producto (Cabrera, 2018).

Se desea utilizar biodiésel previamente fabricado en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito y debido al tiempo en el cual este había sido almacenado se planteó la hipótesis de que pudo haberse desnaturalizado y perder sus propiedades como combustible, es decir un decremento en su nivel de cetano debido a la desmaterialización de los componentes volátiles del mismo (Liu et al., 2017). Para realizar una verificación de este se realizó una prueba de densidad, con la intención de corroborar que la densidad del biocombustible no haya variado, pues si esta no fuese la misma se podría considerar que el fluido perdió sus propiedades volátiles. Una vez verificado que el valor de la densidad sea 885 (g/L), se realizó nuevamente el proceso de secado y filtrado del biocombustible para garantizar la ausencia de agua y partículas que puedan comprometer las cañerías del motor.

En la metodología del proyecto se puede mencionar la posibilidad de no contar con biodiésel almacenado, para este caso se procede a utilizar la planta de procesamiento donde

se aprovechan aceites vegetales post consumo de la Universidad San Francisco de Quito para la obtención de biodiésel. Esta planta opera a partir de un proceso de transesterificación, en el cual intervienen Metanol (reactante) e Hidróxido de Sodio (reactivo) (Yépez, 2017).

En cuanto a los componentes con los que cuenta la planta, se basa en el diseño desarrollado como proyecto de titulación por parte de Julio Paredes Yépez y Martín Vidal en el año 2016. Esta planta se compone por los siguientes elementos: el tanque de procesamiento que cuenta con una capacidad de 150 L más la sección de malla de 50 litros, el tanque de la mezcla que alberga aproximadamente 120 L, de los cuales se recomienda utilizar máximo hasta 80 litros para evitar desborde.

Por otro lado, el tanque de almacenamiento se menciona que es abombado en la zona inferior para poder realizar una mejor distribución del aceite hacia el tanque de procesamiento. Mientras que el segundo tanque de acero inoxidable tiene forma cónica y es el encargado de llevar el procesamiento de transesterificación y purificación del aceite para obtención del Biodiésel. La planta de procesamiento presenta bombas, niquelinas, termocuplas y motores que son controlados desde un panel eléctrico para un funcionamiento óptimo. A pesar de la capacidad de los tanques, se recomienda realizar lotes de 50 L (Yépez, 2017). Mencionado este factor, la planta de la Universidad San Francisco de Quito cuenta con un manual de operaciones para el desarrollo de biodiésel, el cual se encuentra anexado, y fue tomado directamente del trabajo de titulación de Julio Paredes Yépez y Martín Vidal (2017).

#### **Cuarta Etapa: Diseño de Experimentos**

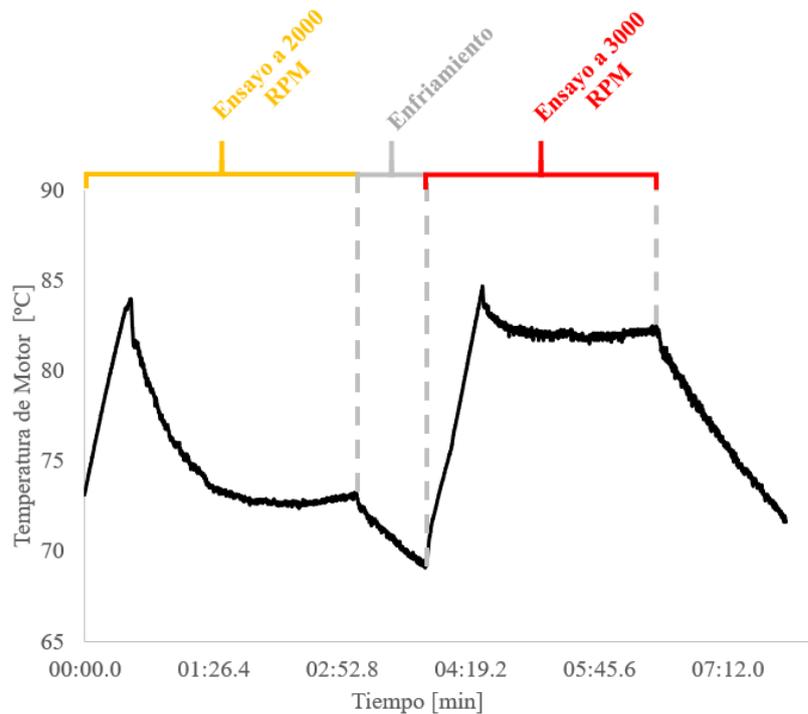
Los experimentos por realizarse en el motor deben basarse en procedimientos que permitan verificar el correcto funcionamiento de la unidad, es decir, que ninguno de sus

componentes sufra alteraciones o defectos. Por esta razón, se determinó que se realizarán cuatro pruebas con el combustible híbrido, se comenzará con la prueba que trabaja con una mezcla de combustible híbrido de 5% de Biodiésel (B5) y las pruebas que se realizarán a continuación variarán el contenido de Biodiésel en un 5%, es decir, pruebas de combustible híbrido al 5%, 10%, 15% y 20%.

El propósito de los experimentos es medir el desempeño del motor sometiéndolo a un régimen de funcionamiento normal refiriéndose a ciclos de funcionamiento de un motor que se encuentra en un vehículo. Cada experimento recopilará datos que serán posteriormente analizados y comparados para observar alteraciones en el sistema. El ciclo de experimentación se basa en analizar el funcionamiento del motor en su mejor desempeño que se presenta en un rango de 2000 a 3000 rpm (Highina, Bugaje, Umar, Engineering, & Bello, 2000).

Para iniciar se debe encender el motor y esperar que se estabilice en su temperatura normal de funcionamiento sin forzarlo para que llegue a esta. Durante esta etapa de calentamiento del motor se debe monitorear constantemente que no exista algún fallo en el sistema. Una vez que el motor se encuentre caliente, se procederá a realizar dos pruebas continuas, la primera de ellas consiste en llevar al motor a 2000 rpm por un intervalo de tiempo estandarizado sin comprometer el motor; posteriormente se espera a que el sistema se refrigere por medio del electro ventilador para luego llevar el equipo a 3000 rpm por el mismo intervalo de tiempo. En ambos casos el tiempo de evaluación es de 3 minutos, esto permite observar si el motor tiene un funcionamiento estable en las revoluciones planteadas además de comprobar que no exista pérdidas de presión en los inyectores o que exista un aumento considerable de la temperatura de la unidad motriz (Highina et al., 2000). La Figura

5 muestra el método de ensayo completo empleado para la evaluación de los diferentes combustibles, basándose en las curvas generadas al evaluar Diésel.



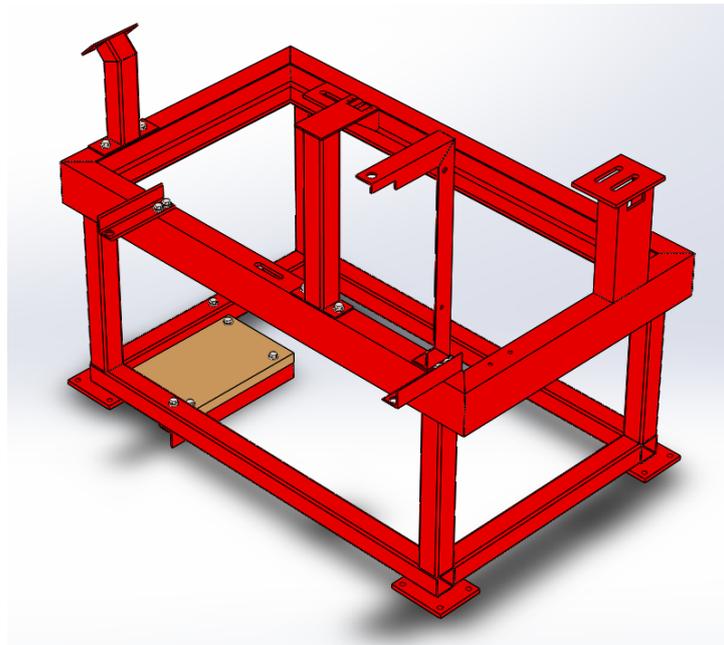
*Figura 5. Métodos de Ensayo.*

Finalizado el ciclo, se procederá a realizar cuatro aceleraciones libres que permitan registrar datos de opacidad de los gases de combustión y al finalizar esto se procederá a apagar la unidad motriz (MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co., n.d.). Se realizarán cuatro ciclos de medición de opacidad por mezcla de combustible con la finalidad de obtener varias mediciones y poder obtener un dato promedio de la variable que se desea analizar. Se realiza esta prueba para cada porcentaje de Biodiésel presente en la mezcla, y cualquier variación de los parámetros monitoreados será objeto de estudio para analizar si está dentro de un rango seguro de funcionamiento (Highina et al., 2000). Así, se podrá determinar cuál es el porcentaje de biodiésel óptimo que no comprometa el rendimiento del motor o alguno de sus componentes.

Se plantea además realizar una evaluación visual del motor al finalizar las pruebas de cada mezcla de combustible, ya que se debe considerar el estado del aceite para verificar que el combustible híbrido no genere un exceso de contaminación interna para el motor, además la presencia de suciedad o partículas residuales de carbón en cualquier componente pueden relacionarse directamente con el rendimiento del motor debido a todos los factores que esto implica.

## RESULTADOS

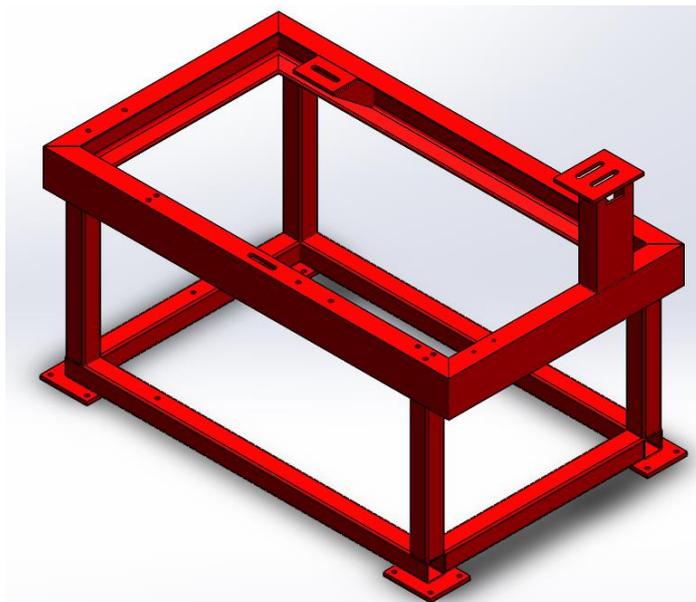
Se muestra en la Figura 6 la estructura modelada con todos sus accesorios ensamblados. Como se mencionó en la sección anterior, se puede observar los componentes empleados como miembros estructurales y las juntas realizadas tanto para juntas permanentes (soldadura) como para no permanentes (pernos, arandelas y tuercas). No se presentó ninguna interferencia entre los componentes y se observa la representación exacta de la soldadura realizada en la construcción (dimensiones, ubicación y características).



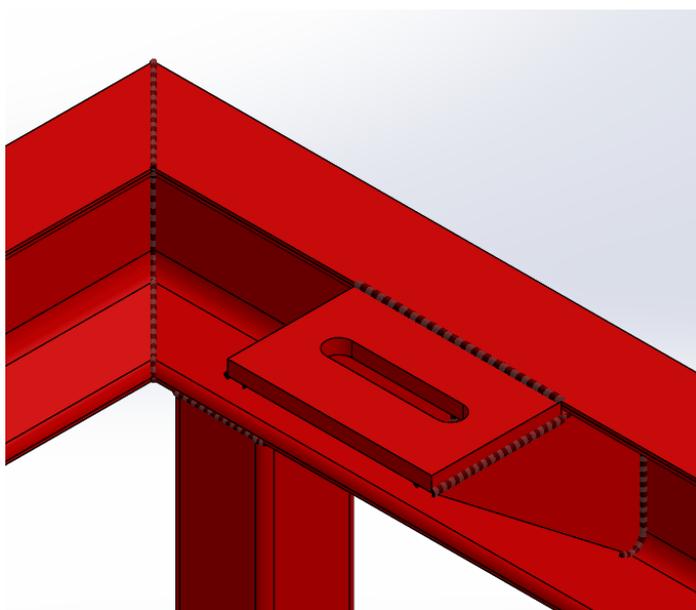
*Figura 6.* Ensamble en SolidWorks de la Estructura y sus Componentes.

### Resultados Análisis de Esfuerzos

Como se mencionó anteriormente, se realizó el análisis de esfuerzos de la estructura en función de los requerimientos planteados al inicio del proyecto. En la Figura 7 se puede observar la estructura aislada sobre la cual se realizará la simulación de esfuerzos y en la Figura 8 un ejemplo de las juntas soldadas.

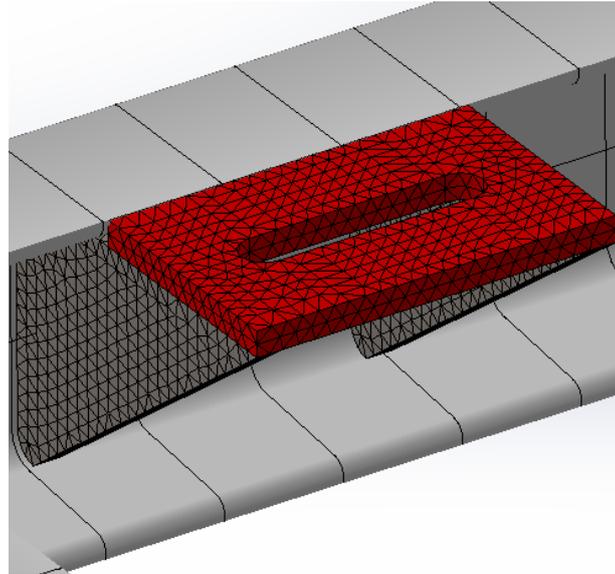


*Figura 7.* Estructura Aislada para Simulación de Esfuerzos.



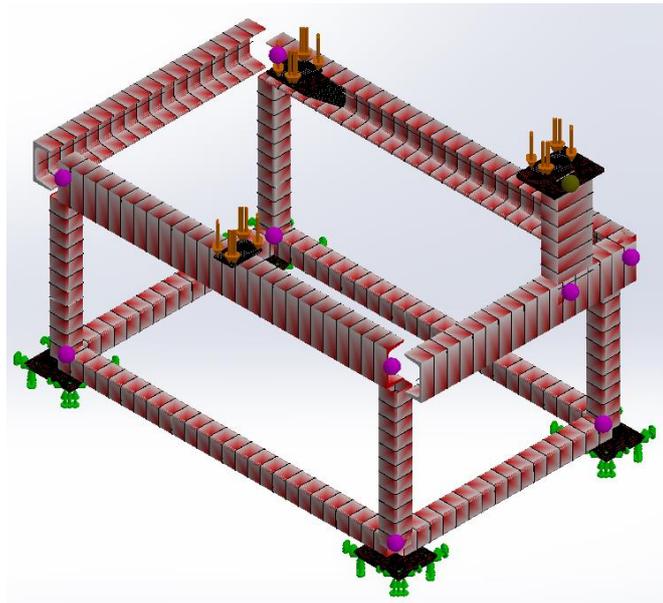
*Figura 8.* Detalle de Juntas Permanentes.

A continuación, se realizó el mallado de la estructura empleando un mallado fino, considerando a las vigas y los tubos de sección cuadrada como miembros estructurales. Se muestra en la Figura 9 el mallado fino realizado en los puntos de apoyo del banco.



*Figura 9.* Mallado Fino sobre Apoyos.

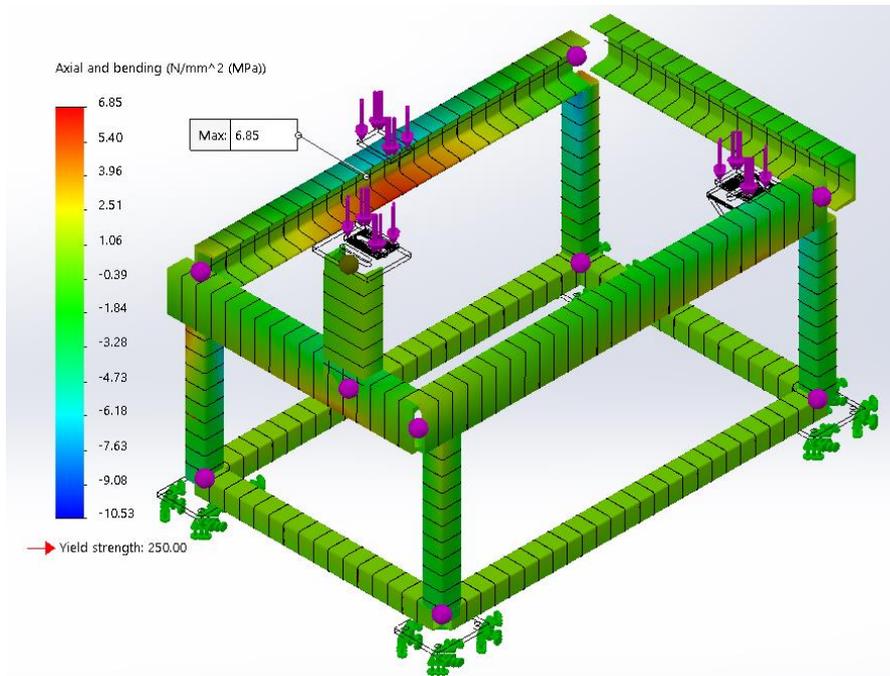
Como parte del proceso de simulación se ubicaron los puntos de apoyo (color verde) y las cargas sobre la estructura (color naranja) observados en la Figura 10.



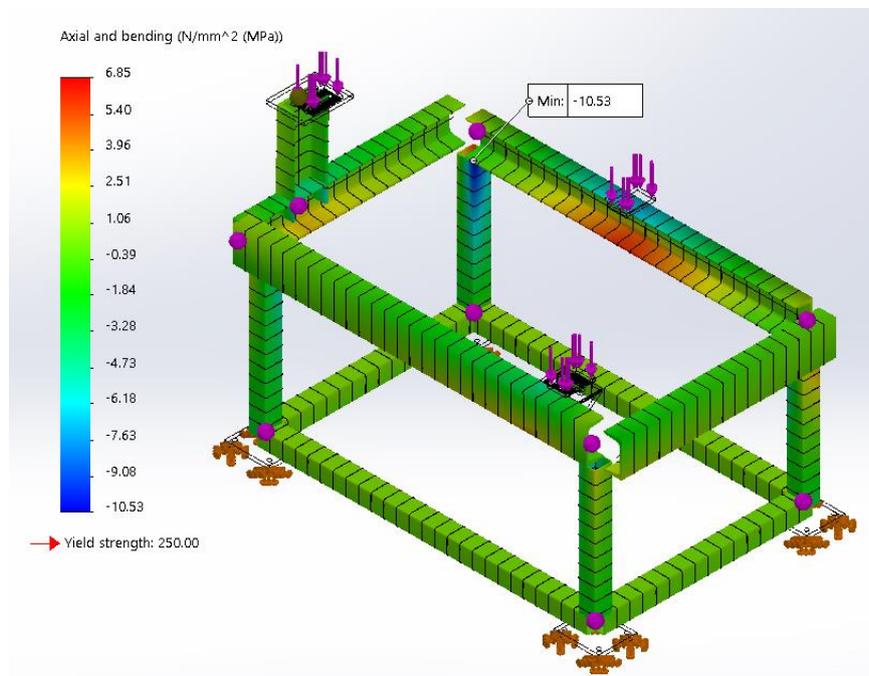
*Figura 10.* Mallado Resultante.

Realizado el mallado y se procedió a correr la simulación de esfuerzos, generando los resultados con diferentes análisis. El primer análisis muestra un resultado de los esfuerzos sobre los miembros estructurales (UPN y tubo cuadrados), para los cuales se destaca un esfuerzo máximo en tracción de una viga UPN lateral (resultante de la flexión del miembro)

que se muestra en la Figura 11 y un esfuerzo máximo en compresión correspondiente a un tubo estructural mostrado en la Figura 12.



*Figura 11.* Esfuerzo Máximo en Tracción.



*Figura 12.* Esfuerzo Máximo en Compresión.

El siguiente resultado obtenido es el esfuerzo máximo de Von Mises en los componentes no estructurales, que para el caso corresponde a las placas soldadas ubicadas como puntos de apoyo. El resultado de los esfuerzos se muestra en la Figura 13.

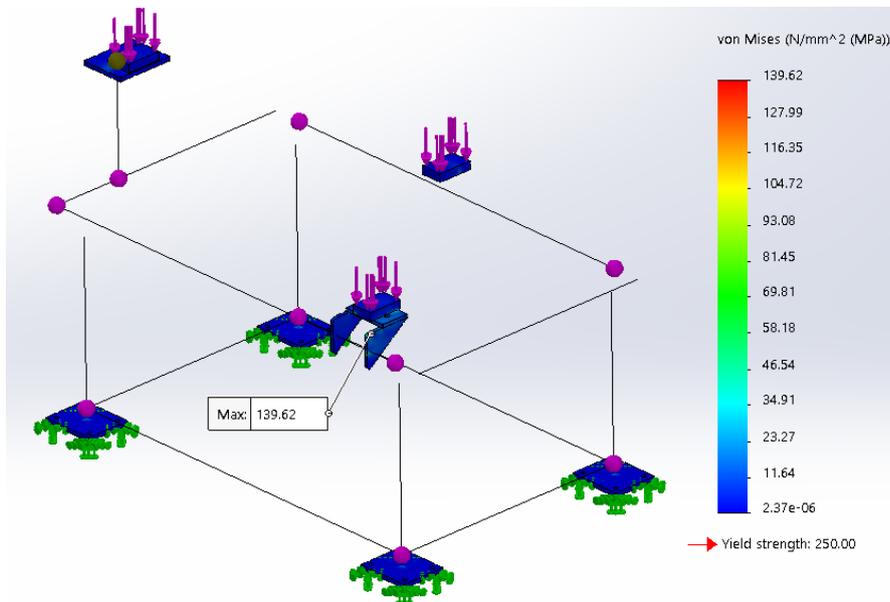


Figura 13. Resultado de Esfuerzo de Von Mises.

Adicionalmente, se muestra el punto crítico de la estructura ubicado en la nervadura del punto de apoyo lateral posterior. Este resultado se observa en la Figura 14.

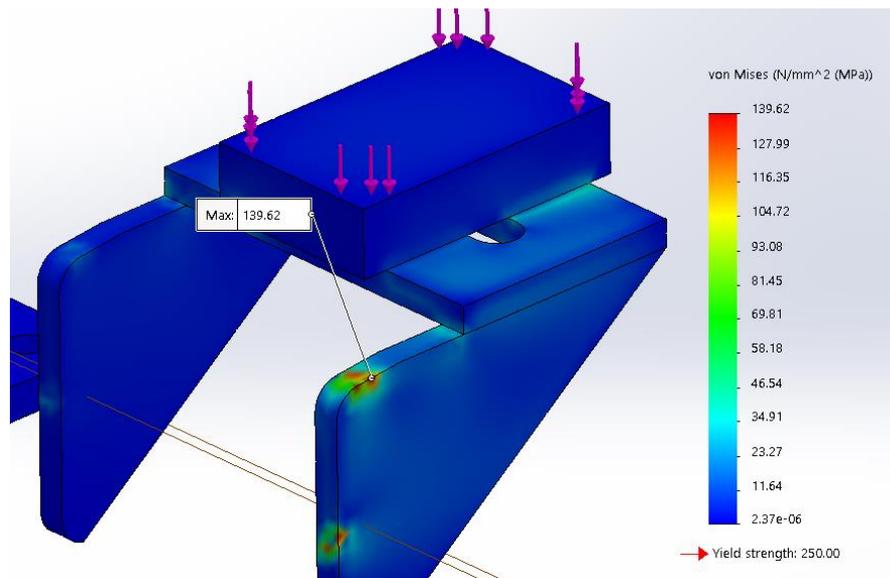
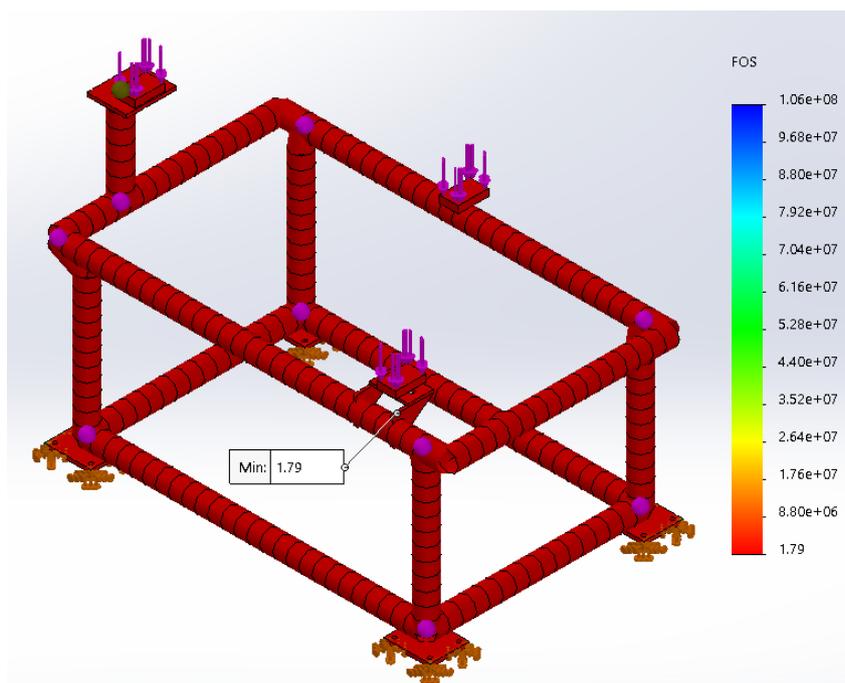


Figura 14. Punto Crítico en Junta Soldada.

