

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO – CHILE



**Puesta en marcha y determinación de línea base de
operación de motor mono cilíndrico diésel marca HATZ
1D81S**

GONZALO ESTEBAN VIDAL MORALES

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

PROFESOR GUÍA: DR. ING. GERMAN AMADOR DIAZ
PROFESOR CORREFERENTE: DR. ING. ROBERTO LEIVA-ILLANES

JULIO-2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: "Puesta en marcha y determinación de línea base de operación de motor monocilíndrico diésel marca HATZ 1D81S".

Nombre del candidato(a): Gonzalo Vidal Morales.

Carrera / Grado: Ingeniero Mecánico Industrial.

Campus: Casa Central.

Departamento: Ingeniería Mecánica.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, German Amador Díaz, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente

DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: _____ **Firma:** _____

Powered by
 ecert
Firma electrónica avanzada
GERMAN JAVIER AMADOR
DIAZ
2026.08.18 11:39:53 -0400

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 17 de agosto del 2026 **Firma:** _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría comenzar agradeciendo profundamente a Dr. Germán Amador Diaz por la oportunidad de participar en un proyecto como el presente, entregarme la confianza para llevar a cabo tal responsabilidad y ser mi profesor guía durante este camino. A Dr. Roberto Leiva Illanes por su respaldo en este trabajo como profesor correferente y su ayuda para ir logrando lo requerido. También me gustaría agradecer a don Daniel Galleguillos, apoyo académico del departamento de Ingeniería Mecánica, por la ayuda entregada y los conocimientos enseñados. En general al Grupo de Investigación de Movilidad y Combustibles Alternativos (GIMCA) por toda la ayuda que me entregaron para lograr los objetivos propuestos, la experiencia de ser parte de un grupo investigador y el grato ambiente en el que nos desenvolvemos. Quiero agradecer profundamente a mi madre Miryam y mi padre Juan Carlos, por su apoyo incondicional, por siempre intentar darme la mejor educación, el entregarme la motivación para seguir el camino de la Ingeniería y darme el soporte para lograrlo, sin ustedes no habría podido llegar a esta universidad. Igualmente, agradecer a mis seres queridos quienes fueron soporte emocional durante todos estos años lejos de casa y fueron parte de la mayoría de este gran proceso académico. Por último, a todos los apoyos académicos, compañeros de carrera y amigos que me aconsejaron y dieron de su ayuda para poder hacer esto posible, tanto de la sede Viña del Mar como de la Casa Central de la Universidad Técnica Federico Santa María. Finalmente, me gustaría agradecer a Dios por darme voluntad para seguir a pesar de las dificultades durante el camino académico y entregarme luz cuando más lo necesitaba.

RESUMEN EJECUTIVO

En el marco del proyecto Fondecyt Regular N°1241883 sobre el uso del modo de Ignición por compresión de carga homogénea (HCCI) en motores a combustión interna (MCI) y el uso de combustibles alternativos, se estableció como objetivo general para el presente trabajo la puesta en marcha y obtención de línea base de operación de motor mono cilíndrico marca HATZ modelo 1D81S, el cual será utilizado a lo largo de las siguientes etapas del proyecto. Para lograr los objetivos propuestos se requirió realizar mantenimientos adecuados al motor para asegurar su funcionamiento, instalación en conjunto de un banco de pruebas de motores en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María. Con la instalación y adecuación de la cabina ya concluida, se realizaron ensayos Punto a Punto en base a la norma ISO 3046-1 para lograr establecer la línea base de operación del motor y su condición operacional posterior al mantenimiento. Estos resultados se contrastaron con los otorgados por el fabricante, obteniendo satisfactoriamente una línea base de operación mediante la medición experimental manual, donde se identificaron diferencias importantes asociadas al sistema de adquisición de datos del freno dinamómetro. Además se logró establecer parámetros de funcionamiento como emisión de gases de escape, distribución de temperaturas del motor y de la central barométrica del banco de ensayos durante la realización de estos.

ABSTRACT

Within the framework of the Fondecyt Regular Project N°1241883 on the use of Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) mode in internal combustion engines (ICE) and the use of alternative fuels, the general objective established for this work was the commissioning and baseline operation acquisition of a HATZ model 1D81S single-cylinder engine, which will be used throughout the subsequent stages of the project. To achieve the proposed objectives, proper engine maintenance was required to ensure its operation, along with its installation on an engine test bench in booth N°2 of the Thermofluids Laboratory of the Mechanical Engineering Department at the Universidad Técnica Federico Santa María. With the installation and adaptation of the booth completed, Point-to-Point tests were conducted based on the ISO 3046-1 standard to establish the engine's baseline operation and its operational condition post-maintenance. These results were compared against those provided by the manufacturer, successfully obtaining an operational baseline through manual experimental measurement, which identified significant differences associated with the dynamometer brake data acquisition system. Furthermore, operating parameters such as exhaust gas emissions, engine temperature distribution, and the test bench barometric station data were successfully established during these tests.

INDICE

AGRADECIMIENTOS 3

RESUMEN EJECUTIVO 4

ABSTRACT..... 5

INDICE 6

1. Marco Introductorio 7

 1.1 Introducción..... 7

 1.2 Objetivo General 8

 1.3 Objetivos específicos..... 8

 1.4 Organización del documento..... 8

2. Marco Teórico..... 9

 2.1 Modo de encendido por compresión de carga homogénea (HCCI) 9

 2.2 Combustibles alternativos 11

 2.3 Ciclo termodinámico diésel..... 12

 2.4 Norma ISO 3046-1 14

3. Metodología 16

 3.1 Mantenimiento de afinamiento y correctivo a motor HATZ 1D81S 16

 3.1.1 Inspección y diagnóstico 16

 3.1.2 Cotización y búsqueda de repuestos 20

 3.1.3 Mantenimientos realizados..... 21

 3.2 Freno dinamómetro SAENZ CP100..... 22

 3.3 Instalación de freno dinamómetro SAENZ CP100 y acople a motor HATZ 1D81S..... 24

 3.3.1 Instalación de equipos e instrumentación para monitoreo de ensayos.. 26

 3.3.2 Protocolo de ensayos..... 30

4. Resultados y Análisis..... 32

CONCLUSIONES 48

RECOMENDACIONES..... 50

BIBLIOGRAFÍA 51

ANEXOS 53

1. Marco Introductorio

1.1 Introducción

El presente trabajo se enmarca bajo el proyecto Fondecyt Regular N°1241883 sobre la aplicación en motores a combustión interna (MCI) del modo de Encendido por compresión de carga homogénea (HCCI) y el uso de combustibles alternativos. Para este trabajo, en conjunto con el grupo de investigación en movilidad y combustibles alternativos (GIMCA), de la Universidad Técnica Federico Santa María, se contribuirá con la puesta en marcha y determinación de línea base de un motor mono cilíndrico de la marca HATZ, modelo 1D81S, el cual se encuentra sin registro de operación desde el año 2015.

El principal uso que ha tenido este motor es de investigación, donde en su anterior uso fue manipulado en el interior de la cámara de combustión para alojar una tecnología llamada medio poroso interno (MPI). Después de su participación en la investigación anterior se desconocen las horas de funcionamiento, mantenimientos realizados y si se utilizó el motor para alguna otra aplicación. Es por lo que se realizará el mantenimiento y los procedimientos necesarios para que el activo vuelva a operar sin problemas, asegurando la integridad operacional del equipo y pueda ser utilizado en el correspondiente trabajo, donde se buscará acercar al motor a un estado lo más cercano al original desde la fábrica.

Una vez recuperado el funcionamiento normal del motor, se instalará en el laboratorio de Termofluidos de la UTFSM en una cabina dispuesta como banco de ensayo, donde será acoplado a un freno dinámometro SAENZ CP100. Para esto se deberá acondicionar la cabina y se instalarán los equipos, además de instrumentación y equipos de soporte para asegurar el funcionamiento seguro del banco de ensayos. Aquí se realizarán ensayos en base a la norma ISO 3046-1, donde se buscará obtener la línea base de operación del motor y sus principales parámetros de funcionamiento. Además, en base al análisis de los resultados, se comprobará la condición operacional del motor posterior al mantenimiento realizado y se contrastarán estos resultados en base a los datos proporcionados por el fabricante HATZ.

Gracias a este trabajo se podrá recuperar el equipo, extendiendo su vida útil y obtener un punto de partida con el itinerario del mantenimiento del equipo, el cual se desconocía el estado y mantenimientos realizados. Además, se aumenta la disponibilidad y darle el uso para el cual fue adquirido, donde a futuro participará en investigación y será sometido a modificaciones para poder funcionar con el modo HCCI y utilizando combustibles alternativos como el hidrógeno (H_2), amoníaco (NH_3), gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural comprimido (GNC).

1.2 Objetivo General

Poner en marcha y determinar la línea base de operación de motor mono cilíndrico diésel marca HATZ 1D81S.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar el mantenimiento mecánico del motor HATZ modelo 1D81S.
- Instalar y acoplar freno dinamómetro modelo SAENZ CP100 a motor HATZ modelo 1D81S.
- Determinar la línea base de operación del motor HATZ modelo 1D81S, funcionando con diésel como combustible, conforme a la norma ISO3046-1.

1.4 Organización del documento

En el Capítulo 2 se abordará el marco teórico en el que se basa este trabajo. Aquí se introducirá al estado del arte asociado al Proyecto Fondecyt en el que se enmarca este trabajo. Luego se describirá el motor a utilizar en el presente trabajo, presentando sus características técnicas y el ciclo termodinámico que rige su funcionamiento. Se continuará describiendo el freno dinamómetro a utilizar en el banco de pruebas a motores, además de cómo debe ir instalado correctamente según el fabricante. Finalmente se menciona la norma ISO 3046-1 en la cual se basará este trabajo para la realización de ensayos en el banco de prueba al motor HATZ 1D81S.

En el Capítulo 3 se describe la metodología del trabajo, la cual se separará en los mantenimientos realizados al motor y, la instalación del freno dinamómetro y el motor en la cabina para adecuar el banco de ensayos, en conjunto con un protocolo de operación para asegurar la integridad de los equipos instalados y de la seguridad de los operadores.

En el Capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados. Aquí estos serán analizados y contrastados con los datos originales proporcionados por el fabricante HATZ.

Finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo, donde se verificará el cumplimiento de los objetivos propuestos, los principales resultados y comentarios sobre lo realizado. Además, se agrega un apartado de recomendaciones para la continuidad del proyecto, la transformación al modo HCCI y el uso de combustibles alternativos.

2. Marco Teórico

El siguiente trabajo de título se enmarca en el proyecto Fondecyt Regular N°1241883 se conforma de tres etapas principales, siendo esta la primera etapa donde se realizará la puesta en marcha y determinación de línea base del motor mono cilíndrico HATZ 1D81S. Luego la segunda etapa corresponde al diseño y adaptación del sistema de alimentación para el uso de combustibles alternativos como hidrógeno (H_2), amoníaco (NH_3), gas natural (GNC) y gas licuado de petróleo (GLP). Finalmente se realizará la transformación del motor al modo de encendido por compresión de carga homogénea (HCCI) para posteriormente obtener la línea base del motor utilizando diferentes combinaciones de combustibles alternativos al petróleo y así poder contrastar futuros resultados con los obtenidos en este trabajo de título.

2.1 Modo de encendido por compresión de carga homogénea (HCCI)

El modo de encendido por compresión de carga homogénea (HCCI) es una tecnología de motores de combustión interna (MCI) la cual combina la premezcla, utilizada en motores de ciclo Otto o encendidos por chispa (SI), y el encendido por compresión, utilizado en motores de ciclo Diésel. La combinación de estas características permite la autoignición por compresión sin el uso de bujías, lo que resulta en un aumento en la eficiencia térmica, disminución de las emisiones de gases de escape y flexibilidad de combustibles, esto en comparación con el estado original del motor HATZ 1D81S entregaría una ventaja, ya que al ser este un motor ciclo Diésel de encendido por compresión (CI) y utilizar petróleo como combustible, las emisiones que genera este motor son cada vez más afectadas por actualización de normas de gases de escape, donde se ha evidenciado en investigaciones que se logra la disminución de la producción de hollín, material particulado (PM) que son resultado de la combustión, y la disminución de óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales son los parámetros principales a controlar respecto a la emisión de gases de escape y donde las normas hacen énfasis en la disminución de estos cada vez que existe una actualización al respecto. Esto por la influencia que tiene el material particulado (PM) sobre el medio ambiente y las personas, al igual que los óxidos de nitrógeno, considerados como gases de efecto invernadero de acción indirecta ya que contribuyen a la formación de metano y partículas que contribuyen con el aumento de temperatura del planeta.

A continuación se presenta la Figura 1, según [1], donde se realiza una comparación de la eficiencia térmica, emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) y emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxidos de carbono (CO), donde se evidencia un aumento de la eficiencia térmica, disminución de óxidos de nitrógeno

(NOx) y material particulado (PM), lo cual corrobora la ventaja de esta tecnología en motores a combustión interna (MCI).

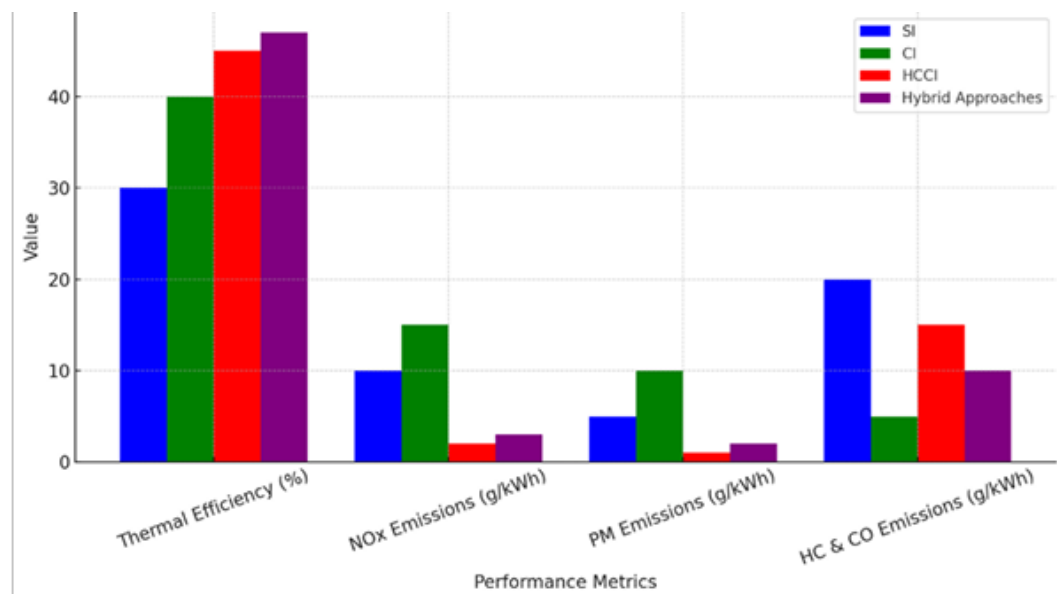


Figura 1: Comparativa SI, CI, HCCI y Aplicaciones Híbridas. Tomado de [1].

Si bien esta tecnología está comprobada, enfrenta desafíos tecnológicos para lograr la estabilidad, como lo es el control al momento de la ignición, donde al no existir bujía ni inyector, esta depende completamente de las variables de entrada a la admisión, como temperatura de entrada, presión y composición de la mezcla. Además, se enfrenta otro desafío que es el uso a baja carga, baja velocidad de giro, donde los motores HCCI tienden a apagarse al enfrentar la baja temperatura en la cámara de combustión. También, otro desafío es a altas cargas donde se ha demostrado que la mezcla se combustiona demasiado rápido, lo que provoca “knock” o “cascabeleo” de la cabeza del pistón, esto puede generar desgaste conocido como ovalamiento del cilindro.

Para solucionar estos desafíos tecnológicos, se tiene como referencia la marca Mazda con su modelo SPCCI (Encendido por compresión controlado por chispa), según [2], donde se utilizaron motores con una alta relación de compresión (sobre 16:1) y el uso de mezcla pobre, además de agregar una microinyección directamente hacia la cámara de combustión que genera una zona de mezcla rica, que facilita el encendido. Además se incorporó al sistema un compresor volumétrico de manera que se fuerza la entrada de aire, aumentando las cantidades de oxígeno, facilitando la mezcla pobre.

Si bien estas soluciones entregan mejoras en la disminución de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), debido a las bajas temperaturas de combustión a las que opera, esto genera un aumento en la emisión de hidrocarburos no quemados (HC) y monóxidos de carbono (CO), esto ya que las reacciones químicas se vuelven incompletas, impidiendo que el monóxido de carbono (CO) se oxide por completo en dióxido de carbono (CO₂). El aumento de los hidrocarburos no quemados (HC), también se debe a las temperaturas bajas de la combustión, ya que al entrar mezclado el combustible con el aire, esta mezcla se aloja en toda la cámara de combustión y no logra alcanzar la temperatura de autoignición, por lo que se expulsa como hidrocarburo no quemado (HC).

