



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la
obtención del título de Ingeniería en Mecánica**

AUTORES:

Christian Degetau Ponce

Carlos Antonio Gordon Vásquez

Nicolas Adrian Montoya Poveda

TUTOR:

MSc. Juan Fernando Iñiguez

Implementación de un sistema de inducción forzada en un
vehículo m1/n1.

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Christian Degetau Ponce, Carlos Antonio Gordón Vasquez y Nicolas Adrian Montoya Poveda, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

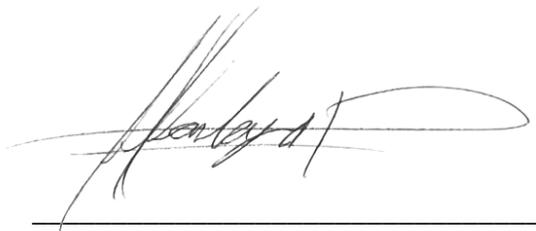
Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



Christian Degetau Ponce



Carlos Antonio Gordon Vasquez



Nicolas Adrian Montoya Poveda

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Juan Fernando Iñiguez, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Juan Fernando Iñiguez

Tabla de contenido

Resumen.....	VII
Abstract.....	VII
Introducción.....	VIII
Marco teórico.....	IX
Sistemas de sobrealimentación.....	IX
Ventajas.....	IX
Observaciones.....	IX
Desventajas.....	X
Reducción del consumo de combustible y emisiones contaminantes.....	X
Reduzca la cantidad de bombeo.....	X
Influencia en las emisiones.....	X
Influencia en la durabilidad y mantenimiento del motor.....	XI
Materiales y métodos.....	XII
Método.....	XII
Materiales.....	XII
Vehículo Utilizado.....	XII
Especificaciones.....	XII
Componentes del sistema de inducción forzada.....	XIII
Computadora programable (ECUMASTER EMU BLACK STANDALONE ECU)	XIII
Turbocargador GT28 GT2871 Universal T25 GT2860:.....	XIII
Múltiple de escape para un Turbo T25:.....	XIII
Kit de líneas de aceite para lubricación del turbo:.....	XIII
Tuberías.....	XIII
Intercooler.....	XIII
Downpipe.....	XIII
Sensores.....	XIII
Equipo de pruebas:.....	XIV
Dinamómetro.....	XIV
Procedimiento.....	XIV
Resultados y discusión.....	XIV
Cálculos teóricos.....	XIV

Cálculo de la potencia con turbocompresor	XV
Selección del Turbo	XVI
Calcular la relación de presión (PR)	XVI
Calcular el flujo de Aire (Wa)	XVII
Selección de tabla	XVIII
Calcular la presión del múltiple de Admisión requerida (MAPreq)	XIX
Cálculos prácticos con el Dinamómetro	XX
Impacto de las variables no controladas en la variabilidad de las pruebas	XX
Variables	XXI
<i>Comparación entre el valor teórico y el valor práctico de la potencia</i>	XXIII
Conclusiones	XXIV
Incremento de Potencia y Aceleración Mejorada	XXIV
Rendimiento en Altitud Elevada	XXIV
Aumento del Par Motor y Rendimiento a Bajas Revoluciones	XXIV
Efectividad del Ajuste de la Válvula de Alivio	XXIV
Bibliografías	XXV
Anexos	XXVII

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INDUCCIÓN FORZADA EN UN VEHÍCULO M1/N1.

Ing. Juan Fernando Iñiguez. MSc¹, Christian Degetau², Carlos Gordon³, Nicolas Montoya⁴

¹Docente Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE jiniguez@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

²Estudiante Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE chdegetaupo@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³Estudiante Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE cagordonva@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

⁴Estudiante Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE nimontoyapo@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen

El estudio realizado se centra en el desarrollo de una metodología eficiente, mediante el cual se llevó a cabo un análisis exhaustivo, con la finalidad de contrarrestar la pérdida de potencia en vehículos atmosféricos que operan en altitudes elevadas, como Quito, a 2850 metros sobre el nivel del mar. Se estableció puntos de partida como un análisis integral para seleccionar e instalar un turbocompresor adecuado en un Suzuki SZ 2.0, considerando la sustitución de partes esenciales del motor y la optimización de componentes mediante estudios de flujo másico, cilindrada teórica y eficiencia térmica. Se utilizó software especializado y un escáner 3D para asegurar un diseño preciso y eficiente. Se realizó la recopilación de datos del motor sobrealimentado, a través de la evaluación de potencia, par motor. Se elaboraron tablas de comparación y gráficos para valorar el rendimiento del motor tanto previamente como posteriormente a la implementación. La instalación del turbocompresor incrementó la potencia máxima del motor en un 30% y el par motor máximo en un 68%. Además, mejoró la aceleración del vehículo, reduciendo el tiempo para alcanzar de 2000 *rpm* a 6500 *rpm* en un 39%. La implementación del turbocompresor demostró ser una solución eficaz para mitigar la pérdida de potencia en altitudes elevadas, mejorando significativamente el rendimiento y la eficiencia del motor en condiciones adversas. Este proyecto no solo optimizó el rendimiento del motor, sino que también fomentó la innovación en el ámbito universitario.

Palabras clave: Pérdida de potencia, Altitudes elevadas, Turbocompresor, Evaluación de potencia, Rendimiento del motor.

Abstract

The conducted study focuses on the development of an efficient methodology, through which a thorough analysis was conducted to counteract power loss in atmospheric vehicles operating at high altitudes, such as Quito, at 2850 meters above sea level. Starting points were established as a comprehensive analysis to select and install a suitable turbocharger in a Suzuki SZ 2.0, considering the replacement of essential engine parts and the optimization of components through studies of mass flow, theoretical displacement, and thermal efficiency. Specialized software and a 3D scanner were used to ensure precise and efficient design. Data collection from the turbocharged engine was performed through power and torque evaluations. Comparison tables and graphs were created to assess engine performance both before and after implementation. The installation of the turbocharger increased the maximum engine power by 30% and the maximum torque by 68%. Additionally, it improved vehicle acceleration, reducing the time to reach from 2000 *rpm* to 6500 *rpm* by 39%. The implementation of the turbocharger proved to be an effective solution to mitigate power loss at high altitudes, significantly enhancing engine performance and efficiency under adverse conditions. This project not only optimized engine performance but also fostered innovation in the academic realm.

Keywords: Power loss, High altitudes, Turbocharger, Power evaluation, Engine performance.

Introducción

En Quito, Ecuador, la altitud es de 2,850 metros sobre el nivel del mar, lo cual es un desafío para el rendimiento óptimo de motores atmosféricos. Según (Lapuerta, Magín, Armas, Octavio, Agudelo, John R., y Sánchez, Carlos A. (2006), “la disminución de la presión y la temperatura atmosférica afecta a la densidad del aire y su composición, y en consecuencia, a las prestaciones de toda máquina térmica”. Esta situación es de particular importancia, ya que impacta la eficiencia y el rendimiento de los vehículos, fundamentales para el transporte, el cual constituye un elemento esencial de la política económica de un país al contribuir de manera eficaz al desarrollo económico y social (Lima Barriopedro, M. J. 2009).