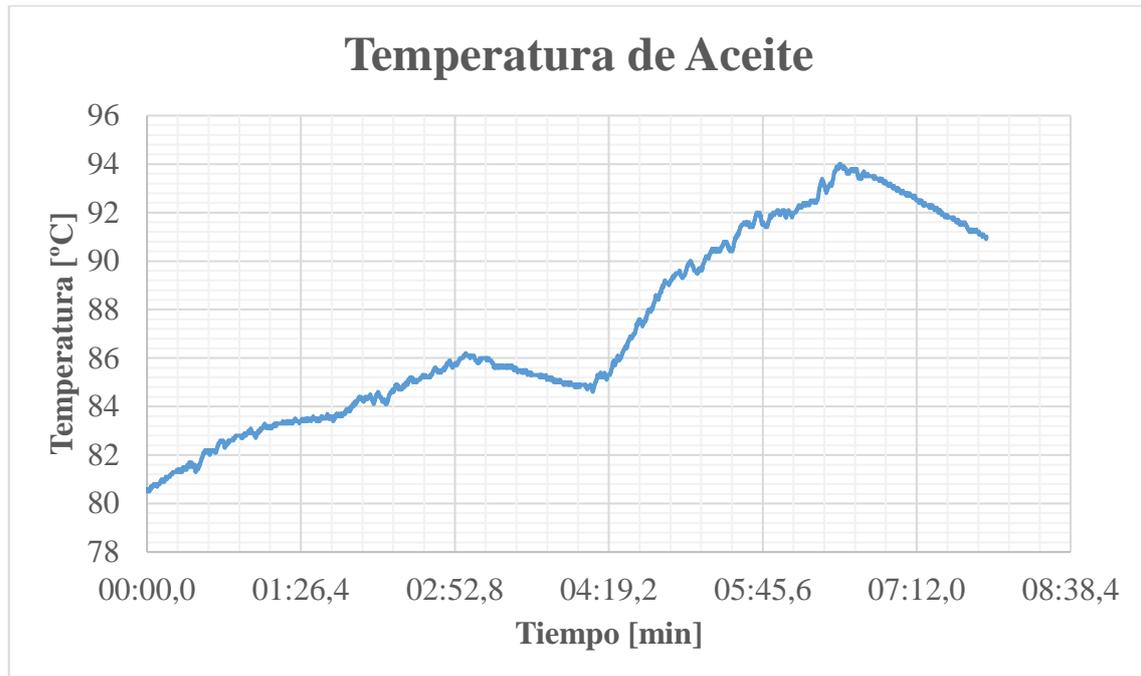
Finalmente, el último análisis que realiza SolidWorks corresponde al factor de seguridad resultante del sistema, el cual tiene un valor de 1.79 para toda la estructura como se observa en la Figura 15. Este factor de seguridad es producto del esfuerzo sobre la nervadura del punto de apoyo presentado en la Figura 14.



*Figura 15. Factor de Seguridad Resultante.*

## **Resultados Temperatura de Aceite**

Los resultados de temperatura de aceite se obtienen tras realizar cada una de las iteraciones para los distintos combustibles. El Registrador de Datos permite medir en tiempo real el cambio de temperatura del aceite utilizado, posteriormente, se almacenan los datos de temperatura y se desarrollan gráficas para poder analizar su comportamiento en el intervalo de tiempo en el que se desarrollan las pruebas, 3 minutos. A continuación, se muestran las gráficas de temperatura de aceite del motor vs el tiempo de prueba considerando dos experimentaciones, a 2000 rpm y 3000 rpm.



*Figura 16.* Temperatura de Aceite vs. Tiempo para Diésel.

Se puede observar en la Figura 16 las dos pruebas realizadas a diferente régimen, en primer lugar, se observa la experimentación a 2000 revoluciones por minuto donde la pendiente de la gráfica es positiva en primera instancia. En esta se observa que llega a un valor máximo alrededor de 86°C, posteriormente, al momento que la pendiente se torna negativa se interpreta como el enfriamiento del motor para someterse a la segunda prueba. Para el ensayo a 3000 revoluciones por minuto la pendiente tiene una mayor inclinación donde se puede observar que el motor se calienta hasta aproximadamente 94°C, posteriormente se observa nuevamente el enfriamiento del equipo al concluir la prueba de 3 minutos de duración. A continuación, se muestran las gráficas para cada uno de los combustibles híbridos realizados.

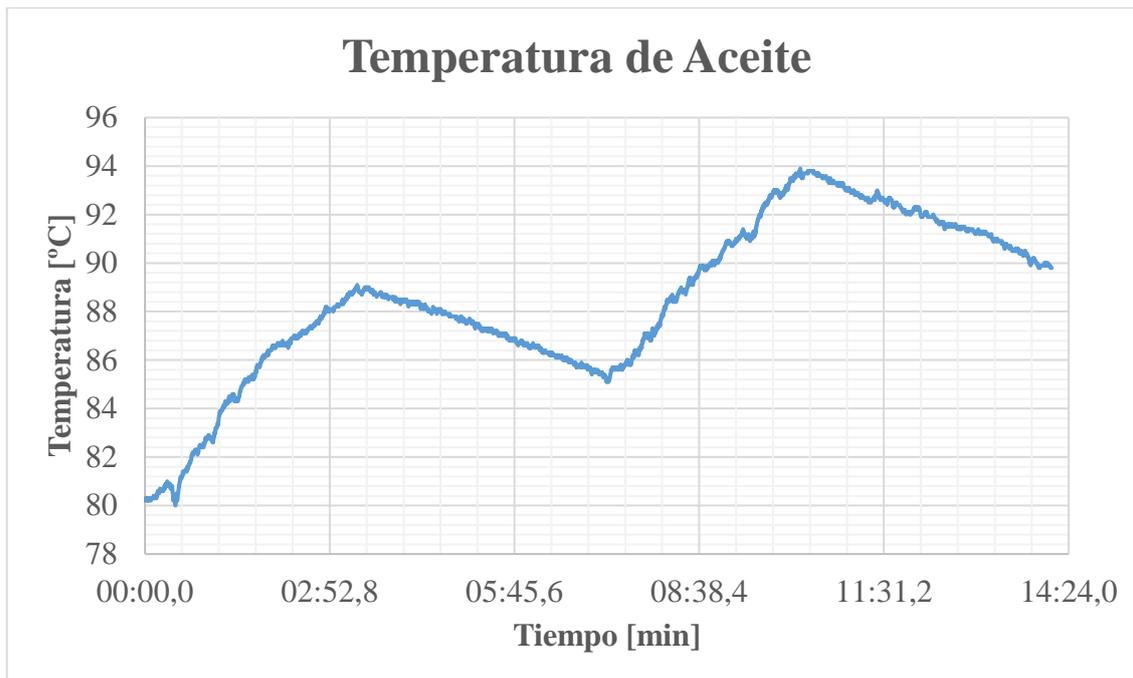


Figura 17. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B5.

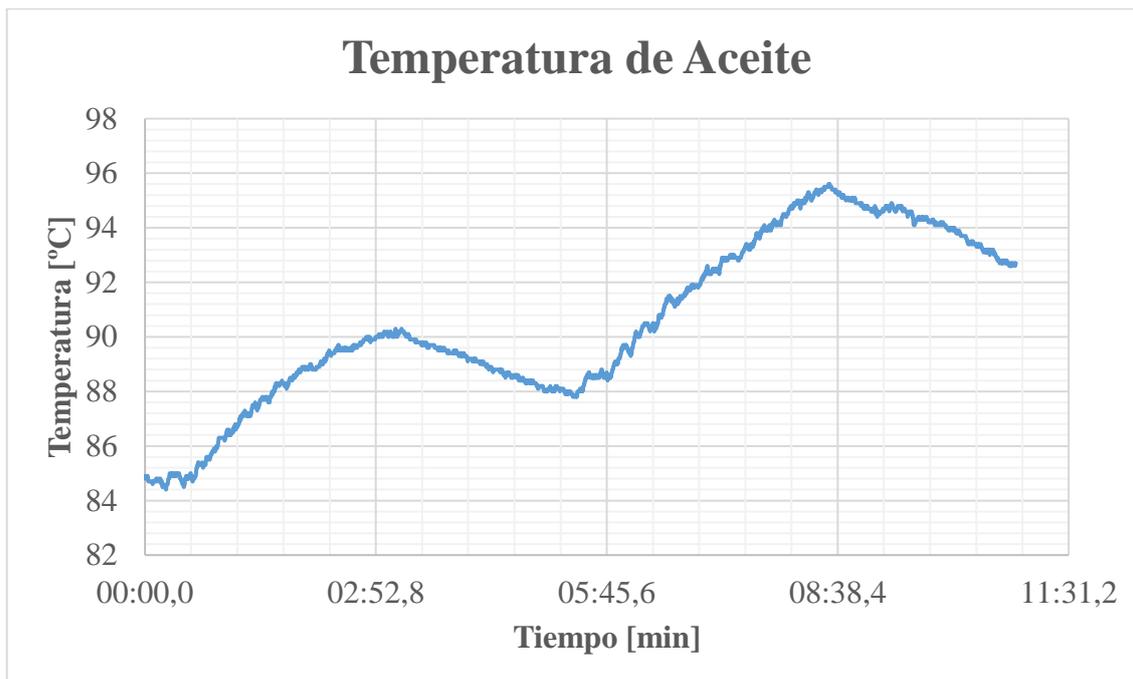


Figura 18. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B10.

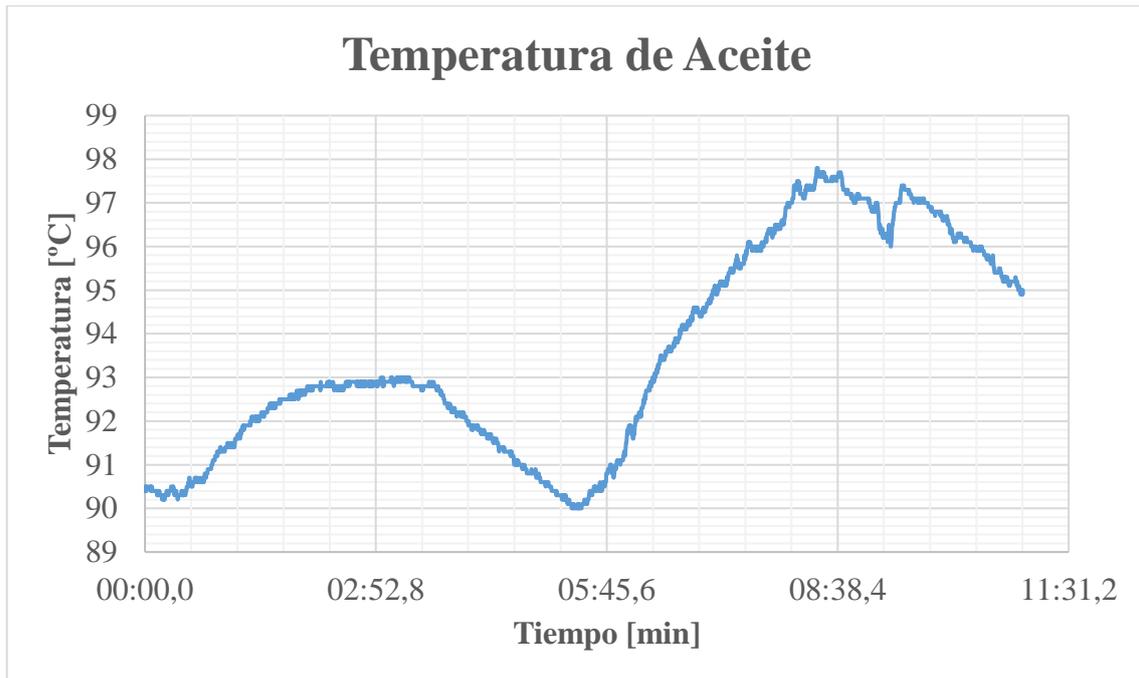


Figura 19. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B15.

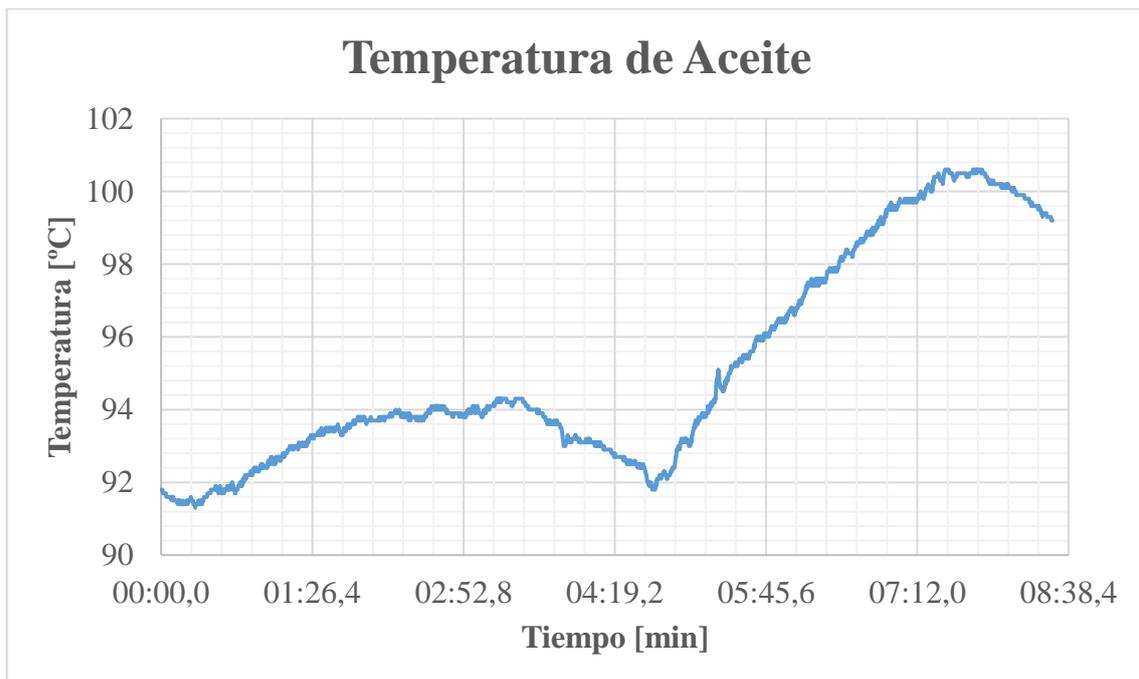


Figura 20. Temperatura de Aceite vs. Tiempo para combustible B20.

Cada una de las gráficas presentadas cuenta con una pendiente diferente para cada experimentación realizada, sin embargo, los valores de interés para las gráficas obtenidas son las temperaturas máximas en cada una de las iteraciones realizadas, de tal manera que estos valores se pueden ver resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 3. Temperatura Máxima de Aceite Alcanzada en el Ensayo Completo.

Combustible Utilizado	Temperatura Máxima de Aceite [°C]
Diésel	94,0
B5	93,9
B10	95,6
B15	97,8
B20	100,6

Se puede observar una tendencia a incrementar la temperatura de aceite en el sistema conforme existe una mayor presencia de biocombustible, sin embargo, el valor máximo obtenido todavía permite que el aceite cuente con sus propiedades lubricantes sin comprometer el motor y tenga la posibilidad de operar en el sistema sin que la presencia de diferentes combustibles afecte al funcionamiento de este.

### Resultados de Temperatura de Motor

La obtención de los resultados de la temperatura de motor funciona de forma similar a la temperatura de aceite. Del mismo modo, el Registrador de Datos se encargará de traducir los valores medidos por parte de la termocupla tipo J en tiempo real para obtener gráficas de temperatura vs tiempo. A continuación, se muestra la gráfica obtenida para la presencia de diésel como combustible en el motor.

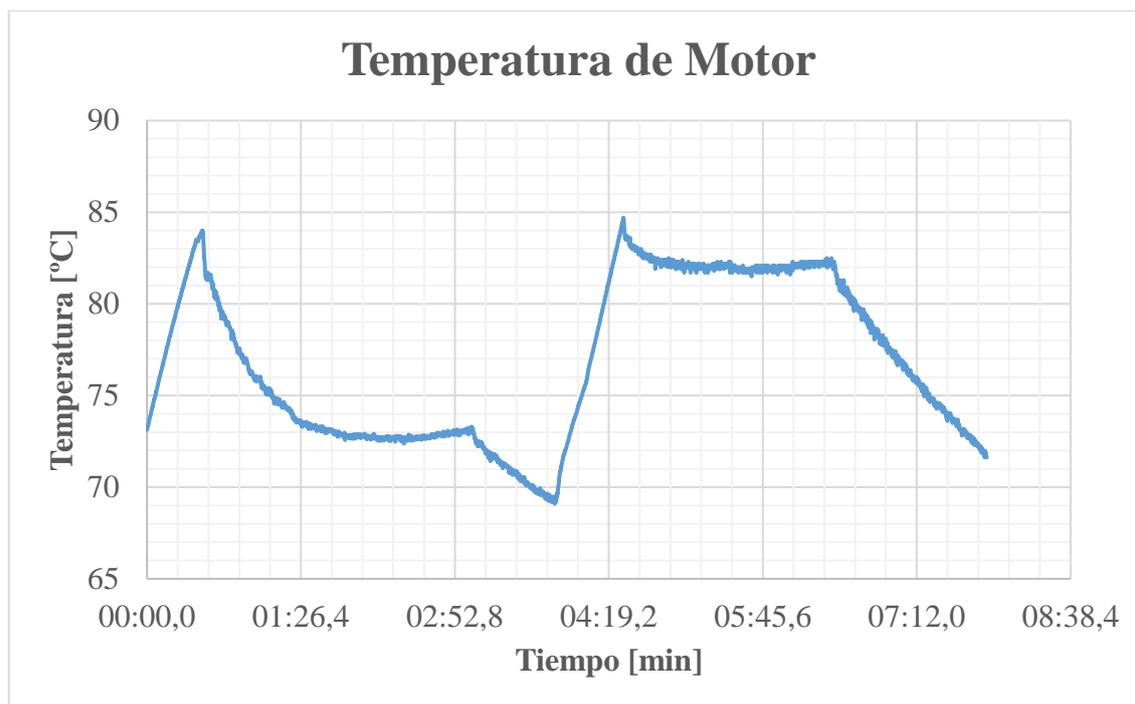


Figura 21. Temperatura de Motor vs. Tiempo para Diésel.

En la Figura 21 se puede observar las dos experimentaciones realizada a 2000 revoluciones por minuto y a 3000 revoluciones por minuto, donde estas se ven separadas por una pendiente negativa a los 3 minutos que indica la finalización de la primera prueba y el enfriamiento del motor para reanudar con la segunda prueba. Un factor importante que observar radica en la tendencia de la recta a estabilizarse bajo un régimen determinado, en la primera prueba para diésel es cerca de los 73°C y para el régimen de 3000 rpm es cerca de los 83°C. A continuación, se muestran las gráficas para cada uno de los combustibles híbridos utilizados, en estos se busca obtener un comportamiento similar al descrito con anterioridad.

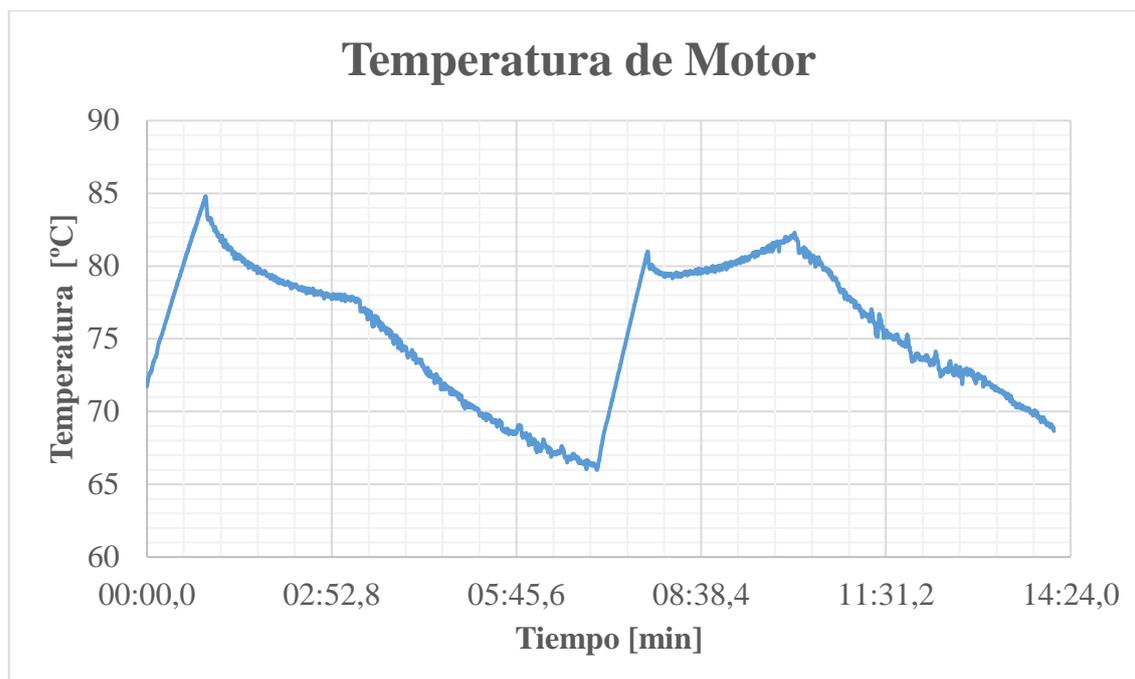
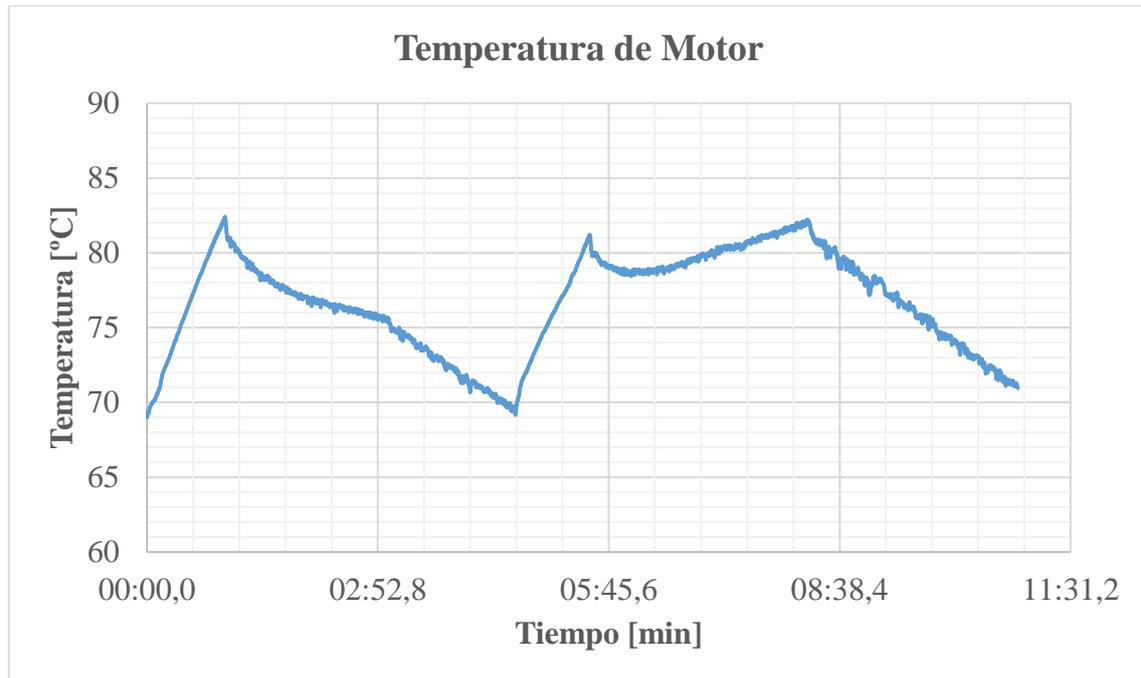


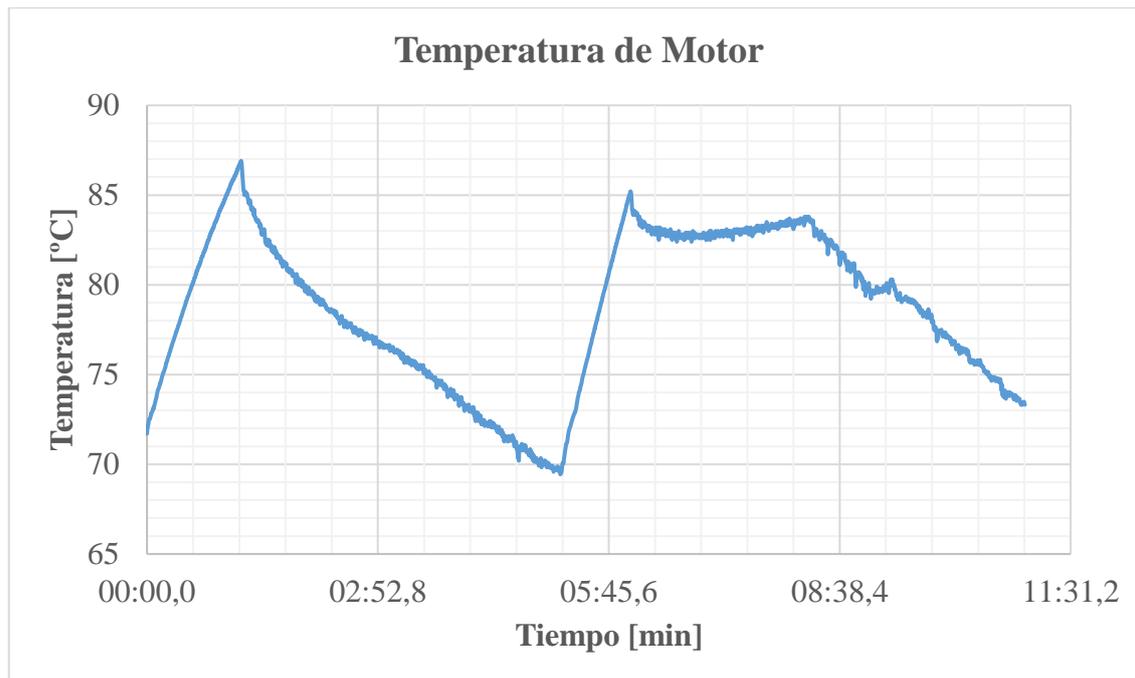
Figura 22. Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B5.