2.2 Combustibles alternativos

En la actualidad la industria relacionada a la movilidad en general e industria de motores a combustión interna (MCI) busca alinearse con los niveles impuestos por normas de emisiones actualizadas, donde cada vez se exigen límites más bajos para la emisión de gases de escape como óxidos de nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), monóxidos de carbono (CO), dióxidos de carbonos (CO₂) y material particulado (PM), presentes en motores diésel como el a utilizar en este trabajo.

Aquí se presenta una ventaja significativa al utilizar combustibles alternativos como Hidrógeno (H₂), Amoniaco (NH₃), Gas Natural Comprimido (GNC) o Gas Licuado de Petróleo (GLP). Principalmente en la reducción de emisiones contaminantes de gases de escape y el potencial hacia la descarbonización total.

Al combinar estos combustibles alternativos en conjunto con el modo HCCI en el motor HATZ, se podría obtener una ventaja operativa y una mejora en emisiones contaminantes en comparación al petróleo como combustible.

A continuación en la Tabla 1 se presenta una comparativa técnica, según [3], entre los diferentes combustibles alternativos a utilizar posterior a este trabajo en el proyecto.

Tabla 1: Comparativa técnica Combustibles Alternativos [3].

Propiedad/ Combustible	Hidrógeno (H ₂)	Amoniaco (NH ₃)	GNC (CH ₄)	GLP (C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀)
Densidad Energética Gravimétrica	Alta (~120 [MJ/kg])	Baja (~18,6 [MJ/kg])	Media-Alta (~50 [MJ/kg])	Media-Alta (~46 [MJ/kg])
Densidad Energética Volumétrica	Muy Baja (~5,6 [MJ/L] a 700 [bar])	Media (~11,5 [MJ/L] líquido)	Baja-Media (~9 [MJ/L] a 200 [bar])	Alta (~25 [MJ/L] líquido)
Velocidad de Flama Laminar	Extremadamente rápida (~250 [cm/s])	Extremadamente lenta (~7 [cm/s])	Moderada (~38 [cm/s])	Moderada (~40 [cm/s])
Energía de Ignición Requerida	Casi nula (~0,02 [MJ])	Muy alta (8 [MJ])	Media (0,28 [MJ])	Media (0,25 MJ)
Límites de Inflamabilidad (en aire)	Muy amplios (4% - 75%)	Muy estrechos (15% - 28%)	Moderados (5% - 15%)	Estrechos (2% - 10%)
Estado de Almacenamiento Típico	Gas a 350-700 [bar] / Líquido criogénico	Líquido (~8,5 bar o -33 [°C])	Gas comprimido a 200-250 [bar]	Líquido a baja presión (2-10 [bar])

2.3 Ciclo termodinámico diésel y características HATZ 1D81S

El motor HATZ 1D81S será utilizado a lo largo de todo el proyecto. Este motor se rige por el ciclo termodinámico diésel, donde la combustión se logra gracias a la inyección de combustible, en este caso petróleo, en aire altamente comprimido en la cámara de combustión. Este ciclo ideal se compone por cuatro etapas principales las cuales corresponden a la compresión isoentrópica, luego la absorción de calor isobárica que resulta en la expansión isoentrópica y finalmente termina en la cesión de calor isócora, donde se liberan gases de escape del motor, formando cuatro tiempos principales de combustión. En la Fig. 2. se muestra una representación gráfica de cómo funciona idealmente un motor de ciclo diésel.

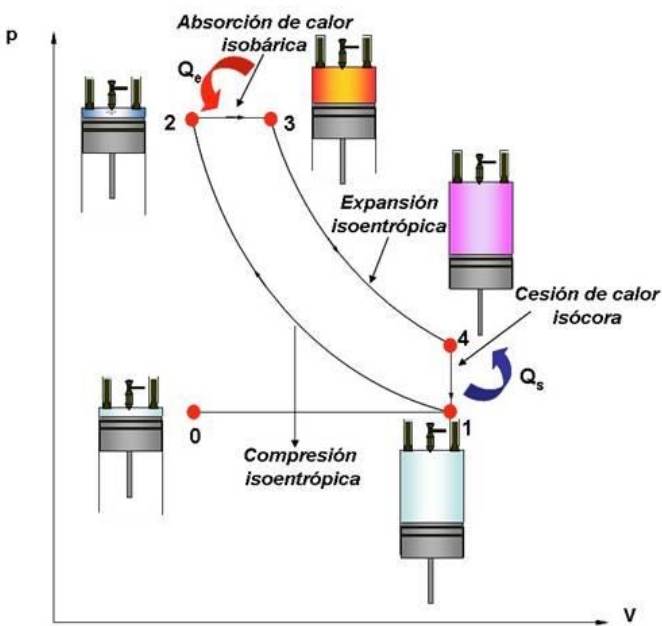


Figura 2: Diagrama P-V de un ciclo diésel ideal [4].

El HATZ 1D81S corresponde a un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos, con inyección directa mecánica, refrigeración por aire y, según el fabricante, uno de los motores de su segmento con mayor potencia y simplicidad de mantenimiento. A continuación, se presenta la Tabla 2 con los datos técnicos de este motor, proporcionados por el manual del fabricante HATZ [5] :

Tabla 2: Datos técnicos, manual motor HATZ 1D81S [5].

Cilindrada	0.667 [L]
Diámetro x Carrera	100 x 85 [mm]
Rango de Potencia	Desde 5.5 [kW] hasta 10.1 [kW]
Velocidad máxima	3000 [RPM]
Par de giro máximo	36.3 [Nm]
Relación de compresión	21.5:1

Anteriormente su uso principal fue de investigación, en donde se utilizó para la “investigación sobre la aplicación de un medio poroso a un motor de combustión interna” [6]. Tomando este antecedente, se evidencia que el motor se encuentra sin registro de su operación desde hace más de 10 años, por lo que es de vital importancia realizar mantenimiento para no poner en riesgo la integridad del motor en caso de dar arranque.

Para este modelo en particular el fabricante describe la línea base de operación, esto según lo indicado por la norma ISO 3046-1. Se presentan las curvas características del modelo 1D81S, según [7]. Cabe destacar que este modelo en particular posee como velocidad máxima las 3000 [rpm], ya que existe un modelo también 1D81S el cual logra llegar hasta las 3600 [rpm].

1D81

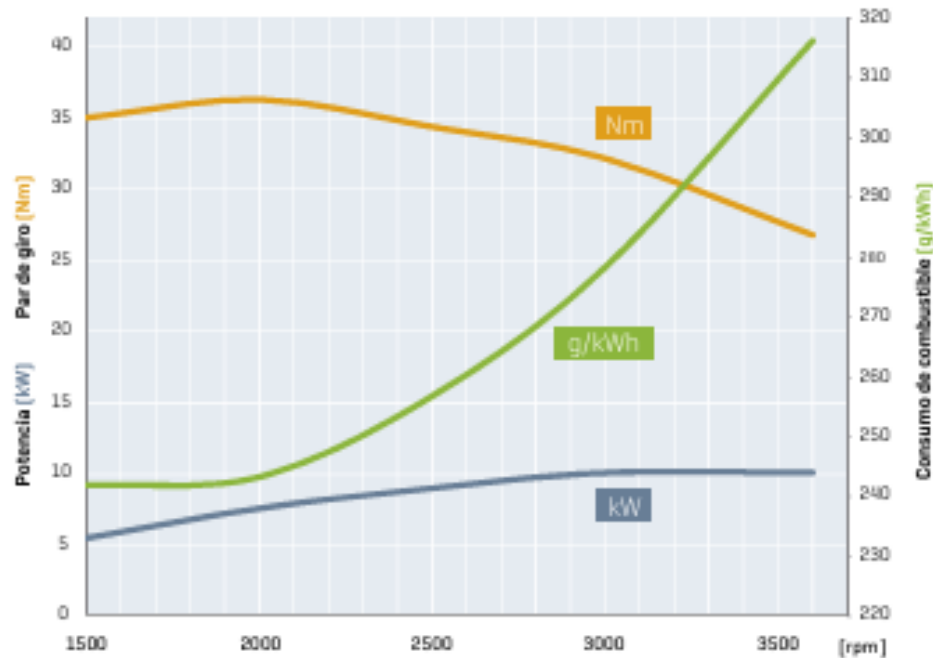


Figura 3: Curvas características HATZ 1D81S [7].

Estas curvas características se buscan replicar mediante la realización de ensayos en el laboratorio de termofluidos de la Universidad Técnica Federico Santa María, utilizando un freno dinamómetro SAENZ CP100 y utilizando como referencia los parámetros descritos por la norma ISO 3046-1, para ensayos en motores de combustión interna (MCI).

2.4 Norma ISO 3046-1

En la actualidad el estado del arte de la norma ISO 3046-1 se encuentra en fase de transición hacia su sexta edición. Esto para adaptar las metodologías de prueba en motores de combustión interna (MCI) a las recientes demandas por la descarbonización y el uso de combustibles alternativos.

Esta norma internacional, según [8], actualmente la quinta edición establece los requisitos para declarar la potencia, el consumo de combustible y el consumo de aceite lubricante en motores de combustión interna (MCI). Actúa en complemento a la normativa ISO 15550, definiendo los métodos de prueba y factores de corrección por condiciones ambientales para evaluar el desempeño real en motores.

En esta norma se especifican los códigos de potencia para declarar y facilitar la comunicación técnica, en esta se establecen tres principales potencias, la potencia continua (COP), potencia principal (PRP) y potencia de emergencia (ESP), en este trabajo se utilizará la potencia principal (PRP), la cual se presentará en promedio de los ensayos Punto a Punto (PaP) a realizar, expresada en Kilowatts. El par de giro o

Torque debe ser expresado en [Nm], donde igualmente se expresará el Torque Principal.

También se establecen las condiciones ambientales de referencia, donde se especifica una temperatura del aire de 25 [°C], Presión atmosférica total de 100 [kPa] y una humedad relativa del 30%. Para ensayos en donde estas variables difieran, se establecen métodos de cálculo para determinar el factor de corrección el cual corrige la declaración de potencia. En este trabajo al ser automática la corrección vía software SMAC del freno dinamómetro SAENZ CP 100, no se requiere recalculer el factor de corrección, ya que el software asocia el factor de corrección indicado por la norma ISO 1585, el cual referencia la norma ISO 15550, complemento de la norma ISO 3046-1.

Finalmente se establece que el consumo de combustible, en este caso combustible líquido, debe ser expresado en unidades de masa [kg] o de energía [J], en este trabajo se trabajará en unidades de masa [kg]. También, se debe declarar el consumo de aceite lubricante en masa por unidad de tiempo [g/h] o en un porcentaje del consumo de combustible. En este trabajo se utilizará como un porcentaje del consumo de combustible (%), ya que el fabricante del motor HATZ lo especifica en el manual de uso.

3. Metodología

En este capítulo se especificará la metodología utilizada para la realización del mantenimiento acorde al manual de procedimientos del fabricante HATZ, como también de los repuestos a utilizar y el procedimiento de instalación de los equipos e instrumentación en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos de la UTFSM. Esto con la finalidad de realizar procedimientos que aseguren la integridad de los equipos e instrumentos dispuestos. Además, se presentará un protocolo de operación creado para la realización de ensayos, donde se utilizará una metodología experimental, en motores de combustión interna (MCI) de manera segura, acorde a los procedimientos establecidos en el laboratorio de termofluidos, al manual de operación del motor HATZ 1D81S [5] y el manual de uso del freno dinamómetro SAENZ CP100 [9].

3.1 Mantenimiento de afinamiento y correctivo a motor HATZ 1D81S

Para asegurar la integridad operacional del motor HATZ 1D81S durante los ensayos en el freno dinamómetro es necesario establecer los mantenimientos necesarios a realizar. Esto tomando como antecedentes la investigación anterior en la que participó el equipo, se requiere realizar como primer paso un mantenimiento de afinamiento y luego determinar los siguientes pasos a seguir, obteniendo primeros diagnósticos sobre el estado real del motor.

3.1.1 Inspección y diagnóstico

Se realizó una inspección visual externa al motor HATZ 1D81S, encontrada en la Fig.4, el cual se encuentra en la Sede Viña del Mar de la UTFSM. Tomando en cuenta los antecedentes recopilados del uso anterior del motor se estima que lleva aproximadamente 10 años parado. Inicialmente, se aprecia desgaste natural en las mangueras de combustible, debido a la exposición al sol y a polvo, ocasionando grietas en las mangueras. Existe combustible en la línea y en el filtro, por lo que se deben vaciar y limpiar, ya que el combustible se degrada. Se revisó el nivel y estado del aceite interno del motor, evidenciando un aceite sucio; dentro de los niveles óptimos; y un filtro de aceite sucio. Se realizó el giro del motor de manera manual con la finalidad de verificar si gira sin problemas el pistón por dentro del cilindro, para esto se agregó aceite por la admisión con la finalidad de prevenir que se raspe el interior del cilindro y que gire sin aceite, logrando dar giro normal al motor y evidenciando que este pierde compresión a través del punto de inyección y por la junta entre la culata y la camisa del pistón, lo cual significa que puede haber problemas mayores.



Figura 4: Inspección visual externa.

Se realizó una inspección visual interna, se presenta en la Fig.5, con una cámara tipo endoscopio insertándolo por la posición del inyector de petróleo, logrando visualizar la cabeza del pistón y el cilindro, preliminarmente se realizó esta acción para descartar que haya quedado algún residuo en el interior del motor, por su uso anterior en investigación, donde agregaron a la cabeza del pistón un medio poroso interno (MPI) y utilizaron pegamento para adherirlo.



Figura 5: Inspección visual interna.

Para verificar realmente el buen estado interno del motor, debido a que académicos de la universidad comentaron que la última vez que vieron funcionar el motor evidenciaron que estaba perdiendo aceite y petróleo, además de evidenciar que pierde compresión por la culata y puerto del inyector, se decide abrir el motor y verificar más a detalle el estado interno del motor. Una vez abierto el motor, en la Fig.6, siguiendo el orden y la organización, se procedió a limpiar y guardar cada una de las piezas, Fig.7.

Tanto la culata como la camisa y cabeza del pistón fueron lubricadas para evitar oxidación.

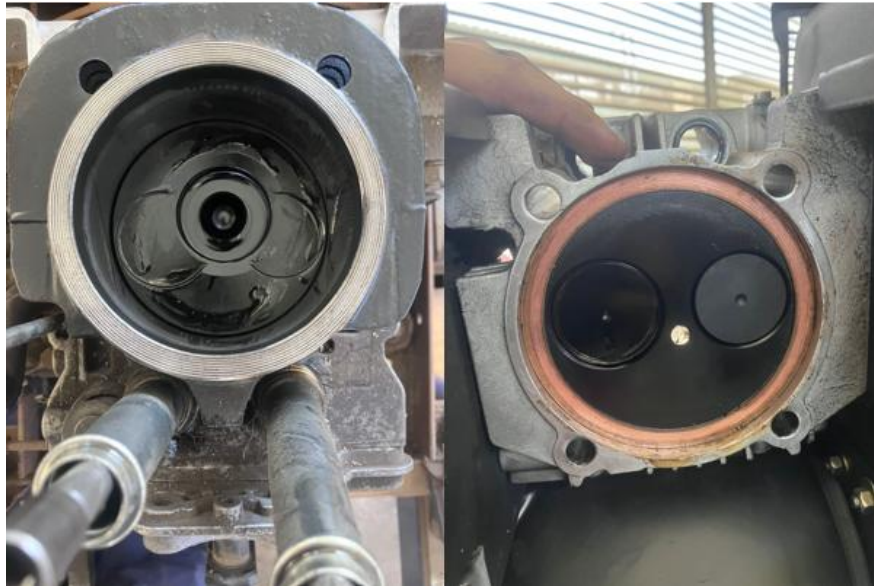


Figura 6: Estado culata, camisa, empaque y cabeza del pistón.



Figura 7: Limpieza de culata, camisa y cabeza de pistón.

A primera vista no se aprecian deformaciones de las partes internas del motor, ni rayaduras en la camisa del cilindro, evidenciando el correcto estado del bruñido que posee para facilitar la lubricación interna de la camisa. Se aprecia un irregular estado en el empaque de la culata, por lo que se procedió a desmontar, presentado en la Fig. 8, dando cuenta de que se encontraba cortada por una parte y se encontraba deformada, lo que explica la pérdida de compresión por la zona de la culata. Además, se evidencia el deficiente estado de anillos tóricos que sellan el paso de aceite en la zona de pernos tipo “espárrago” de culata.



Figura 8: Estado empaque de culata, anillos tóricos y retenes.

Se realizó una medida, Fig. 9, preliminar para evaluar el estado del cilindro y si existe el fenómeno de ovalamiento del cilindro, donde la ovalización permitida se encuentra entre 0,05 [mm] y 0,10 [mm], según literatura de mantenimiento a motores diésel y en base al manual de taller, proporcionado por la marca HATZ, encontrado en [10]. Este fenómeno ocurre debido al movimiento repetitivo de la cabeza del pistón y en casos donde ocurre “*knock*” o “cascabeleo”, donde al combustionar de manera irregular por diferentes factores puede ocurrir que la fuerza aplicada sobre la cabeza del pistón no sea la de diseño, entregando excentricidades que afectan en una vibración anómala. Para esto se tomaron mediciones en el punto muerto superior (PMS), punto muerto inferior (PMI) y en la mitad de la carrera del pistón, tomando dos mediciones por punto de manera perpendicular (90°) una de la otra, tanto en punto muerto superior (PMS), mitad de la carrera del pistón y punto muerto inferior (PMI).