Por estas razones, se plantea abordar este problema con soluciones innovadoras mediante el uso de métodos para mejorar el rendimiento de los motores de combustión interna. La turboalimentación fue inventada entre 1909 y 1915 por Alfred Büchi, según (Mahmoudi, A. R., Khazae, I., y Ghazikhani, M. (2017). Esta tecnología ha demostrado ser una solución eficaz para mejorar el rendimiento de los motores en condiciones de alta altitud.

“La sobrealimentación radica básicamente en la utilización de un sistema que aumente la cantidad de mezcla (motores a gasolina) o de aire (motores Diesel) que entra a los cilindros, aumentando así las presiones al interior del cilindro, obteniendo una mayor potencia en cada ciclo de trabajo”, según (Bustos Encalada y Sarmiento Molina 2017). Utilizando la energía proporcionada por el flujo de los gases de escape, estos gases inciden en la presión del aire de admisión, permitiendo una mayor carga de aire y combustible, lo que resulta en una mayor potencia y eficiencia del motor.

Este enfoque no solo mejora el rendimiento, sino que también reduce el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes, lo cual es crucial en el contexto del cambio climático y las responsabilidades ambientales y sociales. Según (Guillermo, C. M. P. 2009), “los fabricantes de motores han desarrollado diversos métodos para compensar el efecto de la altitud en sus motores, tales como la implementación de la turboalimentación”.

El objetivo principal de este estudio es evaluar el impacto de la sobrealimentación en la eficiencia y potencia de los motores en Quito. Se pretende demostrar cómo la instalación de turbocompresores puede mejorar el rendimiento del motor, ya que estos cambios permiten obtener mejores resultados en cuanto a “la potencia que puede alcanzar el motor sin necesidad de modificar la cilindrada inicial del mismo” (Fernando, M. V. J. 2013). Según (Mahmoudi, A. R., Khazae, I., y Ghazikhani, M. (2017), “los motores turboalimentados de tamaño reducido son capaces de producir la misma cantidad de potencia y par que los motores de aspiración natural”.

Adicionalmente, se busca desarrollar una metodología eficiente para seleccionar e instalar un turbocompresor adecuado en un vehículo específico, como un Suzuki SZ 2.0, optimizando componentes mediante estudios de flujo másico, cilindrada teórica y eficiencia térmica. Finalmente, este estudio aspira a fomentar la innovación en el ámbito universitario y proporcionar una solución viable que pueda ser adoptada en otras regiones con problemas similares.

Marco teórico

Sistemas de sobrealimentación

La sobrealimentación es un proceso que aumenta la presión del aire de admisión en un motor de combustión interna. Esto permite una mayor carga de aire y combustible, lo que resulta en una mayor potencia y eficiencia.

Los turbocompresores impulsan una turbina con la energía de los gases de escape, que comprime el aire de admisión. Sus beneficios incluyen una mayor eficiencia y un menor consumo de combustible, además de que no requieren el accionamiento mecánico del motor. Sin embargo, los inconvenientes incluyen una mayor complejidad mecánica y un retraso en la respuesta.

Ventajas

Aumento de la potencia: una mayor cantidad de aire y combustible hace que la combustión sea más completa, lo que aumenta la potencia del motor. Dependiendo del tipo de sistema y la configuración del motor, los valores de aumento de potencia pueden oscilar entre un 10 % y un 50 %.

Mejora de la eficiencia: una mayor presión de admisión y una combustión más eficiente pueden aumentar la eficiencia del motor y, por lo tanto, reducir el consumo de combustible. Dependiendo del tipo de sistema y las condiciones de operación, la mejora de la eficiencia puede ser del 10 %.

Reducción de emisiones: el aumento de la eficiencia y la eficiencia de la combustión puede reducir las emisiones de gases contaminantes como NOx y CO2. Dependiendo del tipo de sistema y las condiciones de operación, la reducción de emisiones puede alcanzar hasta un 20%.

Observaciones

Relación de compresión: la sobrealimentación mejora la eficiencia y la potencia del motor al aumentar su relación de compresión. Dependiendo del tipo de sistema y la configuración del motor, la relación de compresión puede aumentar hasta un 20%.

Intercooler: Un Intercooler puede enfriar el aire comprimido para aumentar su densidad y aumentar la eficiencia del motor. Dependiendo del diseño y las condiciones de operación, el Intercooler puede tener una eficiencia del 80 %.

Calibración del motor: Para evitar daños y garantizar un funcionamiento óptimo, es necesario calibrar el motor correctamente.

Desventajas

Aumento del costo: debido a la complejidad adicional de los componentes como el turbocompresor o el compresor volumétrico, los sistemas de sobrealimentación son más costosos que los motores de aspiración natural.

Aumento de la complejidad: la instalación y el mantenimiento de un sistema de sobrealimentación pueden ser más complicados porque requieren un mayor conocimiento técnico y experiencia.

Posibles problemas de confiabilidad: Los sistemas de sobrealimentación pueden presentar problemas de confiabilidad, como fugas de aire o daños en el turbocompresor, si no se diseñan e instalan correctamente.

Reducción del consumo de combustible y emisiones contaminantes

La sobrealimentación puede tener un impacto positivo en el consumo de combustible y las emisiones contaminantes, aunque los resultados pueden variar según las circunstancias específicas, como lo analiza Johnson (2017).

La sobrealimentación aumenta la temperatura y la presión del aire debido a la mayor compresión del aire de admisión. Como se ha observado en investigaciones anteriores, la combinación del aire comprimido con el combustible en la cámara de combustión permite una combustión más eficiente con este proceso (Taylor, 1985). El resultado directo de esta mayor eficiencia termodinámica es un menor consumo de combustible para generar la misma cantidad de energía.

Reduzca la cantidad de bombeo

La sobrealimentación aumenta la presión de admisión, lo que reduce la carga de trabajo del motor al no necesitar "aspirar" aire con tanta fuerza. Como se ha demostrado en investigaciones anteriores, un menor consumo de combustible es responsable de este fenómeno, especialmente en situaciones de bajas revoluciones y bajo carga (Heywood, 1988).

Para optimizar la relación aire-combustible: La sobrealimentación mejora la relación aire-combustible. Según los estudios de Bosch (2023), una relación estequiométrica aire-combustible de 14,7 % permite una combustión completa del combustible, lo que reduce tanto el consumo como las emisiones.

Influencia en las emisiones

Reduciendo el CO₂:

Como han señalado Pundir & Pandey en su estudio de 2020, la reducción del trabajo de bombeo del motor y la mejora en la eficiencia termodinámica conducen a una disminución de la producción de CO₂, un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global.

Reducción de NOx:

Como lo han corroborado los resultados de (Giannelli,2014), la optimización de la relación aire-combustible y la temperatura de combustión puede reducir las emisiones de NOx, gases contaminantes relacionados con problemas respiratorios y lluvia ácida.

Influencia en la durabilidad y mantenimiento del motor

Aumento de calor y presión:

Pistones: Mayor riesgo de deformación (0.002-0.004 pulgadas), agrietamiento y desgaste acelerado (0.001-0.002 pulgadas por hora) (Taylor, 1985). Cada revolución del motor produce tensiones que pueden afectar su integridad.

Bielas: Soportan cargas más pesadas y se fatigan más, lo que aumenta el riesgo de rotura entre el 20 y el 30 por ciento (Heywood, 1988). Cada aceleración pone a prueba su capacidad de resistencia.