En la Figura 22 se puede observar la tendencia de la gráfica a comportarse de forma similar a la figura obtenida por presencia de diésel. Se puede observar que en el caso de 2000 rpm la duración de la prueba no es suficiente como para obtener la estabilización del sistema y en cuanto a la prueba de régimen superior, el biocombustible demanda mayor trabajo al motor. De esta manera la gráfica continua con una pendiente positiva durante la segunda prueba hasta el momento que alcanza la temperatura máxima debido a que el tiempo de la prueba concluye.



*Figura 23.* Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B10.

En cuanto a la gráfica para combustible B10, se puede observar que en una prueba de 3 minutos con este combustible híbrido la temperatura del motor decremanta debido al sistema de refrigeración, sin embargo, no llega a estabilizarse en el intervalo de tiempo evaluado. Este efecto no se presenta en régimen a 3000 rpm pues se observa el mismo comportamiento que en el caso del combustible B5.



*Figura 24.* Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B15.

Del mismo modo, se interpreta la gráfica obtenida para la mezcla B15, en esta se observa que para un régimen de 2000 rpm el sistema no llega a estabilizar su temperatura de funcionamiento en un intervalo de 3 minutos, sin embargo, tiene una pendiente negativa lo cual demuestra un funcionamiento correcto del sistema de refrigeración. En cuanto a un régimen de 3000 rpm la gráfica presenta un resultado favorable al buscar replicar el comportamiento del motor con diésel. En este caso la pendiente positiva después de llevar el equipo a 3000 rpm es relativamente menor a la de los combustibles B5 y B10, lo que plantea una posible estabilización del sistema operando por un intervalo de tiempo más largo al propuesto como método de evaluación.

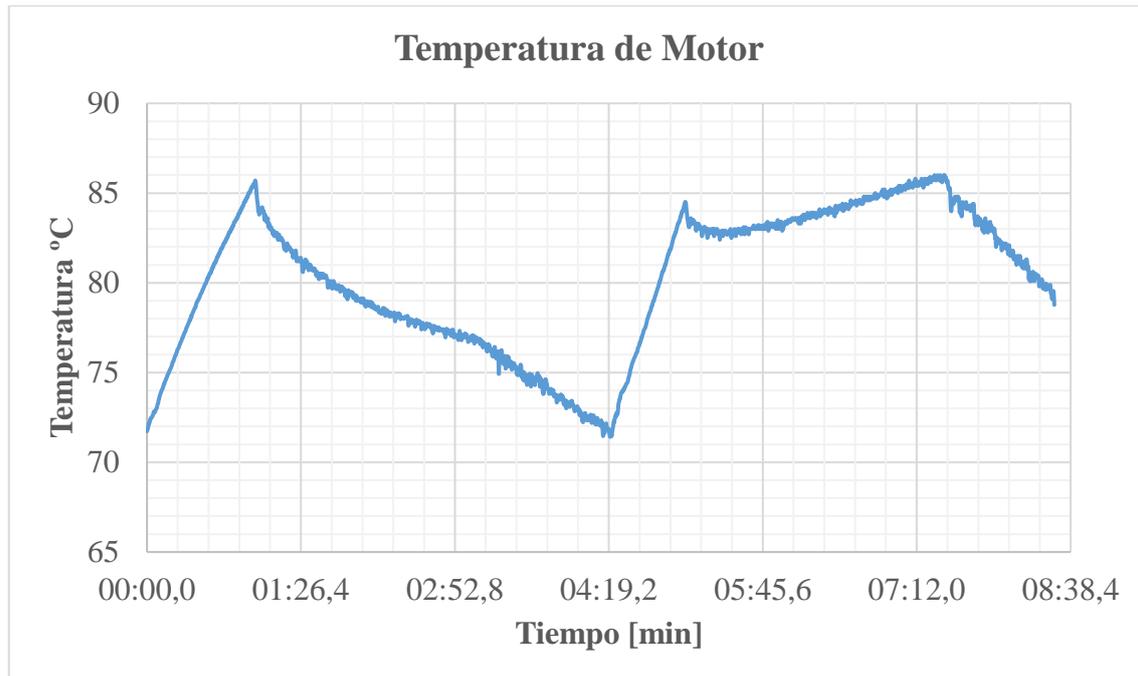


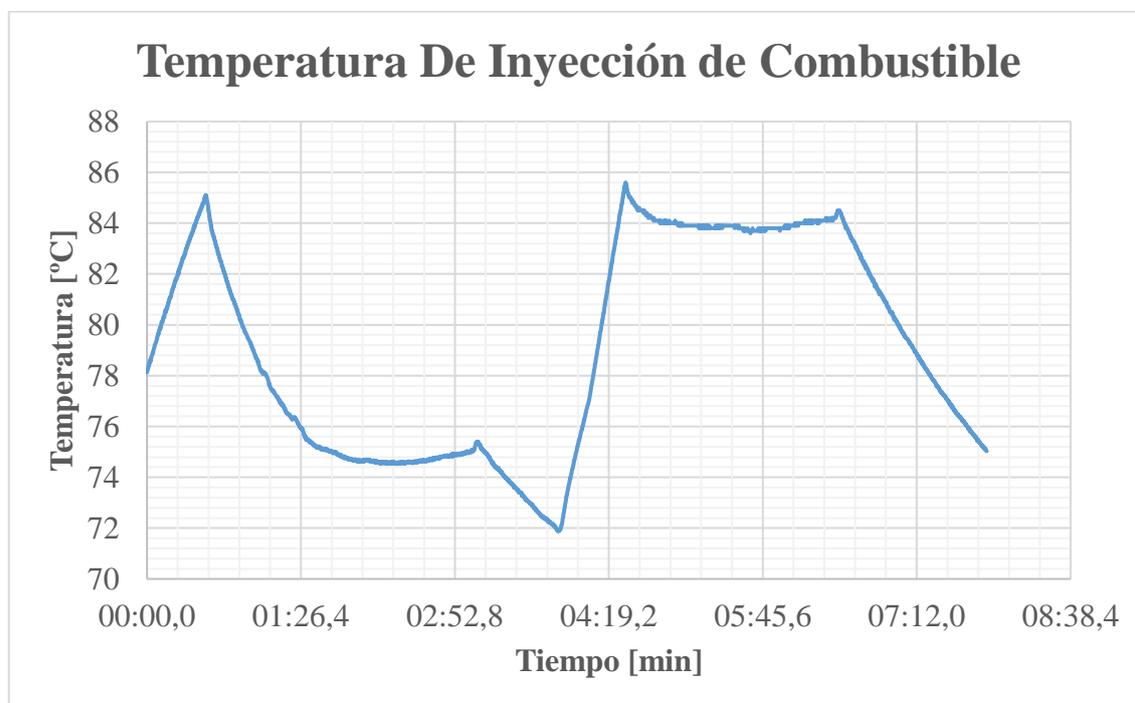
Figura 25. Temperatura de Motor vs. Tiempo para combustible B20.

Finalmente, se puede interpretar la gráfica para B20 donde se observa que el sistema se comporta de manera similar a las mezclas anteriores en cuanto a la prueba de régimen de 2000 rpm. Para el caso en cuestión se menciona la importancia de la duración de la prueba para poder definir la temperatura de trabajo a la que se encontraría el motor si es que este se mantendría constante mente a 2000 rpm. Por otro lado, en la segunda etapa de la gráfica se puede observar la prueba a 3000 rpm, donde no se puede definir una tendencia a estabilización de temperatura. Adicionalmente, se puede mencionar que es el pico más alto de temperatura para trabajo del motor, lo cual es algo contraproducente pues la prueba no es lo suficientemente larga para definir si este valor pueda estabilizarse antes de llegar a una temperatura que pueda comprometer el motor. Por este motivo, la gráfica del combustible B20 no es favorable en cuanto a la temperatura del motor y las pruebas realizadas.

## Resultados de Temperatura de Inyección de Combustible

Los resultados de temperatura de inyección de combustible se obtienen de la misma forma que los resultados expuestos previamente. Se aprovecha el Registrador de Datos para

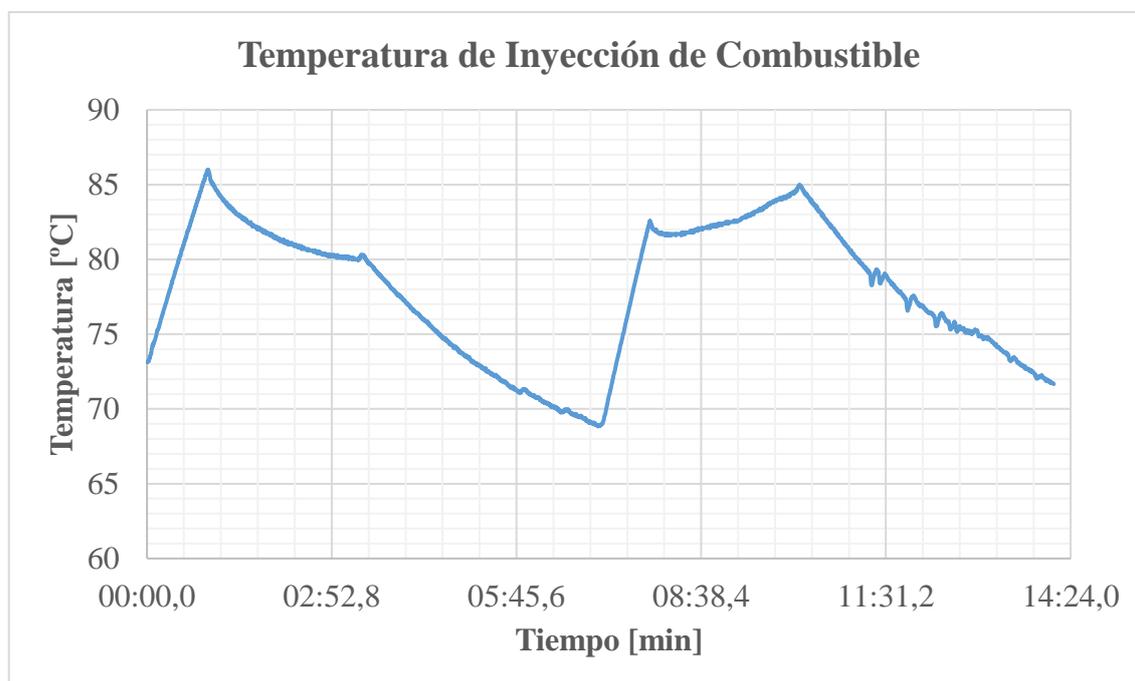
extraer la temperatura del combustible en tiempo real debido a que esta medición se realiza antes de que llegue el combustible a los inyectores. Esta medición se considera un punto crítico en el motor debido al efecto que tiene la temperatura de pulverización del combustible. A continuación, se muestra la gráfica de temperatura en un intervalo de tiempo donde se llevan a cabo las dos pruebas realizadas, en esta se menciona que el tiempo de evaluación es 3 minutos para ambas y la gráfica en presencia de diésel se observa a continuación.



*Figura 26.* Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para Diésel.

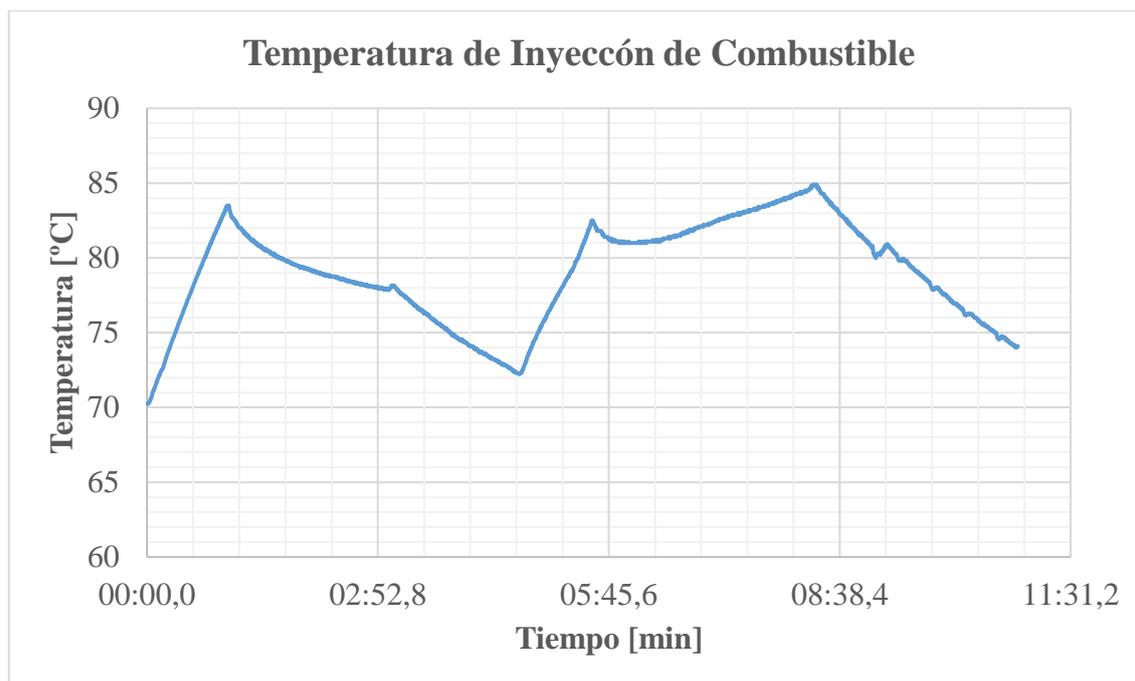
La Figura 26 permite observar el comportamiento de la temperatura de inyección de combustible. En el primer intervalo de 3 minutos se realizó la evaluación a régimen de 2000 rpm y se puede observar una temperatura máxima del equipo que alcanza al llegar bruscamente a las revoluciones de evaluación, posterior a eso el sistema de refrigeración y el contar con una aceleración constante permite que la temperatura tienda a estabilizarse en un valor adecuado para el trabajo del motor sin comprometer el comportamiento de este último.

En cuanto a la segunda etapa donde la pendiente negativa cambia a positiva y se realiza la segunda experimentación a régimen de 3000 rpm se puede ver que la temperatura del combustible se estabiliza en un valor mayor. Adicionalmente, se aprecia una temperatura máxima y el decremento al valor de estabilización para trabajo. Este es el comportamiento que se busca replicar en presencia de los demás combustibles. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para las demás mezclas.



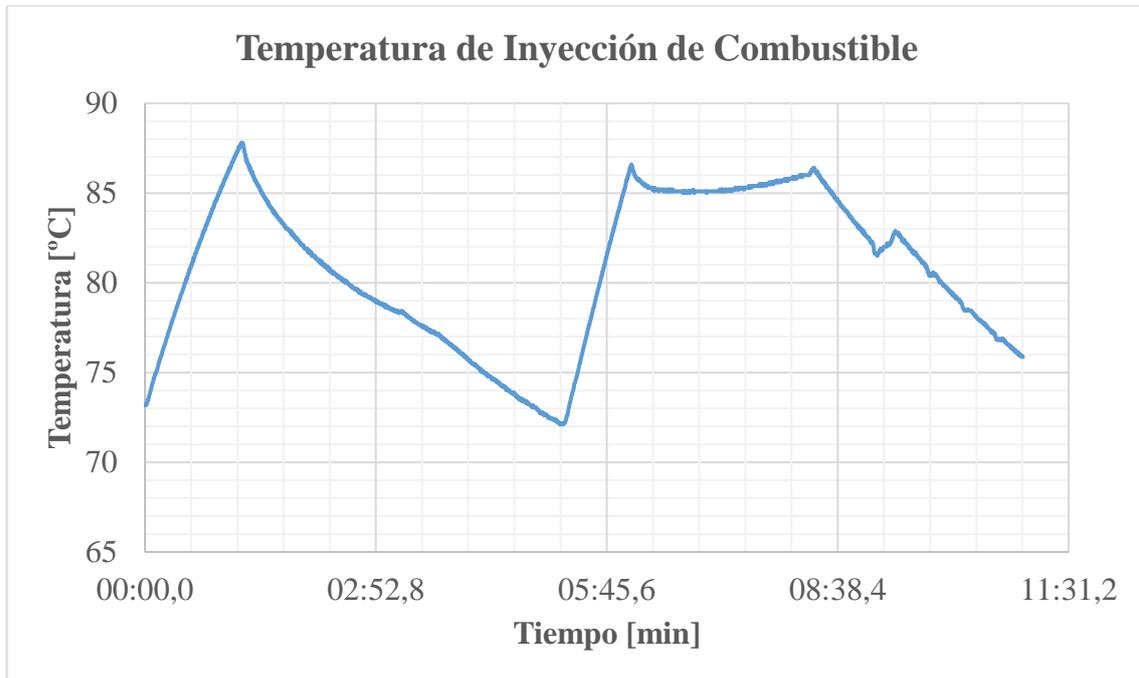
*Figura 27.* Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B5.

La presencia de biodiésel al 5% tiene una influencia directa en la interpretación de la figura, pues se puede observar que bajo las condiciones de la primera prueba el combustible no llega a los 74°C al momento de accionarse el sistema de refrigeración y empieza a estabilizarse en una temperatura superior. Por otro lado, la pendiente que se genera en las pruebas de régimen a 3000 rpm es positiva y es superior a la pendiente en el escenario de diésel como combustible, donde se llega a un punto máximo de temperatura al concluir la prueba.



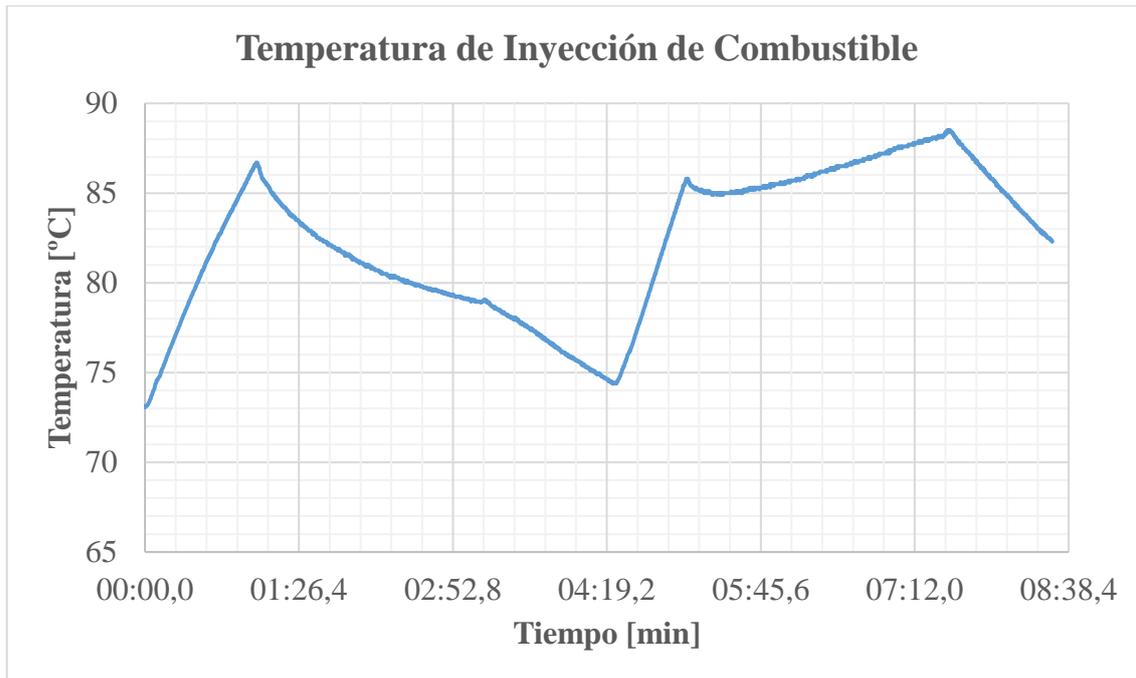
*Figura 28.* Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B10.

El comportamiento de la gráfica en influencia de un combustible híbrido B10 es similar a la gráfica de B5 lo cual permite establecer que la presencia de biodiésel tiene un efecto en la temperatura del combustible en el sistema de inyección, sin embargo, en ambos casos la temperatura máxima no compromete el rendimiento del motor. Para 2000 rpm se observa que la temperatura tiende a estabilizarse en una temperatura cercana a los 77°C, valor al cual el combustible puede ingresar a los inyectores sin comprometer el sistema. En el caso de 3000 rpm la curva no converge en un rango de temperatura manteniendo su pendiente positiva y la temperatura máxima es alcanzada al final de la prueba.



*Figura 29.* Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B15.

La Figura 29 muestra un comportamiento con mayor similitud a la gráfica utilizando diésel al 100% donde se puede apreciar que en este caso la temperatura máxima es alcanzada en la prueba de 2000 rpm a diferencia de las demás gráficas. Sin embargo, se puede apreciar como la temperatura tiende a estabilizarse en presencia del sistema de refrigeración para cada uno de los regímenes evaluados.



*Figura 30.* Temperatura de Inyección de Combustible vs Tiempo para B20.

Lo fundamental al evaluar la figura anterior radica en los rangos de temperatura que alcanza el combustible en las cañerías, aunque la gráfica cuenta con un comportamiento similar a las previamente presentadas, los puntos de temperatura máximos son más altos y en el caso de régimen de 3000 rpm se puede definir una pendiente positiva durante toda la prueba con el sistema de refrigeración operando. Esta gráfica diverge de la obtenida con diésel y su comportamiento presenta temperaturas que, por más que todavía permiten un funcionamiento adecuado del motor, pueden llegar a comprometerlo en caso de no estabilizarse.

## Resultados de Opacidad

Los resultados de opacidad se obtienen al conectar el opacímetro en el escape del sistema y realizar cuatro aceleraciones bruscas del equipo en temperatura de funcionamiento, un rango entre 90 °C y 100°C aproximadamente. El opacímetro permite obtener gráficas de Opacidad vs. Tiempo, permitiendo observar el efecto del combustible en cada una de las iteraciones (MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co., n.d.).

Se muestra una de las gráficas obtenidas con la finalidad de clarificar los resultados obtenidos y la interpretación de estos. Cada una de las gráficas obtenidas por el opacímetro se encuentran en la sección de anexos.

### Prueba de Diagnóstico Diesel

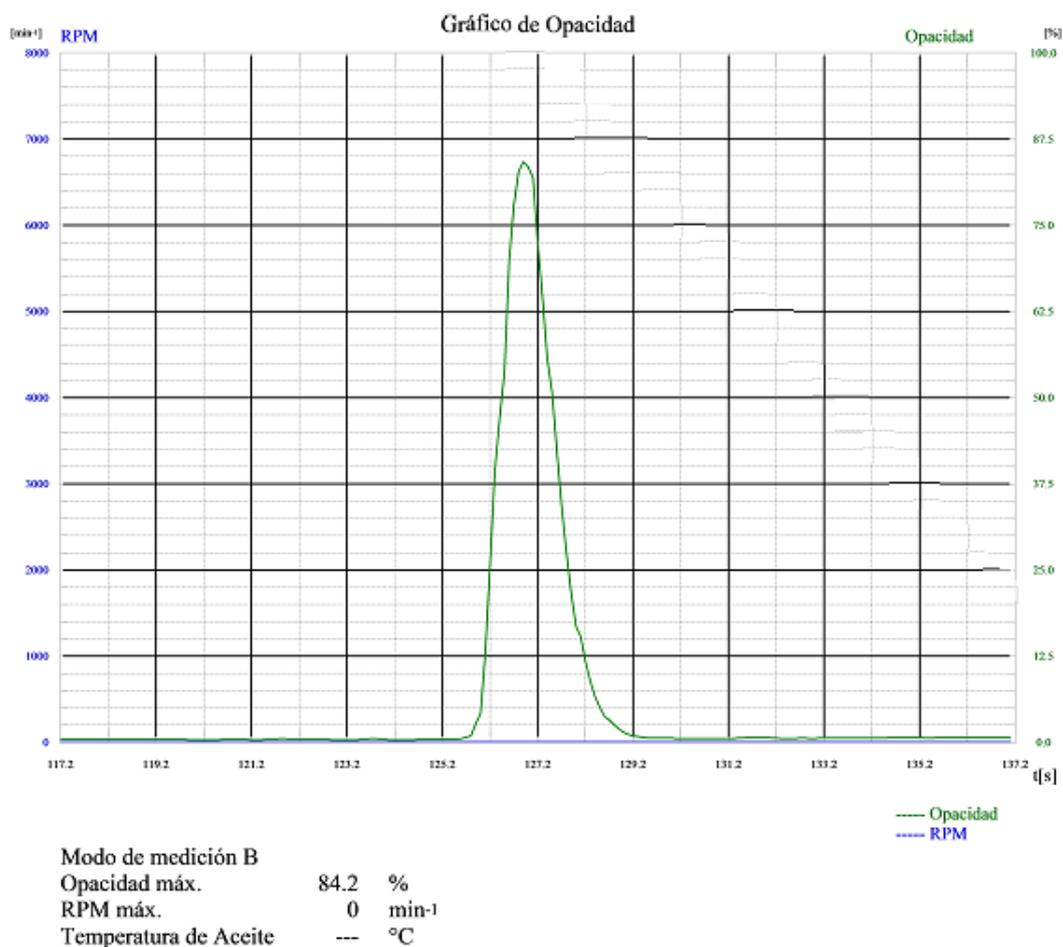


Figura 31. Resultado de Opacidad vs Tiempo para Combustible 100% Diésel.