El cilindro del motor HATZ 1D81S posee una medida nominal de $100,00 \pm 0,01$ [mm] de diámetro, donde en un correcto estado, todos los puntos anteriormente descritos deberían mantener la medida nominal y no superar el valor de 100,15 [mm], según el manual de procedimientos del fabricante.

Se utilizó un reloj comparador marca Mitutoyo, con resolución de 0,01 [mm] y una incertidumbre de medición (U) de 0,0058 [mm]. Se verificó que en ninguno de los puntos exista una desviación mayor a lo establecido por la literatura, dando una desviación de solamente 0,01-0,02 [mm] en todos los puntos medidos, dando como valor máximo en el punto muerto superior una medida de 100,02 [mm], en el punto medio de la carrera del pistón 100,02 [mm] y en el punto muerto inferior 100,02 [mm], por lo que se concluye que todas las mediciones se encuentran dentro del rango aceptable.



Figura 9: Toma de mediciones del estado interno del cilindro.

Terminada las mediciones se diagnostica finalmente como en buen estado interno el motor, se aprecia la calidad de la manufactura y la robustez que declara el fabricante. También se aprecia sin rayaduras ni deformaciones la culata por lo que se descarta una rectificación. Se recomienda un mantenimiento de afinamiento para el cambio de filtro de aceite, filtro de combustible, filtro de aire, cambio de aceite lubricante y mangueras de retorno de combustible. También, para armar el motor, se recomienda mantenimiento correctivo donde corresponde el cambio de anillos tóricos, retenes de aceite y empaquetadura de culata. Finalmente, para lograr la compresión del motor, se recomienda el cambio del perno fijador del inyector, el cual se encontró rodado, lo que provocaba la pérdida de compresión por la zona de inyección.

3.1.2 Cotización y búsqueda de repuestos

Para lograr realizar el mantenimiento adecuado, tanto en afinamiento como en mantenimiento correctivo, se realizó una búsqueda presencial para los repuestos del área de mantenimiento de afinamiento. Para el mantenimiento correctivo se cotizó con un proveedor autorizado de la marca HATZ en Chile. En el *Anexo I* se presentan tablas con los repuestos comprados, los proveedores, la cantidad necesaria y el total destinado para el mantenimiento de afinamiento. Cabe destacar que para los filtros se utilizaron repuestos alternativos que cumplan con las dimensiones y especificaciones técnicas, debido a que obtener los originales de la marca HATZ elevaban los costos y requerían ser importados desde Austria. Para el aceite lubricante se determinó el tipo de aceite

según la norma API CH-4, siendo el aceite 15W45 Mobil Delvac el cual entregaba la mejor relación precio-calidad, y cumplía el requerimiento técnico de la norma.

Paralelamente, se cotizó con el proveedor BEKA CL, distribuidor autorizado por la marca HATZ, el juego de empaquetaduras y sellos específicos que utiliza el motor 1D81S. Este fue comprado vía orden de compra, siguiendo los protocolos adecuados. Igualmente se encuentra el detalle en el *Anexo 1*.

3.1.3 Mantenimientos realizados

Una vez obtenidos los repuestos para todo el mantenimiento y de acuerdo con el manual de taller del motor HATZ, encontrado en [10], se siguió el procedimiento para el reemplazo de la empaquetadura de culata, encontrado en el *Anexo 1*, armado de culata con el resto del motor, apriete necesario de pernos de culata y regulación de válvulas, Fig.10, procedimiento igualmente en el *Anexo 1*. Una vez terminado el armado, se realizó el mantenimiento de afinamiento descrito anteriormente, presentado en la Fig. 11, además de la purga del sistema de combustible el cual poseía aire en su interior y el cambio de tapones de cárter, los cuales debido al uso en la investigación anterior se encontraban deformados por mal uso de herramientas.

En el procedimiento de instalación de empaque de culata se especifica la distancia que debe existir entre el empaque nuevo y el punto muerto superior (PMS), donde para el motor 1D81S se especifica un valor entre 0,75-0,85 [mm]. Para esto se utilizó un pie de metro como indica el procedimiento, corroborando la distancia apropiada. Una vez montada la culata sobre la camisa, se procede a montar los pernos, a los cuales se les dio apriete progresivo hasta el valor que indica el fabricante, que especifica 80 [Nm] como máximo, de manera diagonal con respecto a los otros pernos de culata. Finalizado el apriete se realizó la regulación de válvulas según indica el fabricante, donde para el modelo 1D81S se establece para la válvula de admisión un juego de 0,1 [mm] y para la válvula de escape un juego de 0,2 [mm].

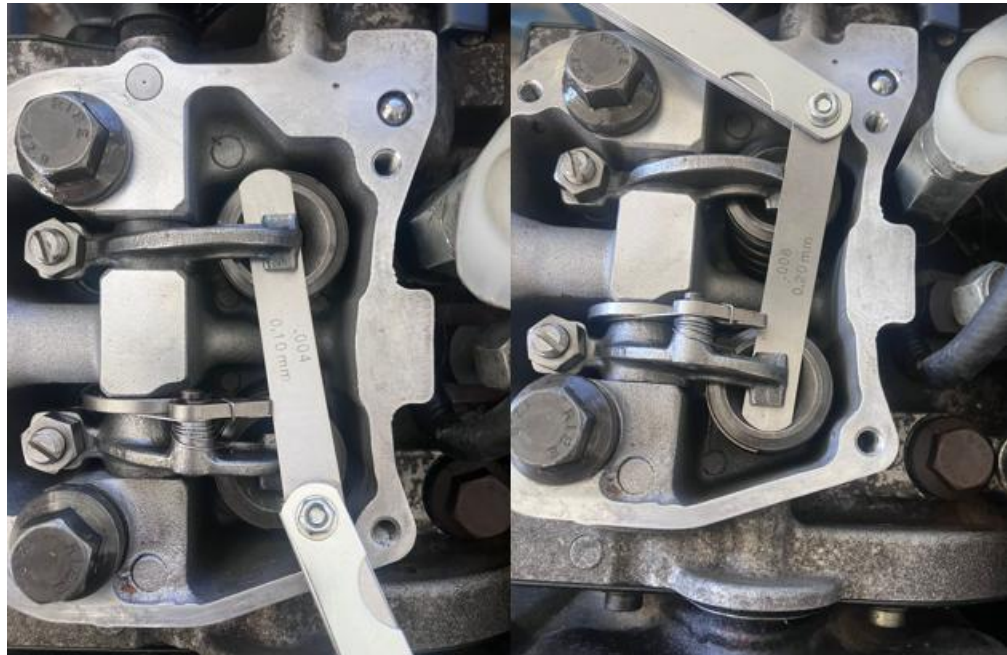


Figura 10: Regulación de válvulas admisión y escape.



Figura 11: Mantenimiento de afinamiento.

3.2 Freno dinamómetro SAENZ CP100

El freno dinamómetro dispuesto para realizar los ensayos de potencia (P) y torque (Ti) a motores de combustión interna. Este equipo es un freno dinamómetro de corrientes parásitas de la marca argentina SAENZ modelo CP100, donde al inducir corriente eléctrica se genera el frenado al motor que se encuentre acoplado. La información recopilada por los ensayos se almacena y se procesan gracias al software SMAC, donde en tiempo real se controlan parámetros como Potencia (P), Torque (Ti), Velocidad de

Giro (RPM), condiciones ambientales como Presión Ambiental, Temperatura ambiental y Humedad relativa.

En este equipo se pueden realizar ensayos del tipo barrido ascendente, barrido descendente, punto a punto, asentamiento e histograma. En este trabajo se trabajará principalmente con ensayos punto a punto, por las características mecánicas del motor HATZ 1D81S. Los ensayos realizados se corrigen automáticamente, ya que las condiciones ambientales podrían diferir los resultados obtenidos.

El software SMAC permite utilizar factores de corrección de diferentes normas, donde el que se utilizará será el de la norma ISO 1585, norma de uso internacional de la Organización Internacional de Normalización, la cual referencia la norma ISO 3046-1 y a su complemento la norma ISO 15550.

A continuación, en la Fig. 12 se presenta un esquema de las conexiones tanto de alimentación de corriente (23 A), acople cardánico, cables de señales, fibra óptica e interfaz, según [11]. También, en la Fig. 13 se presenta un plano de cómo debe quedar instalado en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos de la UTFSM, según [12].

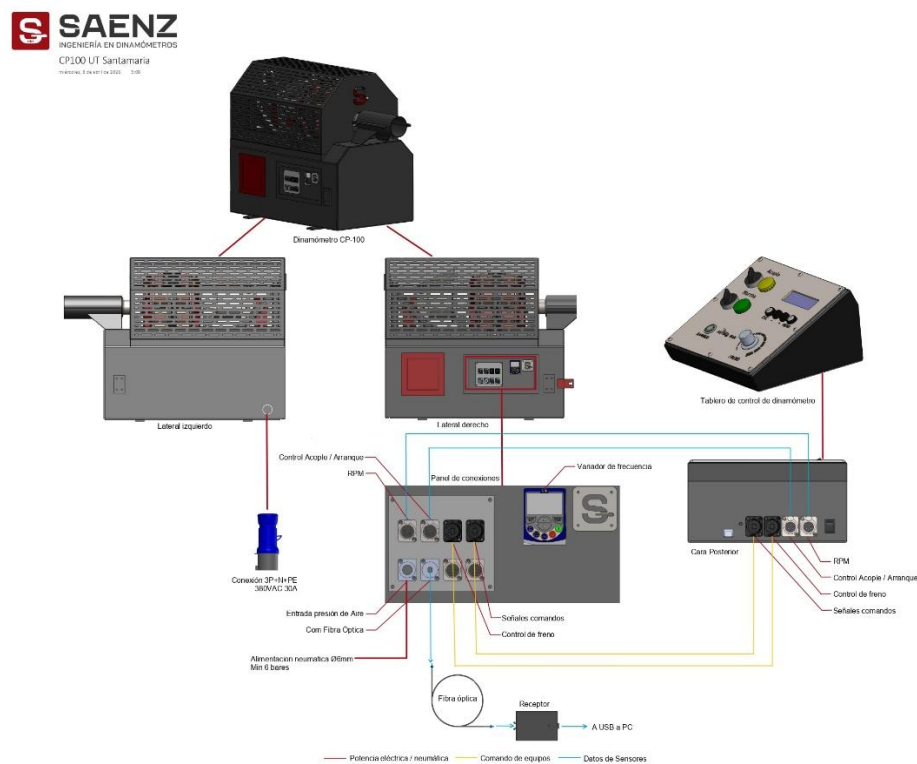


Figura 12: Diagrama de conexiones SAENZ CP100 [11].

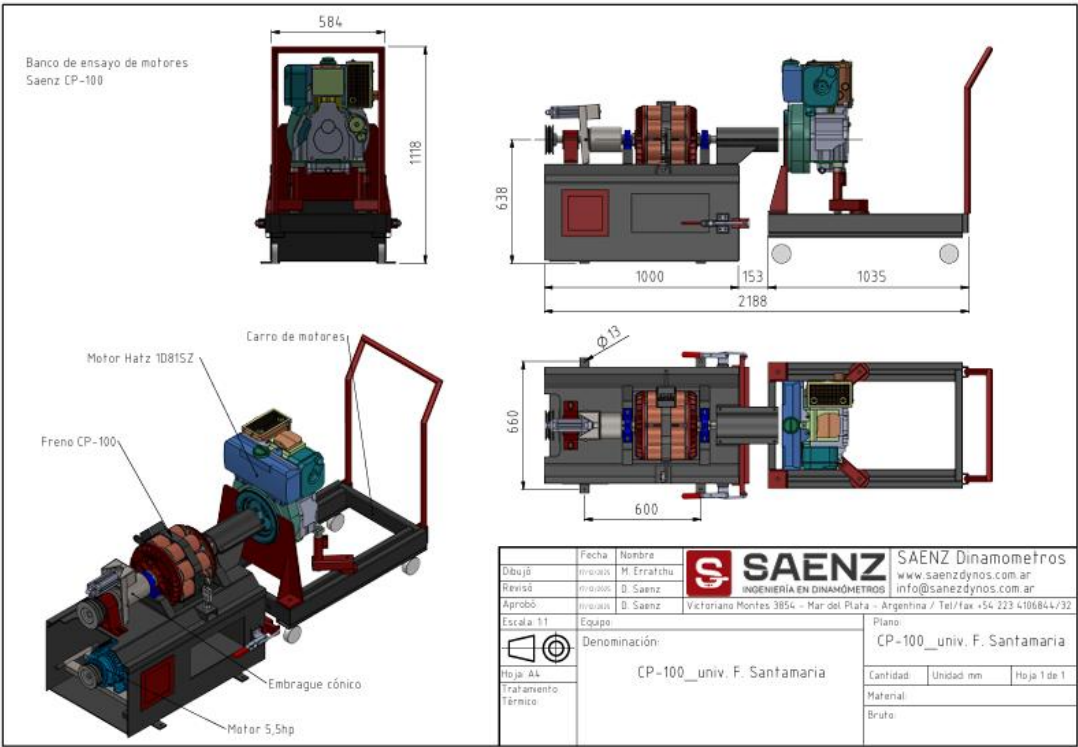


Figura 13: Plano de instalación motor-freno [12].

3.3 Instalación de freno dinamómetro SAENZ CP100 y acople a motor HATZ 1D81S

Una vez terminado el mantenimiento al motor HATZ se ordenó el despacho desde la sede Viña del Mar hasta la Casa Central de la UTFSM. Aquí se procuró el correcto izaje y fijado del motor para prevenir cualquier movimiento durante el trayecto. Llegado al laboratorio de termofluidos, se posicionó en un soporte hasta la espera de la llegada del freno dinamómetro SAENZ. Ya entregado el freno de igual forma se tuvieron que realizar labores de izaje para descargar el paquete de manera segura manteniendo la integridad del freno y de los operadores. Abierto el paquete se verificó que hayan llegado todas las partes pedidas como el freno dinamómetro, el carro soporte motor, cables de conexiones, interfaz operador-freno, pernería y soportes, presentado en la Fig. 14.



Figura 14: Recepción freno dinamómetro SAENZ CP100.

Se presenta en la Fig. 15 preliminarmente el arreglo motor-freno fuera de la cabina N°2, donde se realizaron mediciones para determinar cuál sería la posición adecuada a la hora de instalar todo el arreglo.



Figura 15: Presentación preliminar conjunto freno-motor.

Ya con las mediciones terminadas se procedió a acondicionar la cabina N°2 para continuar con la instalación. Aquí se retiraron equipos y estructuras que estaban en desuso, se aplicó pintura de alto tráfico al piso de la cabina.

Una vez seca la pintura de alto tráfico se realizaron las labores de izaje para descender de manera segura el freno dinamómetro y el motor con su carro de montaje, presentado en la Fig. 16.

Finalizado el izaje se procedió al montaje de los equipos, con la finalidad de mantener un tránsito seguro por la cabina, disponer de espacio para la instalación de cables, línea de combustible, línea neumática y línea de escape.

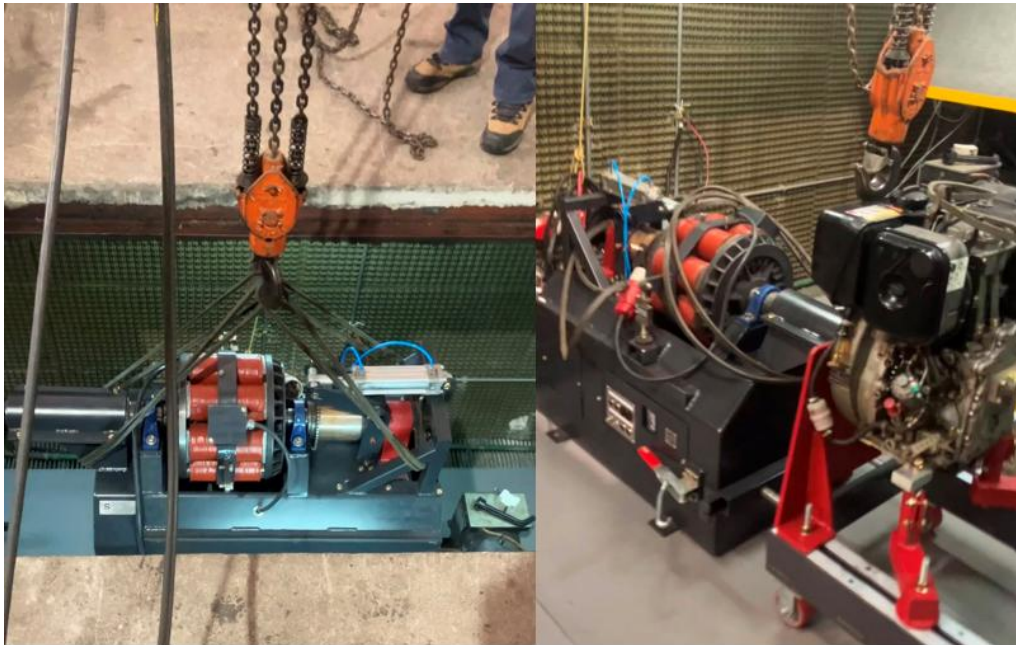


Figura 16: Izaje y montaje definido conjunto freno-motor.