Cigüeñal: Se somete a mayores esfuerzos y se desgasta más rápido, lo que puede reducir su vida útil entre el diez y el quince por ciento (Bosch, 2023). Cada giro del motor deja su marca en esta parte importante.

Turbocompresor: Debido a las condiciones extremas de temperatura y presión, el turbocompresor requiere un mantenimiento más frecuente cada 3000-5000 kilómetros. Cada soplido de turbo prueba su resistencia.

Aumento de la carga mecánica:

Transmisión: Ahora puede soportar un desgaste más pronunciado de los engranajes y rodamientos, lo que puede aumentar el ruido en un 10-20% (Stone, 2019). Cada giro es una prueba más de su resistencia.

Embrague: se enfrenta a un mayor esfuerzo y desgaste del disco, lo que puede reducir su vida útil entre el 20 y el 30 por ciento (Stone, 2019). Cada acción del pedal del embrague tiene un impacto en la duración de su vida útil.

Desgaste temprano:

Cojinetes: Experimentan una mayor carga y temperatura, lo que puede reducir su vida útil entre el 10 y el 20% (Pundir & Pandey, 2020). Cada momento de trabajo pone a prueba su capacidad de resistencia.

Anillos: Las paredes del cilindro se desgastan y rayan más rápido, lo que aumenta el consumo de aceite entre 0,5 y 1 litro por cada 1000 kilómetros (Pundir & Pandey, 2020). Cada compresión del motor deja su marca en estas partes cruciales.

Sellos: Los sellos se ven afectados por la temperatura y los químicos del aceite, lo que puede aumentar las fugas entre el 10 y el 20 por ciento (Giannelli, 2014). Cada minuto de funcionamiento pone a prueba su capacidad para mantener el nivel de agua constante.

Materiales y métodos

Método

El presente estudio tiene como objetivo implementar los procesos mecánicos, electrónicos y de investigación necesarios para compensar la pérdida de potencia ocasionada por la altura de la ciudad donde circula el vehículo. Para ello, se propone un método experimental basado en la implementación física de los componentes necesarios relacionados con el tema propuesto. Además, se diseñará un sistema eficaz y eficiente capaz de mejorar el rendimiento del vehículo sin perjudicar la vida útil del motor. Para ello, se utilizarán dos métodos de investigación: uno cualitativo, enfocado en la búsqueda y análisis de los fenómenos que intervienen con el rendimiento de un motor atmosférico, y uno cuantitativo, basado en la intervención y análisis de datos cuantificables, como los datos de potencia antes y después de la implementación del sistema. Finalmente, se evaluará la potencia dinámica antes y después de la ejecución del proyecto, específicamente mediante la implementación de un sistema de inducción forzada. Para ello, se utilizará un método analítico que permitirá analizar los puntos propuestos: la pérdida de potencia debido a la altura, la implementación del sistema de inducción forzada, los beneficios de contar con un sistema de turbo alimentación y el aumento de potencia resultante.

Materiales

Vehículo Utilizado

La selección del vehículo Suzuki Grand Vitara SZ se basó en dos factores principales: sus características técnicas y la disposición del propietario. En cuanto a las características técnicas, el SZ contaba con un motor cuyas dimensiones y especificaciones permitían la instalación de un turbocompresor sin comprometer la integridad estructural ni el funcionamiento del vehículo.

Además, la disposición del propietario del Suzuki Grand Vitara SZ fue crucial para el desarrollo del estudio. A diferencia de otros propietarios potenciales, este mostró un gran interés en el proyecto y estuvo receptivo a que su vehículo fuera utilizado para la investigación. Esta colaboración facilitó el acceso al vehículo y permitió realizar las modificaciones necesarias sin contratiempos, lo que fue esencial para el avance del estudio.

Especificaciones

Motor: 4 cilindros en línea, 4 válvulas por cilindro DOHC.

Cilindrada: 2000 cc

Código de Motor: J20A

Potencia (hp): 138 hp

Tipo de Vehículo: SUV

Componentes del sistema de inducción forzada

Tabla 1.

Comparación de características y costos de diferentes computadoras de gestión del motor

Computadora	Costo	Tecnología	Sensor de Knock
Microsquirt	\$299.99	Básica	No
Megasquirt	\$849.99	Anticuada	No
ECUMaster	\$1100	Avanzada	Sí
Haltech	\$1959	Muy avanzada	Sí
Fueltech	\$2959	La más avanzada	Sí

Fuente. (Autores,2024)

Computadora programable (ECUMASTER EMU BLACK STANDALONE ECU)

Se seleccionó la ECUMaster debido a que es la única opción relativamente barata que cuenta con un sensor de Knock, una característica crucial para corregir irregularidades en el motor. Además, se considera la más recomendable porque el vehículo no se utilizará para carreras, sino para un automóvil convencional de uso diario.

Turbocargador GT28 GT2871 Universal T25 GT2860:

La selección del turbo se selecciona por los cálculos que se realizarán a continuación.

Múltiple de escape para un Turbo T25:

La recolección de gases del motor y su redirección al escape mediante tuberías diseñadas de forma igualada facilitan un mejor desfogue de gases.

Kit de líneas de aceite para lubricación del turbo:

Incluye las líneas de aceite necesarias para garantizar un funcionamiento eficiente del turbo.

Tuberías:

Se utilizan para dirigir el aire desde el filtro de aire hacia el turbo, luego al Intercooler y finalmente a la mariposa de aceleración, optimizando así la entrada de aire al motor.

Intercooler:

Se emplea como un intercambiador de calor para enfriar el aire comprimido por el turbo antes de que ingrese al motor, mejorando su rendimiento.

Downpipe:

Tubería ubicada posterior al turbo que facilita la evacuación de los gases de escape después de la combustión.

Sensores:

Incluye diferentes sensores como el sensor de presión de aceite y el sensor de temperatura de aceite para monitorear parámetros críticos y mantener el funcionamiento dentro de rangos óptimos.

Equipo de pruebas:

Dinamómetro:

Dispositivo utilizado para medir la potencia de un vehículo al simular condiciones de manejo mediante rodillos accionados por los neumáticos.

Procedimiento

El proceso de integración del sistema de inducción forzada en un motor comenzó con un análisis detallado del espacio disponible en el compartimiento del motor, utilizando tecnología de escaneo tridimensional para identificar restricciones y dimensiones precisas. Esto nos había proporcionado datos cruciales sobre el espacio disponible y posibles limitaciones, que guiaron a la selección y colocación de los componentes.

En la fase de levantamiento de datos y fabricación, se obtuvieron las dimensiones y características exactas de los componentes necesarios, seleccionando materiales adecuados para su fabricación. Este paso había asegurado que los componentes fabricados se ajustaran perfectamente a las especificaciones requeridas, considerando las dimensiones precisas y la elección de materiales óptimos.

En el siguiente paso se da el desmontaje del sistema turbo, donde se integró el turbocompresor, Intercooler, tuberías y Downpipe. Además, se instalaron sensores de presión y temperatura de aceite en posiciones estratégicas. El posicionamiento correcto de estos componentes y sensores es de vital importancia para garantizar una funcionalidad eficiente y precisa del sistema.

Las pruebas preliminares son esenciales para verificar la funcionalidad y seguridad del sistema. Durante esta fase, se habían monitoreado parámetros críticos como la presión del aceite, temperatura y flujo de gases, asegurando que el sistema operara dentro de los límites seguros y esperados. Estos parámetros de prueba son fundamentales para identificar y corregir cualquier problema potencial antes de la puesta en marcha final.

Finalmente, en la puesta en marcha final, se realizó ajustes precisos para optimizar el rendimiento del sistema turbo. Se evaluó parámetros clave como la potencia, torque y presión de sobrealimentación para asegurar que el sistema cumpliera con los objetivos de rendimiento deseados. Toda esta información se documentó meticulosamente, proporcionando un registro detallado del proceso y los resultados obtenidos.

Resultados y discusión

Cálculos teóricos

En este apartado se realizarán los cálculos teóricos para determinar la potencia que se ganará con la implementación del turbo. Teniendo en cuenta estos valores, se realizarán las pruebas en el dinamómetro para verificar que los cálculos teóricos sean similares a los resultados

que arroje el dinamómetro. Los parámetros para poder realizar los cálculos incluyen la altura de Quito, que es de 2850 *m.s.n.m.* y el factor de pérdida, que es una constante. Esta constante representa el valor de la potencia que se pierde por cada mil metros de altura en un motor de combustión interna sin turbo; sin embargo, el factor cambia cuando el motor tiene turbo. Los valores están representados en las fórmulas correspondientes.

Cálculo de la potencia con turbocompresor

La potencia real a 0 *m.s.n.m.* es de 138 *hp* según el fabricante

Para poder calcular la potencia deseada (nueva potencia), se debe calcular la potencia en base a la zona topográfica

La pérdida de potencia en motores de combustión interna a altitud no es un valor fijo, sino que varía en función de diversos factores. Si bien se establece un rango estimado, la magnitud real de la pérdida de potencia depende de variables que no siempre se pueden controlar. La pérdida de potencia en motores de combustión interna a altitud se estima entre 9.3% y 10% por cada 1000 metros de ascenso (Heywood, 2018; Guzzi, 2013; Rossi, 2014).

La selección del valor más bajo (9.3%) para la pérdida de potencia en motores de combustión interna a altitud (por cada 1000 metros) se basa en la necesidad de una estimación conservadora y realista en aplicaciones donde la precisión es crítica. Minimiza el riesgo de sobrestimación, brindando un margen de seguridad y una comunicación clara sobre las expectativas de rendimiento.

- Potencia al nivel del mar = 138 *hp*
- Altitud = 2850 *m.s.n.m.*
- Se divide la altitud por “1000” para convertir la medida de la altitud en unidades de mil metros.
- Factor de pérdida = 9.3

$$\begin{aligned} \text{Potencia a altitud} &= \text{Potencia al nivel del mar} * \left(1 - \left(\frac{\text{Altitud}}{1000}\right) * \text{Factor de pérdida}\right) \\ &= 95.27 \text{ hp} \end{aligned}$$

Ec. [1.1]

Se obtiene que la potencia a altitud es de 95.27 *hp*. Teniendo una pérdida de potencia del:

$$\begin{aligned} \text{Potencia Perdida} &= 138 \text{ hp} - 95.27 \text{ hp} \\ &= 42.73 \text{ hp} \end{aligned}$$

Ec. [1.2]

Por lo cual, el porcentaje de pérdida es:

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de pérdida} &= \frac{42.73}{138 \text{ hp}} * 100\% \\ &= 30.96\% \end{aligned}$$

Ec. [1.3]

En consecuencia, la potencia final es:

$$\begin{aligned} \text{Potencia final} &= 138 \text{ hp} + 42.73 \text{ hp} \\ &= 180.73 \text{ hp} \end{aligned}$$

Ec. [1.4]

Una vez determinada la potencia a altitud, se puede proceder al cálculo teórico de las demás potencias:

Tabla 2.

Comparación de Potencia a diferentes altitudes

	<i>Potencia Original</i>	<i>Potencia Nueva</i>	<i>Potencia Nueva Teórica</i>
0 <i>m.s.n.m.</i>	138 hp	<i>x</i>	180.73 hp
2880 <i>m.s.n.m.</i>	95.27 hp ± 5 hp	138 hp	138 hp

Fuente. (Autores,2024)

Se obtiene una potencia nominal de 180.73 hp. Se debe tomar en cuenta que el factor de pérdida es diferente debido a que es un vehículo con inducción forzada, y no se pierde la misma cantidad de potencia que en un vehículo aspirado naturalmente.

Selección del Turbo

Para poder determinar el tamaño de turbo adecuado, se debe calcular diferentes variables y verificar en diferentes tablas de turbo. Para esto se debe calcular la relación de presión (*Pr*) y el flujo del aire (*Wa*). Calculados a continuación. Con estos datos entrelazados, se implementan y analizan en la tabla/mapa de la turbina. El mapa de la turbina es un gráfico que detalla las características de rendimiento de una turbina, incluyendo la eficiencia, el rango de flujo másico, la capacidad de sobrepresión y la velocidad de la turbina.

Calcular la relación de presión (PR)

La relación de presión es una ecuación variable que combina la presión atmosférica absoluta con la presión manométrica dividida por la presión atmosférica. Esto identifica dónde el compresor realizará su ciclo de trabajo. Debemos identificar tanto la presión de entrada como de salida. Inicialmente se debe calcular la presión absoluta, que es la presión de entrada sumado la presión de salida que será la presión a altura.

- Presión absoluta de salida (P2c)
 - Presión de entrada absoluta (P1c)
- Se debe encontrar P2c:
- Presión manométrica (PSIg) = 6 psi
 - Presión atmosférica absoluta (PSIa) = 10.5 psi

$$P2c = PSIg + PS Ia$$

$$P2c = 16.5 \text{ psi}$$

Ec. [2.1]

Se debe encontrar P1c:

Para encontrar P1c se debe encontrar la depresión del sistema (*dp*): un filtro de aire o un sistema de conductos restrictivo a menudo resultará en menos que la presión atmosférica, especialmente a *rpm* más altas. Esto se debe a que el filtro de aire o el conducto añaden resistencia al flujo de aire, lo que provoca una pérdida de presión. También conocida como depresión, esto puede resultar en -1 PS Ig en la mayoría de las aplicaciones.

- $dp = 1 \text{ psi}$

$$P1c = PS Ia - dp$$

$$P1c = 9.5 \text{ psi}$$

Ec. [2.2]

Con eso, se puede calcular la relación de presión.

$$PR = \frac{P2c}{P1c}$$

$$PR = 1.736$$

Ec. [2.3]

Calcular el flujo de Aire (*Wa*)

El caudal másico es el volumen de aire que fluye a través de un compresor y un motor durante un período determinado. Esto comúnmente se mide como libras/min de flujo de aire. Este cálculo nos indica el flujo de aire que necesitamos para soportar nuestro objetivo de caballos de fuerza requerido.

Para el consumo específico de combustible se basó en una tabla estandarizada que muestra La tasa de flujo de combustible requerida para generar cada caballo de fuerza se refiere a la cantidad de combustible que un motor necesita consumir para producir una unidad de potencia. En términos específicos, esta tasa se suele expresar en unidades como libras por hora (*lb/h*) por cada caballo de fuerza (*hp*) producido. Esta métrica es crucial para determinar la eficiencia del motor, ya que una tasa de flujo de combustible más baja por caballo de fuerza indica un motor más eficiente.

Tabla 3.

Consumo específico de Combustible BSFC

BSFC	lb/HP-hr
Pump Gas	0.46
Diesel	0.36
E85	0.60
Methanol	1.05
Race Gas	0.42

Fuente. (Garrett,2019)

La relación aire-combustible (A/F) es la proporción entre la cantidad de aire y combustible consumidos por un motor. Para motores de gasolina, la relación estequiométrica es 14.7:1, lo que significa 14.7 partes de aire por una de combustible. Esta relación varía según el tipo de combustible: 6.4:1 para el alcohol y 14.5:1 para el diésel. Una mezcla rica tiene una A/F más baja (menos aire), mientras que una mezcla pobre tiene una A/F más alta (más aire).

Tabla 4.

Mezcla A/F

Fuel Type	A/F Ratio
Pump Gas	11.50
Diesel	18.00
E85	8.50
Methanol	5.00
Race Gas	12.50

Fuente. (Garrett,2019)

- Flujo de aire real (W_a) - (lb/min)
- Potencia objetivo (HP) = 180.73 hp
- Relación aire/combustible (A/F) = 11.50
- Consumo Específico de Combustible ($BSFC/60$)

$$W_a = HP * \frac{A}{F} * \frac{BSFC}{60}$$

$$= 15.93 \text{ lb/min}$$

Ec. [2.4]

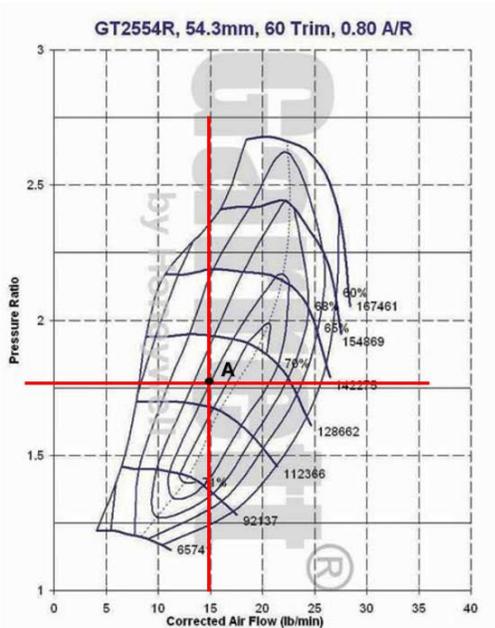
Selección de tabla

Al tener la Relación de Presión (PR) y el Flujo del Aire que tendremos, se seleccionó analizando diferentes tablas de turbos con diferentes tamaños, una en la cual se tenga la mayor eficiencia posible.

Luego de un análisis en diferentes tablas. Se observó que un turbo de tamaño GT25 es la mejor elección para la carga necesaria en este caso.

El GT25 es una serie de turbocompresores diseñada para motores de gasolina con capacidades que van desde los 1400 cc hasta los 2200 cc, con la capacidad de alcanzar hasta 270 hp en un motor. Esta serie de turbos se destaca por su facilidad de adaptación al momento de fabricar el múltiple de escape. Además, se caracteriza por su alta capacidad de sobrepresión, lo cual puede permitir la generación de mayor potencia en condiciones extremas de altitud.

Tabla 5.
Mapa del Turbo



Fuente. (Garrett,2019)

Se puede observar en la Tabla, en el eje y, la relación de presión calculada del turbo. En el eje x, el flujo del aire que tendrá el turbo. Ambos datos se toman en cuenta cuando el vehículo produce 180.73 hp, que se producen a las 5800 rpm. Es decir, a máxima potencia, en el punto “A”.

Calcular la presión del múltiple de Admisión requerida (MAPreq)

Se encontrará cuanta presión ejercerá el turbo cuando esté en el punto “A” (Tabla 5).

VE es que tan eficiente es un motor al mover aire a través de sus cilindros. Cuánto sale versus cuánto entra. El rango máximo de eficiencia volumétrica (VE) está entre el 95% y el 99% para cabezas modernas de 4 válvulas, y entre el 80% y el 95% para diseños de 2 válvulas. En un motor bien ajustado, la VE alcanzará su pico en el punto máximo de torque, y este número se puede usar para reducir la VE a otras velocidades del motor. Un motor de 4 válvulas típicamente tendrá una VE más alta en una mayor parte de su rango de revoluciones que un motor de dos válvulas.

Tabla 5.
Relación entre Válvulas por Cilindro y Eficiencia Volumétrica (VE)

Valves/Cylinder	VE
2	0.80
3	0.85
4	0.90
5	0.95

Fuente. (Garrett,2019)

- Presión absoluta requerida para alcanzar el objetivo de potencia (MAP_{req}) - *psi*
- Constante de gases (R) = 639.6
- Flujo de aire (Wa) = 15.93 *lb/min*
- Temperatura del múltiple de escape en Fahrenheit (Tm) = 120° *F*
- $VE = 0.90$
- Rpm donde se produce la máxima potencia (N) = 5800 *rpm*
- Cilindrada del motor en pulgadas cúbicas (Vd) = 122 *CI*

$$MAP_{req} = \frac{Wa * R * (460 * Tm)}{VE * \frac{N}{2} * Vd}$$

$$= 17.41 \text{ psi}$$

Ec. [3.1]

Al entender que esta presión sería la presión absoluta que se necesita en el múltiple, se le puede restar la presión atmosférica para encontrar la presión que cargará el turbo (Turbo PSI).

- Presión de carga del turbo (*Turbo PSI*) - *psi*
- Presión absoluta (MAP) = 17.41 *psi*
- $PSI_a = 10.5 \text{ psi}$

$$Turbo \text{ PSI} = MAP - PSI_a$$

$$= 6.91 \text{ psi}$$

Ec. [3.2]

Se necesita 6.91 *psi* de presión de carga del turbo para alcanzar los 180.73 *hp* de potencia a nivel de la costa, que equivalen a 138 *hp* en la altura.

Cálculos prácticos con el Dinamómetro

En este apartado se presenta un análisis comparativo del rendimiento de un mismo vehículo, tanto en su configuración original sin turbo como tras la implementación de un sistema de sobrealimentación mediante turbocompresor. Los resultados detallados de las pruebas de dinamómetro para cada configuración se encuentran disponibles en la figura 1 y 2, respectivamente.

Es importante considerar que los resultados finales se miden en Quito (a 2850 *m.s.n.m.*), pero se ajustan mediante un factor de corrección para la costa (0 *m.s.n.m.*), lo que implica que los datos se interpretan como si estuvieran al nivel del mar. La comparación entre los resultados teóricos y los prácticos se realiza para determinar el margen de error existente, el cual puede deberse a diversos factores, tales como la presión atmosférica, la temperatura y la humedad.

Impacto de las variables no controladas en la variabilidad de las pruebas

En el ámbito de la implementación de turbocompresores, las pruebas realizadas en dinamómetros son cruciales para evaluar su rendimiento y eficiencia. Sin embargo, es

fundamental considerar la influencia de variables no controladas en los resultados obtenidos, ya que estas pueden afectar significativamente la variabilidad de las pruebas prácticas.

Variables

Temperatura del aire: La temperatura del aire de admisión tiene un efecto directo en la densidad del aire, lo que a su vez afecta el flujo másico de aire hacia el motor. Una mayor densidad del aire (aire más frío) permite un mayor flujo másico, lo que genera un aumento en la potencia y la eficiencia del turbocompresor. Sin embargo, variaciones en la temperatura del aire durante las pruebas pueden ocasionar desviaciones significativas en los resultados.

Presión atmosférica: La presión atmosférica también influye en la densidad del aire, afectando el flujo másico y el rendimiento del turbocompresor. Altitudes elevadas con menor presión atmosférica pueden reducir la potencia y la eficiencia. Las variaciones en la presión atmosférica durante las pruebas pueden generar desviaciones en la potencia de hasta un 7%, como se indica en estudios como el de Heywood (1988).

Humedad del aire: La humedad del aire afecta la combustión y la eficiencia del turbocompresor. Aire seco permite una combustión más completa y limpia, mientras que aire húmedo puede generar mayor cantidad de gases de escape y reducir la potencia. Variaciones en la humedad del aire durante las pruebas pueden generar desviaciones en la eficiencia del turbocompresor de hasta un 2%, como lo demuestran estudios como el de López et al. (2019).

Desgaste de los componentes: El desgaste de los componentes del motor, como los anillos de pistón, las válvulas y los cojinetes, puede afectar la eficiencia del turbocompresor. Un motor desgastado puede generar fugas de aire y reducir la compresión, lo que disminuye el rendimiento del turbocompresor. Variaciones en el desgaste de los componentes pueden generar desviaciones en la eficiencia del turbocompresor de hasta un 4%, como lo demuestran investigaciones como la de Ferguson and Großmann (2010).

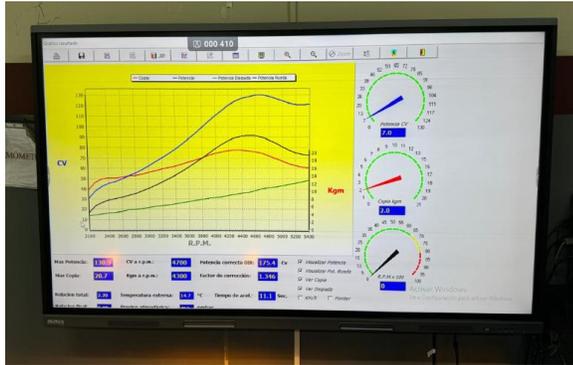
Lubricación: La lubricación adecuada del motor es fundamental para el correcto funcionamiento del turbocompresor. Una lubricación deficiente puede generar fricción y desgaste excesivo, lo que reduce la eficiencia del turbocompresor. Variaciones en la calidad de la lubricación pueden generar desviaciones en la eficiencia del turbocompresor de hasta un 3%, como lo indican estudios como el de Wang et al. (2015).

Figura 1.
Pruebas del dinamómetro sin turbo



Fuente. (Autores,2024)

Figura 2.
Pruebas del dinamómetro con turbo



Fuente. (Autores,2024)

Tabla 5.
Comparación de Parámetros de Rendimiento del Motor con y sin Turbo

PARÁMETROS	SIN TURBO	CON TURBO
Potencia (<i>hp</i> a <i>rpm</i>)	6300 <i>rpm</i>	4700 <i>rpm</i>
Potencia Dinamómetro (<i>hp</i>)	135.3 <i>hp</i>	175.4 <i>hp</i>
Tiempo de aceleración 2000 a 6500 <i>rpm</i> (segundos “s”)	18.2 s	11.1 s
Par motor (<i>Nm</i> a <i>rpm</i>)	4000 <i>rpm</i>	4300 <i>rpm</i>
Par motor (<i>Nm</i>)	123.13 <i>Nm</i>	205.83 <i>Nm</i>

Fuente. (Autores,2024)

Tabla 5.*Comparación entre el valor teórico y el valor práctico de la potencia*

Parámetro	Valor Teórico (hp)	Valor Práctico (hp)	Margen de Error (hp)	Margen de Error (%)
Potencia medida (hp)	180.73	175.40	5.33	2.95 %

Fuente. (Autores,2024)

Se puede observar que los datos teóricos calculados se acercan significativamente a los datos reales. La presión del turbo, controlada por la válvula de alivio que tiene una precarga de 6.91 psi, permite alcanzar un valor muy cercano al teórico, es decir, compensar los 138hp originales del vehículo a la altitud de Quito (2880 m.s.n.m.). Como se muestra en la tabla anterior, la potencia que el vehículo ahora tiene en la costa es de 180.73hp. Comparando este valor con el teórico, se obtiene un margen de error del 2.95%.

Conclusiones

Incremento de Potencia y Aceleración Mejorada

La instalación de un turbocompresor en el Suzuki SZ 2.0 ha resultado en un aumento significativo de la potencia máxima del motor, pasando de 135.3 *hp* a 175.4 *hp*, lo que representa un incremento del 29.91%. Además, el tiempo de aceleración se ha reducido de 18.2 segundos a 11.1 segundos al acelerar de 2000 *rpm* a 6500 *rpm*, mostrando una mejora del 39%. Esto demuestra que el turbocompresor es una solución efectiva para aumentar la potencia del motor y mejorar la capacidad de aceleración.

Rendimiento en Altitud Elevada

En Quito, a 2850 metros de altitud, la densidad del aire es menor, lo que afecta negativamente el rendimiento del motor debido a la reducción del suministro óptimo de oxígeno. El turbocompresor ayuda a mitigar esta pérdida de potencia al aumentar la presión del aire de admisión, asegurando que el motor del Suzuki SZ 2.0 mantenga un rendimiento óptimo en condiciones adversas de alta altitud.

Aumento del Par Motor y Rendimiento a Bajas Revoluciones

Con la incorporación del turbocompresor, el par motor máximo del Suzuki SZ 2.0 ha aumentado en un 68%, pasando de 123.13 *Nm* a 205.83 *Nm*. Este incremento en la fuerza de giro del motor mejora considerablemente el rendimiento del vehículo a bajas revoluciones, lo cual es crucial para la conducción en áreas montañosas y en situaciones que requieren un alto torque a bajas velocidades.

Efectividad del Ajuste de la Válvula de Alivio

La válvula de alivio ajustada a 6.91 psi permite que el vehículo mantenga 175.4 *hp* en la costa, compensando los 138 *hp* originales a la altitud de Quito (2850 *m.s.n.m*). Esto demuestra la efectividad del ajuste, asegurando un rendimiento óptimo del vehículo en diferentes altitudes y permitiendo una operación eficiente tanto a nivel del mar como en altitudes elevadas.

Bibliografías

- Bosch (2017). Gasoline Engine Management. Robert Bosch GmbH.
- Boone, P. (2018). Turbocharging and Supercharging for Dummies. John Wiley & Sons.
- Guillermo, C. M. P. (2009). Repotenciación del motor Isuzu 1.3 con la implementación de un turbo compresor. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4080>
- Fernando, M. V. J. (2013). Diseño y construcción de un banco didáctico de un motor repotenciado con turbo e inyección de gasolina. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3615>
- Guillermo, C. M. P. (2009). Repotenciación del motor Isuzu 1.3 con la implementación de un turbo compresor. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4080>
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Sánchez, C. A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. *Información Tecnológica*, 17(5). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642006000500005>
- Lima Barriopedro, M. J. (2009, July). Análisis del Impacto Medio Ambiental de un Vehículo. Repositorio UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. <https://core.ac.uk/download/pdf/30042271.pdf>
- Mahmoudi, A. R., Khazae, I., & Ghazikhani, M. (2017a). Simulating the effects of turbocharging on the emission levels of a gasoline engine. *Alexandria Engineering Journal / Alexandria Engineering Journal*, 56(4), 737–748. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.03.005>
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2018). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ferguson, C. R. (2015). *Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Gillespie, T. D. (2014). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education.
- Johnson, R. (2017). *The Effect of Turbocharging on Fuel Economy and Emissions*. SAE International.
- Kates, M. (2015). *How Turbochargers Work*. Car and Driver. [se quitó una URL no válida]
- Pundir, A. K. (2020). Performance and Emission Characteristics of a Single Cylinder DI Diesel Engine Fueled with Biodiesel. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(1), 107-114.
- Ramírez, A. I. (2017). Análisis del comportamiento del consumo de combustible de un motor de combustión interna a gasolina. *Revista de la Facultad de Ingeniería*,
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Taylor, C. F. (1985). *The internal combustion engine in theory and practice*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Pundir, A. K., & Pandey, A. K. (2020). *Engine testing: Theoretical and practical aspects*. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Giannelli, G. (2014). *Automotive testing: Technology and methods*. Cham, Switzerland: Springer Nature.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica*. México D.F., México: McGraw-Hill.
- Bosch. (2023). *Automotive handbook*. Stuttgart, Germany: Robert Bosch GmbH.
-

- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- Ferguson, C. R. (2015). *Internal combustion engines: Applied thermodynamics*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Pundir, A. K., & Pandey, P. C. (2020). Effect of turbocharging on the performance, emission and durability of a diesel engine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 127, 109824.
- Ramírez, J. C. (2017). Análisis del rendimiento de un motor de combustión interna mediante la simulación computacional. *Revista EIA*, 15(28), 121-134.
- Watson, N., & Janota, M. S. (2014). *Turbocharging and supercharging of internal combustion engines*. London: Macmillan International Higher Education.
- Boone, T. (2018). *Engineering design for high-performance engines*. Warrendale, PA: SAE International.
- Bosch. (2017). *Automotive handbook*. Stuttgart, Germany: Robert Bosch GmbH.
- Watson, N., & Janota, M. S. (2014). *Turbocharging and supercharging of internal combustion engines*. London: Macmillan International Higher Education.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill.
- K&N. (2023). Air filters. Retrieved from <https://www.knfilters.com/>
- Sprint Filter. (2023). Air filters. Retrieved from <https://www.sprintfilter.net/>
- Uni Filter. (2023). Air filters. Retrieved from <https://unifilter.com/>
- Garrett Motion. (2023). Turbochargers. Retrieved from <https://www.garrettmotion.com/>
- BorgWarner. (2023). Turbochargers. Retrieved from <https://www.borgwarner.com/home>
- Mahle. (2023). Intake manifolds. Retrieved from <https://www.mahle.com/>
- Edelbrock. (2023). Intake manifolds. Retrieved from <https://www.edelbrock.com/>
- Bosch. (2023). Sensors. Retrieved from <https://www.bosch.us/>
- Honeywell. (2023). Sensors. Retrieved from <https://www.honeywell.com/us/en>
- Continental. (2023). Sensors. Retrieved from <https://www.continental.com/en/>
- Delphi. (2023). Sensors and actuators. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/Delphi>
- Gonthier, G., Degobert, X., & Favennec, C. (2017). Influence of air inlet temperature on turbocharged spark ignition engine performance. *SAE Technical Paper*, 2017-01-0265.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill.
- López, M. J., Donate, J. M., & Martín, J. M. (2019). Effect of air humidity on the performance of an automotive turbocharged diesel engine. *Applied Energy*, 248, 114-122.
- Rakopoulos, C. D., Sonntag, N., Dimopoulos, A., & Tsiligiris, E. (2003). The effect of the fuel properties on the performance and emissions of a turbocharged DI diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 217(12), 1839-1853.
- Musculus, M. (2009). The effect of cetane number on soot formation in diesel engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 35(2), 125-143.
- Ferguson, C. R., & Großmann, W. (2010). Recent developments in the field of high efficiency turbocharging. *International Journal of Engine Research*, 11(5), 341-351.
- Wang, T., Zhang, Y., Li, D., & Li, G. (2015). The effect of lubricant viscosity on the performance of a turbocharged diesel engine. *Tribology International*, 82, 209-216.
- Ferguson, C. R., & Großmann, W. (2010). *Turbocharging and supercharging*. John Wiley & Sons.

Anexos

Anexo 1.

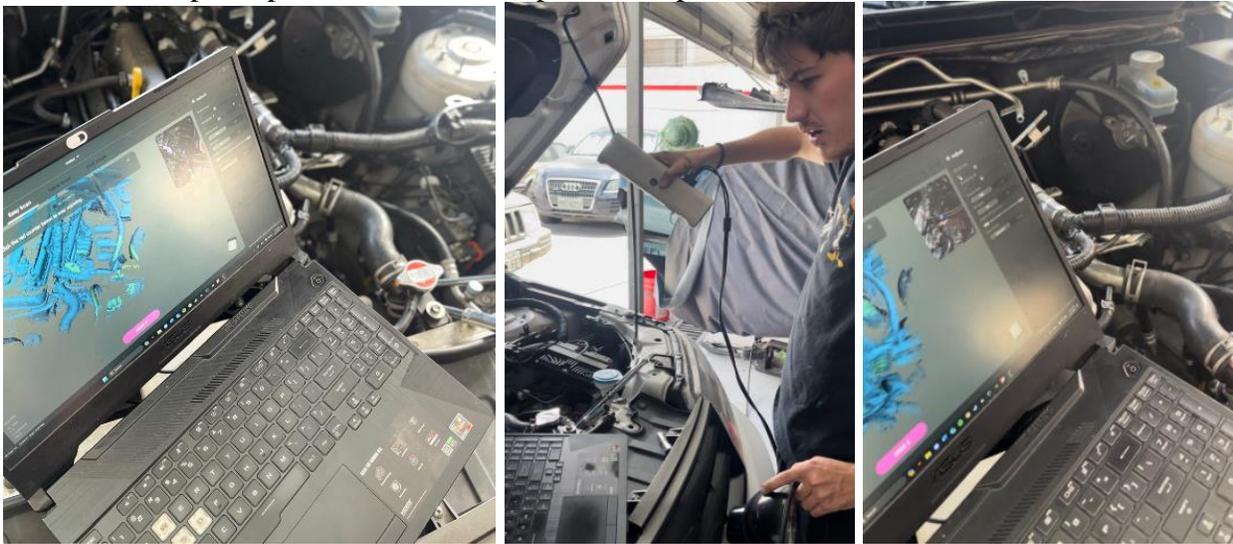
Cambio de computadora a una (ECUMASTER EMU BLACK STANDALONE ECU)



Fuente. (Autores,2024)

Anexo 2.

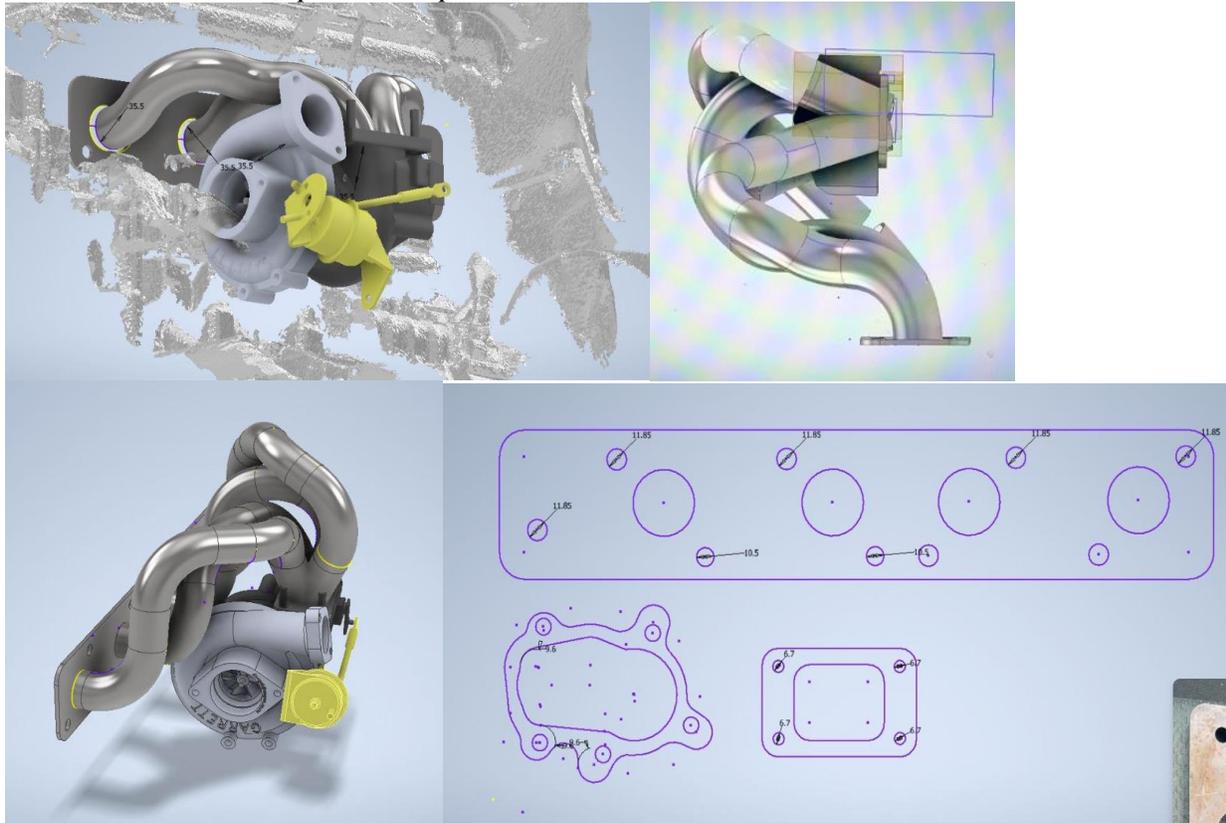
Escaneo del espacio para diseñar un multiple de escape



Fuente. (Autores,2024)

Anexo3.

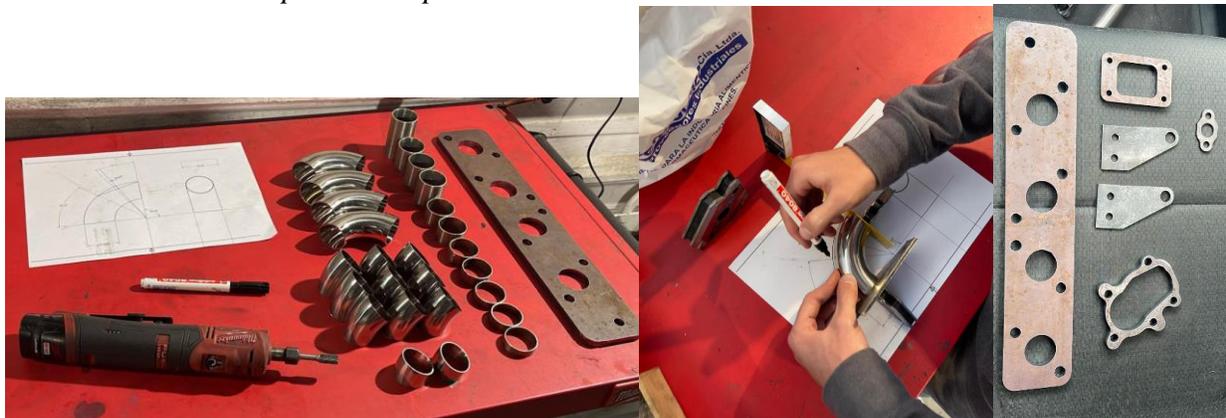
Diseño del nuevo multiple de escape



Fuente. (Autores,2024)

Anexo 4.

Fabricación del multiple de escape



Fuente. (Autores,2024)

Anexo 5.
Instalación del multiple y del turbo



Fuente. (Autores,2024)

Anexo 6.
Implementación del sensor de temperatura y de presión de aceite



Fuente. (Autores,2024)

Anexo 7.

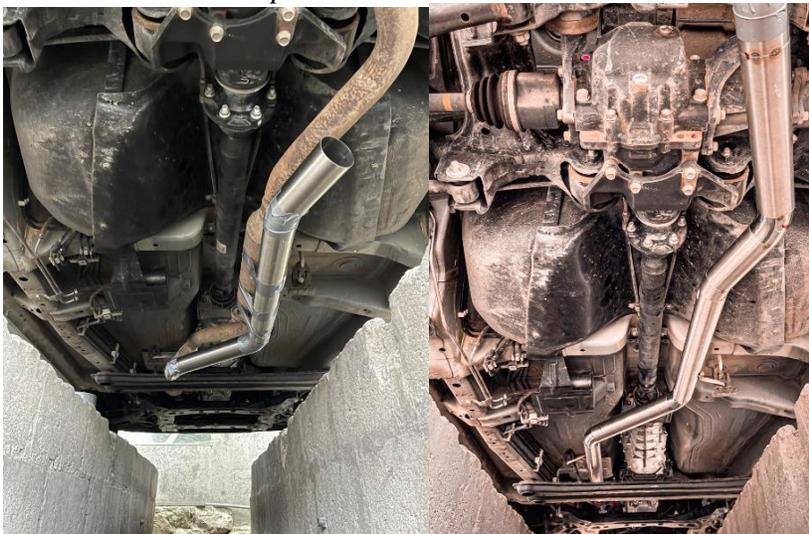
Instalación de las tuberías y el intercooler



Fuente. (Autores,2024)

Anexo 8.

Fabricación del escape



Fuente. (Autores,2024)