En la gráfica anterior, se observa el porcentaje de opacidad máxima y cómo se desarrollan las emisiones en un intervalo de tiempo de 20 segundos aproximadamente al momento de generar aceleraciones bruscas en el motor. Del mismo modo solamente se considera el eje derecho en la gráfica mostrada ya que este presenta los valores de opacidad. En cuanto al eje izquierdo, el cual muestra valores de revoluciones, pero no se realizó una

conexión entre el opacímetro y el medidor de revoluciones del motor por lo que se lo descarta.

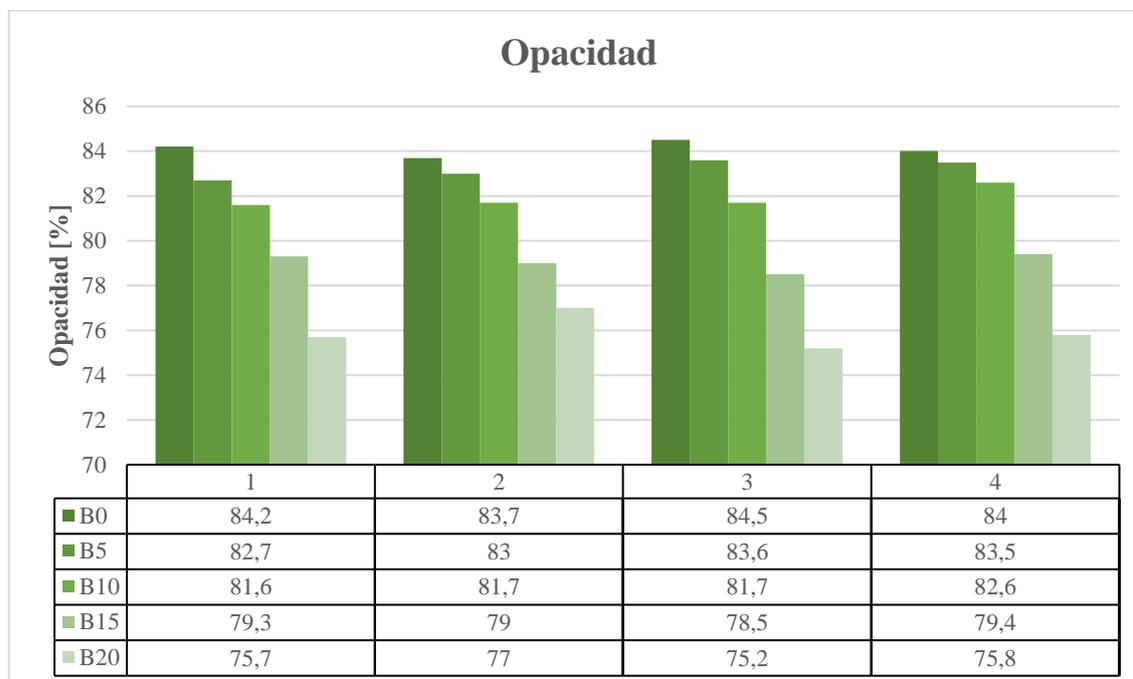
Es importante mencionar que los porcentajes de opacidad obtenidos deben ser relacionados entre sí y no con trabajos previos pues el estado del motor Nissan CD20 utilizado genera un gran papel en lo que se refiere a los niveles altos de opacidad. Generalmente, los valores de interés se encuentran en un rango de 30% hasta 60% para ser aprobados bajo regulaciones a nivel nacional (en el caso de motores previos al año 2000 según INEN 2 202:2000). En este caso, todos los valores de opacidad obtenidos se pueden ver resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 4. Resumen de Resultados de Opacidad.

<b>Resultados Opacidad</b>					
<b>Medición No.</b>	<b>B0</b>	<b>B5</b>	<b>B10</b>	<b>B15</b>	<b>B20</b>
1	84,2	82,7	81,6	79,3	75,7
2	83,7	83	81,7	79	77
3	84,5	83,6	81,7	78,5	75,2
4	84	83,5	82,6	79,4	75,8
<b>Promedio</b>	84,1	83,2	81,9	79,1	75,9

Para definir como validada una prueba de opacidad se deben realizar varias iteraciones del experimento bajo mismas condiciones y obtener un promedio de estos, para

observar un comportamiento de los resultados se grafican los valores tabulados y se obtiene lo siguiente.



*Figura 32. Comparación de Porcentajes de Opacidad vs. Iteración Realizada.*

En la figura anterior se puede observar los valores obtenidos de cada una de las iteraciones y el valor obtenido con cada uno de los biocombustibles utilizados. En este caso se compara el número de iteración de cada uno de los biocombustibles, donde cada columna representa un valor de porcentaje de opacidad obtenido bajo la presencia de un distinto combustible.

Se puede observar el decremento en el porcentaje de opacidad conforme se añade una mayor cantidad de biodiésel en la mezcla híbrida, lo cual es un resultado favorable al momento de proponer la implementación de biocombustible en motores de combustión interna de diésel sin modificaciones. Del mismo modo, se puede observar que en una presencia de 20% biodiésel se puede reducir la opacidad hasta en un 8.2% manteniendo el escenario de pruebas constante.

# DISCUSIÓN

## Simulación

Al realizar la simulación de esfuerzos se pudo apreciar que el sistema construido no presenta falla, cedencia o deformación permanente. Adicionalmente, mediante las herramientas de diseño del software se pudo optimizar el diseño de un elemento que ayude a reducir la concentración de esfuerzos en un punto crítico. Este punto se encuentra ubicado en la nervadura posterior del apoyo lateral del motor. El resultado del rediseño permite que el elemento con mayor esfuerzo se encuentre dentro de los parámetros seguros de diseño con un factor de seguridad de 1.79.

El diseño está basado en la unión de un prisma rectangular que permite sostener de manera compacta a la estructura y evitar deformaciones en una determinada dirección dada la fuerza. Es por esta razón que la carga aplicada, como consecuencia del peso del motor, se transmite de forma vertical a los parantes de la estructura. El análisis de esfuerzos proporcionó valores relativamente bajos de los esfuerzos a los cuales están sometidos los componentes estructurales, proporcionando un valor máximo de esfuerzo axial de 10.53 MPa en compresión y un valor de 6.85 MPa en flexión, por lo cual la cedencia no se considera un factor crucial dentro del análisis estructural y de igual manera las deformaciones no son significativas por lo que no se esperaría una falla mecánica en la estructura.

El elemento crítico alcanzó un esfuerzo máximo de Von Mises de 139.62 MPa. Considerando que el esfuerzo de cedencia del Acero A36 es 250 MPa, se puede observar que el diseño es correcto y permite obtener un factor de seguridad superior al requerido para

componentes estructurales (1.5). De esta manera, se garantiza la resistencia del banco a cargas de 450 kg si es requerido utilizarlo para la evaluación de un modelo de motor diferente. Al considerar los efectos vibratorios despreciables gracias a los soportes de bases de motor de aplicación marina, no se realizaron simulaciones de efectos vibratorios, sin embargo, se plantea este análisis para un futuro proyecto en el cual se pueda verificar los efectos vibratorios que existen sobre el motor por el uso de diferentes mezclas de combustible.

Al ser miembros estructurales la mayoría de los elementos del banco de pruebas se puede asegurar que se utilizó correctamente su inercia para maximizar su resistencia en cuanto a la carga que pueden soportar. La carga fue localizada y distribuida homogéneamente en tres puntos de apoyo que no se encuentran exactamente encima de un soporte vertical y si se considera los concentradores de esfuerzos presentes, se puede establecer que el software permitió obtener resultados reales y muy precisos en cuanto al esfuerzo exacto al cual está sometida la estructura.

Una de las desventajas del banco construido es su transporte, ya que su estructura de acero lo hace muy pesado y el mover de un lado a otro se puede convertir en un proceso muy difícil. Por otro lado, el mismo peso de la estructura ayuda a que debido al momento o torque que genera el motor este no se desplace o tienda a mover el banco de la ubicación en donde se encuentra.

## **Temperatura de Aceite**

Al analizar los resultados obtenidos de las gráficas de temperatura de aceite vs tiempo para cada combustible utilizado se puede observar como la tendencia de cada una se

considera similar. Esto se produce debido a que las condiciones a las cuales fueron desarrolladas fueron controladas para que las pruebas sean válidas y replicables.

Para la interpretación de los datos obtenidos se hace referencia a la Tabla 3, donde se puede observar un resumen de las temperaturas máximas alcanzadas en la experimentación de cada una de las iteraciones. Es importante mencionar que la intención de llevar un control de la temperatura de aceite con respecto al tiempo radica en el monitoreo para garantizar que el sistema de lubricación del equipo no se vea comprometido. Si bien es cierto que la temperatura del aceite tiende a aumentar en mayor presencia de biodiésel, todos los valores obtenidos bajo los parámetros de mejor rendimiento para un motor a diésel son pertinentes para garantizar su funcionamiento (Highina et al., 2000).

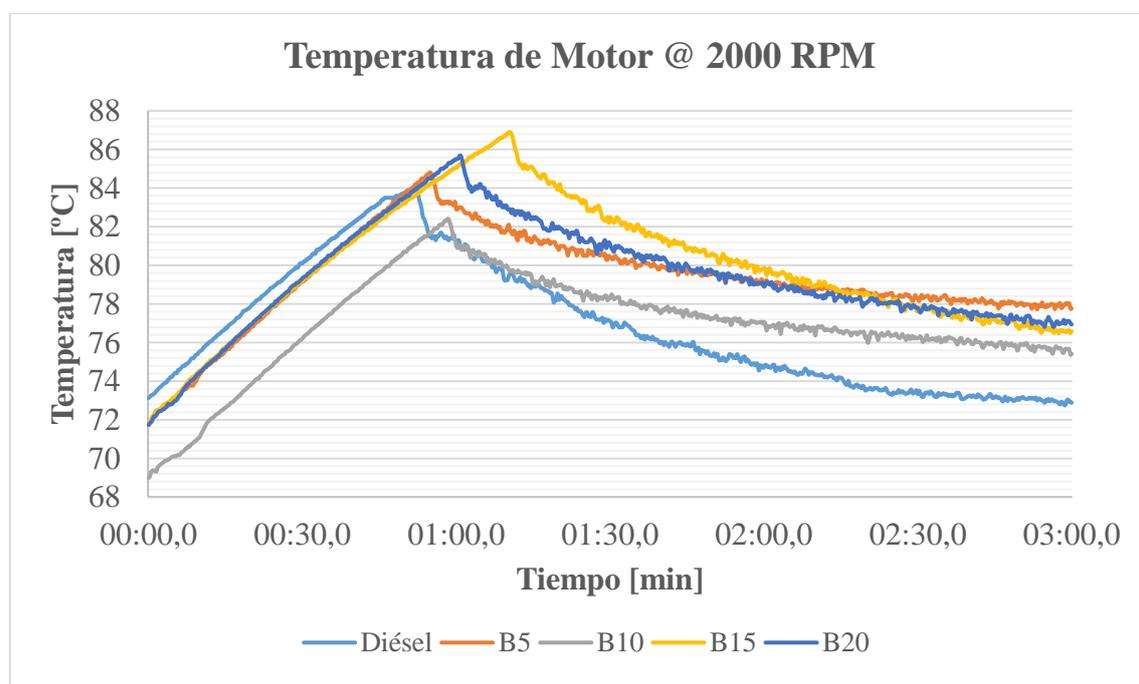
En este caso se menciona como temperatura crítica  $150^{\circ}\text{C}$  pues el aceite del motor pierde sus propiedades de lubricación a estas condiciones. Se puede analizar que mientras la gráfica de temperatura no alcance valores superiores al mencionado el motor no se encuentra comprometido, mencionando que hasta con combustible B20 el motor puede operar si se lo relaciona con el impacto que tiene en la temperatura de aceite. Sin embargo, se puede sugerir que la presencia de biodiésel genera un aumento directo en la temperatura del aceite para que este pueda operar en el motor, lo cual es contraproducente si se desea recomendar un combustible híbrido para el equipo. A pesar de que no se observa temperaturas que puedan comprometer al equipo, el prestar atención a esta tendencia expresa que es mejor no considerar pruebas de alto porcentaje de biocombustible.

## **Temperatura de Motor**

En cuanto a la temperatura del motor se puede partir validando los resultados obtenidos. Al presentar gráficas con un comportamiento similar se analiza directamente los

resultados de cada una de ellas. El valor máximo que alcanzó el motor es 86.90 °C para la prueba de la mezcla de combustible B15, sin embargo, el único valor menor a los resultados obtenidos por parte de las iteraciones con diésel fue el combustible B10. Esta convergencia puede no solo mencionar que existen varios combustibles híbridos que pueden operar en un motor diésel sin la necesidad de realizar modificaciones, sino que con una presencia del 10% de biodiésel se puede obtener un rendimiento favorable para el motor.

En las siguientes gráficas se encuentran todas las curvas de la temperatura de motor vs el tiempo donde se puede destacar el comportamiento descrito. Se observan los valores máximos obtenidos por cada una de las iteraciones en un intervalo de 3 minutos. Del mismo modo se puede encontrar valores de temperatura promedio para el equipo en cada iteración. Esto es fundamental al momento de validar los resultados obtenidos.



*Figura 33.* Temperatura de Motor vs. Tiempo para ensayo a 2000 rpm.

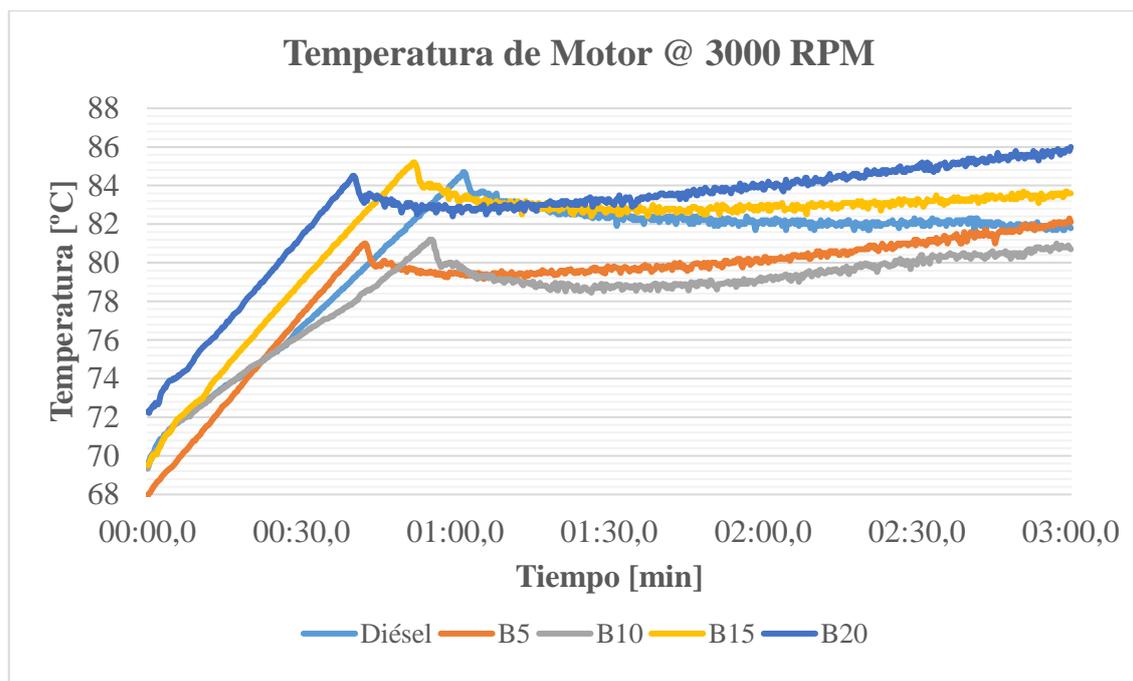


Figura 34. Temperatura de Motor vs. Tiempo para ensayo a 3000 rpm.

Al observar las gráficas obtenidas, se observa el comportamiento de la curva dada por la experimentación con diésel como combustible y se busca recomendar el combustible híbrido que desarrolle el comportamiento más similar a este pues es un valor referencial al momento de evaluar el equipo.

En este caso, se puede destacar las curvas con combustible B10 y B15 ya que ambas tienen un comportamiento similar y en el caso de la curva B10, se observa que su temperatura de experimentación es menor a la del diésel. Esto permitiría al equipo operar bajo los parámetros dados a una menor temperatura, pero con el mismo desempeño. Por este motivo, referenciando a los resultados obtenidos en las gráficas de temperatura de motor, se puede mencionar que la mezcla B10 es la más amigable con este y el combustible con mayor presencia de biodiésel que se puede añadir es el B15, debido a que el B20 no tiene una gráfica donde se estabiliza su temperatura y por lo tanto a 3000 rpm puede llegar a comprometer al motor Nissan CD20 en el caso que este no cuente con modificaciones.

## **Desempeño con combustible híbrido**

Al analizar los resultados obtenidos después de la evaluación de las diferentes mezclas de combustible se puede observar que la mejor mezcla corresponde al combustible B10, debido a que este presenta características de desempeño similares a las del funcionamiento del motor con combustible estándar. De esta manera se puede establecer que el combustible B10 es la alternativa óptima en cuanto al uso de este para el desempeño de un motor a diésel. En todas las iteraciones realizadas, las pruebas fueron completadas con éxito sin contar con interrupciones por fallo del motor, por lo que se puede analizar que a pesar de que el comportamiento del motor cambia con cada uno de los combustibles y que se puede destacar a unos sobre otros, el utilizar cualquiera de los combustibles es factible con el argumento de que el motor no se comprometió al ser sometido a pruebas en el rango de revoluciones por minuto de mejor desempeño para el equipo (Highina et al., 2000).

Adicionalmente, se puede mencionar que el desarrollo del combustible híbrido debe ser controlado de tal manera que el proceso de secado y filtrado del aceite puedan garantizar la ausencia de sedimentos que lleguen a dañar las cañerías del motor, siempre y cuando el proceso de obtención de biodiésel sea estandarizado y bajo los parámetros mencionados por los constructores de la planta de biodiésel, se puede obtener un combustible que no comprometa el motor hasta generar mezclas B20 como se mencionó anteriormente.

Por otro lado, se puede hablar de las modificaciones que puede requerir el motor para optimizar su rendimiento con otro combustible para el cual no fue diseñado. Aquí se puede destacar el retraso de inyección de combustible para compensar el grado de cetano de la mezcla, donde es importante que la detonación de combustible se de en el momento adecuado y este factor depende del número de cetano de la mezcla. Con una leve calibración

se puede garantizar que el ciclo del motor opera de manera adecuada y se pierde la presencia de cascabeleo y de factores que puedan comprometer al motor (Liu et al., 2017).

### **Esfuerzos en el banco de pruebas**

Al obtener los resultados de los esfuerzos a los que se encuentra sometido el equipo, es de suma importancia establecer que el designar un factor de seguridad de 2 como base de diseño garantizó el funcionamiento del equipo tomando en cuenta los puntos críticos y concentradores de esfuerzos presentes en la estructura del banco de pruebas. De igual manera es fundamental establecer que el análisis a fatiga del sistema fue el adecuado pues se debía considerar que el sistema tiene la capacidad de resistir las cargas que genera el motor operando con los diferentes combustibles. El garantizar la vida útil del equipo se puede corroborar a partir del análisis de los esfuerzos críticos en el equipo y gracias a este factor se puede considerar que los resultados obtenidos son replicables durante la vida útil del sistema (Álvarez, 2013).

Sin embargo, para finalidad de este estudio, los efectos vibratorios se despreciaron por dos razones. Como primer punto, se puede enfatizar el uso de soportes de motor originales para absorber las vibraciones generadas. Se comentó en la sección de metodología que se emplearon bases de motor de aplicación marina en los puntos de anclaje del motor Nissan CD20, motivo por el cual se asegura una correcta absorción de los efectos vibratorios del motor. Este tipo de soportes aísla correctamente la vibración ocasionada al tener puntos de sujeción independientes y separados por un caucho diseñado específicamente para la aplicación mencionada. Adicionalmente, el segundo factor por el cual se despreciaron los efectos vibratorios en este estudio corresponde al sobredimensionamiento que posee la estructura. El diseño basado en carga estática resultó con un factor de 1.79, que es superior

al requerido para miembros estructurales y está cerca de duplicar al valor mínimo requerido para evitar la cedencia.

Por otra parte, se consideró inicialmente realizar un análisis de efectos vibratorios que son generados por el efecto de la mezcla de combustible y provienen directamente de la combustión de este. Al investigar en el mercado ecuatoriano se pudo determinar que el sensor de detonación requerido para el motor ensayado no se encuentra disponible como resultado de la edad del motor. Es por este motivo que se decidió no realizar el análisis vibratorio, ya que otra manera factible es empleando acelerómetros e instrumentando el motor con estos sensores en todas las direcciones posibles para de esta manera determinar el movimiento vibratorio que se genera. Al expandir este análisis con diferentes combustibles se determinó que no entrarían estos efectos en este estudio, ya que resulta muy extenso y debido a que en el presente proyecto se decidió enfatizar los efectos termodinámicos y contaminantes del uso de combustible híbrido, el análisis vibratorio se plantea como una continuación a la evaluación de estas mezclas de combustible.

Por último, se plantea no solamente realizar el análisis vibratorio por efectos del combustible en el motor, sino también realizar un análisis modal de vibración del banco de pruebas. Para esto, como se mencionó anteriormente, se debe instrumentar el banco con acelerómetros que permitan obtener los desplazamientos producidos en este último. Para obtener resultados válidos es requerimiento analizar los efectos vibratorios a diferentes revoluciones ya que de esta manera se pueden determinar diferentes frecuencias y modos de vibración entre los cuales se debe destacar el más crítico y proceder a estudiarlo con software para determinar si tales efectos vibratorios a largo plazo podrían afectar a la estructura.

## CONCLUSIONES

Una vez desarrollada la etapa de experimentación y el análisis pertinente de los resultados obtenidos se puede considerar que existen una serie de conclusiones pertinentes a las que se puede llegar a partir de lo observado. Es importante mencionar que, se busca desglosar la etapa de conclusiones con la misma estructura que contiene la metodología del proyecto, con la intención de abarcar todos los temas tratados y cada punto desarrollado el proyecto de titulación.

En primer lugar, se puede hablar de la etapa de construcción del banco de pruebas para el motor a diésel, donde se puede hablar de las dificultades que se pueden presentar al utilizar un motor preestablecido para el diseño. Partiendo del estado del motor en el que se encuentra, el poder determinar la precisión con la que debe contar cada parte del sistema resulta complicada y es de suma importancia el realizar un análisis de esfuerzos correcto para determinar los puntos críticos con los que cuenta el sistema y garantizar que el sistema de sujeción garantice la funcionalidad del sistema. Sin embargo, es aquí donde se pueden manifestar las primeras dificultades debido a que, al ser un motor en un estado no óptimo, se puede considerar que cuente con concentradores de esfuerzos en los puntos de sujeción lo cual puede dificultar el diseño.

En cuanto al análisis de juntas del sistema, se puede decir que es fundamental realizarlo de forma individual para que de esta manera se pueda realizar la construcción del sistema tomando en cuenta el sistema de sujeción, no solo del motor, sino de los tubos cuadrados que conforman el banco de pruebas.

También se puede hablar de la etapa de construcción del banco de pruebas para el motor a diésel, donde las dificultades parten al utilizar un motor preestablecido para el

diseño, pues este cuenta con puntos de apoyo específicos que son característicos del modelo CD20. Se planteó la tolerancia del equipo la cual fue la base para la construcción del sistema. Como requerimiento de diseño se logró determinar un factor de seguridad de 1.8 para todo el sistema y se evaluó el punto crítico del equipo para corroborar los resultados obtenidos tras realizar una simulación con carga estática para el banco de pruebas. Al contar con un motor específico con cerca de 30 años de uso, se buscó recurrir a la funcionalidad y simplicidad como bases para diseño.

La segunda etapa, la instrumentación y el monitoreo del motor que busca ser ensayado cuenta con resultados interesantes. Al buscar un banco de pruebas, se pudo medir los parámetros que son generalmente de interés para los fabricantes y de igual manera, se pudo analizar los beneficios que puede ofrecer un motor a diésel operando con una mezcla híbrida de combustible, lo cual se puede resumir mencionando que se cuenta con resultados razonables y efectivos en cuanto a la reducción de emisiones exhaustivas y una cercana eficiencia térmica en relación a un motor operando con diésel regular en su totalidad (Uyumaz, 2018).

En cuanto a la tercera etapa, el desarrollo de biodiésel, se puede mencionar la dificultad en cuanto a la disponibilidad del laboratorio y el tiempo de operación que requiere el realizar el combustible. Sin embargo, es importante mencionar que el motor funcionó, presentando un rendimiento estable con relación a utilizar totalmente diésel convencional (Liu et al., 2017). Se pudo definir el decremento en el porcentaje de opacidad conforme se añade más biodiésel a la mezcla lo cual es favorable pues representa una combustión más completa (Uyumaz, 2018). Se puede concluir que el motor Nissan puede utilizar biodiésel en mezclas con diésel regular operando de forma más amigable con el medio ambiente y adicionalmente, el motor puede operar con 20% de biodiésel obtenido en la Universidad San

Francisco de Quito, sin requerir modificaciones significantes. Sin embargo, debido a los cambios de temperatura, presión y factores medidos en cada iteración se concluye que la mejor mezcla para un motor Nissan CD20 es la B10, ya que le permite operar a menor temperatura que las demás mezclas, esto es importante pues significa que el sistema de refrigeración opera adecuadamente para esa muestra (Chhabra et al., 2017).