3.3.1 Instalación de equipos e instrumentación para monitoreo de ensayos

Se adquirió un equipo compresor portátil, presentado en la Fig. 17, ya que el freno dispone de un actuador neumático, por lo que se eligió el equipo que satisfaga las necesidades técnicas (7 [bar] de trabajo, bajo consumo de aire). Además, se realizó la instalación de una válvula de corte para la línea de alimentación de aire comprimido. A continuación, se presenta la Tabla 3 con las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 3: Especificaciones técnicas compresor portátil.

Marca	UBERMANN
Modelo	O211153A
Potencia	0,4 [kW]
Capacidad	11 [L]
Caudal	14,2 [L/min]
Presión	8 [bar]



Figura 17: Compresor portátil instalado.

Luego se continuó con la instalación eléctrica de alimentación de 23 [A] para el freno dinamómetro, se realizaron las conexiones según el diagrama proporcionado por SAENZ, donde se creó un ducto eléctrico para protección del cableado eléctrico como fibra óptica, cable de control de arranque/acople, cable de control de rpm, cable de control de freno y cable de señal de comandos. Todo este cableado va conectado desde el freno hacia afuera de la cabina en donde se instaló la interfaz operador-freno, presentado en la Fig. 18.

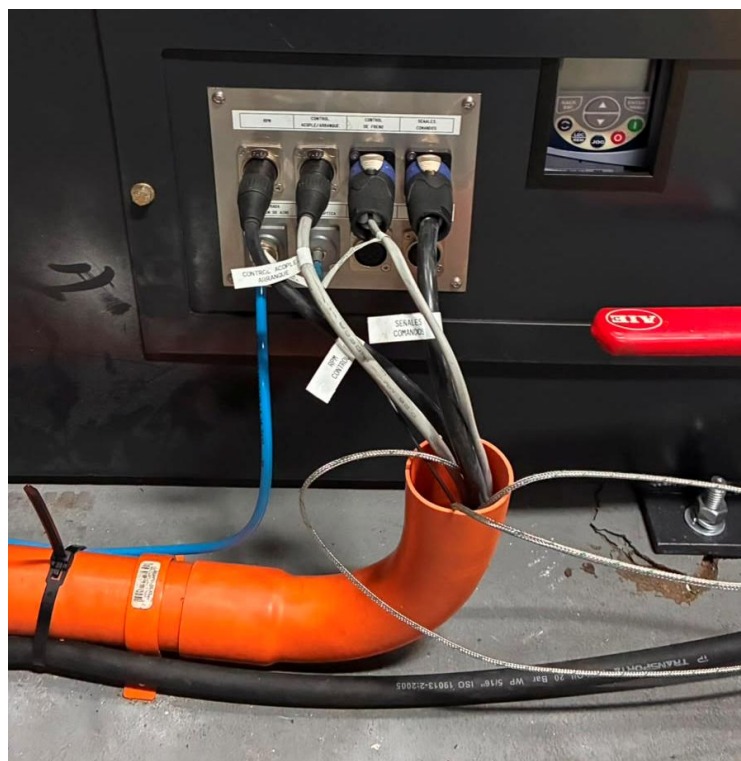


Figura 18: Ducto de protección eléctrica.

Se realizó la instalación de termocuplas para el monitoreo de la temperatura de admisión de aire al motor, temperatura ambiental, temperatura de gases de escape y temperatura de aceite lubricante. Estas termocuplas entregan una señal las cuales se

procesan por un adquisidor de datos y se reflejan en tiempo real al computador. Al igual que los cables que gobiernan los parámetros del freno dinámometro, el cableado de las termocuplas se añadieron en el ducto de protección eléctrica.

Se realizó un arreglo flexible, compuesto por la unión de dos flexibles de escape de 2”, provisorio para la línea de escape, ya que durante la investigación se mejorará el ducto de escape existente, por lo tanto, se buscó realizar un trabajo que nos mantenga de manera segura el tratamiento de gases de escape, manteniendo una condición flexible por las vibraciones que entrega el motor a diferentes velocidades y cargas del freno. Además, se realizó un punto de muestra en el ducto de escape, presentado en la Fig. 19, para la instalación del analizador de gases Bosch, en la Fig. 20, perteneciente al laboratorio de termofluidos.

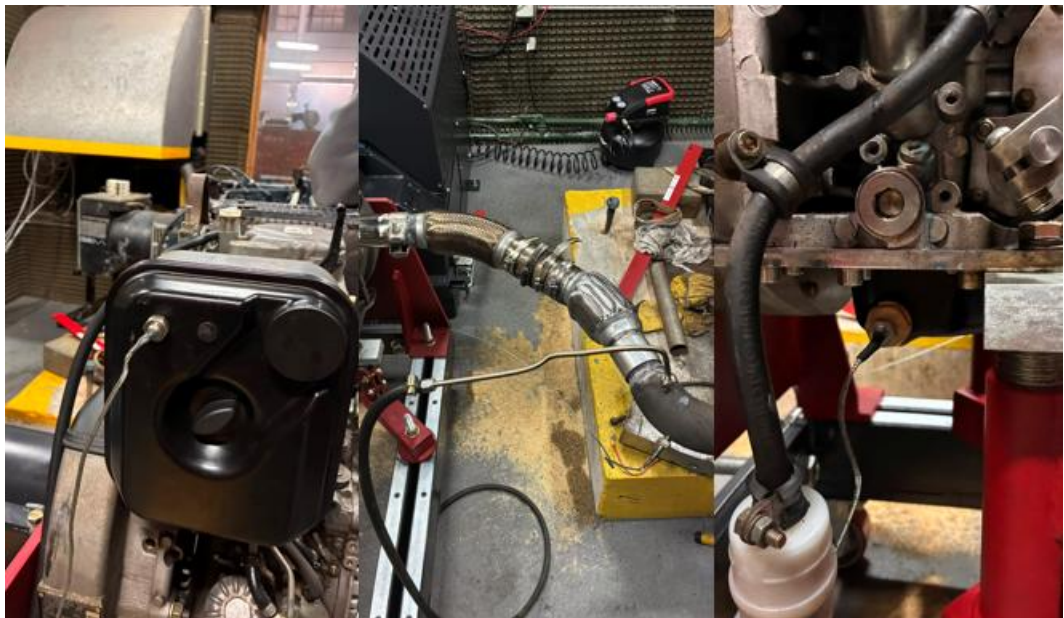


Figura 19: Instalación de termocuplas, flexible de escape y punto de muestreo de gases.



Figura 20: Analizador de gases Bosch.

Finalmente se retiró el estanque de combustible original del motor HATZ, esto porque para la medición del consumo específico de combustible se utilizará el método

gravimétrico, donde se utilizará un bidón de combustible alternativo, el cual se ubicará afuera de la cabina, sobre una balanza la cual mide en tiempo real la masa de combustible, presentado en la Fig. 21. Para esta instalación se tuvo que redirigir la línea de retorno de combustible y añadir una válvula de corte, que se ubicó afuera de la cabina para utilizar como corte de emergencia en caso de incendio o de requerir el apagado del motor.



Figura 21: Método gravimétrico para consumo específico de combustible.

A continuación, en la Fig. 22 se presenta la instalación finalizada en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos de la UTFSM, con todas las conexiones aseguradas, verificadas y probadas, listas para la realización de ensayos en base a la norma ISO3046-1.



Figura 22: Instalación cabina N°2 LTF UTFSM.

3.3.2 Protocolo de ensayos

Se creó un “*Protocolo de Operación*”, encontrado en el *Anexo 2*, que detalla el procedimiento a seguir para la correcta operación de los equipos instalados en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos. En este documento se detallan los pasos a seguir para dar arranque al motor, la verificación de todas las conexiones previamente al arranque, la calibración de equipos, los parámetros a controlar durante el ensayo, los criterios para una posible parada de emergencia, el registro de datos y el mantenimiento a realizar a la instalación luego de cada prueba. Esto para la realización de ensayos en base a la norma ISO3046-1, los cuales serán de la forma Punto a Punto, debido a las características mecánicas del motor HATZ.

Se realizarán cinco ensayos, en donde se buscará replicar bajo las mismas condiciones de partida, comienzo de grabación de datos, tiempos de medición entre los diferentes puntos y procesamiento de estos datos. Debido a las características mecánicas del motor HATZ, ya que posee bomba inyectora mecánica, existe una dificultad a la hora de estabilizar el motor en un punto específico, por lo tanto, se buscará obtener puntos cada 100-200 [rpm], entre las 1500 y 3000 [rpm], como muestra el fabricante las curvas características del motor 1D81S. Se considerará estabilizado y apto para tomar mediciones cuando el motor se encuentre en una velocidad de giro y su variación de velocidad no supere las 10 [rpm], por debajo del punto y sobre este. Para lograr estabilizar el motor se considerará al menos un minuto, esto para evitar que los ensayos duren demasiado tiempo y poner en riesgo al motor por temas de exceso de temperatura de aceite. Se considerará estable para tomar un punto cuando no varíe el torque más de

2 [Nm] en base a la medición en el punto correspondiente, esto debido a la sensibilidad del freno dinamómetro y el arreglo del acople cardán. Para el registro de los datos se tomarán como mínimo de dos minutos, donde cabe destacar que si este tiempo se excede no afectará en la medición debido a que este tiempo se considerará en el cálculo del consumo específico de combustible. Con los resultados de estas cinco mediciones se obtendrán valores promedio los que serán contrastados con lo original, cabe destacar que para correlacionar estos valores se buscara relacionar a través de la velocidad de giro [rpm] del dato, donde se aceptará valores que sean cercanos hasta no más de 50 [rpm] de diferencia. Estos valores se registrarán en tiempo real de manera manual, donde se buscará estabilizar el motor en una velocidad de giro y registrar los datos correspondientes, para contrastar los valores recolectados por el software y los valores recolectados punto a punto de manera manual, así verificaremos si mide correctamente el software, lo cual debería por el hecho de que se ha verificado múltiples veces la calibración del freno, las unidades medidas, las cuales serán Potencia [kW], Torque [Nm], Velocidad de Giro [rpm], Masa de combustible [kg], Hora de medición [hh:mm:ss] Presión Ambiental [hPa], Temperaturas [°C], Humedad relativa [%], CO [%vol], CO₂ [%vol], O₂ [%vol], HC [ppm] y NOx [ppm].

4. Resultados y Análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los cinco ensayos realizados en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos de la UTFSM. Estos datos se promediaron en base a la velocidad de giro en donde se tomaron las mediciones Punto a Punto (PaP). En el *Anexo 3* se adjunta la correspondiente hoja de cálculo a mayor detalle, con los resultados de cada ensayo de forma particular, tanto para la toma de datos manuales como lo entregado por el sistema de adquisición de datos SMAC. Aquí se separarán en línea base media SMAC, presentado en la Tabla 4, recolectado por el software del freno dinamómetro y línea base media tomada manualmente con los datos que entrega el freno en tiempo real, encontrada en la Tabla 5. Además en la Tabla 6 se presentarán los datos proporcionados por el fabricante tabulados para luego contrastar con lo obtenido en los ensayos.

Tabla 4: Promedio ensayos software SMAC.

[rpm]	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Factor C. medio [-]	Humedad Amb. [%]	Presion Amb. [hPa]	Temp. Amb. [°C]
1500	7,9	44,6	0,96	40,7	1026,2	22,7
1600	8,8	44,8	0,96	37,2	1026,3	23,7
1700	9,2	44,4	0,97	34,2	1026,7	24,6
1800	10,3	44,7	0,97	31,5	1027,0	25,9
1900	10,9	43,2	0,98	26,5	1027,8	27,8
2000	11,5	41,3	0,98	23,2	1028,9	29,1
2100	12,1	41,1	0,98	21,6	1029,0	30,1
2200	12,8	40,7	0,98	20,1	1029,6	31,6
2300	13,4	40,0	0,99	18,8	1030,0	32,8
2400	13,9	39,6	0,99	17,5	1030,7	34,5
2500	14,6	38,2	0,99	16,6	1030,8	35,4
2600	15,1	36,4	0,99	15,8	1031,4	36,3
2700	15,1	31,8	0,99	15,3	1031,8	37,0
2800	16,4	35,9	0,99	14,7	1032,1	37,6
2900	18,2	37,9	0,99	14,3	1032,4	38,3

Tabla 5: Promedio ensayos toma de datos manual.

[rpm] media	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Consumo especifico de combustible (Manual y SMAC) [g/kWh]	T° Aceite [°C]	T° Escape [°C]	T° Admisión [°C]	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]	O2 [%vol]	NOx [ppm]
1580,0	7,5	45,0	230,1	58,8	255,3	23,4	5,4	10,0	90,0	2,8	268,5
1680,0	8,3	44,8	232,8	65,3	284,9	24,6	4,7	10,3	82,3	2,9	299,5
1786,7	8,3	43,3	241,4	72,1	305,1	25,7	4,7	10,5	83,7	2,5	310,7
1900,0	8,8	43,3	251,6	80,4	338,7	27,9	3,6	11,2	60,0	2,6	340,0
2016,7	9,1	42,7	254,2	84,5	356,3	28,1	2,8	11,8	39,7	2,9	348,7
2135,0	9,1	41,3	256,0	88,7	382,1	30,1	1,3	12,4	9,3	3,1	369,3
2246,0	9,3	39,6	259,4	95,3	406,1	31,4	1,0	12,7	7,4	3,1	371,0
2434,0	9,5	38,0	264,5	103,8	434,1	33,5	0,6	12,9	4,4	3,1	367,0
2520,0	9,3	37,0	271,5	109,5	455,1	35,8	0,4	13,0	0,3	3,2	357,0
2616,0	8,8	32,8	274,7	110,9	449,8	35,3	0,2	12,1	3,0	4,8	357,6
2700,0	6,9	24,8	275,5	114,3	418,2	37,0	0,0	9,0	4,0	8,9	304,5
2814,0	8,0	29,2	261,5	115,2	374,2	36,8	0,0	6,9	4,0	11,6	271,8
2916,7	9,6	35,3	255,9	112,3	324,3	35,4	0,0	5,7	4,0	13,4	211,0
2950,0	10,3	34,0	270,0	116,4	320,7	37,5	0,0	5,5	0,3	14,0	186,5

Tabla 6: Datos curvas características originales de HATZ 1D81S.

[rpm]	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Consumo específico de combustible [g/kWh]
1500	5,5	35,0	243
1600	6,5	35,5	243
1700	7,0	36,0	243
1800	7,2	36,5	243
1900	7,5	37,0	244
2000	8,2	37,0	245
2100	8,6	36,5	246
2200	8,8	36,0	250
2300	9,0	35,5	252
2400	9,2	35,0	254
2500	9,5	34,5	256
2600	9,7	34,0	260
2700	9,9	33,5	263
2800	10,0	33,0	268
2900	10,1	32,5	272
3000	10,0	32,0	279

Estos datos serán útiles para la confección de gráficas de curvas características con valores medios y poder contrastar los valores, tomados vía software SMAC como manualmente, con los proporcionados por el fabricante HATZ para el motor 1D81S.

A continuación se presentan las gráficas de línea base de operación del motor HATZ 1D81S, donde en primer lugar se presenta en la Fig.23 la línea base otorgada por el fabricante HATZ , luego en la Fig. 24 se presenta la línea base con recolección de datos manuales a través de la interfaz del freno. Finalmente, en la Fig. 25 se presenta la línea base que entregó el software SMAC del freno dinamómetro SAENZ CP100.