La cuarta etapa del proyecto consiste en el diseño de experimentos, lo cual fue fundamental para poder llegar a los resultados previamente mencionados, donde resulta importante establecer que, el diseño fue basado en evitar comprometer el motor pues el estado de este no era el óptimo. Del mismo modo, se tomó en cuenta las revoluciones por minuto que ofrecen una mejor evaluación de un motor a diésel, es decir a 2000 y 3000 rpm respectivamente. Este diseño permitió utilizar de forma favorable cada uno de los sensores utilizados y realizar una correcta interpretación de los resultados obtenidos.

Finalmente, se puede concluir acerca de la importancia que implica los resultados del análisis del banco de pruebas. Se puede enfatizar el alto consumo del aceite vegetal por parte de la Universidad San Francisco de Quito puesto que al contar con varios restaurantes y la carrera de gastronomía es interesante tomar en cuenta que todo vehículo vinculado a este establecimiento puede utilizar en su día a día un 10% de estos residuos y continuar con un rendimiento similar. El resultado de este análisis es significativo, pues se reduce el impacto ambiental y se genera un aumento en el tratamiento de desechos generados por la universidad. Estos puntos, no sólo son parte de la motivación para desarrollar un banco de pruebas para un motor a diésel, sino que son el inicio de un cambio en el impacto ambiental de la USFQ, permitiendo que esta última reduzca su huella de carbono al promover su biocombustible en los vehículos que utiliza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Álvarez, J. (2013). Diseño, Construcción y Modelado de un Banco de Pruebas para el Estudio de las Vibraciones Generadas por Desbalanceo de Rotores en Voladizo, 133.
- ARIAN. (2010). Cuando y en que aplicaciones usar una Termocupla J,K o PT100, 1–2. Retrieved from <http://www.arian.cl/downloads/nt-001.pdf>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design*.
- Cabrera, D. A. P. (2018). Caracterización de las Propiedades Físicoquímicas de Biodiesel Extraído de Aceite Reciclado de Origen Vegetal. [https://doi.org/Doi 10.1016/S0168-9274\(97\)00017-2](https://doi.org/Doi 10.1016/S0168-9274(97)00017-2)
- Chhabra, M., Sharma, A., & Dwivedi, G. (2017). Performance evaluation of diesel engine using rice bran biodiesel. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(2), 511–518. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.07.002>
- García, D. L. P. (2014). Diseño Mecánico de un Banco de Potencia para la Prueba del Prototipo de la.
- Hernández, I., & Pérez, E. (2008). EL CONTACTO Y DESLIZAMIENTO DE DOS CUERPOS Simulation analyses of the stresses and plastic strain during two body contact and sliding.
- Highina, B. K., Bugaje, I. M., Umar, B., Engineering, W. R., & Bello, A. (2000). Performance of Biodiesel Compared To Conventional Diesel Fuel in Stationary Internal Combustion Engines, 1(2), 199–205.
- Liu, H., Ma, X., Li, B., Chen, L., Wang, Z., & Wang, J. (2017). Combustion and emission characteristics of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel and PODE/biodiesel fuel blends. *Fuel*, 209, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.066>
- Luo, R. K. (2016). Impact simulation and experiment on rubber anti-vibration systems. *Polymer Testing*, 50, 335–342. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.02.001>
- MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. (n.d.). Tecnología para análisis de emisiones.

Nissan. (n.d.). Parte mecánica del motor Nissan CD20.

Ortiz V., M. A. (2014). Estudio Comparativo del Uso del Diesel Entre Europa y Ecuador , Utilizado para Motores de Vehículos . Mario Andrés Ortiz Vallejo Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz Universidad Internacional del Ecuador Certificado de autenticidad :, I, 111. Retrieved from <http://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/610/1/T-UIDE-0560.pdf>

Scientific, C., & Campbell Scientific Inc. (2010). CR5000 Specifications, (July), 5000.

Storti, M. A., Pozo, P. El, & Fe, S. (2013). DISEÑO ÓPTIMO DE MATERIALES PARA PIEZAS SUJETAS A ESFUERZOS TERMO-MECÁNICOS, XXXII, 19–22.

Sujesh, G., & Ramesh, S. (2018). Modeling and control of diesel engines: A systematic review. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.02.011>

Uyumaz, A. (2018). Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with mustard oil biodiesel fuel blends at different engine loads. *Fuel*, 212(October 2017), 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.005>

Wika. (2010). General Purpose Transmitter Type C-10, 10–13.

Yépez, J. P. (2017). *UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO Colegio de Ciencias e Ingeniería Diseño y construcción de una planta de producción de Biodiesel a partir de aceite vegetal reciclado Dispositivos Tecnológicos.*

## ANEXOS

### **Anexo A: Manual de Operación de Planta de Biodiésel:**

#### **Pasos básicos.**

1. Conectar el Panel de Control a una fuente de 110V. Revisar que no exista riesgo de desconexión de cables debido a que una interrupción del proceso es de alto riesgo para la planta.
2. Encender el Panel de Control con la llave de seguridad otorgada por el supervisor de la planta.
3. Revisar que no existan daños previos en las tuberías de transporte.
4. Ubicar la malla y tela de algodón para la purificación en el primer tanque.
5. Comprobar que el tanque de acero inoxidable se encuentre seco y limpio antes de proceder a la transferencia de aceite.

#### **Transferencia de aceite al tanque de almacenamiento**

1. Verter el 95 % del contenido de las pomas de aceite almacenado en el primer tanque. El 5% restante se recomienda colocar en un recipiente distinto, esto debido a que al fondo se acumulan mayor cantidad grasas e impurezas y requieren una purificación más exhaustiva.
2. Dejar reposar el aceite en el tanque por aproximadamente 8 horas, de esa forma se garantiza que el aceite fue drenado y la pureza del es adecuada para el proceso posterior.

3. Observar que el medidor se encuentra en 75 litros para poder continuar, puesto que la termocupla se encuentra desde dicho valor. Caso contrario esperar que el tanque A tenga más aceite.
4. Encender controlador TQ-A, configurar la temperatura a 45°C, esperar 30 minutos
5. Abrir las válvulas A1, A2 y A5, asegurarse que la tubería de válvula A5 se encuentra apuntando hacia el interior del tanque encender la bomba P-1 de transporte y obtener una muestra de aceite. Si la muestra está limpia saltar al paso número 8.
6. Mantener la bomba P-1 encendida por aproximadamente 30 minutos, es necesario controlar la temperatura de la bomba puesto que puede existir un sobrecalentamiento y puede apagarse, se sugiere utilizar la bomba 10 minutos y dejar reposar 2 minutos.
7. Obtener una muestra y verificar que el aceite fue purificado, caso contrario volver a paso 6. Si la muestra se encuentra limpia guardar esa muestra para titulación, asegurarse de obtener alrededor de 100 ml.
8. Abrir la válvula A4 y cerrar válvula A5, trasladar el aceite requerido, trasladar una cantidad mínimo de 25 litros debido a la ubicación de la termocupla del tanque B.
9. Apagar la bomba P-1, cerrar válvula A1.
10. Colocar un recipiente a la salida de válvula A3, y proceder abrir lentamente, se espera recuperar un promedio mínimo de 200 ml por pérdidas de tubería.
11. Reingresar el aceite recuperado en el Tanque A
12. A continuación, es necesario retirar la malla micrométrica y la tela de algodón utilizadas en la purificación para ser lavadas y utilizar en el proceso siguiente. La tela de algodón puede ser lavada con la Glicerina que se obtiene de la transesterificación.

### **Secado del aceite**

Es necesario recalcar que todas las válvulas deben permanecer cerradas durante el proceso.

1. Encender controlador TQ-B y programar a 95°C, esto puede tardar alrededor de 60 a 120 minutos, realizar este procedimiento junto con el paso número 2
2. Encender los motores M-1 y M-2.
3. Una vez llegue la temperatura a 95°C, mantener durante 60 minutos.
4. Configurar TQ-B a 60°C
5. Dentro de 4-5 horas, la temperatura del tanque desciende a 60°C.
6. Durante este tiempo de espera se puede realizar la titulación y la preparación del químico a utilizar.
7. Comprobar que el aceite esté seco cuando este haya adquirido un color más claro.

## Anexo B: Resultados de Opacidad para cada Ensayo

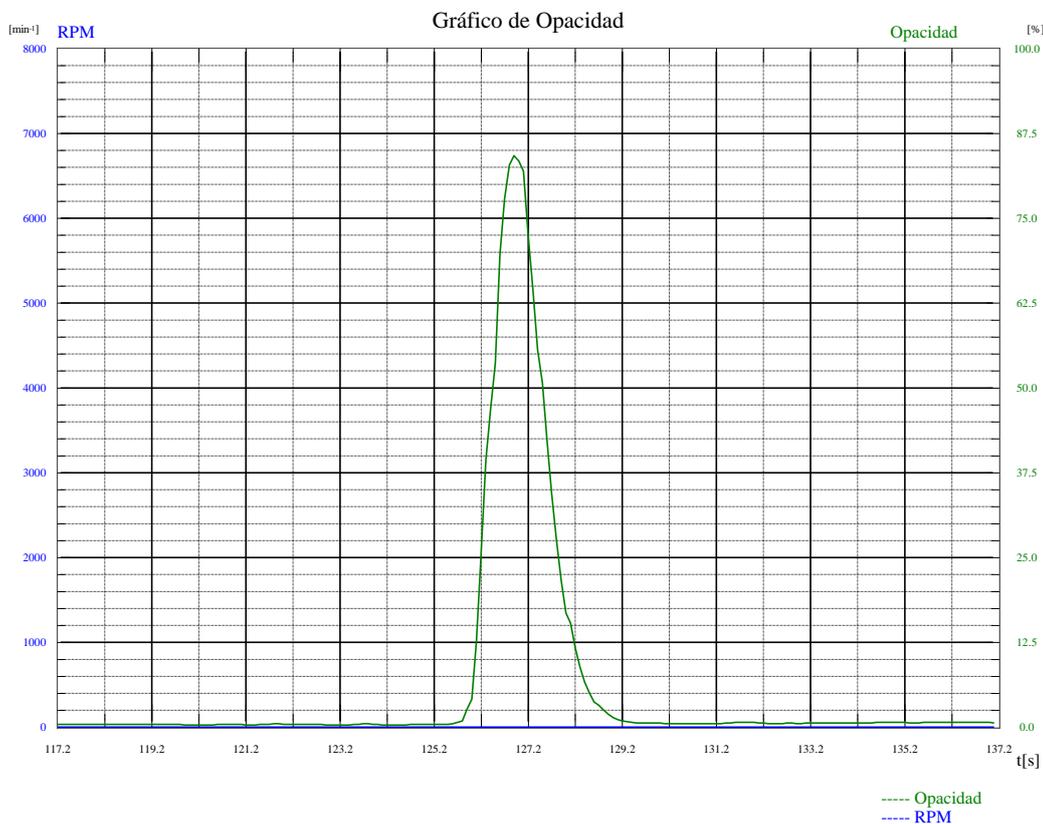
### Ensayo N°1 – Diésel 100%.

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx.      84.2    %  
 RPM máx.            0       min<sup>-1</sup>  
 Temperatura de Aceite    ---    °C

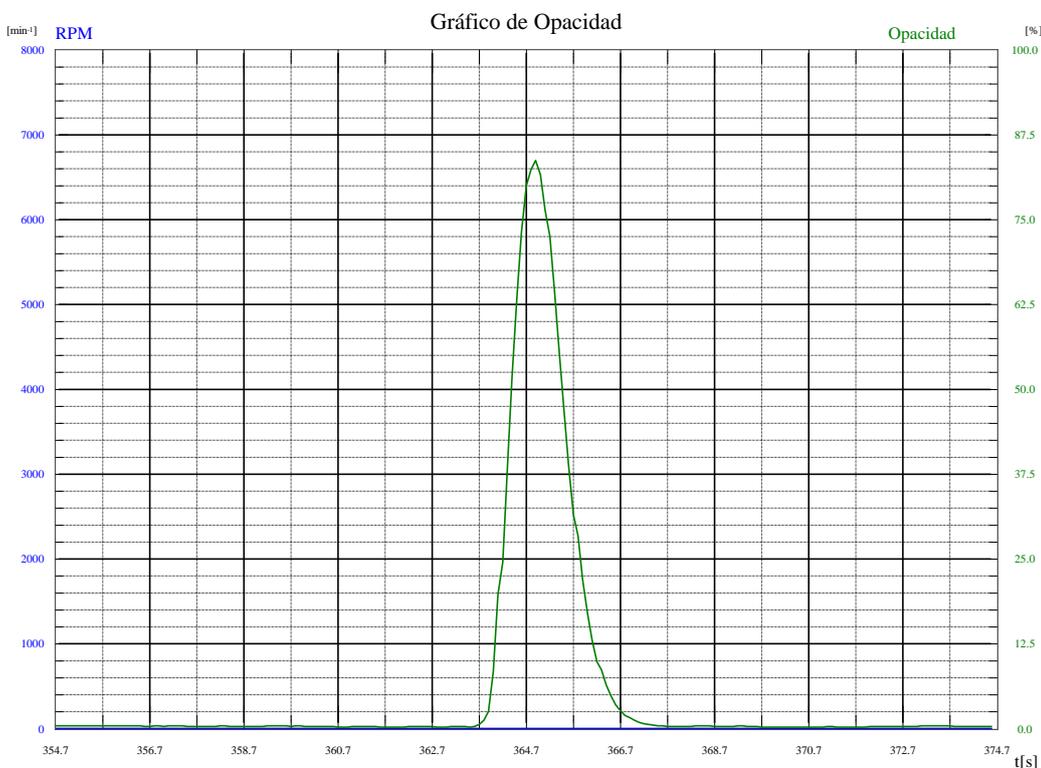
# Ensayo N°2 – Diésel 100%.

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

## Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx.            83.7    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

---- Opacidad  
 ---- RPM

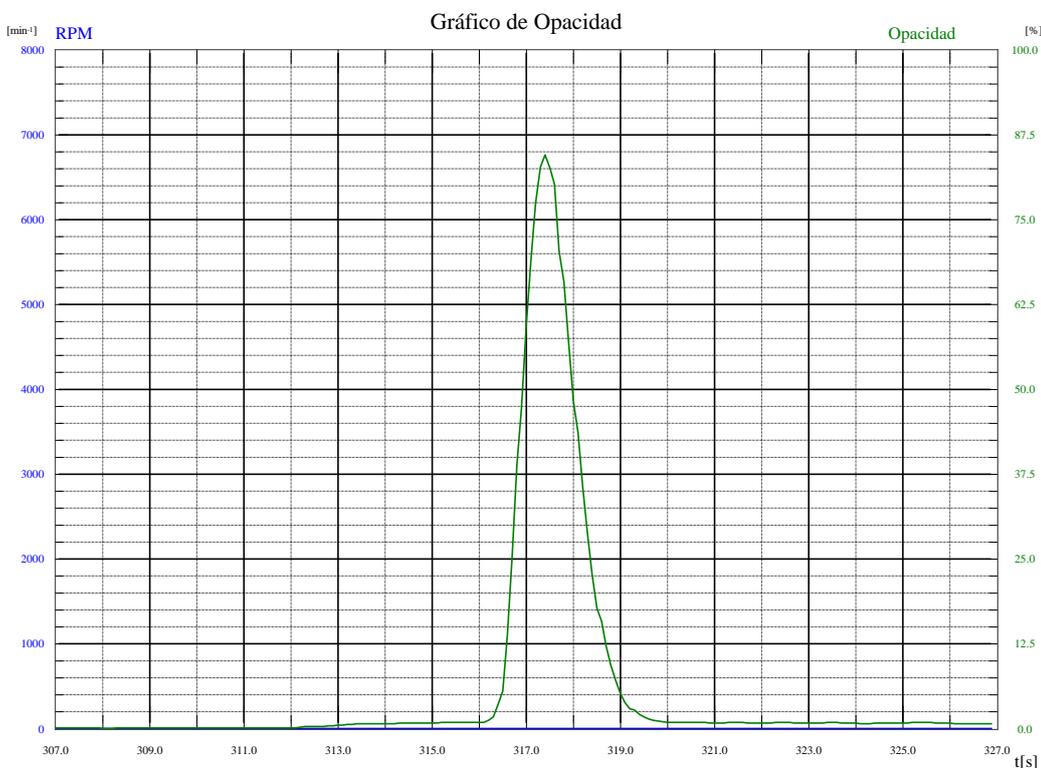
# Ensayo N°3 – Diésel 100%.

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

## Prueba de Diagnóstico Diesel



----- Opacidad  
----- RPM

Modo de medición B  
 Opacidad máx.            84.5    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

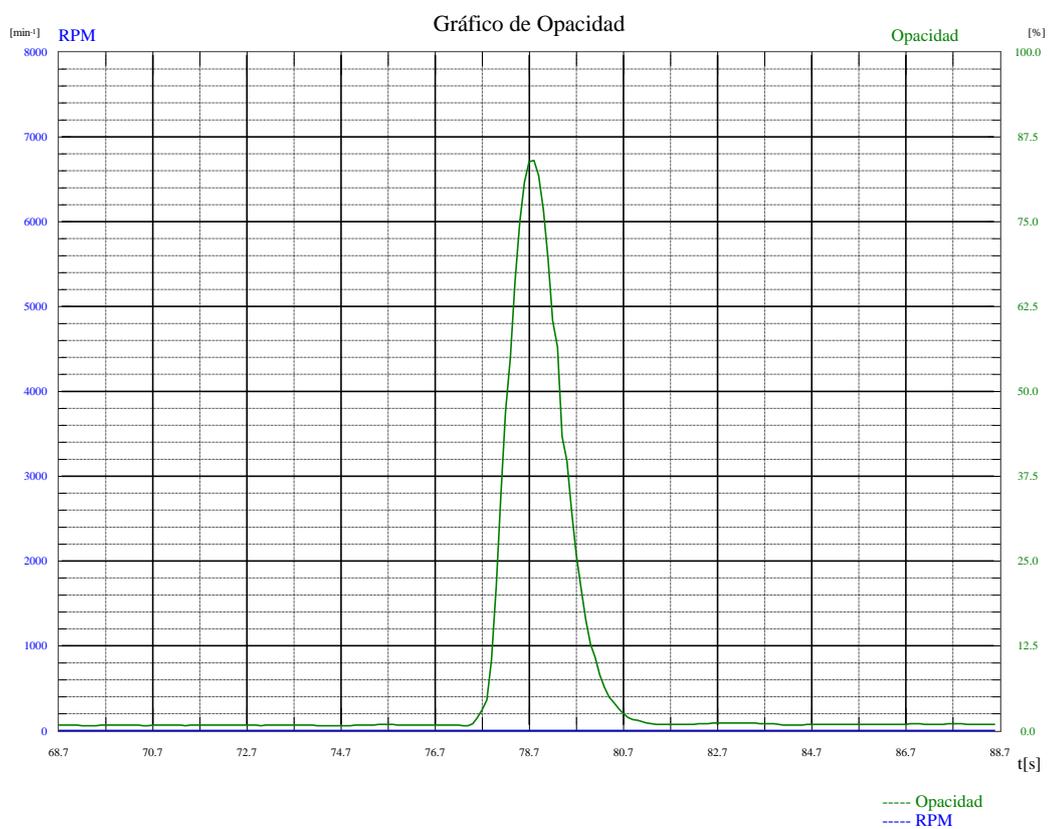
## Ensayo N° 4– Diésel 100%.

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx. 84.0 %  
 RPM máx. 0 min<sup>-1</sup>  
 Temperatura de Aceite --- °C

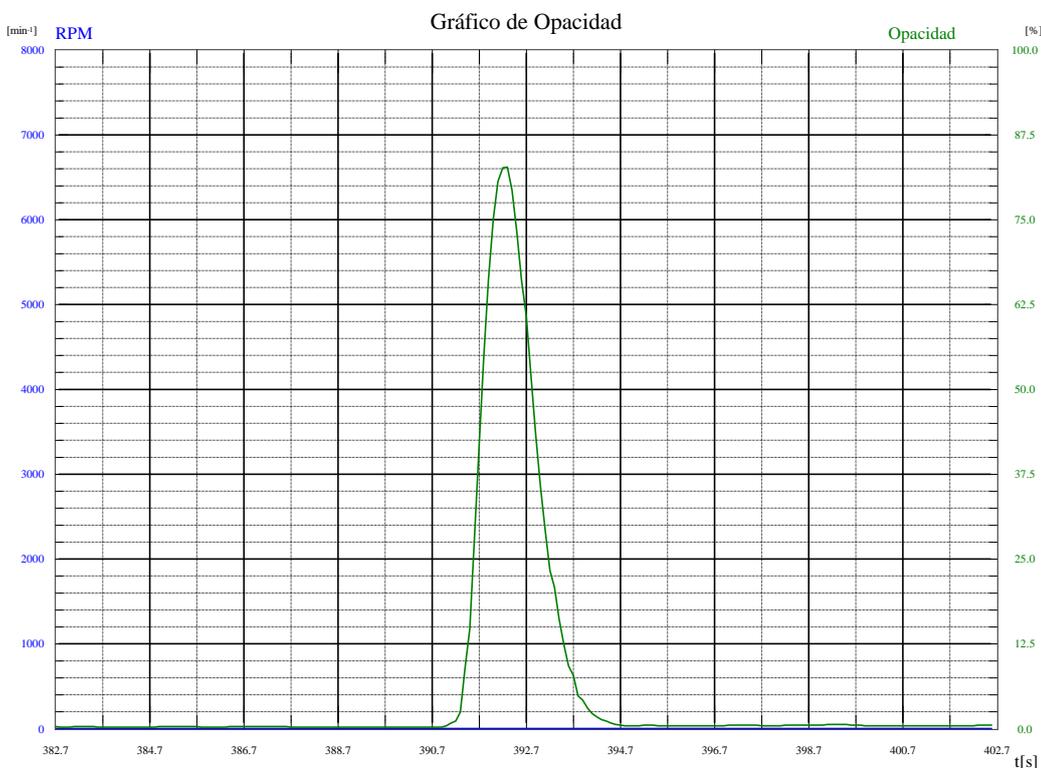
**Ensayo N°1 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%).**

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

**Prueba de Diagnóstico Diesel**



----- Opacidad  
----- RPM

Modo de medición B  
 Opacidad máx.            82.7    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

**Ensayo N°2 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%).**

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

**Prueba de Diagnóstico Diesel**



Modo de medición B  
 Opacidad máx.            83.0    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

---- Opacidad  
 ---- RPM

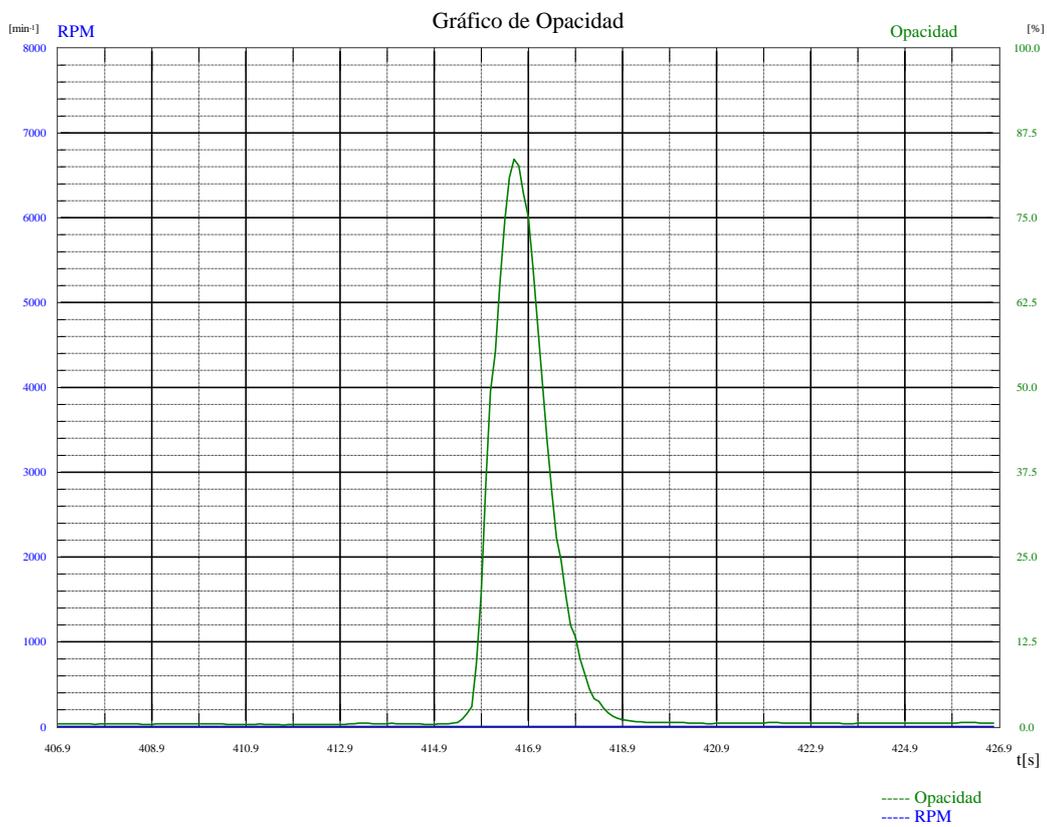
**Ensayo N°3 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%).**

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

**Prueba de Diagnóstico Diesel**



Modo de medición B		
Opacidad máx.	83.6	%
RPM máx.	0	min-1
Temperatura de Aceite	---	°C

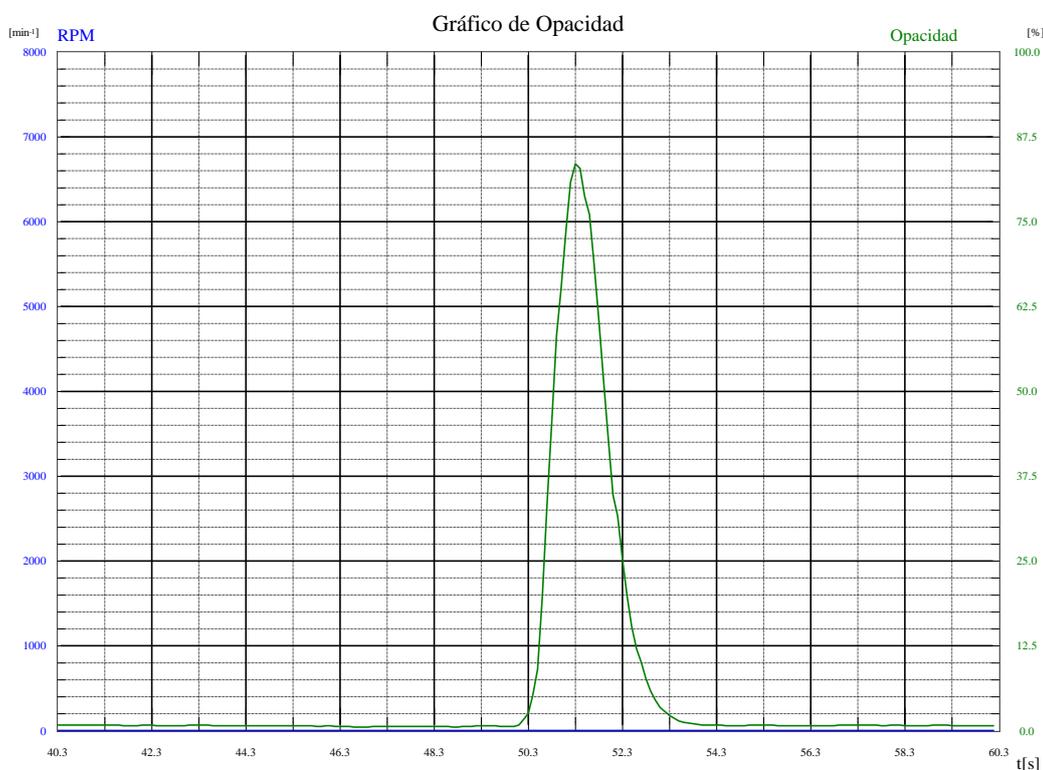
## Ensayo N°4 – B5 (Diésel 95% / Biodiésel 5%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B		
Opacidad máx.	83.5	%
RPM máx.	0	min-1
Temperatura de Aceite	---	°C

----- Opacidad  
----- RPM

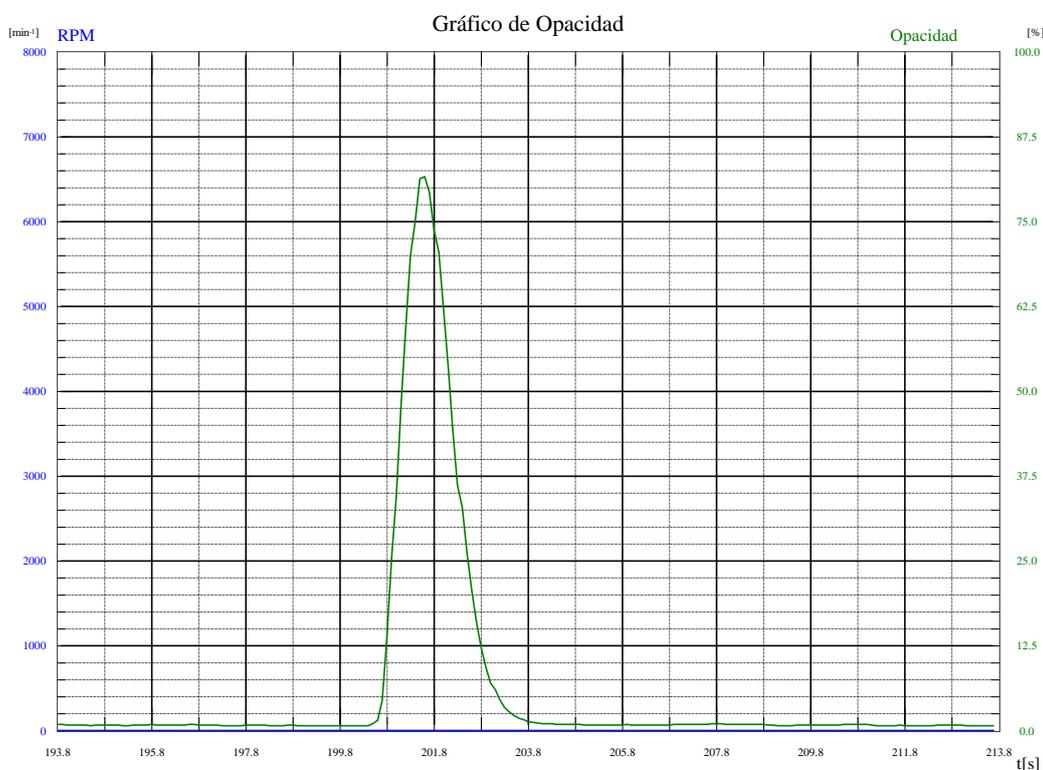
**Ensayo N°1 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%).**

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

**Prueba de Diagnóstico Diesel**



Modo de medición B  
 Opacidad máx.            81.6    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

---- Opacidad  
 ---- RPM

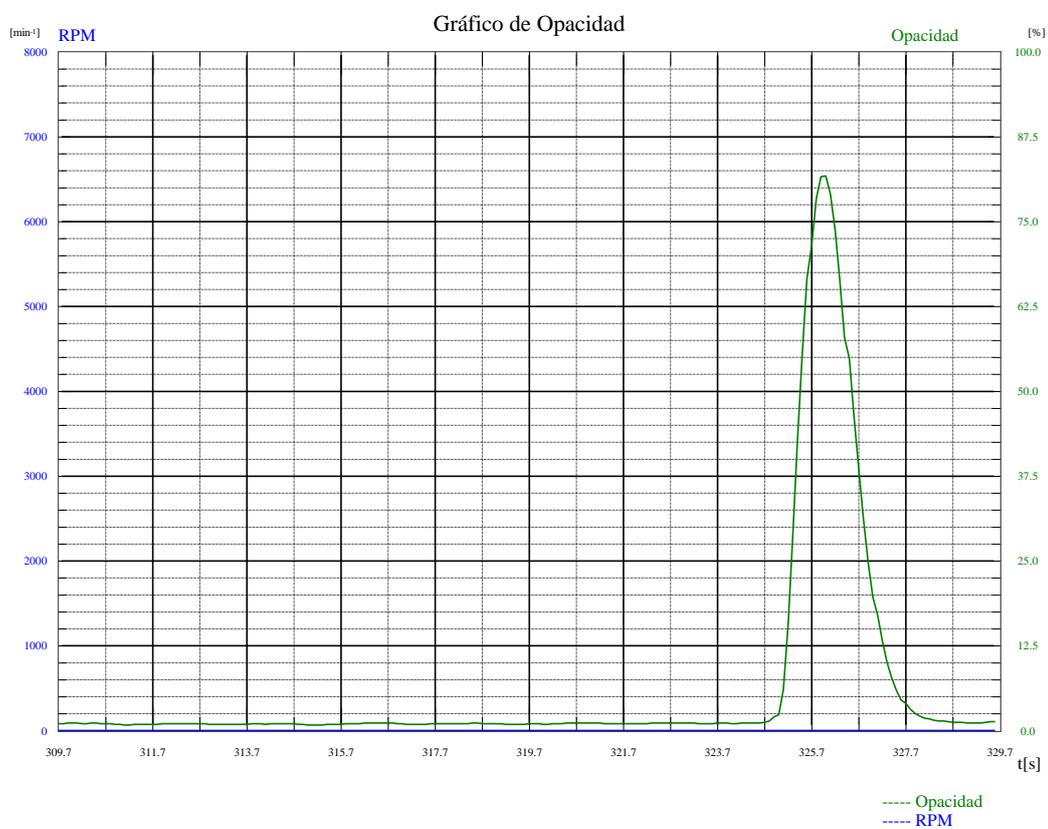
## Ensayo N°2 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B			
Opacidad máx.	81.7	%	
RPM máx.	0	min-1	
Temperatura de Aceite	---	°C	

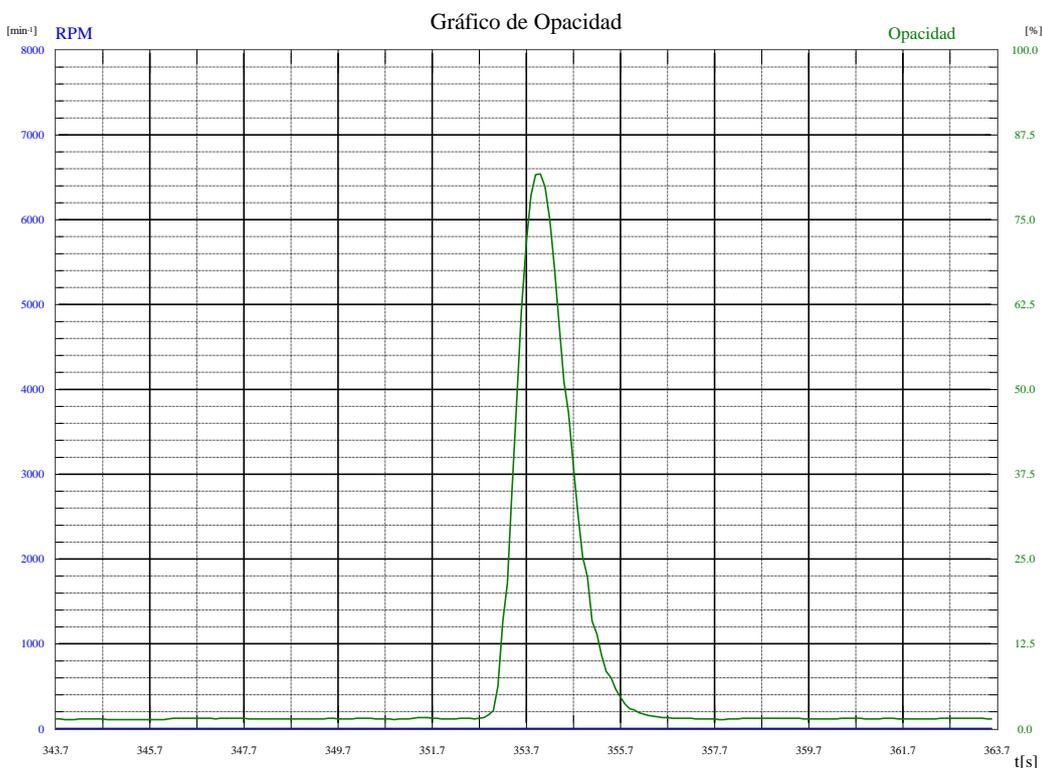
**Ensayo N°3 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%).**

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

**Prueba de Diagnóstico Diesel**



----- Opacidad  
----- RPM

Modo de medición B  
 Opacidad máx.            81.7    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

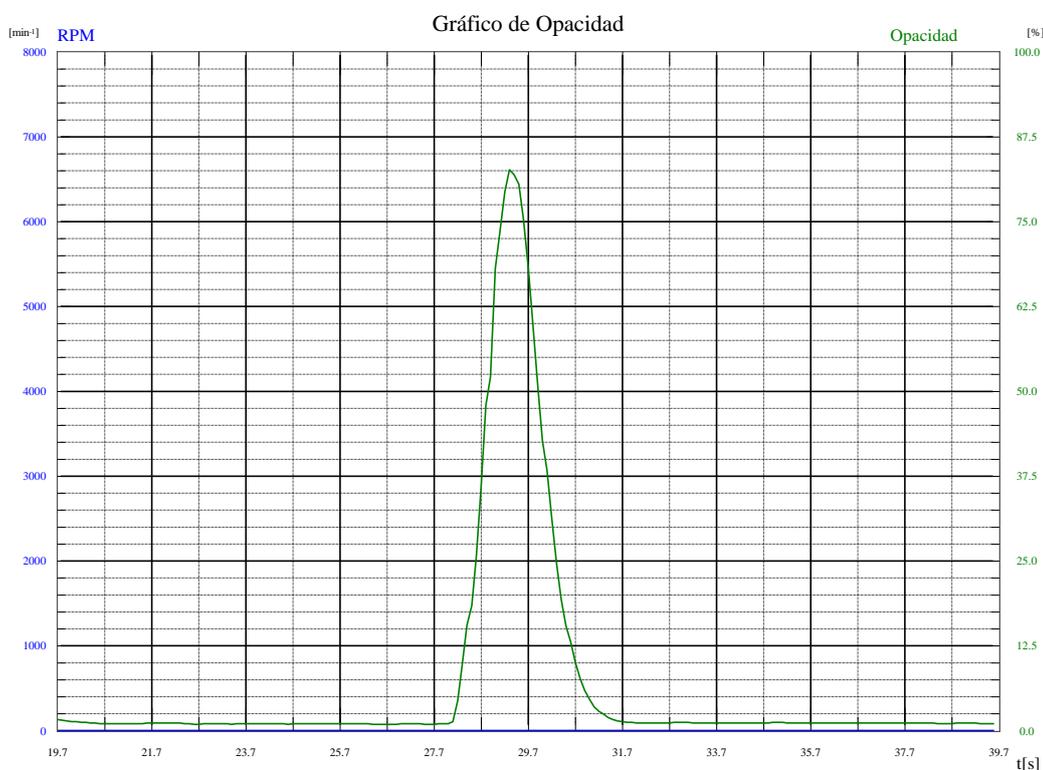
## Ensayo N°4 – B10 (Diésel 90% / Biodiésel 10%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx.            82.6    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

---- Opacidad  
 ---- RPM

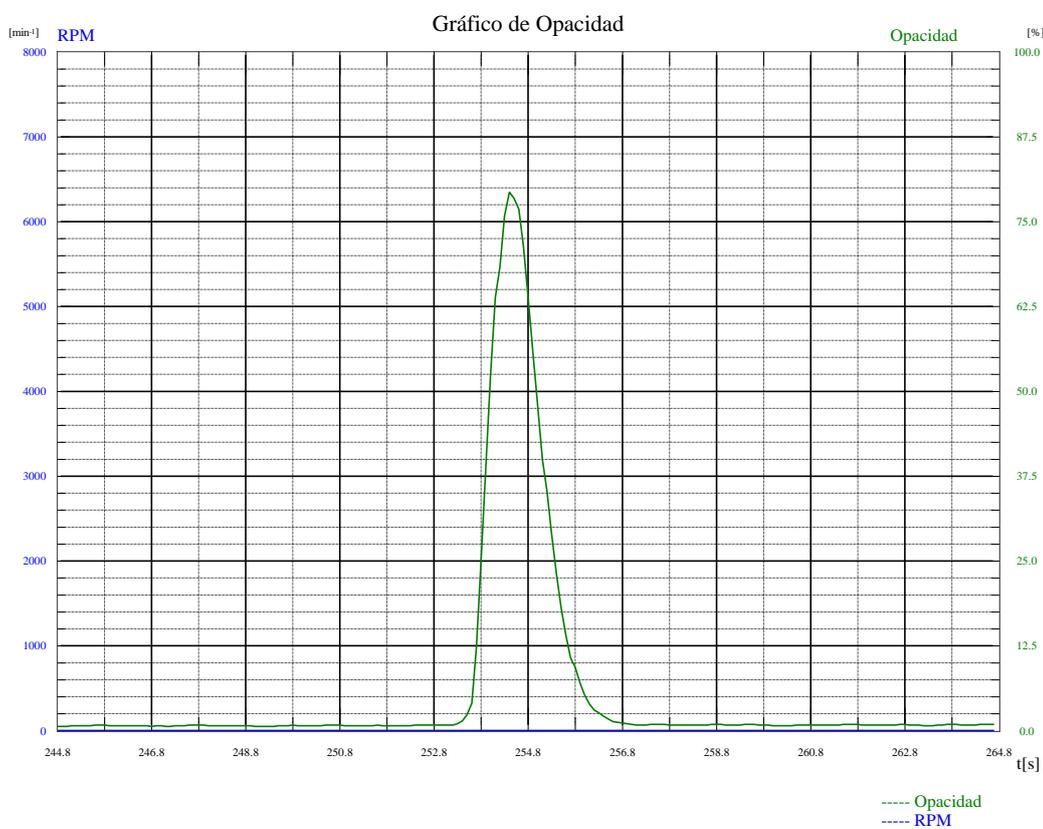
## Ensayo N°1 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx. 79.3 %  
 RPM máx. 0 min-1  
 Temperatura de Aceite --- °C

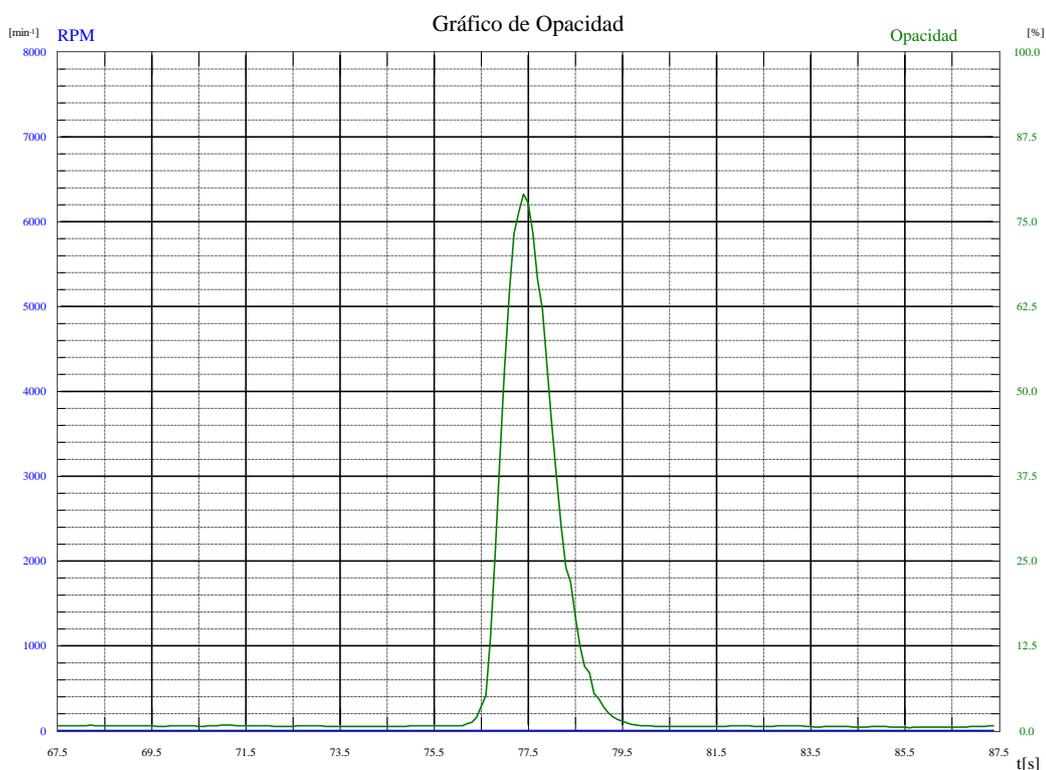
## Ensayo N°2 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx. 79.0 %  
 RPM máx. 0 min-1  
 Temperatura de Aceite --- °C

---- Opacidad  
 ---- RPM

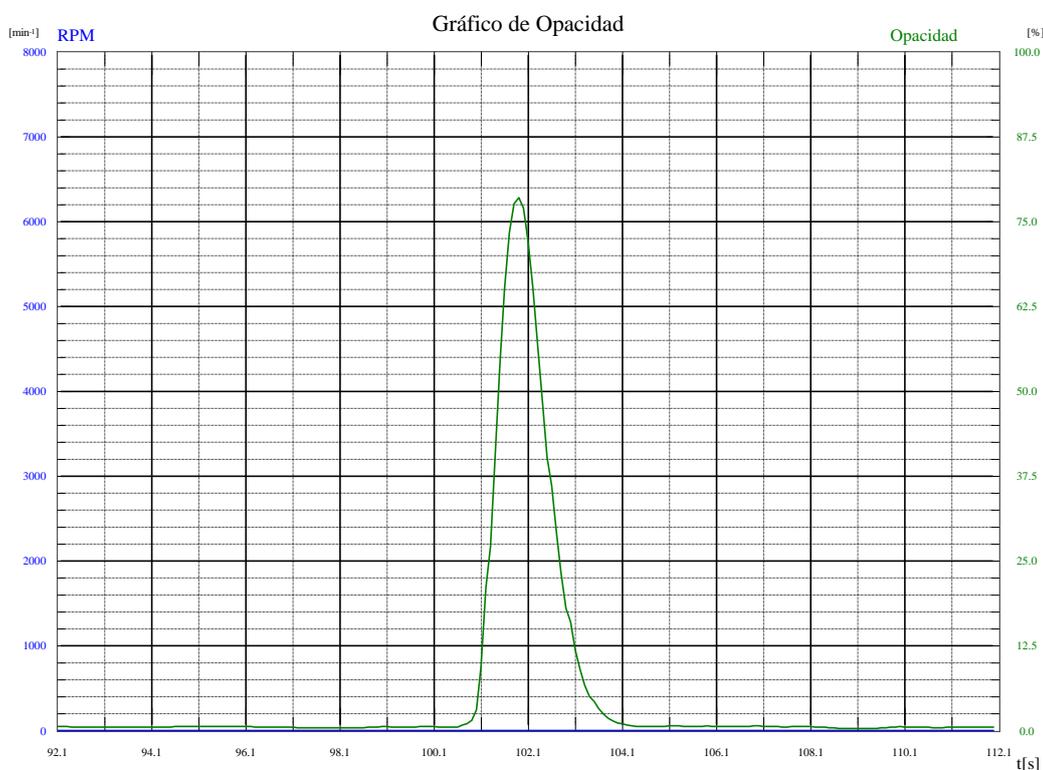
## Ensayo N°3 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx. 78.5 %  
 RPM máx. 0 min<sup>-1</sup>  
 Temperatura de Aceite --- °C

--- Opacidad  
 --- RPM

## Ensayo N°4 – B15 (Diésel 85% / Biodiésel 15%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx. 79.4 %  
 RPM máx. 0 min<sup>-1</sup>  
 Temperatura de Aceite --- °C

## Ensayo N°1 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx.            75.7    %  
 RPM máx.                    0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---     °C

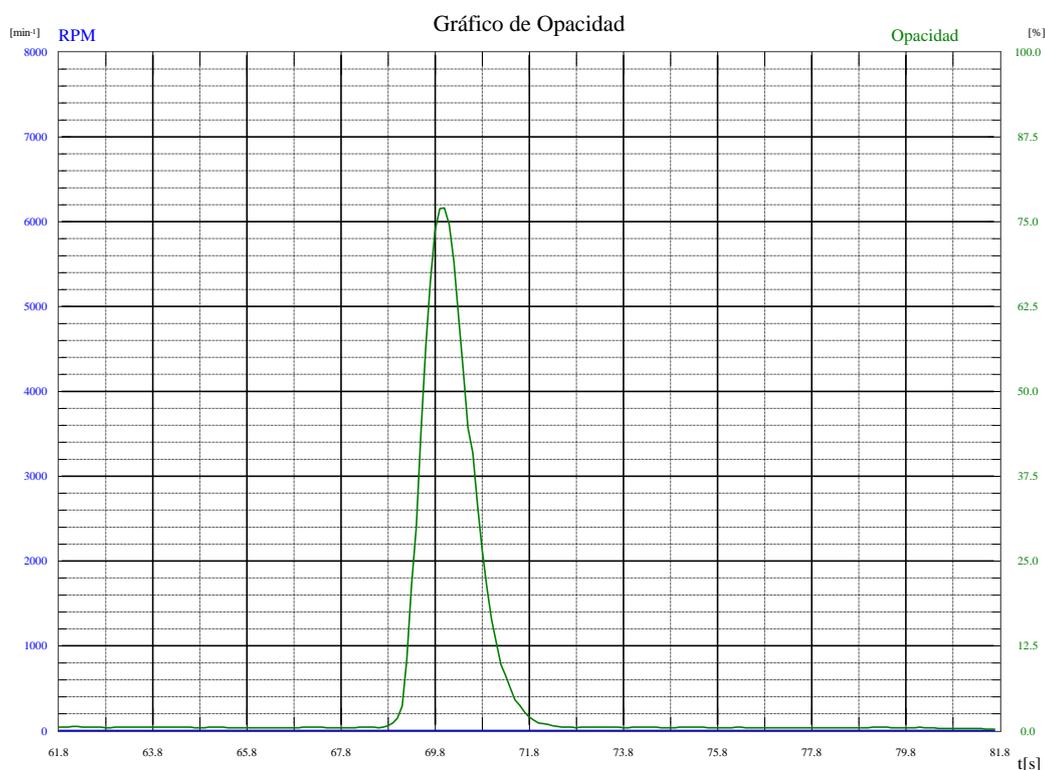
## Ensayo N°2 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
 Opacidad máx. 77.0 %  
 RPM máx. 0 min<sup>-1</sup>  
 Temperatura de Aceite --- °C