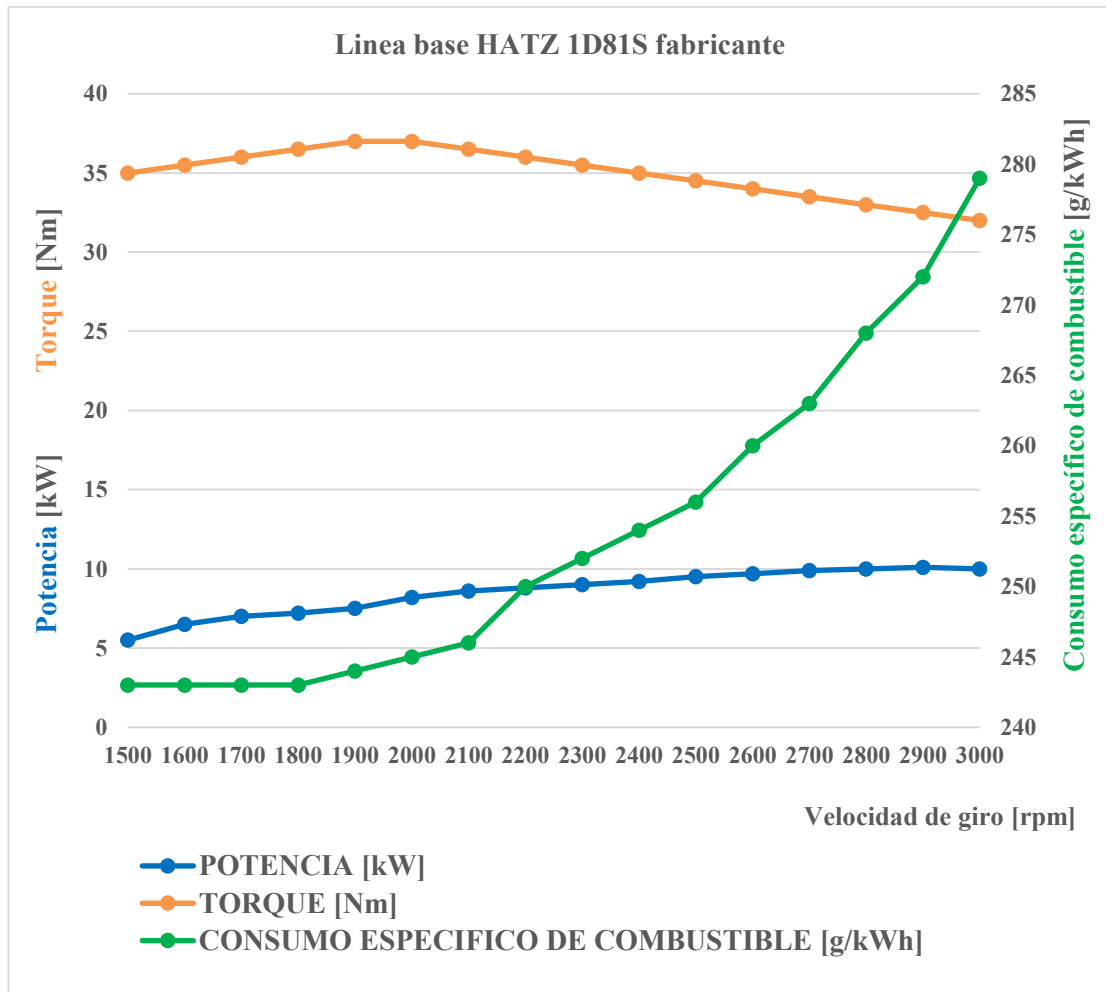


Figura 23: Línea base HATZ 1D81S, datos fabricante.

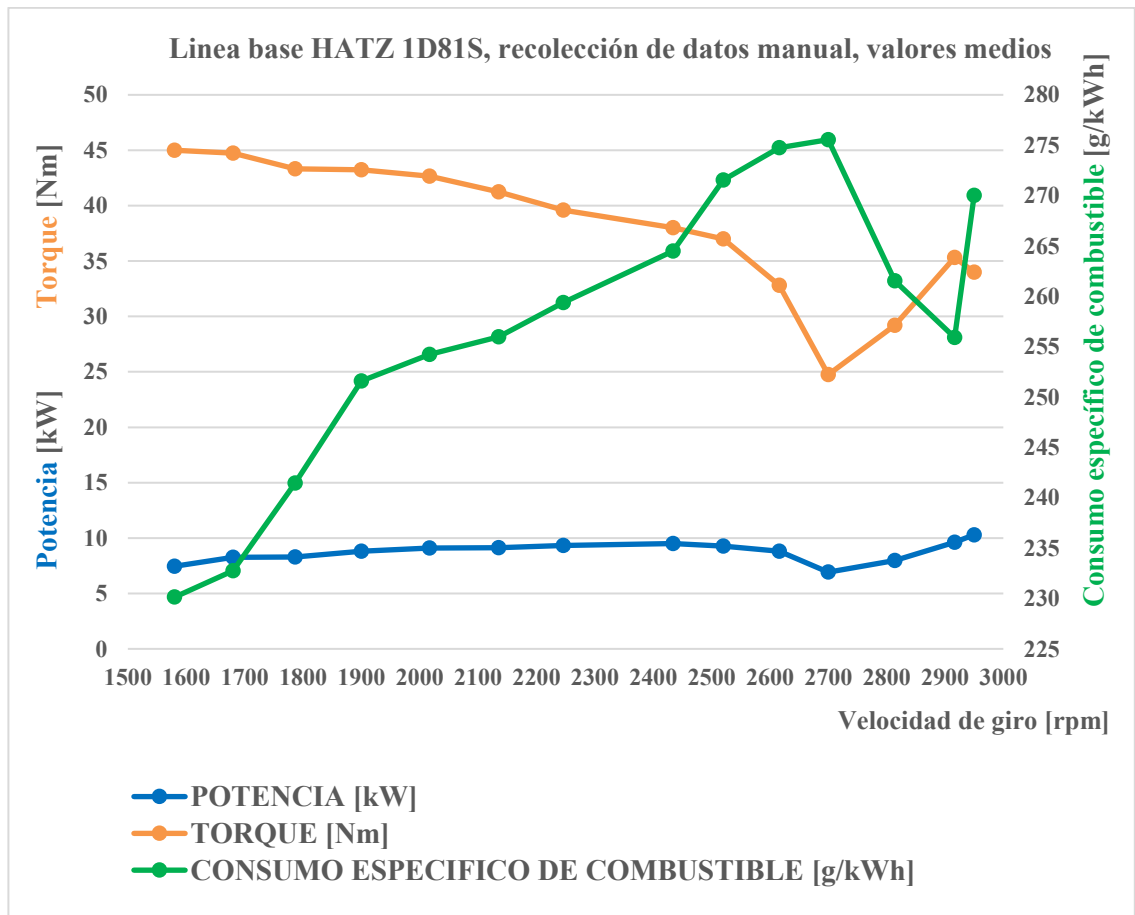


Figura 24: Línea base HATZ 1D81S, recolección de datos manual.

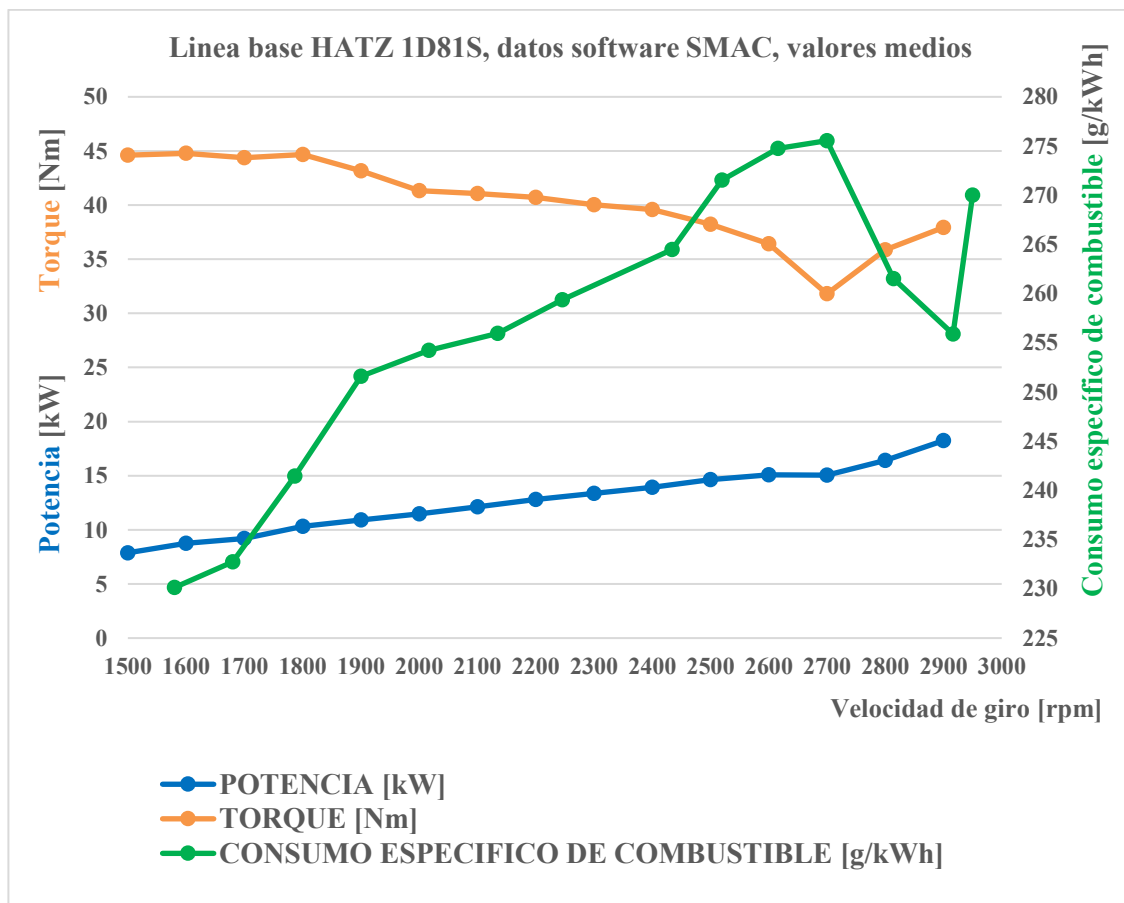


Figura 25: Línea base HATZ 1D81S, software SMAC.

Podemos apreciar como ambas tendencias, tanto de la curva de potencia tomada manualmente (*Fig.24*), como la entregada por el software SMAC (*Fig.25*), tienen en general la misma forma, pero se logra identificar una gran diferencia con la curva obtenida a través del software, donde existe una potencia máxima promedio de 18,2 [kW], lo cual representa un error relativo del 80,19 %, en comparación con la potencia máxima entregada por el fabricante. Si evaluamos de la misma forma la curva de potencia generada con datos manuales podemos ver que el máximo promedio alcanzado fue de 10,3 [kW], contrastándolo con los datos de fabricante representa solamente el 1,98% de error relativo, lo cual se considera un valor aceptable según la norma ISO3046-1, además el fabricante especifica que pueden existir variaciones entre el 1 y 2% debido al arreglo para realizar ensayos, las condiciones ambientales y sensibilidad de la medición. En este caso ambos registros de datos están corregidos

automáticamente por el freno dinamómetro en base a la norma ISO 1585. Además si vemos la *Tabla 4*, podemos identificar que la distribución del factor de corrección durante los cinco ensayos no varió significativamente, entre 0,96 y 1, lo cual evidencia el correcto procedimiento a la hora de realizar ensayos. Se concluye que probablemente el software SMAC, a pesar de estar calibrado, revisado los parámetros de calibración, verificado que mecánicamente no exista ningún detalle a corregir y verificadas las unidades, en Kilowatts para la potencia, persiste con un registro erróneo de los puntos guardados, por lo que se recomienda encargar al fabricante una inspección, idealmente en persona. Además si corroboramos el cálculo manual de la potencia con los puntos obtenidos por el software SMAC, tomando por ejemplo el punto a las 1800 [rpm] y 44,7 [Nm], según la Ecuación 1:

$$P = (2\pi * n * T)/60 ; \quad (1)$$

Donde P es la potencia en Kilowatts, n es la velocidad de giro en revoluciones por minuto y T es el torque en newton por metro, para el punto de la *Fig.25* con n = 1800 [rpm] y T = 44,7 [Nm], obtenemos una potencia de 8,43 [kW] y el software SMAC entrega un valor de 10,3 [kW], lo cual si comparamos ambos valores nos entrega un error relativo asociado al cálculo que realiza el sistema para entregar la potencia de un 22,18%, para ese punto en particular. Si realizamos el mismo análisis para diferentes puntos la tendencia es similar con los datos obtenidos vía software SMAC del freno dinamómetro SAENZ CP100.

Si ahora realizamos este mismo análisis pero con los datos manuales de la *Fig.24*, en el punto donde n = 1787 [RPM] y T = 43,3 [Nm], obtenemos una potencia de 8,1 [kW]. Comparándolo con la potencia obtenida en pantalla y registrada manualmente en el laboratorio de termofluidos durante la realización del ensayo, la cual fue de 8,3 [kW], se obtiene un error relativo en ese punto de medición del 2,46%, un valor aceptable por la norma ISO3046-1 y lo indicado por el fabricante en su declaración de la potencia, la cual se declara igualmente en base a la respectiva norma. Si realizamos el mismo análisis para diferentes puntos de la curva registrada manualmente, obtenemos una

tendencia similar, por lo que se aceptan los resultados obtenidos y serán finalmente los presentados como valores reales del estado del motor y su línea base de operación.

Esto es contradictorio cuando evaluamos la curva de torque, ya que tanto el software como en la toma de datos manuales se obtuvieron tendencias similares y un máximo de 45 [Nm]. Esto igual explica en como el software calcula la potencia y como la registra, que puede tener errores de fondo del software, como se programó o algo aparte que pueda estar influyendo a la hora de entregar la potencia.

Si comparamos ambas curvas de torque con lo otorgado por el fabricante en ambos casos identificamos un error relativo del 21,62%, con respecto al torque máximo descrito por el fabricante. Esto se puede deber al arreglo homocinéticas-cardán para el acople del freno hacia el motor, en el cual durante realización de ensayos se percibieron vibraciones excesivas que pueden estar aportando una sensibilidad mayor a la hora de la toma de mediciones. Esto ya que todas las vibraciones son absorbidas por las homocinéticas que componen el arreglo cardán que une el freno con el motor, además el motor HATZ 1D81S al ser mono cilíndrico atribuye mayores vibraciones, lo cual puede estar afectando a las mediciones. Además la sensibilidad al aplicar el porcentaje de freno es alta, esto se apreció durante los diferentes tipos de ensayos realizados, ya que varía bruscamente por lo tanto se debe ser cuidadoso a la hora de aplicar freno mientras está girando el motor. Esto puede explicar por qué existe una diferencia de aproximadamente 8 [Nm] en los máximos de las curvas promedio calculadas, con respecto a lo otorgado por el fabricante. Cabe destacar que después de cada ensayo se verificaron los pernos que mantienen fijo el arreglo cardán, además de alineadores que trae el freno para fijar el carro que aloja el motor HATZ, se puede recomendar una mejora a la hora de disminuir las vibraciones en el carro del motor, donde se podrían agregar elementos como cojinetes para disipar las vibraciones, esto eventualmente podría variar en las mediciones de torque, y por consecuencia en la potencia obtenida.

Podemos apreciar que la curva de consumo específico de combustible, que para el caso manual y el caso vía software es la misma, si bien es diferente en tendencia, en comparación a lo informado por HATZ, se encuentra dentro de los parámetros que

indica el fabricante por lo tanto se concluye un correcto estado en la inyección de combustible, donde a pesar de haber estado durante 10 años parado el motor, el estado interno de este se mantuvo operacionalmente correcto. Esto se verificó previamente viendo las emisiones de gases de escape sin carga, donde no se apreciaron gases oscuros, ni blancos, concluyendo que no existe una inyección rica en combustible, ya que los motores a petróleo cuando inyectan más petróleo de lo que deberían (mezcla rica) emiten mayor cantidad de hidrocarburos no combustionados (HC) y mayor cantidad de material particulado (PM), los cuales se pueden apreciar a simple vista. Se podría recomendar una revisión en la bomba inyectora, revisión del inyector de petróleo, presión de apertura y también una revisión en la sincronización de inyección. Esto debido a que actualmente se alcanza la cantidad de consumo específico de combustible máxima aproximadamente a las 2700 [rpm], donde el fabricante describe esa cantidad aproximadamente entre los 2900 – 3000 [rpm]. Aquí si comparamos en un punto en particular, alrededor de las 2700 [rpm], comparando la curva de consumo específico de combustible obtenida en laboratorio con la proporcionada por el fabricante obtenemos un error relativo máximo del 4,5%, lo cual es aceptable para una inyección mecánica que lleva años sin funcionamiento. Una de las razones que puede explicar este fenómeno, en caso de estar correcto el estado tanto de la bomba inyectora, inyector de petróleo y sincronización, es que a la hora de realizar ensayos, cuando se alcanzan velocidades de giro cercanas al máximo (3000 [rpm]), se debe disminuir prácticamente a 0% de carga en el freno para lograr alcanzar esas velocidades de giro, por lo tanto el motor se esfuerza menos que a revoluciones medias durante el ensayo. Para el cálculo del consumo específico de combustible (SFC) se utilizó la Ecuación 2:

$$SFC = \dot{m}/P ; \quad (2)$$

Donde $\dot{m}$ corresponde al flujo másico de combustible en gramos por hora [g/h] y P corresponde a la potencia en el punto que se está calculando, expresada en Kilowatts [kW], donde finalmente el consumo específico de combustible (SFC) queda expresado en gramos por kilowatt hora [g/kWh]. La metodología de medición del consumo gravimétrico utilizada consistió en medir la masa del estanque de combustible sobre

una balanza, la cual mide en kilogramos [kg] y tiene una resolución de tres decimales, obteniendo una incertidumbre de 0.000289 [kg]. Para esta medición se registra el tiempo inicial, se registran los demás datos asociados al ensayo, y al final se registra la masa restante en el estanque de combustible y el tiempo asociado a esa medición. Con estos resultados se obtienen diferencias de tiempo y diferencias de masa, con lo que se obtiene el flujo másico ($\dot{m}$) en gramos de combustible por hora [g/h].

Se presenta en la Fig. 26 la distribución de gases de escape del motor HATZ 1D81S.

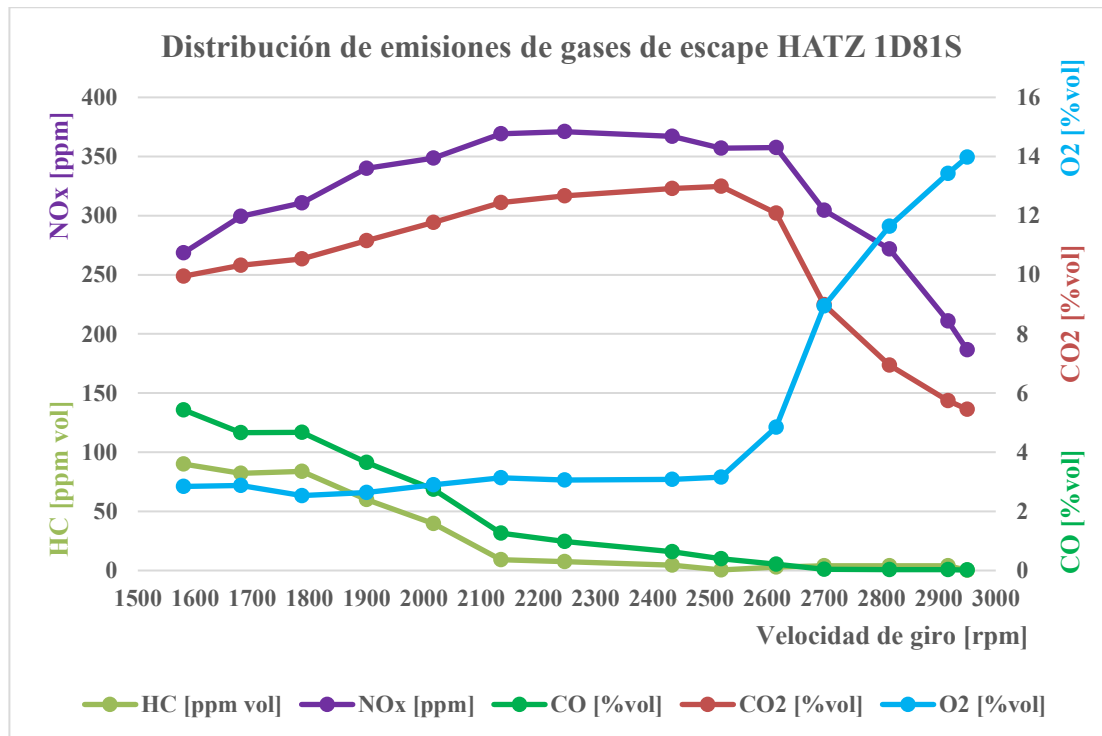


Figura 26: Distribución de emisiones de gases de escape HATZ 1D81S.

Se aprecia como los óxidos de nitrógeno (NOx) llegan a un máximo de 371 [ppm] alrededor de las 2250 [rpm], lo cual coincide con la temperatura de escape a esa velocidad de giro, ya que sobrepasa los 400 [°C], y estos valores se mantienen hasta que comienza a decaer la temperatura de escape, pasando las 2700 [rpm], donde disminuyen las temperaturas y decaen desde los 420 [°C] hasta los 320 [°C] a las 2950 [rpm]. Esto hace sentido físico ya que los óxidos de nitrógeno se generan a altas temperaturas.

También se logra identificar que una vez que el motor comienza a trabajar a mayor temperatura, disminuyen los hidrocarburos no combustionados (HC), donde al superar las 2000 [rpm] disminuyen a menos de 10 [ppm], llegando a 0 [ppm] a altas temperaturas. Esto tiene sentido físico ya que al estar más frío el motor a bajas cargas (1500-2000 [rpm]) no logra combustionar todo el combustible que se ingresa a la cámara de combustión, expulsándolo a través del escape.

De igual forma se logra verificar que a mayor temperatura de combustión las moléculas de monóxido de carbono (CO) logran la oxidación completa y se convierten en dióxido de carbono (CO₂), esto al girar más rápido y a mayor temperatura, facilitan la oxidación y explica de igual manera el aumento de dióxido de carbono (CO₂) una vez que los monóxidos de carbono (CO) se acercan al 0%.

Finalmente en el análisis de las emisiones de gases de escape, tenemos el porcentaje de oxígeno molecular (O₂), donde a mayor velocidad de giro corresponde un mayor una mayor cantidad de aire, por lo que ingresa de igual manera una gran cantidad de oxígeno. Este es un comportamiento normal de los motores que funcionan a mezcla pobre (baja inyección de combustible), como es el caso de los motores ciclo diésel.

A continuación se presentan gráficas comparativas en donde se contrastan las curvas de potencia, presentado en la Fig. 27, curvas de torque, presentado en la Fig. 28 y curvas de consumo específico de combustible, presentado en la Fig. 29, tanto tomadas manualmente, por software SMAC y lo proporcionado por el fabricante.

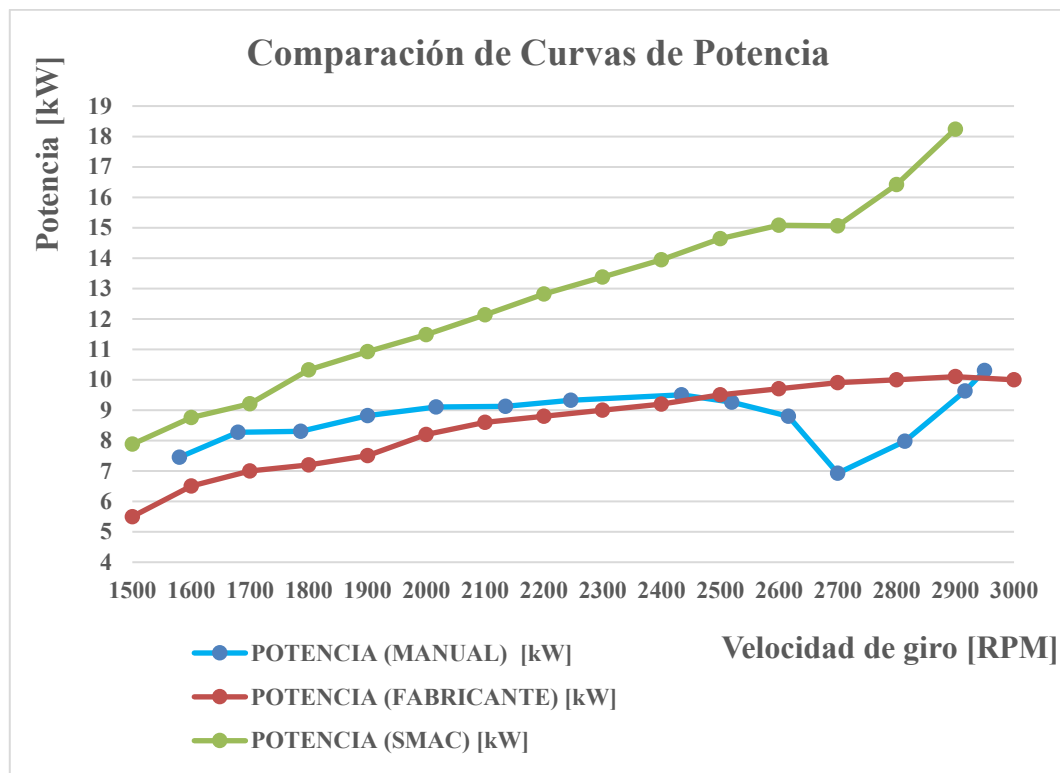


Figura 27: Comparación de Curvas de Potencia.

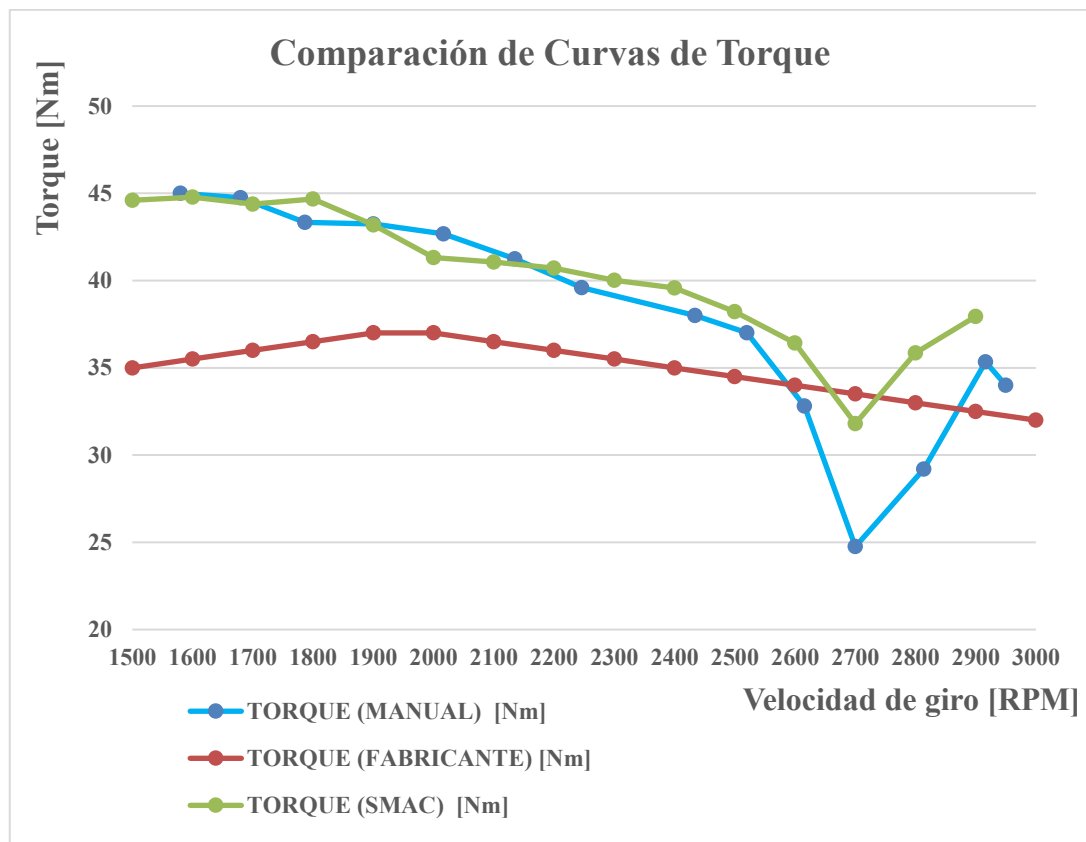


Figura 28: Comparación de Curvas de Torque.

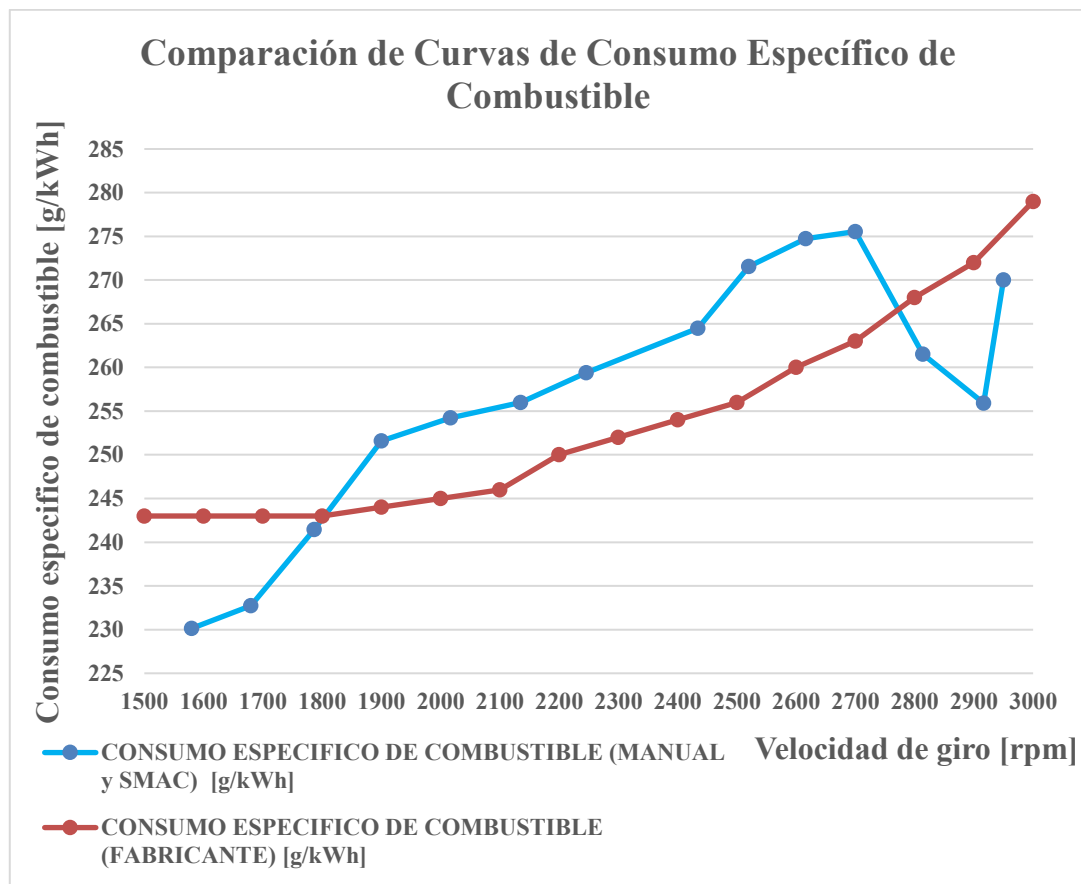


Figura 29: Comparación Curvas de Consumo Específico de Combustible.

Finalmente, para entregar el reporte según Norma ISO 3046-1, en la Tabla 7 se reportará la Potencia media máxima [kW], Torque medio máximo [Nm], Consumo Especifico de Combustible medio máximo [g/kWh], consumo de combustible medio por ensayo [kg] y consumo de aceite lubricante [%]. Estos datos serán los obtenidos de manera manual, ya que su tendencia concuerda con los datos proporcionados por el fabricante.

Tabla 7: Reporte final ISO 3046-1, HATZ 1D81S.

Potencia Principal media [kW]	10,3
Torque Principal medio [Nm]	45
Consumo de combustible medio por ensayo [kg]	0,8168
Consumo específico de combustible medio máximo [g/kWh]	275,5
Consumo de Aceite lubricante medio por ensayo [%]	1% del consumo de combustible = 8,17 [g]

CONCLUSIONES

Gracias al trabajo realizado en esta primera etapa del proyecto Fondecyt Regular N°1241883 se logró la puesta en marcha del motor HATZ 1D81S y finalmente se obtuvo una línea base de operación del equipo, logrando el objetivo general de este trabajo con éxito al poder realizar los ensayos requeridos y la obtención de valores similares a lo proporcionado por el fabricante, corroborando el buen estado del motor y estableciendo un punto de partida para luego contrastar con el uso del modo de Ignición por Compresión de Carga Homogénea (HCCI) y su combinación al usar diferentes combustibles alternativos.

Se logró cumplir los objetivos específicos de este trabajo donde se realizó correctamente el mantenimiento mecánico del motor HATZ modelo 1D81S, logrando recuperar el estado original del motor casi en su totalidad, esto comprobado por las curvas obtenidas y su desempeño durante la realización de ensayos.

También, se logró llevar a cabo con éxito la instalación y acople al freno dinamómetro modelo SAENZ CP100, donde se mejoraron variedad de detalles en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos de la UTFSM para poder realizar ensayos en el banco de prueba de manera segura, actualizada y acercándonos como Grupo de Investigación en Movilidad y Combustibles Alternativos (GIMCA) a poder tener la disponibilidad de un banco de pruebas que satisfaga las condiciones establecidas por la norma ISO 3046-1.

Finalmente, se logró cumplir con el último objetivo específico propuesto al determinar la línea base de operación del motor HATZ funcionando con diésel como combustible, conforme a la norma ISO3046-1. Aquí se encontraron discrepancias entre los datos recopilados por el software del freno dinamómetro, donde se encontró un error relativo del 80,19% en comparación con la potencia original del motor, y los recopilados manualmente, siendo estos últimos los cuales se utilizaron como resultados válidos, esto ya que su error relativo fue del 1,98% en comparación con la potencia original del motor, lo cual se acepta por la norma ISO 3046-1. Esto debido a un error encontrado

en el sistema automático de adquisición de datos del banco dinamómetro. Además, se entregó un reporte final acorde a la norma y una comparativa que nos sirve para determinar el estado tanto del motor y del freno dinamómetro.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de mantener la integridad de los equipos, asegurar a los operadores y poder lograr los futuros objetivos propuestos en el proyecto Fondecyt Regular N°1241883 se plantean las siguientes recomendaciones. Estas son tomadas en base a la experiencia obtenida en laboratorio.

Se recomienda realizar una admisión que tome aire de afuera de la cabina, debido a que se ve reflejado en el desempeño del motor, donde en instancias la temperatura de la cabina aumentó sobre 16 [°C] de la temperatura inicial, por lo que para afinar los ensayos en el banco de prueba se requiere mejorar ese aspecto.

Se recomienda utilizar un comando físico externo para la regulación de la velocidad de giro del motor. Esto ya que en la realización de ensayos se debía acceder a la cabina para variar las revoluciones del motor, lo que pone en riesgo al operador que ingresa.

Se recomienda realizar una inspección con el proveedor del freno dinamómetro, en este caso SAENZ DYNOS. Se necesita verificar que el sistema de adquisición de datos grabe correctamente los datos ya que se encontraron diferencias cuantiosas en comparación a lo que mostraba en tiempo real el mismo sistema, por lo tanto existe algún error en el software, el cual no se puede intervenir debido a que se encuentra protegido.

Se recomienda revisar el motor HATZ 1D81S internamente antes de realizar la transformación al modo HCCI, debido a que los combustibles alternativos que se utilizarán pueden poner en riesgo el equipo y la integridad del resto de los equipos de la cabina si existiese una fuga, de combustible o de aceite. Además una vez finalizados los ensayos de este trabajo se apreció una fuga de aceite menor, lo cual evidencia que algo dentro del motor debe haberse dañado durante la realización de ensayos, los cuales en todo momento fueron a máxima carga.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. Papareddy, C. Amar, y T. C. Pandu, "Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) engines: Potential and challenges for cleaner combustion", *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 18, no. 3, pp. 1036–1054, Jun. 2023.
- [2] Mazda Motor Corporation, "Mazda next-generation technology: Press information," Hiroshima, Japón, Reporte Técnico, Oct. 2017.
- [3] C. Tornatore, L. Marchitto, P. Sabia, y M. De Joannon, "Ammonia as green fuel in internal combustion engines: State-of-the-art and future perspectives," *Frontiers in Mechanical Engineering*, vol. 8, art. no. 944201, jul. 2022.
- [4] Y. A. Çengel y M. A. Boles, *Termodinámica*, 8ª ed. México D.F., México: McGraw-Hill, 2015, cap. 9, p. 503, fig. 9-24.
- [5] Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG, "Manual para el motor diésel: 1D42, 1D50, 1D81, 1D90," Hatz Download Center, 2021.
- [6] L. Zamora, "Investigación de la aplicación de un medio poroso a un motor de combustión interna," Tesis de pregrado, Dept. Ing. Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, Feb. 2015.
- [7] Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG, "Motores diésel de Hatz | ficha técnica," Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG, Ruhstorf a. d. Rott, Alemania, Folleto técnico 70035927 ES, Ago. 2018
- [8] International Organization for Standardization, *Reciprocating internal combustion engines — Performance — Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumption, and test methods — Additional requirements for engines for general use*, ISO Standard 3046-1:2002, 2002.
- [9] Sáenz Dinamómetros y Flujómetros, *Dinamómetro de motores: Manual de uso de SMAC*, Rev. 01.7.24. Mar del Plata, Argentina: Sáenz Dinamómetros y Flujómetros, 2024.

- [10] Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG, "Workshop Manual: 1D Series Diesel Engines (1D42, 1D50, 1D81, 1D90)," Hatz Service Documentation, n.d.
- [11] SAENZ Dinamómetros, "Tablero de control de dinamómetro y panel de conexiones: Dinamómetro CP-100," SAENZ Dinamómetros, Mar del Plata, Argentina, Esquema técnico CP100 UT Santamaria, Abr. 8, 2026.
- [12] SAENZ Dinamómetros, "Banco de ensayo de motores Saenz CP-100," SAENZ Dinamómetros, Mar del Plata, Argentina, Plano técnico CP-100_univ. F. Santamaria, Dic. 17, 2025.
- [13] Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG, "Installation Drawing / Einbauzeichnung: 1D81-90S/Z Crankhandle Start / Handkurbelstart," Motorenfabrik Hatz GmbH & Co. KG, Ruhstorf-Rott, Alemania, Plano técnico, Hoja 7 de 11, Feb. 20, 2012

ANEXOS

Anexo 1: Repuestos para mantenimientos y procedimientos.

A continuación se presentan los principales repuestos comprados para el motor HATZ ID81S, los montos expresados son en pesos chilenos [\$ CLP] e incluyen el impuesto al valor agregado (IVA).

Tabla A1.1: Repuestos mantenimiento de afinamiento.

Repuestos mantenimiento de afinamiento	Cotización	Proveedor	Cantidad	Total por repuesto [\$ CLP]
Filtro de aceite MANN MH50	\$5500	RED BIKE	1	\$5500
Filtro de aire MANN C1426	\$3750	AUTOFRAM LTDA.	1	\$3750
Filtro de combustible MANN WK29/5	\$4000	AUTOPLANET	1	\$4000
Mangueras, Abrazaderas y Anillos tóricos	\$9820	COMERCIAL GOMAS Y PERNOS LTDA	1	\$9820
Petróleo	\$1000	SHELL	20	\$20000
Aceite lubricante Mobil Delvac 15W45	\$7500	AUTOPLANET	2	\$15000
Total repuestos mantenimiento de afinamiento [\$ CLP]				\$58070

Tabla A1.2: Repuestos mantenimiento correctivo.

Repuesto	Proveedor	Cantidad	Total [\$ CLP]
Juego de empaquetaduras HATZ 1D81S	BEKA CHILE	1	140.042

Se presentan los principales procedimientos indicados según el fabricante HATZ y el plano de manufactura del motor.

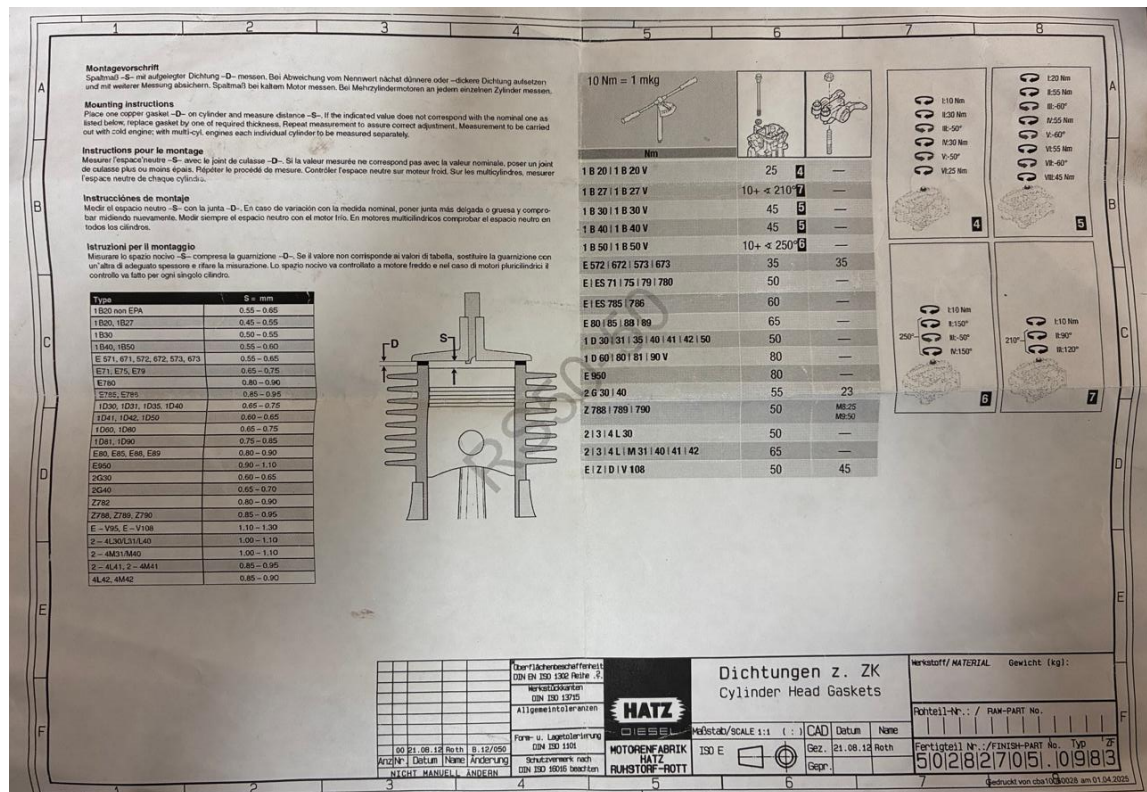


Figura A1.1: Procedimiento instalación empaque de culata HATZ 1D81S [10].

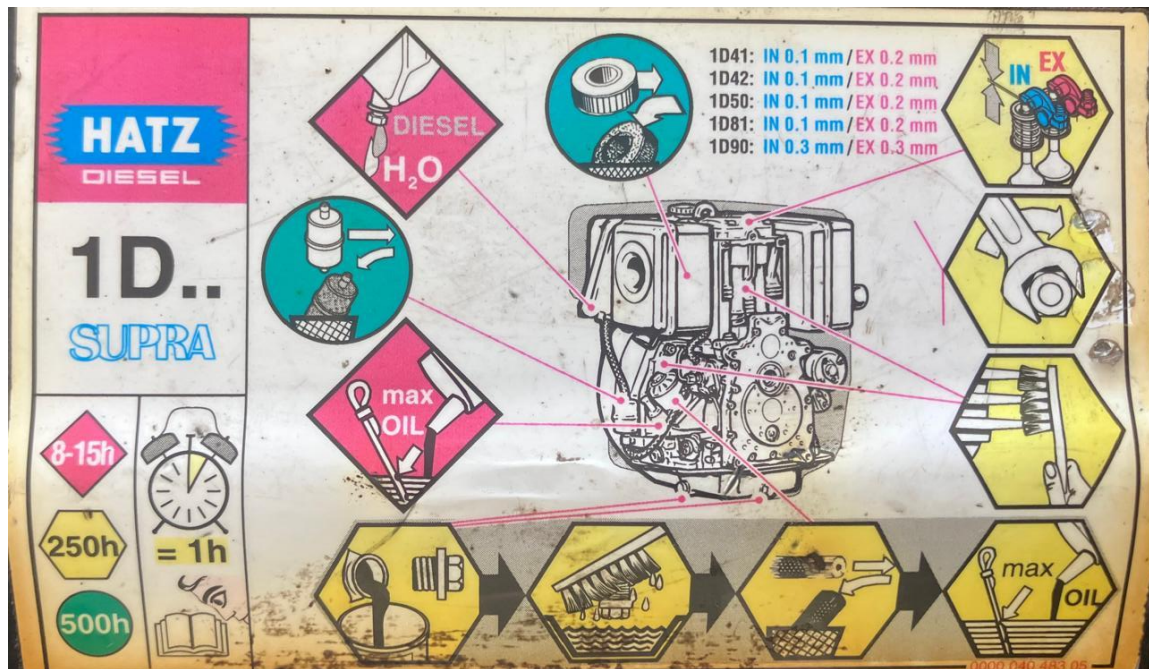


Figura A1.2: Procedimiento regulación de válvulas HATZ 1D81S [5].

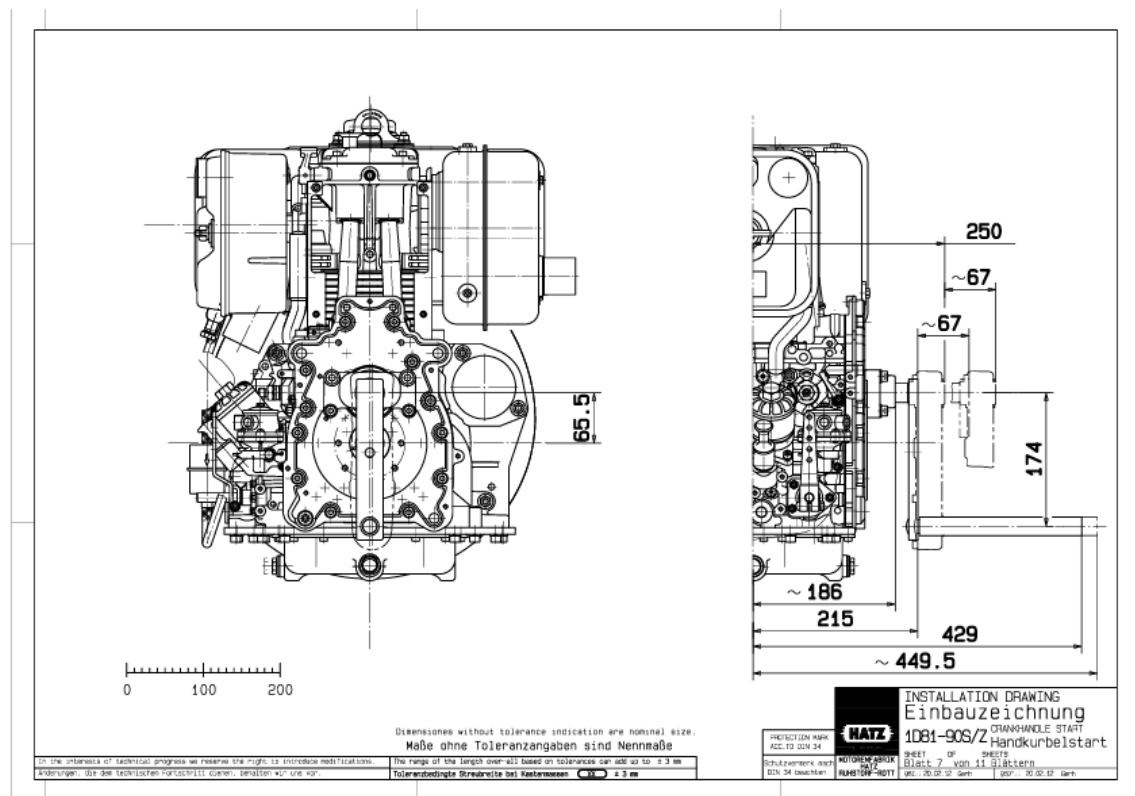


Figura A1.3: Planos de manufactura HATZ 1D81S [13].

Anexo 2: Protocolo de Operación

PROTOCOLO DE OPERACIÓN

Documento técnico destinado a establecer el procedimiento seguro y estandarizado para la operación del motor HATZ 1D81S acoplado al freno dinamométrico SAENZ CP100, instalado en la cabina N°2 del laboratorio de termofluidos de la Universidad Técnica Federico Santa María.

1. Objetivo

Establecer el procedimiento seguro y estandarizado para la operación del motor HATZ 1D81S acoplado al freno dinamométrico SAENZ CP100, permitiendo la realización de ensayos de potencia, torque, consumo específico y comportamiento operacional del motor bajo diferentes condiciones de carga.

2. Alcance

Aplica a la cabina n°2 del laboratorio de termofluidos de la UTFSM, específicamente para los equipos SAENZ CP100 y HATZ 1D81S.

3. Referencias Técnicas

- Manual del motor HATZ 1D81S
- Manual del dinamómetro SAENZ CP100
- Norma ISO3046-1

4. Descripción del Sistema

El sistema está compuesto por un motor diésel mono cilíndrico HATZ 1D81S acoplado mecánicamente a un freno dinamométrico SAENZ CP100 para la realización de ensayos de potencia y torque, instalado en la cabina n°2 del laboratorio de termofluidos de la Universidad Técnica Federico Santa María. Este posee una serie de conexiones y equipos para su funcionamiento, por lo tanto, es necesario revisar el correcto funcionamiento de cada elemento para asegurar una correcta operación del freno dinamómetro como del motor y así no poner en riesgo ambos activos.

5. Características Técnicas del Motor

- Tipo: Diésel mono cilíndrico
- Refrigeración: Aire
- Cilindrada: 667 cm³
- Potencia máxima aproximada: 10,1 kW
- Torque máximo aproximado: 36 Nm
- Régimen de operación: 800-3000 RPM
- Sistema de inyección: Directa

6. Riesgos y Seguridad

Riesgos principales:

- Línea de escape (Alta Temperatura):

Luego de cada uso, precaución al transitar dentro de la cabina ya que la línea de escape alcanza temperaturas altas que pueden provocar quemaduras.

- Partes móviles:

Principalmente el acople cardánico motor-freno. Mantenerse fuera de la cabina en todo momento de operación. De requerir el ingreso, alejarse del cardan y transitar alrededor de este.

- Ruido elevado:

Se recomienda el uso de protectores auditivos si requiere el ingreso a la cabina durante la operación.

- Gases de escape:

Se recomienda abrir la escotilla para prevenir cualquier tipo de intoxicación por fuga de gases de escape. No ingresar a la cabina si no requiere intervención. Mantener cerrada la puerta de la cabina.

- Vibraciones:

Precaución al manipular elementos del motor o del freno durante operación, especialmente el área del soporte del motor.

- Riesgo de incendio por combustible:

Se recomienda cortar alimentación de combustible inmediatamente y el uso de extintor.

Elementos de protección personal:

- Lentes de seguridad

- Protectores auditivos

- Calzado de seguridad

7. Instrumentación

Variables medidas:

- RPM

- Torque

- Potencia

- Temperatura de gases (Admisión, Escape y Aire de refrigeración)

- Temperatura de aceite

- Consumo de combustible

8. Procedimiento de Operación

Inspección previa:

- Verificar nivel de aceite:

Consultar Manual de motor HATZ 1D81S para revisar tipo de aceite, cantidad, consumo de aceite y cada cuantas horas requiere mantenimiento.

- Revisar combustible:

Revisar línea de alimentación desde el estanque, verificando que estén abiertas las válvulas de corte.

-Verificar acople motor-freno:

Verificar visualmente que se mantenga la alineación entre el motor y freno, debido a que las vibraciones podrían haber alterado el estado correcto. También lubricar el conjunto cardán-homocinéticas con grasa SKF.

-Revisar sensores e instrumentación:

Verificar que el compresor este prendido y conectado, una vez alcance la presión de trabajo, abrir la válvula de corte. Verificar que estén conectadas correctamente tanto la línea de alimentación de 23 [A], como los cables de Control acople/Arranque, RPM, Comando Fibra Óptica, Control de freno.

Consultar Manual del dinamómetro SAENZ CP100 por el diagrama de conexiones.

Revisar que estén en correcto estado las conexiones USB desde el freno dinamómetro hacia el PC, al igual que las conexiones de USB desde el adquisidor de datos de temperaturas y de la balanza para la medición de consumo específico de combustible. Verificar que estén midiendo correctamente los parámetros.

- Confirmar ventilación adecuada

Abrir extractor de aire durante todo el ensayo, así se logran mantener las condiciones necesarias por la norma ISO3046-1 y se previene la acumulación de posibles gases de escape fugados.

Puesta en marcha:

- Descomprimir el motor y cebar manualmente 15 [s]. Fijar posición de partida del acelerador.
- Energizar freno dinamómetro SAENZ CP100. Conectar USB al PC.
- Prender comando “ACOPLE” y dar marcha con el variador de frecuencia al mínimo.
- Utilizar el variador de frecuencia hasta las 800 [RPM]

- Si logra el arranque en frío mantener el motor en operación por lo menos 15 minutos, para alcanzar temperatura de operación. Mantener monitoreado con el software SMAC para verificar el correcto funcionamiento.

De no lograr el arranque, repetir el mismo procedimiento para la puesta en marcha.

Operación con carga:

- Aplicar carga gradualmente
- Registrar datos estabilizados
- Supervisar temperatura y vibraciones, no sobre exigir al motor.

Parada del sistema:

- Reducir carga gradualmente
- Llevar motor a ralentí
- Apagar motor
- Desenergizar dinamómetro y cerrar válvula de corte de alimentación de combustible.
- Desconectar compresor y cerrar válvula de corte de aire comprimido.

9. Criterios de Detención de Emergencia

Detener inmediatamente el sistema en caso de:

- Sobretemperatura de aceite (+120 [°C])
- Pérdida de presión de aceite.
- Vibraciones excesivas
- Fugas de combustible
- Ruidos anormales
- Falla del dinamómetro o del acople cardán.

10. Mantenimiento Posterior

- Limpieza general del banco

- Revisión de pernos y fijaciones
- Inspección de fugas
- Registro en bitácora de las horas de uso del motor.

Anexo 3: Hojas de Cálculo Ensayos Punto a Punto

Ensayos Punto a Punto (PaP) HATZ 1D81S, recopilados software SMAC:

Tabla A3.1: Ensayo PaP N°1 SMAC

HATZ 1D81S 1500-3000 RPM	HATZ 1D81S 1500-3000 RPM PaP 1					
	Humedad Amb. [%Hum.]	Potencia [kW]	Presión Amb. [HPa]	Temp. Amb. [°C]	Torque [N.m]	Factor Correc. [-]
1500	55,0	7,2	1031,0	22,8	44,0	0,95
1600	49,3	8,9	1031,0	23,2	45,5	0,96
1700	44,6	9,4	1031,5	23,7	45,5	0,96
1800	40,0	10,3	1032,0	26,0	45,4	0,97
1900	33,8	11,1	1033,0	27,0,	45,0	0,97
2000	29,3	12,4	1034,0	28,4	44,4	0,98
2100	28,0	12,9	1034,0	29,0	43,0	0,98
2200	27,2	13,2	1034,0	29,8	42,8	0,98
2300	26,6	13,9	1034,0	30,5	42,9	0,98
2400	25,3	14,0	1034,5	31,5	42,0	0,98
2500	24,1	15,0,	1035,0	32,0	41,1	0,98
2600	21,9	15,1	1036,0	33,2	36,9	0,98
2700	21,3	16,2	1036,0	33,6	38,0	0,98
2800	20,4	17,0	1036,5	34,6	38,5	0,99
2900	20,0	18,7	1037,0	35,4	38,8	0,99

Tabla A3.2: Ensayo PaP N°2 SMAC.

	HATZ 1D81S 1500-3000 RPM PaP	HATZ 1D81S 1500- 3000 RPM PaP 2					
rpm		Humedad Amb. [%Hum.]	Potencia [KW]	Presión Amb. [HPa]	Temp. Amb. [°C]	Torque [N.m]	Factor Correc. [-]
1500		35,0	8,3	1027	21,9	45,0,	0,95
1600		32,0	8,7	1027	23,0	45,3	0,96
1700		30,3	9,1	1027	23,9	45,5	0,96
1800		28,7	10,3	1027	24,8	44,9	0,97
1900		25,5	11,3	1028	26,8	43,9	0,97
2000		23,0	12,0	1028	28,7	43,0	0,97
2100		20,6	12,5	1029	30,6	42,5	0,98
2200		20,0	13,0	1030	31,5	41,5	0,98
2300		19,0	13,5	1030	32,0	41,0	0,98
2400		16,5	14,0	1031	34,4	40,8	0,98
2500		14,9	14,8	1031	36,4	39,2	0,98
2600		14,5	15,5	1031	37,0	38,0	0,98
2700		14,0	16,5	1032	37,5	37,5	0,98
2800		13,5	17,0	1032	38,0	37,0	0,99
2900		12,5	18,1	1033	39,2	37,2	0,99

Tabla A3.3: Ensayo PaP N°3 SMAC.

HATZ 1D81S 1500-3000 RPM PaP 3	HATZ 1D81S 1500- 3000 RPM PaP 3					
rpm	Humedad Amb. [%Hum.]	Potencia [KW]	Presión Amb. [HPa]	Temp. Amb. [°C]	Torque [N.m]	Factor Correc. [-]
1500	38,4	8,6	1024	21,9	45,5	0,97
1600	34,6	9,0	1024	23,8	44,0	0,97
1700	30,9	9,4	1025	25,8	43,4	0,97
1800	29,5	10,4	1025	26,6	44,2	0,97
1900	23,2	11,5	1026	30,9	43,5	0,98
2000	21,5	12,0	1027	31,5	43,0	0,98
2100	20,0	12,3	1027	33,0	42,8	0,98
2200	17,2	12,8	1028	36,4	42,4	0,99
2300	15,5	13,1	1029	38,4	41,0	0,99
2400	13,8	13,9	1030	40,5	40,5	1,00
2500	13,2	14,4	1030	41,2	37,8	1,00
2600	12,4	14,9	1031	42,4	35,4	1,00
2700	12,2	13,9	1031	42,6	21,9	1,00
2800	12,2	16,0	1031	42,6	35,0	1,00
2900	12,2	18,8	1031	42,7	39,3	1,00

Tabla A3.4: Ensayo PaP N°4 SMAC.

HATZ 1D81S 1500-3000 RPM PaP 4	HATZ 1D81S 1500- 3000 RPM PaP 4					
rpm	Humeda Amb. [%Hum.]	Potencia [KW]	Presión Amb. [HPa]	Temp. Amb. [°C]	Torque [N.m]	Factor Correc. [-]
1500	38,0	7,8	1025	23,7	45,5	0,97
1600	36,9	9,0	1025	24,3	45,1	0,97
1700	35,2	9,5	1025	25,1	44,5	0,97
1800	32,0	10,3	1026	26,8	43,8	0,97
1900	28,0	10,9	1026	28,4	43,5	0,98
2000	25,1	11,6	1027	29,9	43,0	0,98
2100	23,3	12,0	1027	30,9	42,5	0,98
2200	20,6	12,9	1028	31,5	42,0	0,98
2300	18,0	13,4	1029	33,0	41,2	0,99
2400	17,2	14,0	1029	34,8	40,6	0,99
2500	16,4	15,0	1029	35,6	40,0	0,99
2600	15,8	15,8	1030	36,5	39,3	0,99
2700	14,7	14,1	1031	37,7	29,9	1,00
2800	13,8	16,3	1031	38,3	34,5	1,00
2900	12,9	17,8	1031	38,6	38,6	1,00

Tabla A3.5: Ensayo PaP N°5 SMAC.

HATZ 1D81S 1500-3000 RPM PaP 5	HATZ 1D81S 1500- 3000 RPM PaP 5					
rpm	Humeda Amb. (%Hum.)	Potencia (KW)	Presion Amb. (HPa)	Temp. Amb. (°C)	Torque (N.m)	Factor
1500	37,0	7,5	1024	23,2	43,0	0,96
1600	33,0	8,2	1024	23,9	44,0	0,96
1700	30,0	8,6	1025	24,5	43,0	0,96
1800	27,2	10,3	1025	25,1	45,1	0,97
1900	22,0	9,8	1026	26,0	40,0	0,97
2000	16,9	9,4	1028	26,8	33,2	0,98
2100	16,3	11,0	1028	27,1	34,5	0,98
2200	15,7	12,2	1028	29,0	34,9	0,98
2300	15,1	13,0	1028	30,2	34,0	0,98
2400	14,8	13,8	1029	31,5	34,0	0,98
2500	14,6	14,0	1029	32,0	33,0	0,98
2600	14,5	14,1	1029	32,6	32,5	0,99
2700	14,5	14,6	1029	33,6	31,7	0,99
2800	13,7	15,8	1030	34,2	34,3	0,99
2900	13,9	17,8	1030	35,8	35,8	0,99

Ensayos Punto a Punto (PaP), registro de datos manual:

Tabla A3.6: Ensayo PaP N°1 manual.

Ensayo l/ rpm	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Masa Comb [kg]	Hora Medición	SFC [g/kWh]	T aceite [°C]	T esc [°C]	T adm [°C]	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]	O2 [%vol]	NOx [ppm]
1570	7,2	44	15,041	8:51	230,00	62,4	276,9	22,8	5,948	10,17	97	2,30	265
1670	7,9	45	14,950	8:54	230,37	67,5	293,1	23,7	5,275	10,29	100	2,28	282
1800	8,1	44	14,827	8:57	248,48	78,9	324,9	26,0	5,235	10,52	105	2,05	300
1900	8,8	43	14,765	8:59	253,63	83,9	337,0	27,0	4,650	10,83	94	2,20	318
2000	9,2	42	14,667	9:01	255,65	90,3	365,0	28,4	4,010	11,83	86	2,14	320
2250	9,5	40	14,594	9:03	251,48	96,1	390,0	29,8	1,850	12,54	12	2,23	358
2450	10,0	37	14,500	9:05	260,30	103,1	424,0	31,5	1,017	13,27	0	2,10	354
2610	8,2	31	14,365	9:08	282,23	109,2	446,0	33,2	0,548	12,68	0	3,92	353
2800	9,0	30	14,340	9:09	250,00	112,5	409,0	34,6	0,049	8,68	2	9,57	368
2900	9,0	34	14,280	9:10	266,67	114,1	356,0	35,4	0,033	6,42	1	12,48	245
2950	9,8	30	14,243	9:11	271,84	113,8	315,0	35,2	0,026	5,37	1	13,90	178

Tabla A3.7: Ensayo PaP N°2 manual.

Ensayo 2/ rpm	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Masa Comb [kg]	Hora Medición	SFC [g/kWh]	T aceite [°C]	T esc [°C]	T adm [°C]	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]	O2 [%vol]	NOx [ppm]
1620	7,6	45	13,915	14:43	231,58	59,2	258,8	24,0	5,130	10,14	91	2,75	279
1780	8,3	43	13,846	14:45	230,21	66,0	287,0	25,0	4,555	10,48	74	2,73	311
1900	8,8	43	13,780	14:46	245,45	72,2	320,8	26,5	3,350	11,29	45	2,69	355
2100	9,0	42	13,659	14:49	254,74	84,0	373,8	29,5	1,238	12,54	6	2,86	385
2250	9,2	39	13,580	14:51	257,61	91,0	405,0	31,3	0,832	12,87	2	2,90	384
2390	9,0	37	13,502	14:53	260,00	96,6	426,8	32,8	0,750	13,03	2	2,72	367
2500	9,2	37	13,420	14:55	267,39	104,2	446,4	34,3	0,360	13,18	1	3,00	353
2610	8,2	30	13,352	14:57	271,39	109,2	451,3	35,5	0,117	12,28	1	4,58	362
2700	5,0	20	13,250	15:01	282,46	113,2	383,2	37,3	0,016	7,49	0	11,19	287
2820	5,0	23	13,190	15:04	270,00	114,0	332,0	37,1	0,016	5,98	1	13,17	212
2920	9,0	35	13,152	15:05	253,33	113,2	305,0	36,8	0,014	5,55	1	13,80	202
2950	10,2	33	13,125	15:05	272,27	110,6	284,4	36,6	0,008	5,26	0	14,21	185

Tabla A3.8: Ensayo PaP N°3 manual.

Ensayo 3/ rpm	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Masa Comb [kg]	Hora Medición	SFC [g/kWh]	T aceite [°C]	T esc [°C]	T adm [°C]	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]	O2 [%vol]	NOx [ppm]
1550	7,8	46	12,881	14:38	225,64	55,3	234,0	23,0	5,260	10,02	72	3,15	285
1680	8,0	45	12,808	14:40	234,64	63,3	274,6	24,6	4,970	10,16	90	2,77	283
1780	8,5	43	12,721	14:42	245,65	71,3	303,5	26,2	4,235	10,61	72	2,82	321
1900	9,0	42	12,575	14:46	253,91	85,0	355,0	29,6	3,379	11,25	59	2,70	346
2150	9,0	41	12,410	14:50	264,00	97,0	403,0	32,5	1,271	12,71	12	2,88	382
2230	9,3	40	12,350	14:51	258,06	101,8	419,6	33,7	0,695	12,82	10	3,18	381
2450	9,5	39	12,156	14:56	262,56	112,8	449,0	36,7	0,850	13,12	8	2,80	364
2500	9,4	38	12,080	14:58	264,60	116,0	458,0	37,4	0,560	12,90	0	3,20	366
2600	9,8	36	12,006	14:59	271,84	117,7	462,1	38,4	0,125	12,49	5	4,20	370
2700	6,2	22	11,932	15:02	268,55	120,5	432,2	39,3	0,041	9,26	5	8,69	303
2800	9,9	37	11,892	15:03	264,46	122,4	381,2	39,6	0,024	6,30	5	12,55	246
2950	10,5	37	11,856	15:04	274,29	122,5	332,5	39,5	0,009	5,80	0	13,85	196

Tabla A3.9: Ensayo PaP N°4 manual.

Ensayo 4/ rpm	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Masa Comb [kg]	Hora Medición	SFC [g/kWh]	T aceite [°C]	T esc [°C]	T adm [°C]	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]	O2 [%vol]	NOx [ppm]
1580	7,2	45	11,486	14:37	233,33	58,1	251,5	23,7	5,390	9,48	100	3,16	245
1720	8,4	46	11,402	14:39	230,76	61,2	278,0	25,1	4,300	10,38	68	3,04	308
1900	8,7	45	11,255	14:43	253,45	80,3	342,0	28,4	3,220	11,25	42	2,96	341
2050	8,9	43	11,176	14:45	266,29	87,2	370,0	29,9	1,520	12,18	7	3,14	368
2150	9,0	40	11,110	14:46	264,00	92,0	388,6	31,2	0,870	12,50	1	3,35	377
2250	9,2	39	11,028	14:48	267,39	99,0	419,4	33,0	0,560	12,65	1	3,52	362
2450	9,7	38	10,915	14:51	262,11	106,0,	446,8	34,8	0,328	12,89	1	3,41	369
2560	9,2	36	10,850	14:53	282,61	108,4	460,8	35,6	0,272	13,02	0	3,28	352
2650	9,3	35	10,777	14:54	282,58	114,2	463,5	36,9	0,104	11,87	0	5,05	348
2700	9,0	30	10,720	14:56	285,00	117,0	445,0	37,7	0,042	9,78	1	7,46	304
2850	11,0	36	10,675	14:57	245,45	117,4	396,0	38,3	0,016	7,00	1	11,78	282
2950	10,7	36	10,640	14:57	261,68	118,8	350,9	38,6	0,012	5,38	0	13,96	187

Tabla A3.10: Ensayo PaP N°5 manual.

Ensayo 5/ rpm	Potencia [kW]	Torque [Nm]	Masa Comb [kg]	Hora Medición	SFC [g/kWh]	T aceite [°C]	T esc [°C]	T adm [°C]	CO [%vol]	CO2 [%vol]	HC [ppm vol]	O2 [%vol]	NOx [ppm]
1650	8,8	43	10,270	10:57	235,23	69,3	294,0	25,0	4,100	10,45	71	3,40	325
2000	9,2	43	10,190	10:59	240,80	76,0	334,0	26,0	2,720	11,29	26	3,42	358
2140	9,5	42	10,120	11:00	241,15	81,8	362,9	27,1	1,670	12,01	12	3,43	369
2250	9,4	40	10,030	11:02	262,35	88,8	396,7	29,0	0,950	12,44	12	3,45	370
2430	9,3	39	9,901	11:05	277,42	100,7	424,0	31,5	0,236	12,28	11	4,40	381
2610	8,5	32	9,832	11:07	265,67	104,2	426,0	32,5	0,084	11,10	9	6,49	355
2700	7,5	27	9,771	11:09	266,18	106,5	412,2	33,6	0,048	9,43	10	8,43	324
2800	5,0	20	9,690	11:12	277,71	109,7	352,9	34,2	0,044	6,76	10	11,12	251
2930	10,9	37	9,645	11:12	247,71	109,5	312,0	34,1	0,037	5,25	10	14,0	186