--- Opacidad  
 --- RPM

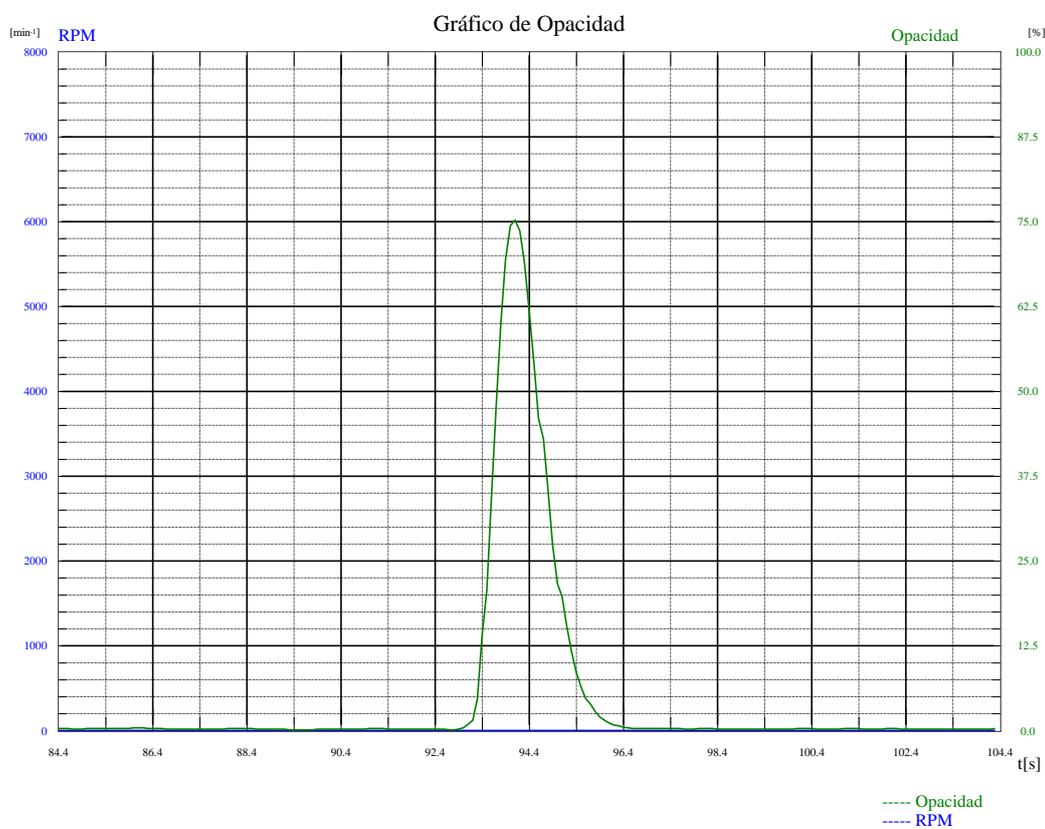
## Ensayo N°3 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel



Modo de medición B  
Opacidad máx. 75.2 %  
RPM máx. 0 min-1  
Temperatura de Aceite --- °C

## Ensayo N°4 – B20 (Diésel 80% / Biodiésel 20%).

Maha Emission Software  
V 7.51.053



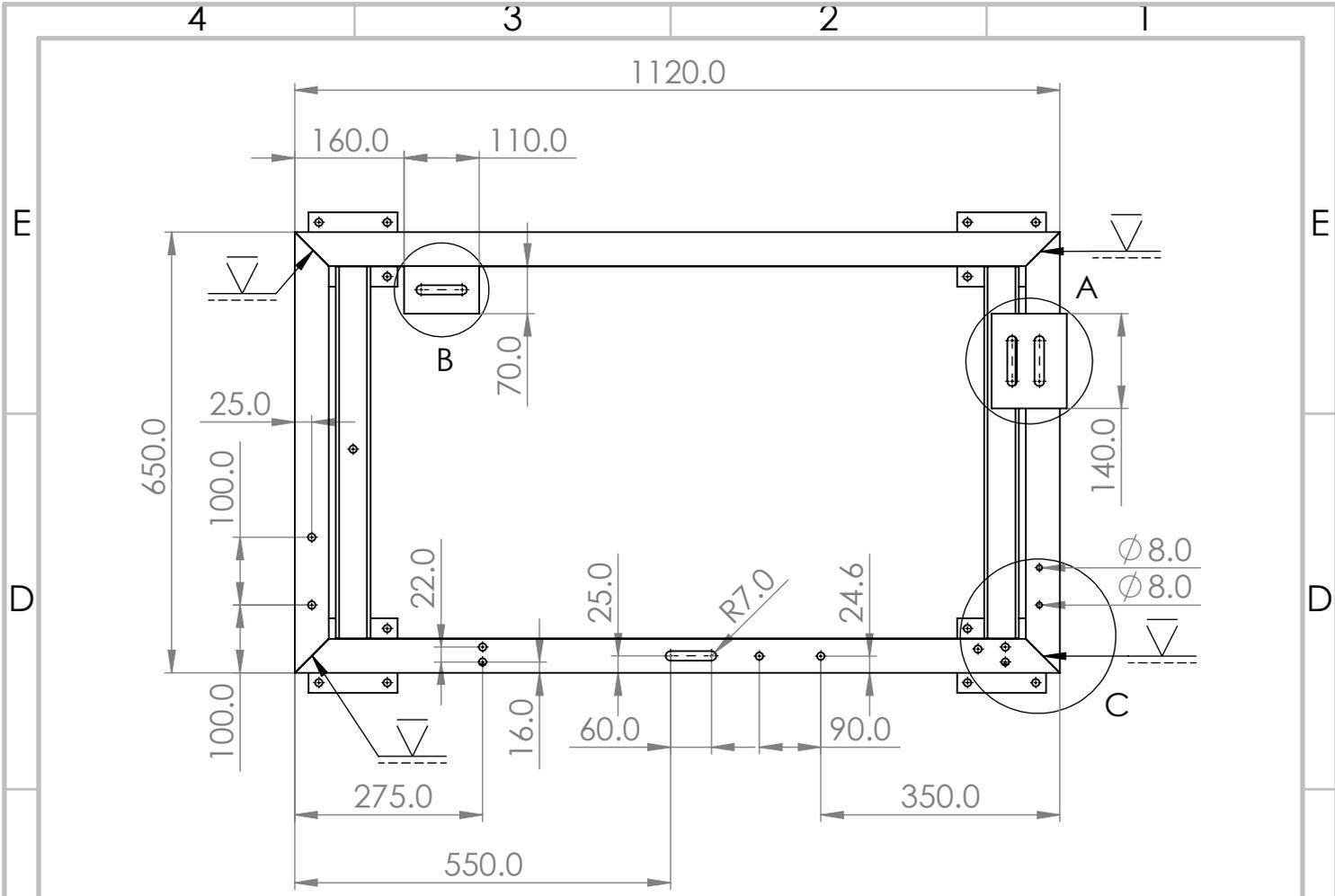
Automóvil		Automóvil	
Nombre/Empresa:		Matrícula:	
Calle:		Kilometraje:	
C.P. Ciudad:		Matriculación:	//
Teléfono:		Fabricante:	
Fecha de prueba:	11/21/2018	Tipo de Vehic.:	
Hora de prueba:	19:05	N° chasis:	
		Cantidad de ejes:	-

### Prueba de Diagnóstico Diesel

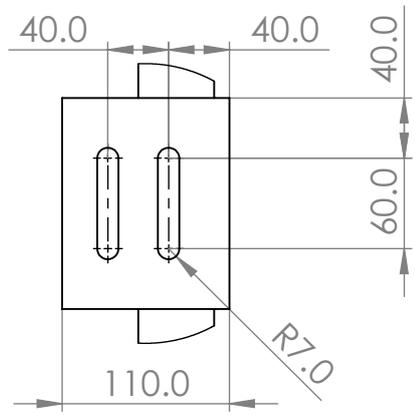


Modo de medición B  
 Opacidad máx.        75.8    %  
 RPM máx.             0       min-1  
 Temperatura de Aceite    ---    °C

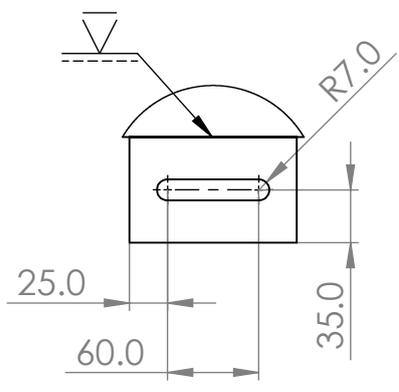
**Anexo C: Planos de Taller del Banco de Pruebas y sus Componentes**



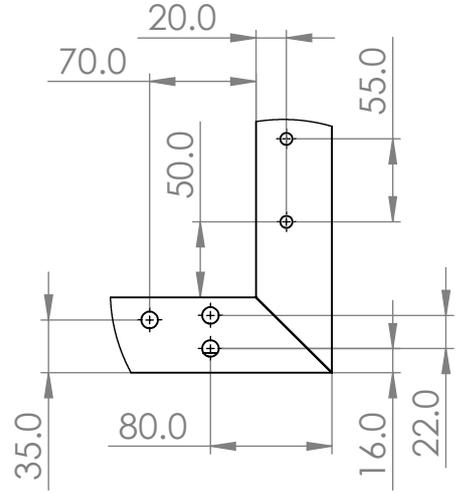
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

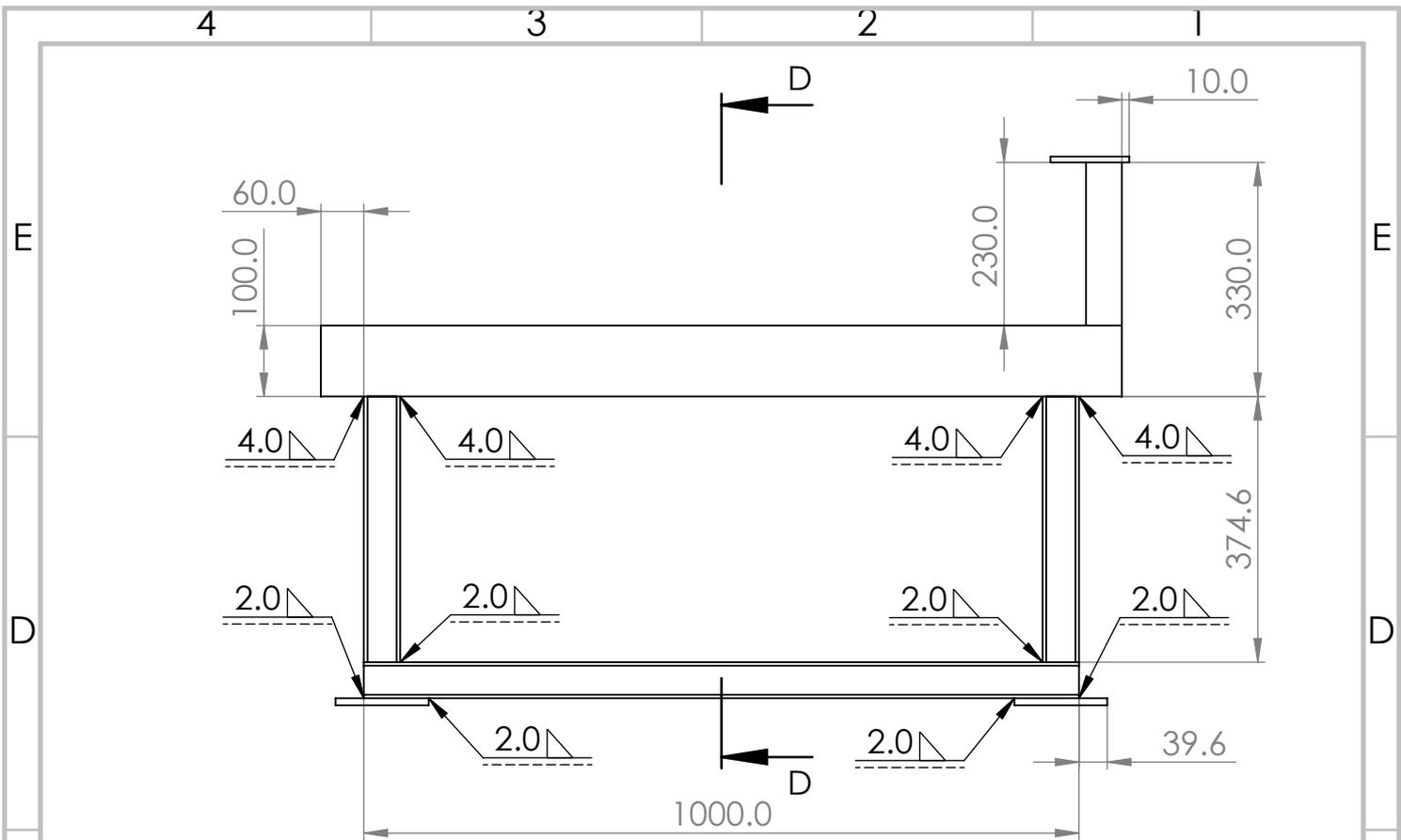


DETALLE C  
ESCALA 1 : 5



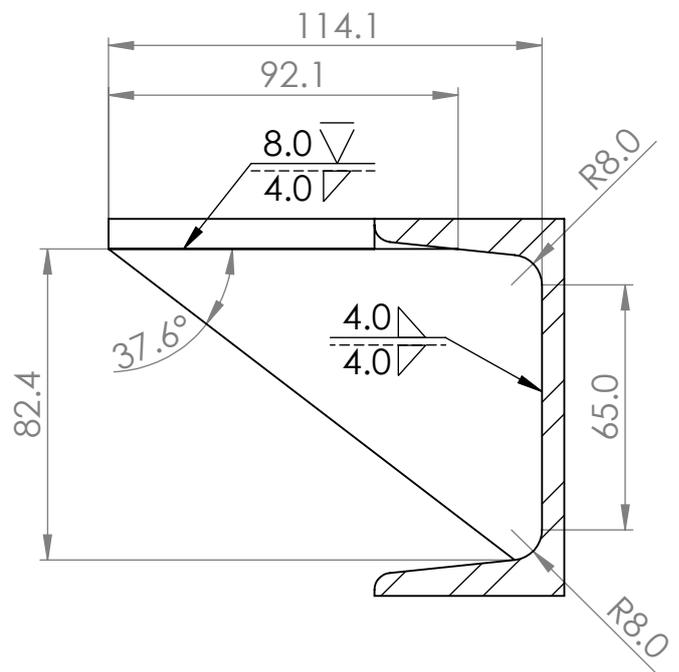
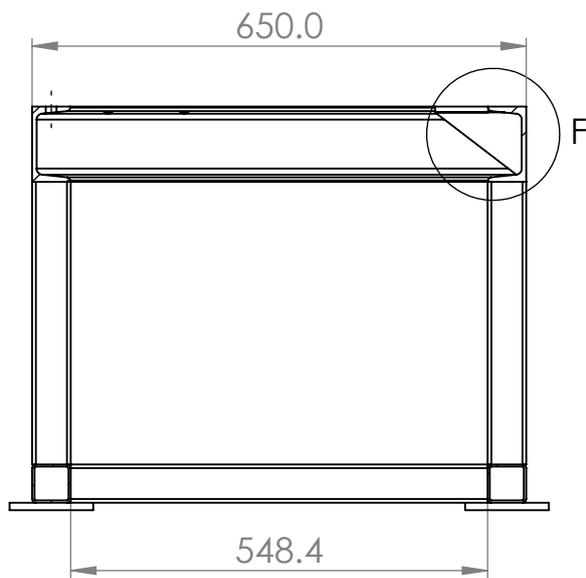
- Notas:  
 1. Perfil Normal Tipo U (UPN 100)  
 2. Agujeros no acotados R = 5.5

				Tolerancias		Materiales				
				+ 1.0		Acero ASTM A36				
				Fecha	Nombre	Banco de Pruebas			Escala 1:10	
				Dib.	26/12/18					F. Bastidas
				Rev.	27/12/18					D. Escudero
				Apro.	27/12/18					D. Escudero
				USFQ		BP 001 - 2018			No. 1	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Vista Superior				



CORTE D-D  
ESCALA 1 : 10

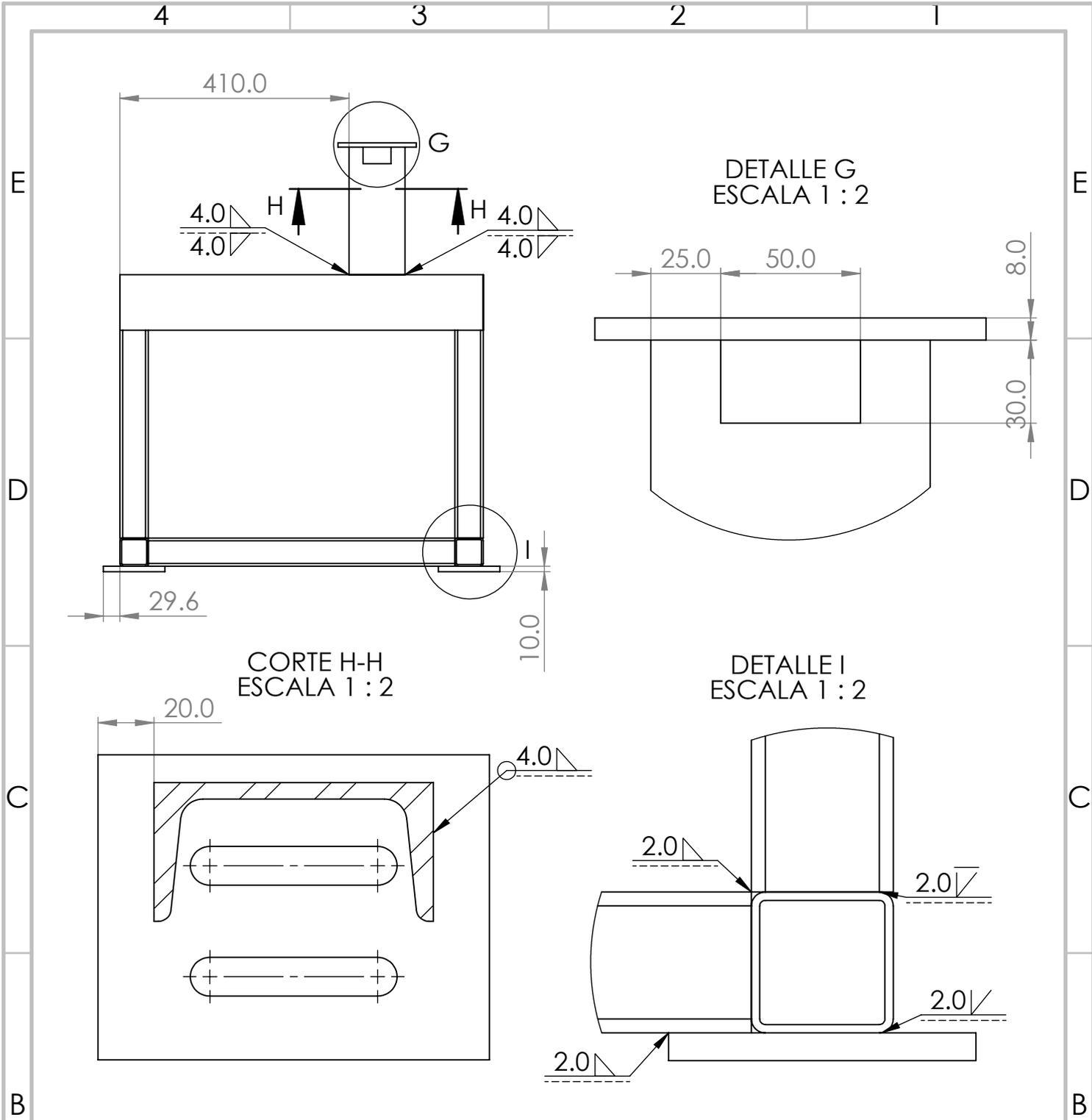
DETALLE F  
ESCALA 1 : 2



Notas:

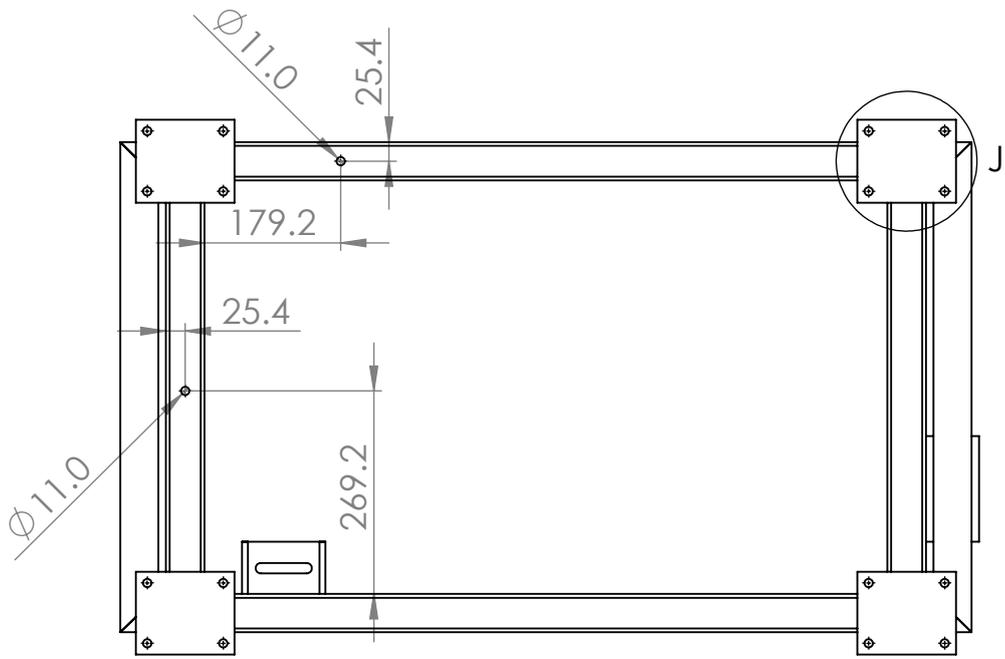
1. Perfil Normal Tipo U (UPN 100)
2. Tubo Cuadrado 2" x 2" x 0.12"

				Tolerancias		Materiales	
				+ 1.0		Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Banco de Pruebas	
				Dib. 26/12/18	F. Bastidas		
				Rev. 27/12/18	D. Escudero		
				Apro. 27/12/18	D. Escudero		
				USFQ		Escala 1:10	
						No. 2	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			Vista Frontal	

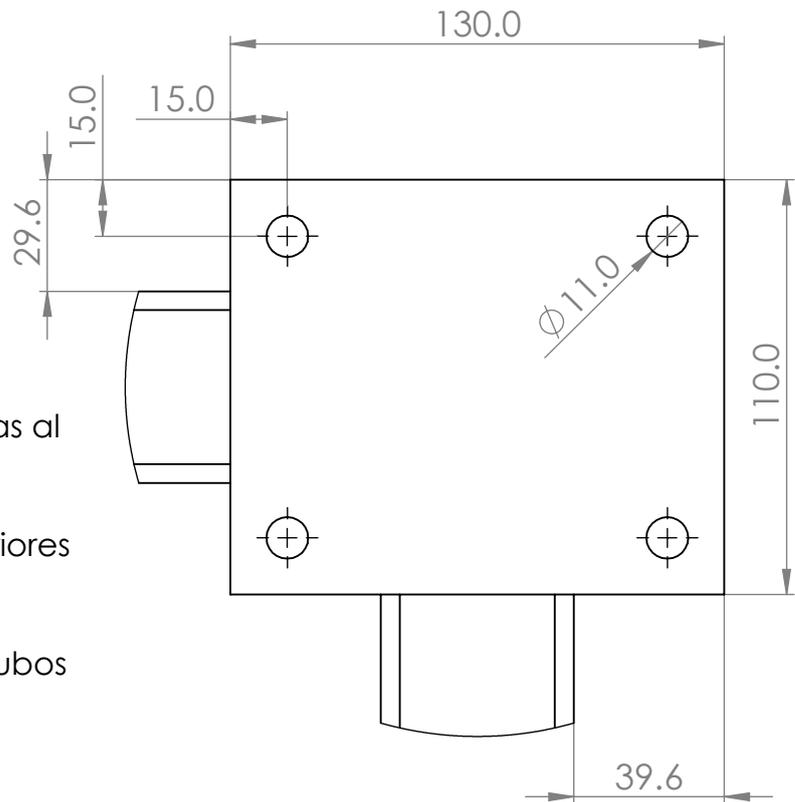


- Notas:
1. Perfil Normal Tipo U (UPN 100)
  2. Tubo Cuadrado 2" x 2" x 0.12"

				Tolerancias		Materiales			
				+ 1.0		Acero ASTM A36			
				Fecha	Nombre	Banco de Pruebas			Escala 1:10
				Dib.	F. Bastidas				
				Rev.	D. Escudero				
				Apro.	D. Escudero				
				USFQ		BP 001 - 2018			No. 3
						Vista Lateral			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						



DETALLE J  
ESCALA 1 : 2



Notas:

1. Placas inferiores soldadas al contorno de los tubos adyacentes
2. Agujeros en placas inferiores simétricos
3. Agujeros pasantes de extremo a extremo en tubos cuadrados

Tolerancias

+ 1.0  
-

Materiales

Acero ASTM A36

	Fecha	Nombre
Dib.	26/12/18	F. Bastidas
Rev.	27/12/18	D. Escudero
Apro.	27/12/18	D. Escudero

Banco de Pruebas

Escala  
1:10

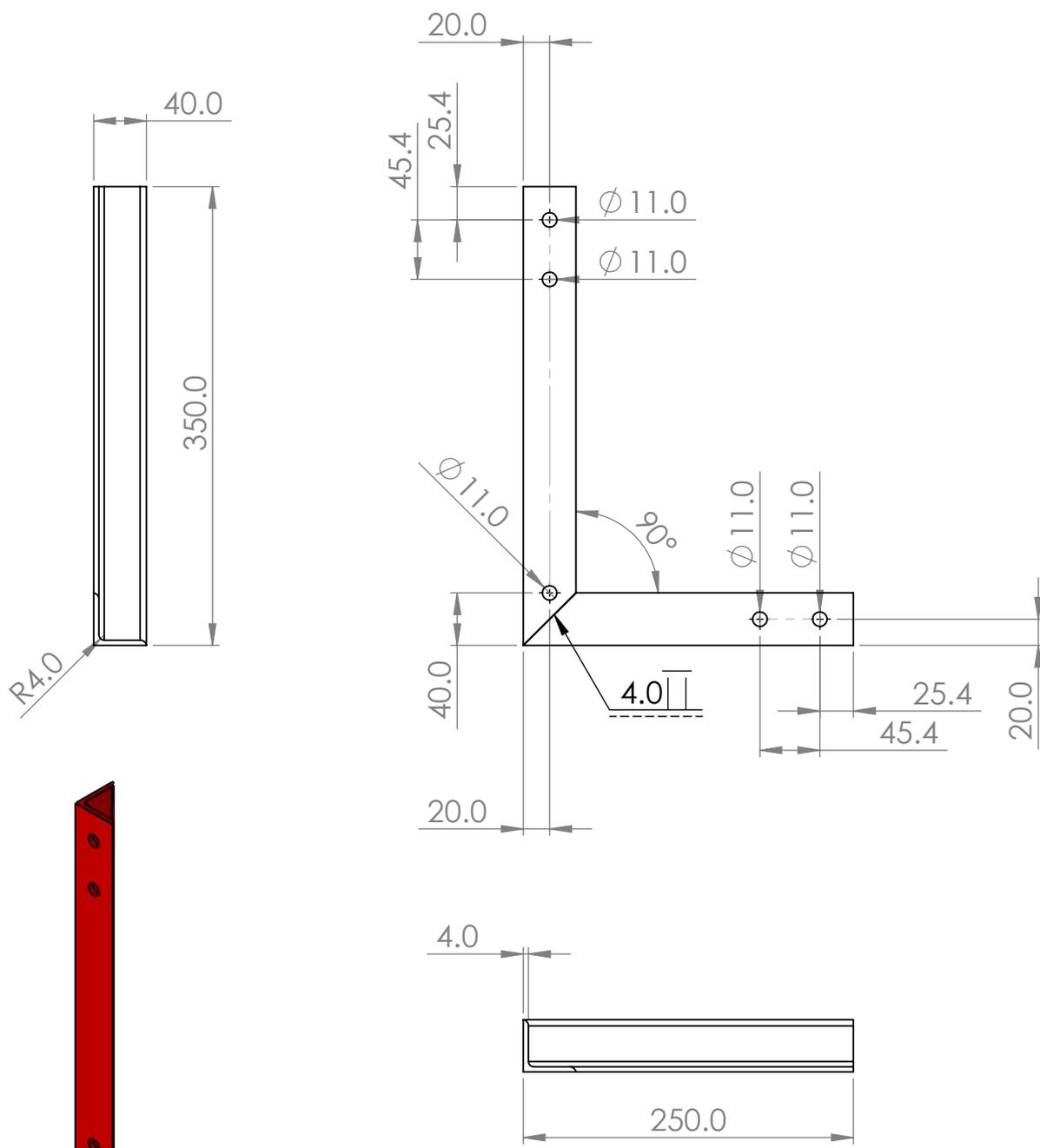
USFQ

BP 001 - 2018

No.  
4

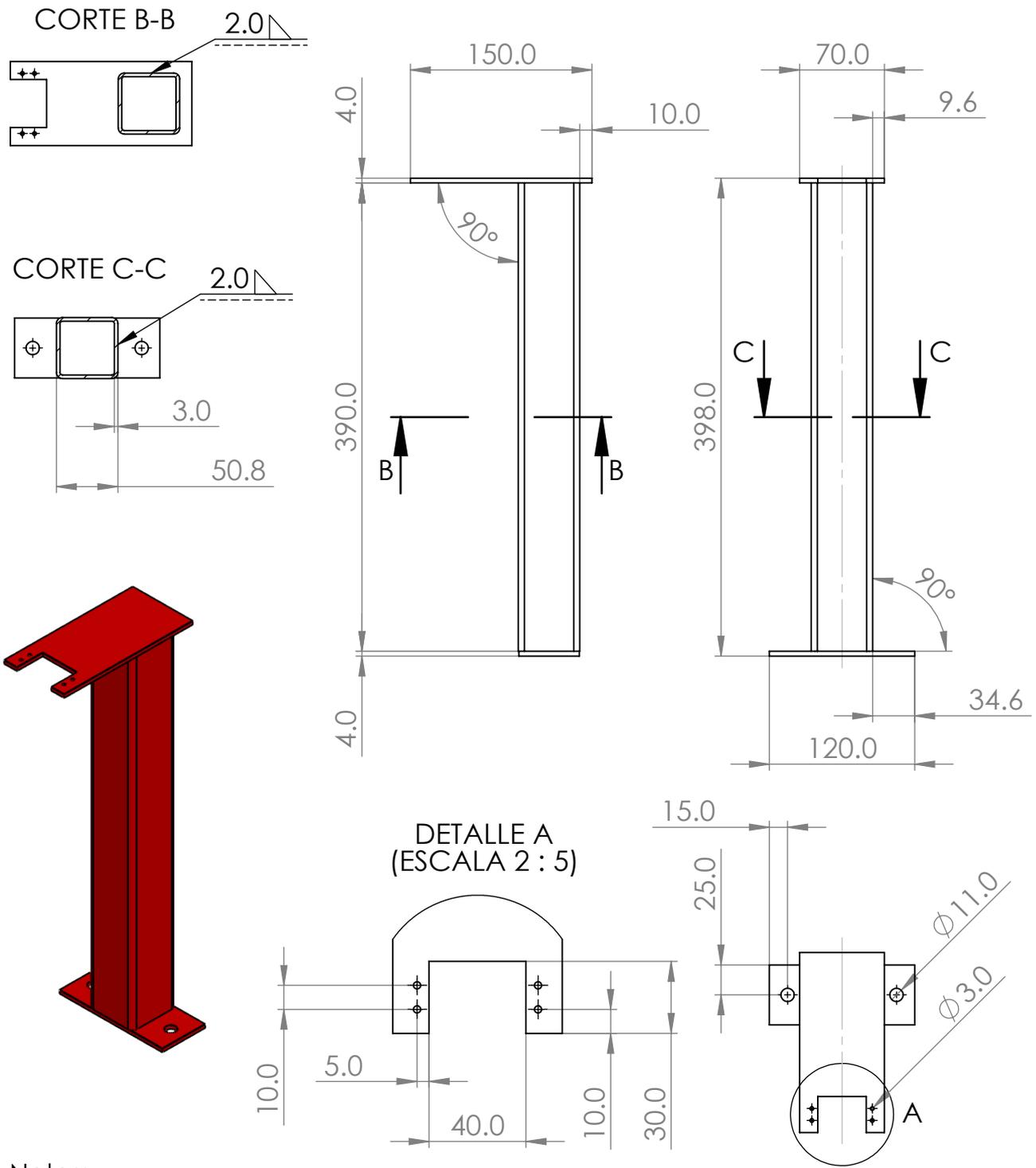
Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Vista Inferior



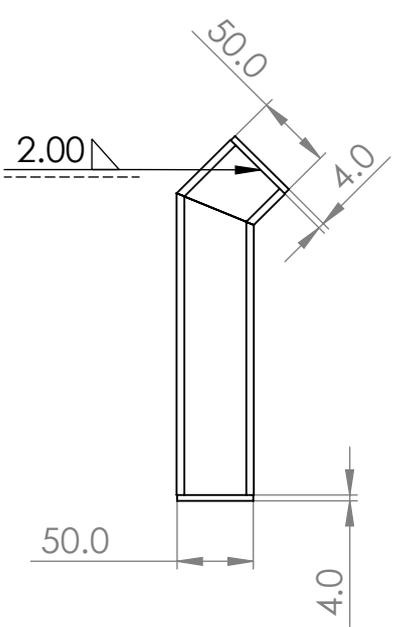
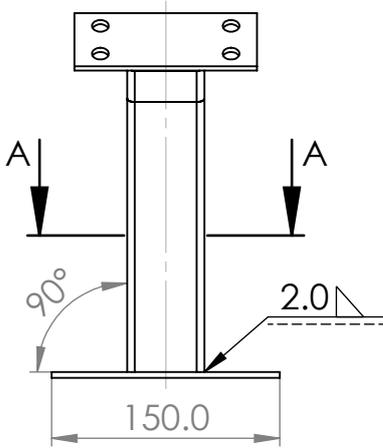
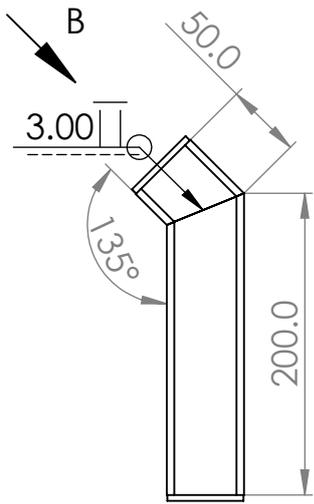
- Notas:
1. Perfil en L 40 x 40
  2. Eliminar aristas vivas

				Tolerancias	Materiales			
				+ 1.0	Acero ASTM A36			
				Fecha	Nombre	Soporte Batería		Escala 1 : 5
				Dib. 26/12/18	F. Bastidas			
				Rev. 27/12/18	D. Escudero			
				Apro. 27/12/18	D. Escudero			
				USFQ		BP 002 - 2018		No. 1
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre					



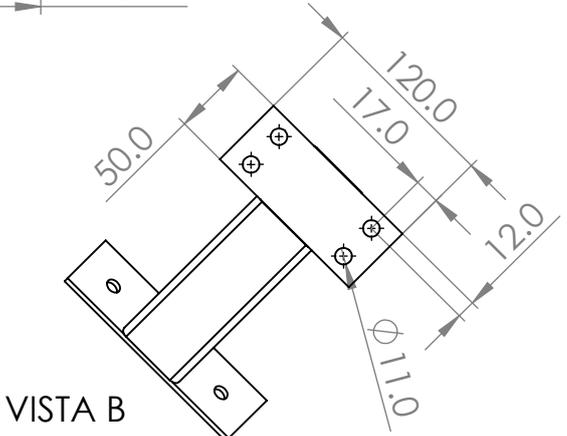
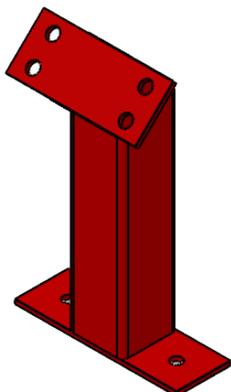
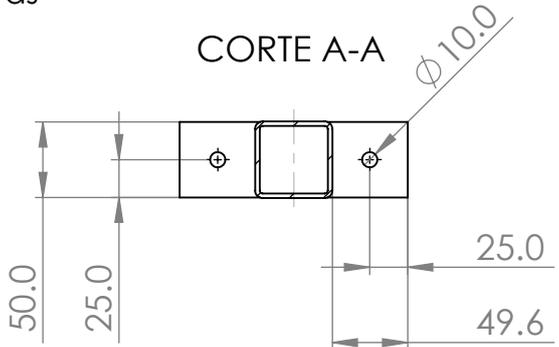
- Notas:
1. Tubo cuadrado 2" X 2" x 0.12"
  2. Eliminar aristas vivas

				Tolerancias		Materiales	
				+ 1.0		Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Soporte Servo	
				Dib. 26/12/18	F. Bastidas		
				Rev. 27/12/18	D. Escudero		
				Apro. 27/12/18	D. Escudero		
				USFQ		Escala 1:5	
						No. 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			BP 003 - 2018	

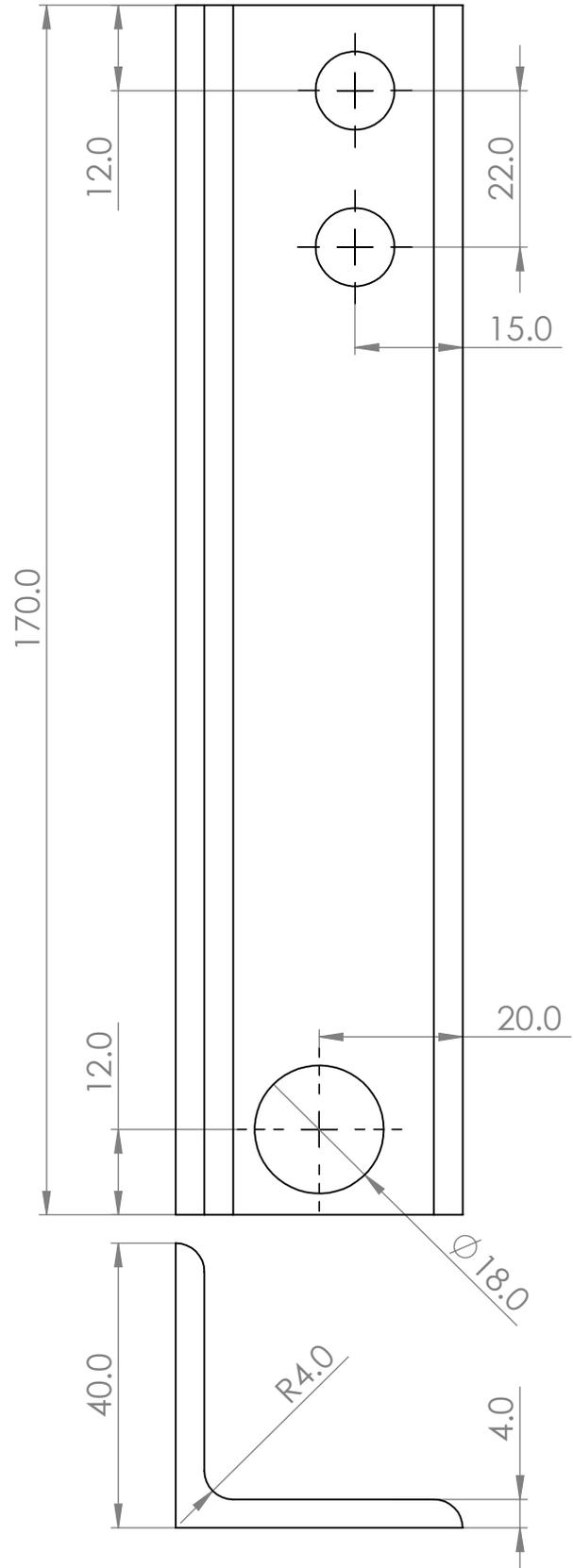
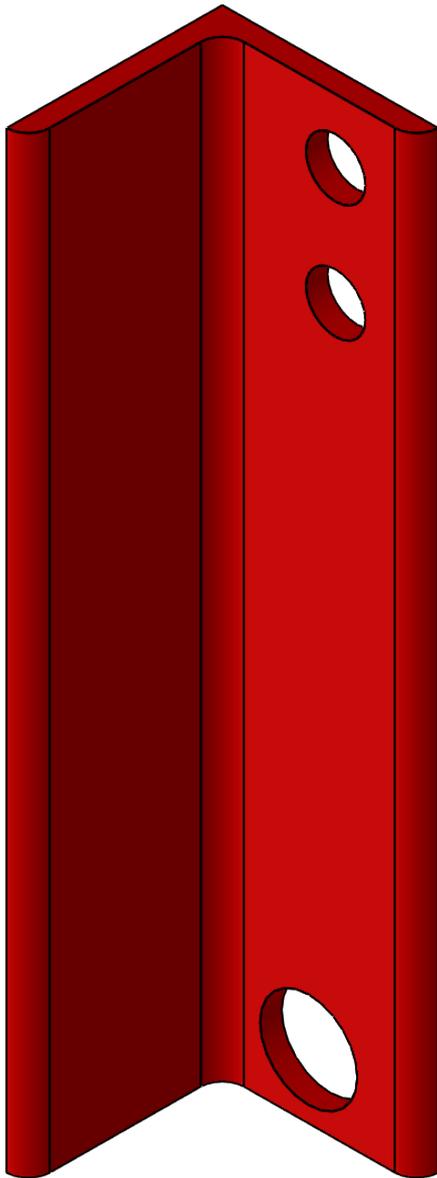


Notas:

- 1. Tubo Cuadrado 2" x 2" x 0.12"
- 2. Eliminar aristas vivas



				Tolerancias		Materiales	
				+ 1.0		Acero ASTM A36	
				Fecha	Nombre	Soporte Tablero	
				Dib. 26/12/18	F. Bastidas		
				Rev. 27/12/18	D. Escudero		
				Apro. 27/12/18	D. Escudero		
				USFQ		Escala	
						1:5	
				BP 004 - 2018		No.	
						1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



- Notas:
1. Perfil en L 40 x 40
  2. Eliminar aristas vivas

Tolerancias  
+ 1.0  
- 1.0

Materiales  
Acero ASTM A36

	Fecha	Nombre
Dib.	26/12/18	F. Bastidas
Rev.	27/12/18	D. Escudero
Apro.	27/12/18	D. Escudero

Soportes Radiador

Escala  
1:1

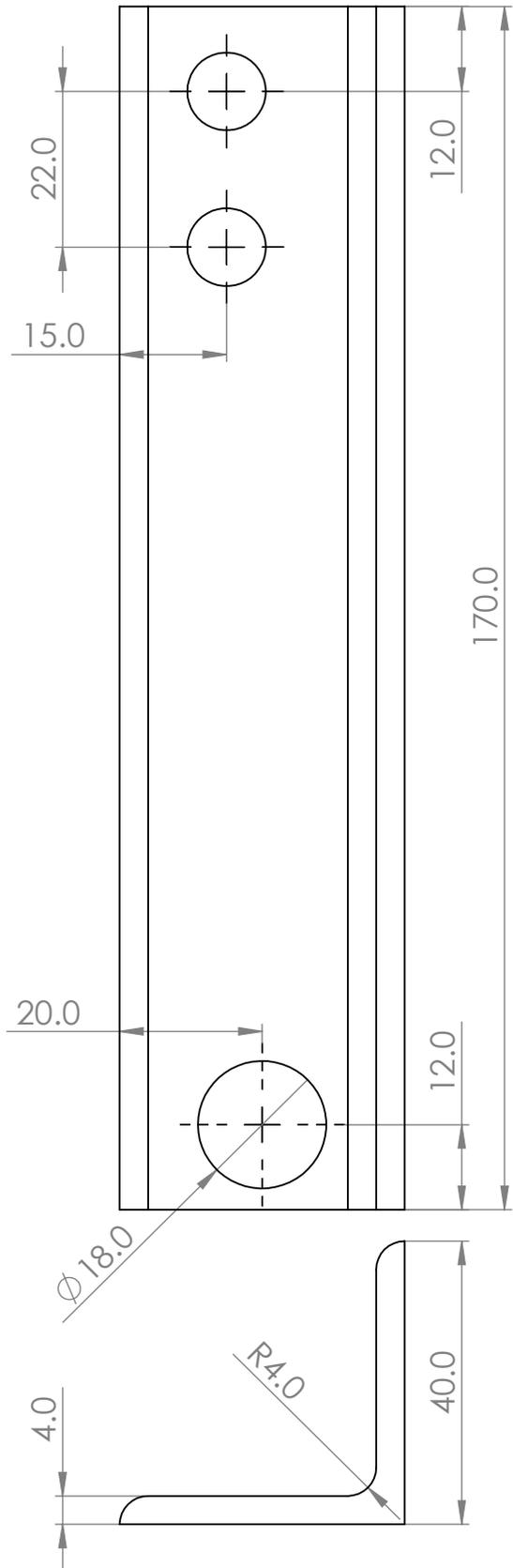
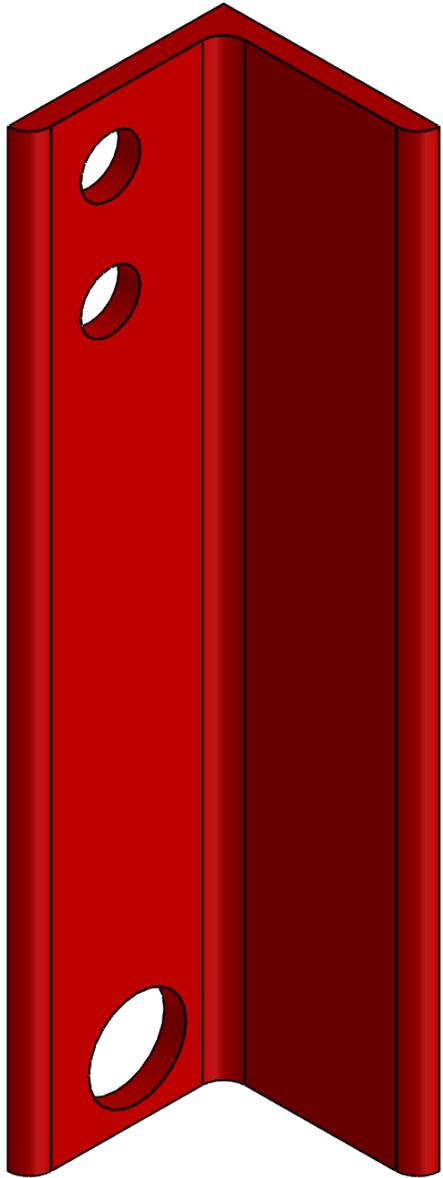
USFQ

BP 005 - 2018

No.  
1

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Soporte Izquierdo



Notas:

1. Perfil en L 40 x 40
2. Eliminar aristas vivas

Tolerancias

+ 1.0  
-

Materiales

Acero ASTM A36

	Fecha	Nombre
Dib.	26/12/18	F. Bastidas
Rev.	27/12/18	D. Escudero
Apro.	27/12/18	D. Escudero

Soportes Radiador

Escala  
1:1

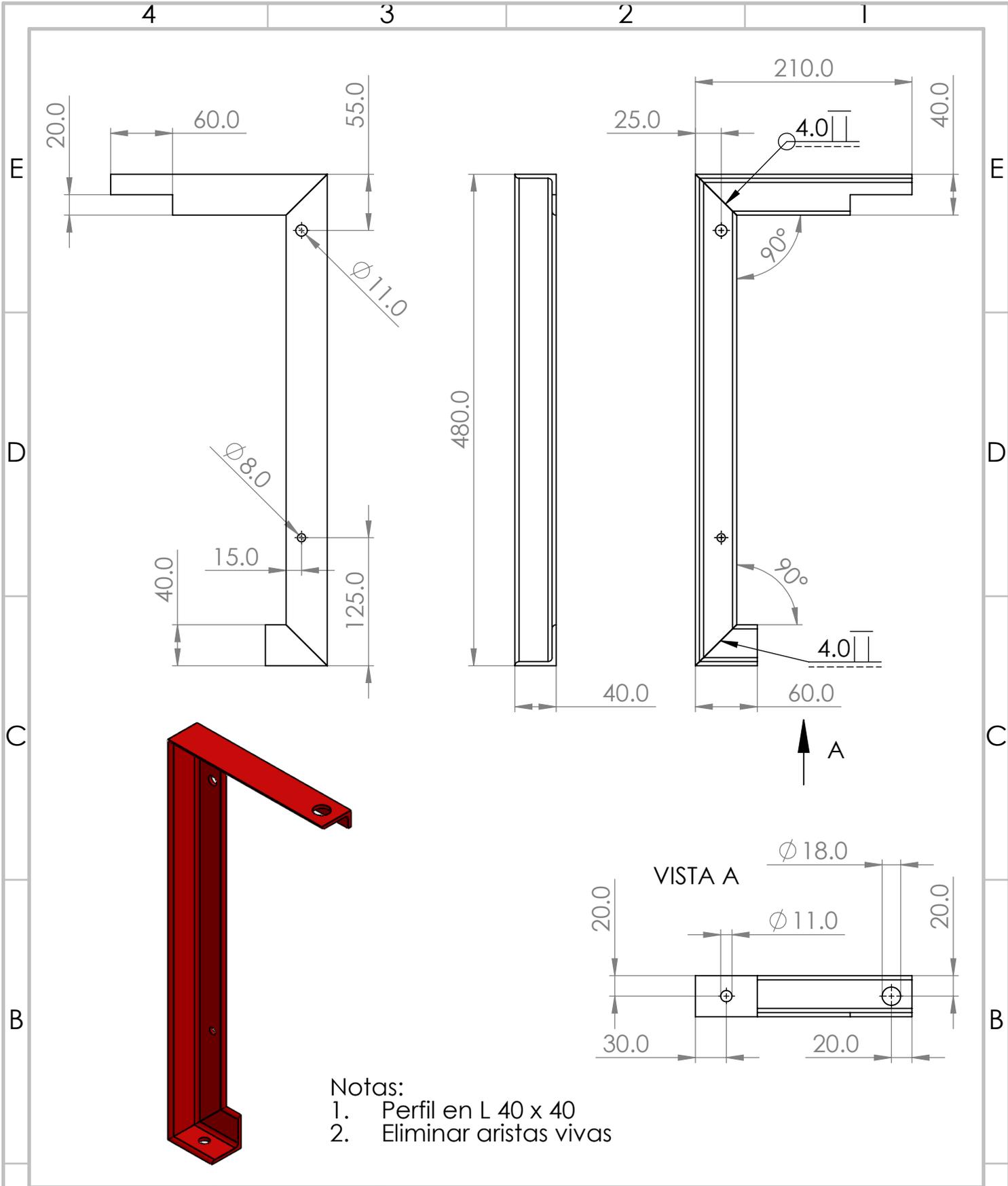
USFQ

BP 005 - 2018

No.  
1

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Soporte Derecho



- Notas:
1. Perfil en L 40 x 40
  2. Eliminar aristas vivas

				Tolerancias			Materiales		
				+ 1.0			Acero ASTM A36		
					Fecha	Nombre	Soportes Radiador		
				Dib.	26/12/18	F. Bastidas			
				Rev.	27/12/18	D. Escudero			
				Apro.	27/12/18	D. Escudero			
				USFQ			BP 005 - 2018		
							Soporte Superior		Escala 1:5
							No. 3		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre						