



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBO COMPRESOR
EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO NISSAN J15**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico Automotriz

AUTORES: HOMERO SEBASTIÁN CÁRDENAS PINOS
LUIS ANTONIO PACHAR SÁNCHEZ
TUTOR: ING. JUAN FERNANDO CHICA SEGOVIA, MSC.

Cuenca - Ecuador
2023

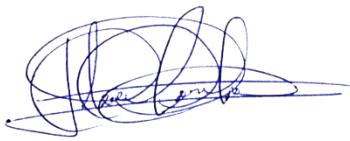
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Homero Sebastián Cárdenas Pinos con documento de identificación N° 0302729470 y Luis Antonio Pachar Sánchez con documento de identificación N° 0103544631; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de enero del 2023

Atentamente,



Homero Sebastián Cárdenas Pinos

0302729470



Luis Antonio Pachar Sánchez

103544631

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Homero Sebastián Cárdenas Pinos con documento de identificación N° 0302729470 y Luis Antonio Pachar Sánchez con documento de identificación N° 0103544631, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Metodología para la implementación de un turbo compresor en un motor de encendido provocado Nissan J15”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de enero del 2023

Atentamente,



Homero Sebastián Cárdenas Pinos

0302729470



Luis Antonio Pachar Sánchez

103544631

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan Fernando Chica Segovia con documento de identificación N° 0102220654, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: METODOLOGÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN TURBO COMPRESOR EN UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO NISSAN J15, realizado por Homero Sebastián Cárdenas Pinos con documento de identificación N° 0302729470 y por Luis Antonio Pachar Sánchez con documento de identificación N° 0103544631, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de enero del 2023

Atentamente,



Ing. Juan Fernando Chica Segovia, MSc.

0102220654

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Homero Sebastián Cárdenas Pinos

DEDICATORIA

El presente proyecto le dedico a mis padres Sebastián Pachar y María Sánchez quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han apoyado durante toda mi vida, en cada una de las metas que me he propuesto.

A toda mi familia que con su consejos y palabras de aliento me han acompañado en todas mis metas.

Luis Antonio Pachar Sánchez

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida.

De manera especial a mi tutor de tesis, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Homero Sebastián Cárdenas Pinos

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen parte de la Universidad Politécnica Salesiana, y en especial a mi tutor Ing. Juan Fernando Chica, MSc. por todas sus enseñanzas que hicieron que pueda crecer día a día como profesional.

Luis Antonio Pachar Sánchez

RESUMEN

La investigación realizada en el presente trabajo de titulación está enfocada en desarrollar una metodología para la implementación de un turbocompresor en un motor de encendido provocado Nissan J15. Para poder lograr los objetivos se establecieron varias actividades, las cuales se desarrolló de la siguiente manera:

Inicialmente, en la Fase 1 del proyecto se desarrolló una revisión del estado del arte acerca de los diferentes tipos de turbocompresores aplicados a los motores a gasolina, para esto se realizó una búsqueda de bibliografía científica en la base de datos actualizada. Posteriormente en la Fase 2, se desarrolló una metodología para la selección e implementación del turbocompresor, para ello se realizó un levantamiento de datos del motor Nissan J15 atmosférico, como; cilindrada total, cilindrada unitaria, volumen de la cámara de combustión y relación de compresión. Estos datos son necesarios para la aplicación de las fórmulas con las cuales se seleccionó el turbocompresor adecuado.

En la Fase 3, una vez seleccionado el turbocompresor, se estableció un plan experimental donde se detalla el proceso de implementación y el levantamiento de datos para la posterior evaluación del sistema de sobrealimentación; el vehículo a utilizar es una camioneta Datsun 1500 motor Nissan J15 con inyección programable, en la cual se procederá a la implementación del sistema turbocompresor, mediante procesos de manufactura. Finalmente, en la Fase 4, se procedió a realizar el levantamiento de datos del motor sobrealimentado mediante la evaluación de la potencia, par motor y análisis de gases. Estableciendo tablas comparativas y gráficas referentes a la evaluación del motor previo y posterior a la implementación; evidenciando que el motor Nissan J15 sobrealimentado se encuentra funcionando en óptimas condiciones.

Palabras Claves: *Turbocompresor, Motor de encendido, Nissan J15.*

ABSTRACT

The research carried out in this degree work is focused on developing a methodology for the implementation of a turbocharger in a Nissan J15 spark ignition engine. In order to achieve the objectives, several activities were established, which were developed as follows:

Initially, in Phase 1 of the project, a review of the state of the art about the different types of turbochargers applied to gasoline engines was developed, for which a search of scientific literature in the updated database was carried out. Subsequently, in Phase 2, a methodology for the selection and implementation of the turbocharger was developed, for which a data collection of the atmospheric Nissan J15 engine was carried out, such as; total displacement, unit displacement, combustion chamber volume and compression ratio. These data are necessary for the application of the formulas with which the appropriate turbocharger was selected.

In Phase 3, once the turbocharger was selected, an experimental plan was established detailing the implementation process and data collection for the subsequent evaluation of the supercharging system; the vehicle to be used is a Datsun 1500 Nissan J15 engine with programmable injection, in which the turbocharger system will be implemented through manufacturing processes. Finally, in Phase 4, we proceeded to carry out the data collection of the supercharged engine through the evaluation of power, torque and gas analysis. Establishing comparative tables and graphs referring to the evaluation of the engine before and after the implementation; showing that the supercharged Nissan J15 engine is working in optimal conditions.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	1
INTRODUCCIÓN.....	5
1. PROBLEMA.....	6
1.1. Descripción del problema.....	6
1.2. Antecedentes.....	6
1.3. Importancia y Alcances.....	7
1.4. Delimitación.....	7
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. Objetivo General.....	8
2.2. Objetivos Específicos.....	8
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
3.1. Motores de encendido provocado (MEP).....	9
3.2. Sobrealimentación:.....	10
3.2.1. Turbos compresores.....	10
3.2.1.1. Turbos compresores de geometría fija.....	12
3.2.1.2. Turbo compresor de geometría variable.....	17
4. PRUEBAS DINÁMICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MEP NISSAN J15 ATMOSFÉRICO.....	20
4.1. Ingreso y ajuste del vehículo al banco dinamométrico.....	21
4.2. Análisis de los gases.....	21
4.3. Medidas del Motor MEP NISSAN J15 atmosférico en el banco dinamométrico	22
5. SELECCIÓN DEL TURBO COMPRESOR PARA EL MOTOR MEP NISSAN J15.....	24
6. MONTAJE DEL TURBO COMPRESOR PARA EL MOTOR MEP NISSAN J15.....	26
6.1. Confección del múltiple de escape y del adaptador del turbo.....	26
6.1.1. Diseño del múltiple de escape en el programa Inventor.....	26
6.2. Instalación y adaptación del intercooler.....	30

6.3. Toma de aceite para la lubricación del turbo	33
7. PRUEBAS DINÁMICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MEP NISSAN J15 SOBREALIMENTADO	36
7.1. Ingreso y ajuste del vehículo al banco dinamométrico.....	36
7.2. Análisis de los gases	37
7.3. Medidas del Motor MEP NISSAN J15 atmosférico en el banco dinamométrico	38
8. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TURBO COMPRESOR	39
9. RESULTADOS	41
10. CONCLUSIÓN.....	42
11. RECOMENDACIONES.....	44
12. BIBLIOGRAFÍA	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana.	7
Figura 2. Motor de encendido provocado.	9
Figura 3. Circulación de aire y gases en el turbo compresor.	11
Figura 4. Instalación de un turbo compresor.	13
Figura 5. Engrase del turbo compresor.	14
Figura 6. Válvula wastegate.	15
Figura 7. Turbo compresor de geometría variable.	18
Figura 8. Temperatura que sufre un turbo.	19
Figura 9. Sincronización del vehículo con el banco dinamométrico.	21
Figura 10. Medidas del Motor MEP NISSAN J15 atmosférico.	23
Figura 11. Primera medición de la potencia iniciada.	23
Figura 12. Selección del turbo.	25
Figura 13. Ubicación del turbo.	26
Figura 14. Salida de escape del cilindro 1.	27
Figura 15. Salida de escape de los cilindros 2 y 3.	27
Figura 16. Salida de escape del cilindro 4.	28
Figura 17. Adaptador del turbo.	28
Figura 18. Múltiple de escape.	29
Figura 19. Múltiple de escape y adaptador del turbo.	29
Figura 20. Múltiple de escape y adaptador del turbo.	30
Figura 21. Selección de lugar del intercooler.	30
Figura 22. Diseño del tubo de conexión entre el turbo y el intercooler.	31
Figura 23. Diseño del tubo de conexión entre el intercooler al múltiple de admisión. ...	31
Figura 24. Tubos de conexión ya fabricados.	32
Figura 25. Salida del turbo al escape.	32
Figura 26. Conexión de aceite.	33
Figura 27. Perforación del Carter.	33
Figura 28. Conexión de aceite.	34
Figura 29. Piezas desmontadas.	34
Figura 30. Turbocargador con la válvula wastegate.	35
Figura 31. Motor Nissan J15 con turbocompresor.	35
Figura 32. Ingreso y ajuste del vehículo en el banco dinamométrico.	36
Figura 33. Ventilador del banco dinamométrico.	36
Figura 34. Primera medición de la potencia iniciada.	38
Figura 35. Metodología para la selección e implementación del turbo compresor.	39

INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna presentan deficiencias ante la altura debido a la pérdida de presión por la baja densidad del aire, por lo que, la implementación de un sistema turbo compresor permite la sobrealimentación del motor, consiguiendo aumentar la potencia al comprimir más aire en la fase de admisión. Se debe resaltar que la implementación del turbo compresor ayuda a mejorar la potencia de los motores en ciudades que presentan mayor altitud, como; es el caso de la ciudad de Cuenca que se encuentra a una altura de 2.560 m.s.n.m.

Sin embargo, es fundamental poseer una metodología establecida para la implementación de un sistema de turbo compresor en motores MEP, con la finalidad de evitar inconvenientes a corto y a largo plazo; por lo tanto, el presente proyecto va enfocado a desarrollar una metodología en donde los ingenieros y técnicos tengan una guía que les permita la implementación técnica y la evaluación minuciosa de los sistemas de sobrealimentación en un motor de encendido provocado previo y posterior a su implementación.

1. PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Dentro de la práctica diaria se logró evidenciar que no existe una metodología establecida acerca de la implementación y evaluación del turbo compresor ideal para cada tipo de motor, donde es fundamental realizar un análisis previo y posterior a la adaptación del mismo. De igual forma, se demostró que la potencia del motor de encendido provocado Nissan J15 puede verse afectada en ciudades con gran altura, como lo es la ciudad de Cuenca, motivo por el cual, se decidió realizar una metodología para la elección e implementación de un turbo compresor ideal en un motor de encendido provocado Nissan J15.

1.2. Antecedentes

Luego de realizar una revisión del estado del arte, se logró evidenciar que en Ecuador no existe una metodología establecida para la implementación y evaluación de motores MEP sobrealimentados, esto se puede deber a que generalmente la implementación de este sistema se realiza a vehículos de competencia y no en vehículos convencionales de uso diario; se ha detectado que existen inconvenientes al momento de adaptar al motor atmosférico un turbo compresor de manera empírica, generando en alguno de los casos sobre presión en el motor, que a su vez puede genera daños en los componentes internos o simplemente no producir una presión adecuada para mejorar el rendimiento (Gallardo, 2017, p.19).

Además, existe una gran variedad de turbos compresores en el mercado automotriz, lo que incrementa la dificultad de seleccionar el mismo. Finalmente, es importante acotar que la sobrealimentación es utilizada en ciudades de altura, debido a que se produce una pérdida de potencia del motor de aproximadamente el 1% por cada 100 metros de altura (Lapuerta, Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006, p.21); es por ello que, para superar este inconveniente, la industria automotriz ha planteado la incorporación del turbo compresor,

mismo que logra aumentar la potencia sin aumentar la cilindrada (Taipe, Llanes, Morales, & Checa, 2021, p.18).

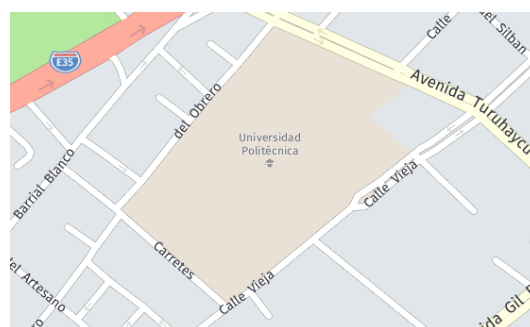
1.3. Importancia y Alcances

El presente trabajo de investigación aporta un beneficio a la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, considerando que aportará una metodología para la implementación de un turbo compresor en un motor de encendido provocado Nissan J15; donde a partir de los resultados obtenidos se sienta la base de línea de investigación para estudios posteriores que profundicen el conocimiento en esta área, centrándose en otras variables.

1.4. Delimitación

Este proyecto se desarrolló en la ciudad de Cuenca de la provincia del Azuay, durante el año 2022, el cual contribuye a la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana, donde puede ser aplicado a los motores de encendido provocado a gasolina. Además, este proyecto va dirigido a la línea de Investigación en Eficiencia Energética y Contaminación Ambiental del Grupo de Investigación de Ingeniería de Transporte (GIIT) de la Universidad Politécnica Salesiana.

Figura 1. Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana.



Fuente: (HERE Maps)

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Desarrollar una metodología para la implementación de un turbo compresor en un motor de encendido provocado Nissan J15.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar una síntesis bibliográfica sobre el estado del arte referente a los tipos de turbos compresores aplicados a motores de encendido provocado.
- Determinar el estado del motor MEP Nissan J15 atmosférico mediante pruebas dinámicas de funcionamiento.
- Establecer una metodología a través de cálculos de los parámetros del motor para selección e implementación del turbo compresor.
- Aplicar el proceso metodológico para la instalación del turbo compresor en el motor MEP Nissan J15.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1. Motores de encendido provocado (MEP)

Son motores donde el proceso de combustión se inicia por una chispa, y se propaga por un frente de llama a toda la cámara de combustión. (Gago & Torres, 2017, p. 19.)

En la *Figura* se muestra un motor de encendido provocado.

Figura 2. Motor de encendido provocado.



Fuente: (Escudero et al., 2011)

El motor de encendido provocado también conocido como motor Otto presenta la característica principal de necesitar un estímulo de energía externo al ciclo termodinámico para el inicio de la combustión, lo cual se consigue al hacer saltar una chispa entre los electrodos de la bujía de encendido. Es necesario que este sincronizado el momento donde salta la chispa destinada al encendido de la mezcla aire-combustible, para que el proceso de combustión sea eficiente.

En estos motores el ciclo de trabajo puede ser de dos o de cuatro tiempos; el motor de dos tiempos presenta poca cilindrada al no contar con un sistema de distribución, ofreciendo menor eficacia, en cambio, el motor de cuatro tiempos utiliza cuatro fases para completar el ciclo (admisión, compresión, explosión y escape), este tipo de motores presenta

un mejor rendimiento, además de generar menor contaminación, produciendo menos vibraciones y desgaste. (Payri, F. & Desantes, 2011).

3.2. Sobrealimentación:

Los motores atmosféricos tienen un límite de llenado debido a que el cilindro se ocupa con la presión atmosférica (1 bar); no obstante, si se consigue introducir el aire a presiones mayores que la atmosférica se lograría un aumento del rendimiento volumétrico y, por tanto, más par y mayor potencia. Esto se logra por medio de la sobrealimentación de los motores, mismo que se basa en introducir aire previamente comprimido con la finalidad de aumentar su presión y conseguir optimizar el rendimiento volumétrico. (Cengel, 2003)

En la **Tabla 1** se muestra los diferentes tipos de sobrealimentación:

Tabla 1. Tipos de sobrealimentación.

Turbos compresores		Compresores volumétricos		
Geometría fija	Geometría variable	Roots	Lysholm	Compresor G

Fuente: Autores

3.2.1. Turbos compresores

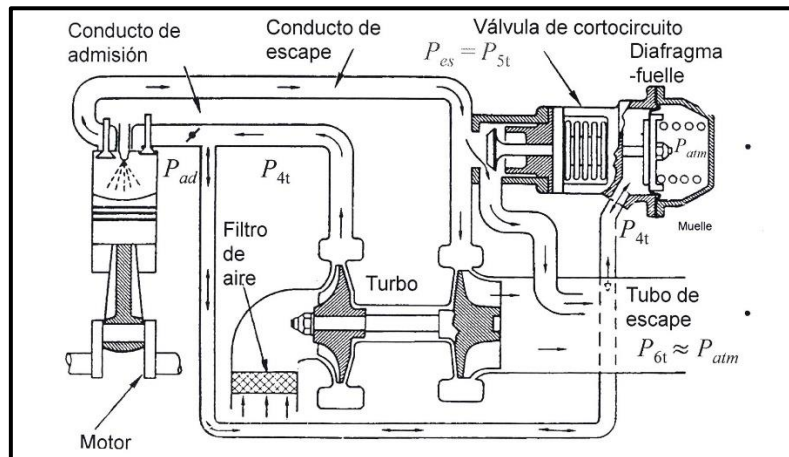
Un turbo compresor es una bomba de aire diseñada para funcionar utilizando energía que se pierde en el escape del motor. Estos gases impulsan el conjunto de la rueda de la turbina (extremo caliente) conectado a la rueda del compresor (extremo frío). Durante el funcionamiento, el turbo compresor responde a la demanda de carga del motor reaccionando al flujo de gases de escape del motor. (Fernández & Illanes, 2017, p.10)

A medida que aumenta el rendimiento del motor, aumenta el flujo y la velocidad de los gases de escape, y el rendimiento de los componentes giratorios aumenta proporcionalmente al entregar más aire al ventilador del motor. De esta forma, la cantidad

de aire que se llena en el motor es mayor, por lo que el aumento de potencia puede superar el 40%.

En la **Figura 3** se muestra como está conectado el turbo a sus componentes y su funcionamiento.

Figura 3. Circulación de aire y gases en el turbo compresor.



Fuente: (Castrillón, Montoya, & Lotero, 2014)

Payri & Desantes (2011), establecen que el turbo compresor comprime el aire que entra a la admisión, utilizando la energía calorífica de los gases de escape. Aprovechando de esta manera parte de la energía térmica contenida en los gases, que se iba a disipar en la atmósfera, logrando el aumento de la eficiencia energética del motor.

Por lo cual, siempre que se reutiliza una energía que se va a perder se está mejorando el rendimiento del motor y, por consiguiente, se aumentarán sus prestaciones. En efecto, en motores diésel sobrealimentados se consiguen aumentos de prestaciones importantes y ahorro de combustible. En motores Otto sobrealimentados también se consiguen aumentos de prestaciones importantes, pero el consumo de combustible aumenta (Payri, F. & Desantes, 2011).

3.2.1.1. Turbos compresores de geometría fija

Cano et al. (2019) señalan que en los turbos compresores de geometría fija se intercala en la línea de escape una turbina, que es accionada por la energía calorífica de los gases de escape, para conseguir aprovechar estos gases. Dicha turbina tiene unos álabes fijos a un eje de giro. Los gases de escape, muy calientes después de la combustión, al abrir la válvula de escape y encontrar una salida, tienden a expandirse en el colector de escape, saliendo a gran velocidad y usando esta para mover la turbina, que lleva un eje de giro, apoyado en dos cojinetes, unido a un compresor en el otro extremo, intercalado, en este caso, en el colector de admisión, que aumenta la presión del aire de admisión que va a llenar el cilindro.

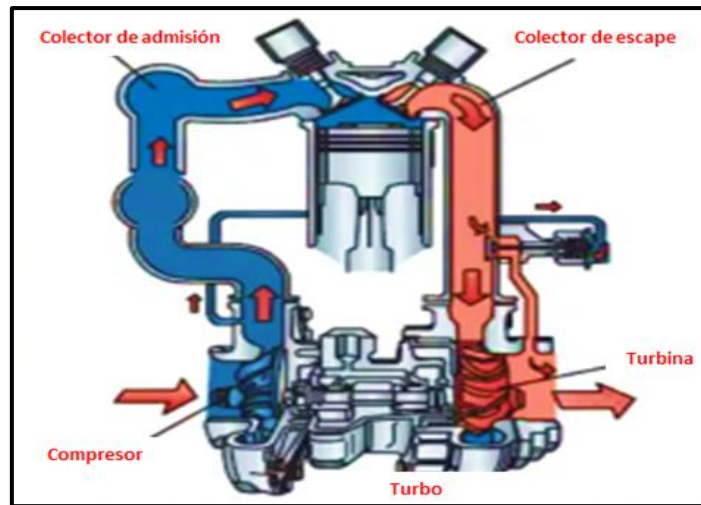
La energía calorífica que tienen los gases de escape puede llegar a hacer girar la turbina, el eje y el compresor hasta 250.000 rpm y hacer que funcionen a unas temperaturas de unos 600 °C en turbina, 200 °C en el eje y 100 °C en el compresor (Cano et al., 2019, p.8).

Con estas solicitaciones mecánicas y térmicas se debe realizar bien el engrase y la refrigeración, sobre todo del eje. El engrase se hace con aceite a presión, procedente de la galería principal de engrase a través de un tubo que vierte el aceite al eje y a los cojinetes para lubricarlos y rebajar su temperatura. (Fuentes & Loboguerrero, 2006, p.9).

El aceite una vez que ha lubricado y refrigerado cae al cárter por otro tubo mayor por gravedad, teniendo en cuenta que cualquier obstrucción hará que el aceite no retorne bien y pase las juntas de estanqueidad hacia la turbina y el compresor (Fuentes & Loboguerrero, 2006, p.9).

En la **Figura 4** se muestra la instalación de un turbo compresor.

Figura 4. Instalación de un turbo compresor.



Fuente: (Escudero et al., 2011)

Los cojinetes radiales están hechos generalmente de latón y suelen ser de tipo flotante, es decir, no van unidos ni a la carcasa ni al eje, por lo tanto, si el eje gira a 150.000 RPM, la carcasa se encuentra parada, estando el cojinete libre de la carcasa y del eje, consiguiendo de esta manera que gire a la mitad de revoluciones que el eje (75.000 RPM); así habrá una diferencia de revoluciones igual a la mitad de las del eje entre cojinete y carcasa, y cojinete y eje. De esta forma los cojinetes, la carcasa, el eje y el lubricante se deterioran menos. Por lo que, se trata de interponer una película entre cojinete y carcasa, y cojinete y eje para que no haya rozamiento físico entre ellos, además, esta película sirve para absorber vibraciones y estabilizar el eje (Barone et al., 2011, p.11)

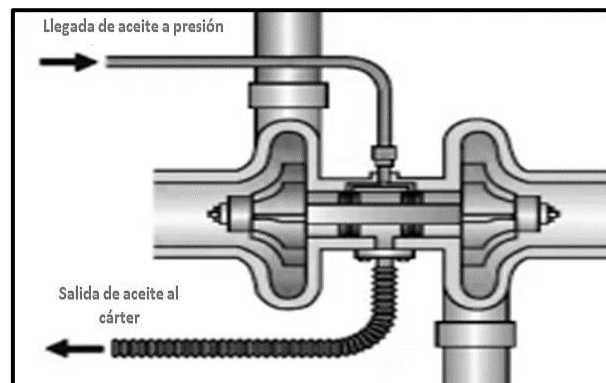
También existen unos cojinetes que limitan el movimiento axial debido a los diferentes empujes entre turbina y compresor. Se debe conseguir en el turbo que los gases de escape de la turbina, que están a gran presión y temperatura, no logren penetrar en el cuerpo del turbo y que este aceite puede estar a 4 bar de presión, de tal forma que no pase ni a la turbina ni al compresor, pues produciría un alto consumo de aceite y una elevada contaminación. Esto se consigue a través de juntas de estanqueidad sin contacto, que

consisten en unos aros solidarios a la carcasa que entran en unas ranuras practicadas en el eje y forman un laberinto, impidiendo a los gases realizar continuos cambios de dirección.(Barone et al., 2011, p.12)

En algunos turbos compresores, sobre todo en los utilizados en los motores de gasolina que tienen mayor temperatura en el escape, la zona del eje lleva una cámara exterior que va llena de líquido refrigerante procedente del circuito de refrigeración y que se enfría en el radiador principal para evacuar el calor de esta zona y del aceite que lo lubrica y refrigera también, aunque lo habitual es que la única refrigeración que lleven sea la del lubricante. (Escudero et al., 2011, p.128)

En la **Figura 5** se observa el sistema de engrase del turbo compresor.

Figura 5. Engrase del turbo compresor.



Fuente: (Escudero et al., 2011)

De acuerdo con Escudero et al. (2011) las ventajas de los turbos compresores son:

- Aumento del rendimiento volumétrico.
- Aumento de prestaciones.

Dentro de los principales inconvenientes se puede mencionar:

- Encarecimiento del precio del motor.

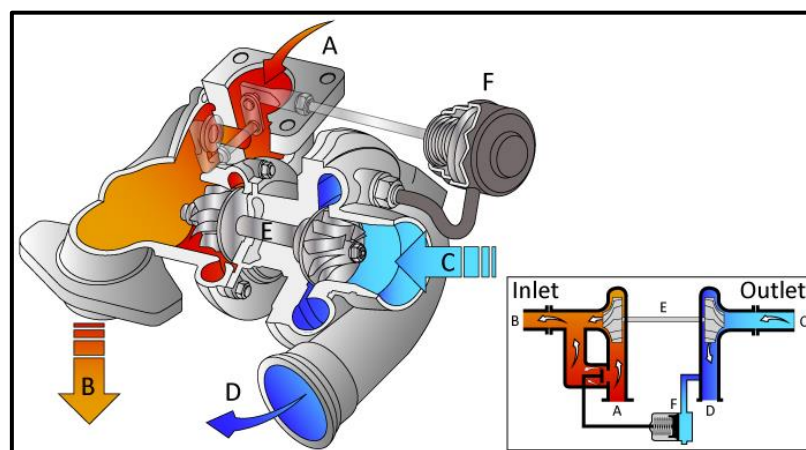
- Aumento de la temperatura del aire de admisión.
- Pérdida de rendimiento a bajas revoluciones. (Escudero et al., 2011, p.131)

El aumento de la presión en la admisión se produce cuando el motor sube de revoluciones y aumentan los gases de escape que hacen girar la turbina, que a su vez impulsa al compresor. (Taípe, Llanes, Morales, & Checa, 2021, p.25)

De esta forma, se produciría un círculo vicioso que podría llevar a la rotura del motor. Esto se puede solucionar haciendo un bypass en el escape cuando exista mucha presión en la admisión. Este puente se hace con una válvula que, generalmente es accionada neumáticamente por la presión del colector de admisión, esta válvula es llamada válvula wastegate. (Taípe, Llanes, Morales, & Checa, 2021, p.26)

En la **Figura 6** se puede observar la misma.

Figura 6. Válvula wastegate.



Fuente: (Escudero et al., 2011)

El incremento de temperatura del aire hace que se dilate y se reduce su densidad, entrando menos cantidad de aire en un mismo volumen. La solución a este problema sería colocar un radiador, denominado intercooler, que refrigera el aire comprimido que entra al

motor generalmente con aire del ambiente, por ello es llamado intercambiador aire/aire, aumentado su densidad y consiguiendo llenar mejor el motor. (Caputo et al., 2017, p.42)

Cuanto más grande sea y más próximo a la admisión esté, mejor será el rendimiento de este intercambiador.

La pérdida de fiabilidad en el motor es debida a factores como:

- Mayor presión de compresión, esto solicita más al motor.
- Mayor número de componentes, esto aumenta la posibilidad de avería. (Grajales et al., 2015, p.190)

De acuerdo con Gordillo & Sánchez (2013) para evitar averías tempranas es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Evitar detener el motor inmediatamente cuando se haya solicitado trabajo importante al turbo como altas revoluciones. Se recomienda dejar el motor a ralentí un 3-5 minutos antes de apagarlo, ya que el eje estará muy caliente y al detener el motor se para la circulación de aceite y el que se encuentra alrededor del eje se carbonizará, produciendo depósitos que disminuyen la holgura por la que pasa el aceite de lubricación. Con el paso del tiempo se produce el gripado del eje. Si se deja en ralentí, el aceite frío sigue fluyendo y refrigerando el eje.
- Procurar no arrancar el coche con el acelerador pisado, pues el motor y el turbo subirán de vueltas muy rápido, y no dará tiempo a que el aceite ascienda a las partes altas del motor y al eje del turbo, haciendo que este gire sin lubricación.
- Intentar no parar el motor estando acelerado, pues el motor térmico se detiene rápidamente, pero el eje del turbo tardará en parar, pues es ligero y va rápido, quedándose sin el aceite que envía la bomba.

La pérdida de rendimiento a bajas revoluciones se debe a que el motor tiene poca energía calorífica en los gases de escape y que la cantidad de estos gases es muy pequeña. Además, está la turbina intercalada en el escape y el compresor intercalado en la admisión, con lo que se frena el paso de los gases que están en movimiento al no girar a las suficientes revoluciones todavía. Un turbo compresor convencional empieza a funcionar correctamente a partir de 2.500 RPM; para evitar este inconveniente existen en el mercado otros tipos de turbo compresores como los de geometría variable. (Narváez & Narváez, 2019, p.33)

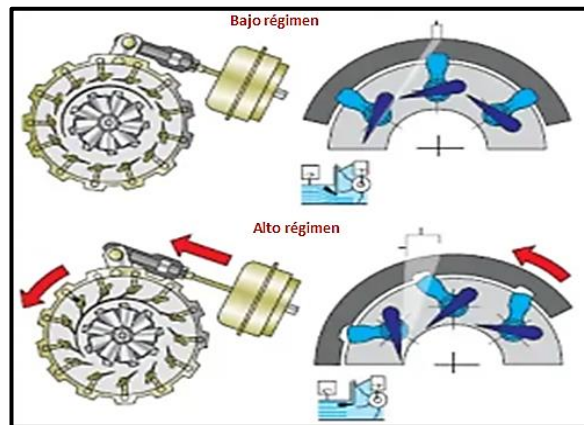
3.2.1.2. Turbo compresor de geometría variable

Al turbo compresor se les colocan unas pequeñas palas que orientarán su posición según las revoluciones del motor para que el aire incida con distintos ángulos sobre los álabes de la turbina. Estas palas son movidas neumáticamente o por electricidad, y siempre están controladas por la centralita de gestión del motor. (Escudero et al., 2011, p.134)

Así se consigue que a bajas vueltas las palas hagan que los gases choquen con los álabes de la turbina lo más perpendicularmente posible para que se produzca el mayor empuje; y que, a altas revoluciones, que puede haber un exceso de presión en la admisión, los gases incidan con menor inclinación para que se produzca menor fuerza de empuje en los álabes de la turbina y así se reduzca la velocidad del compresor y la presión que este genera. (Escudero et al., 2011, p.135)

En la **Figura 7** se muestra un turbo compresor de geometría variable.

Figura 7. Turbo compresor de geometría variable.



Fuente: (Escudero et al., 2011)

- Temperatura interna de un turbo compresor

La turbina y el compresor reciben variables de temperaturas, la turbina puede llegar a alcanzar de 800 a 1000 grados centígrados, y el compresor puede alcanzar temperaturas de hasta 80 grados centígrados, esto hace que el eje que une estos dos componentes esté sometido a distintas temperaturas en sus extremos durante el funcionamiento del mismo, por esta razón la construcción de este sistema demanda una cierta calidad de cada uno de sus componentes. (Cisneros S, 2018, p.16)

- Enfriador o Intercooler (termino en inglés):

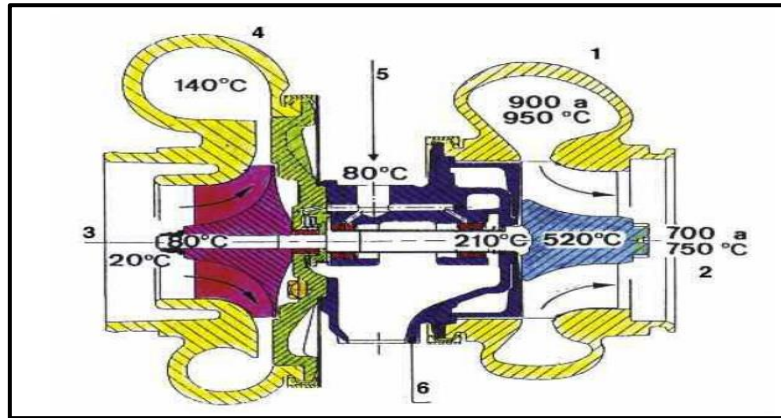
Es un sistema que está compuesto por un intercambiador de calor, en el cual ingresa el aire calentado en el compresor para enfriarlo antes de introducirlo a la cámara de cilindros para empezar el ciclo del motor normal.

Este cambio de temperatura provoca que ingrese mayor cantidad de aire al motor, ya que al bajar la temperatura del aire esta se vuelve más densa y se logra así aumentar la potencia del motor. Existen dos tipos de intercooler que se nombran a continuación:

- Intercambiador de calor /aire /aire
- Intercambiador de calor tipo agua / aire

En la **Figura 8** se observará las temperaturas a la cuales está expuesta el turbo compresor.

Figura 8. Temperatura que sufre un turbo.



Fuente: (Cisneros S, 2018)

- Mantenimiento del turbo compresor

Debido a los altos requerimientos térmicos y mecánicos a los cuales está sometido un turbocompresor es necesario tener en cuenta ciertas recomendaciones para evitar averías.

De acuerdo con Cisneros (2018) estas se pueden resumir en:

- Evitar arranques en frío bruscos, ya que la presión de aceite tarda en alcanzar un breve espacio de tiempo.
- Después de largos recorridos, dejar en ralentí el vehículo durante aproximadamente 3-5 minutos, para disminuir la temperatura del turbo.
- Reducir la carga del vehículo momentos previos a la parada con objeto de refrigerar los puntos más calientes.
- Sustituir el aceite y filtro en los tiempos establecidos por el fabricante para evitar la formación y acumulación de residuos en el aceite. Se recomienda la utilización de aceites sintéticos que mejoran la refrigeración y lubricación.

- Cualquier manipulación sobre el sobrealimentador debe ser producida por personal calificado.

Aun siguiendo las normas generales de mantenimiento de un vehículo para la conservación del turbo, se pueden dar en el propio componente las siguientes averías más usuales:

- Problemas relacionados con falta de lubricación, desgaste de tipo axial, etc.
- Entrada de cuerpos extraños en su interior, arrastrados por el aceite. (Cisneros S, 2018, p.18)

4. PRUEBAS DINÁMICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MEP NISSAN J15 ATMOSFÉRICO

El vehículo que se decidió utilizar para la implementación del turbo compresor es una camioneta Datsun 1500 con inyección programable, debido a que controla el flujo de

combustible y el adelanto o retraso del avance de la chispa, lo que le hace más eficiente trabajar con el turbo compresor.

A continuación, se describirá las pruebas dinámicas de funcionamiento del motor MEP Nissan J15.

4.1. Ingreso y ajuste del vehículo al banco dinamométrico

Para comenzar a realizar las pruebas dinámicas de funcionamiento del motor MEP Nissan J15 atmosférico, se ingresó el vehículo en el banco dinamométrico.

Una vez asegurado el vehículo, se sincronizó las revoluciones por minuto (RPM) de vehículo con las del banco dinamométrico. Con el capot levantado para lograr un mejor flujo de aire, evitando el recalentamiento del motor, como se muestra en la **Figura 9**.

Figura 9. Sincronización del vehículo con el banco dinamométrico



Fuente: Autores

4.2. Análisis de los gases

Para la evaluación de los resultados del análisis de gases, se realizó bajo los parámetros de la norma NTE INEN 2204 de gases. Como se evidencia en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina.

Año modelo	% CO ^a		ppm HC ^a	
	0 - 1500 ^b	1500 – 3000 ^b	0 - 1500 ^b	1500 – 3000 ^b
2000 y posteriores	1,0	1,0	200	200
1990 a 1999	3,5	4,5	650	750
1989 y anteriores	5,5	6,5	1000	1200
^a Volumen.				
^b Altitud = metros sobre el nivel del mar (msnm).				

Fuente: Norma NTE INEN 2204

En la **Tabla 3** se realiza la prueba a 900 RPM y en la **Tabla 4** se realiza la prueba con el motor a 2.500 RPM, obteniendo siguientes los valores:

Tabla 3. Resultado de análisis de gases a ralenti a 900 RPM.

RESULTADOS		NTE INEN 2204	OBSERVACIÓN
CO:	3,02% vol.	6,5% vol.	Valores dentro de la norma INEN 2204
CO₂:	11,20% vol.	14,2% vol.	
HC:	398 ppm.	1200 ppm.	
O₂:	0,75% vol.	4,5% vol.	
λ:	0,957	1	Lambda menor a 1 mezcla rica, diferencia de 0,043

Fuente: Autores

Tabla 4. Resultado de análisis de gases a 2.500 RPM

RESULTADOS		NTE INEN 2204	OBSERVACIÓN
CO:	4,76% vol.	6,5% vol.	Valores dentro de la norma INEN 2204
CO₂:	9,25% vol.	14,2% vol.	
HC:	305 ppm vol.	1200 ppm.	
O₂:	0,82% vol.	4,5% vol.	
λ:	0,970	1	Lambda menor a 1 mezcla rica, diferencia de 0,03

Fuente: Autores

4.3. Medidas del Motor MEP NISSAN J15 atmosférico en el banco dinamométrico

Para realizar las pruebas en el banco dinamométrico, se lleva al motor a las RPM en donde alcanza la mayor potencia (HP), de acuerdo con el fabricante esto varía entre 4500 y 5000 RPM, siendo en este caso de 4820 RPM, como se muestra en la **Figura 10**.

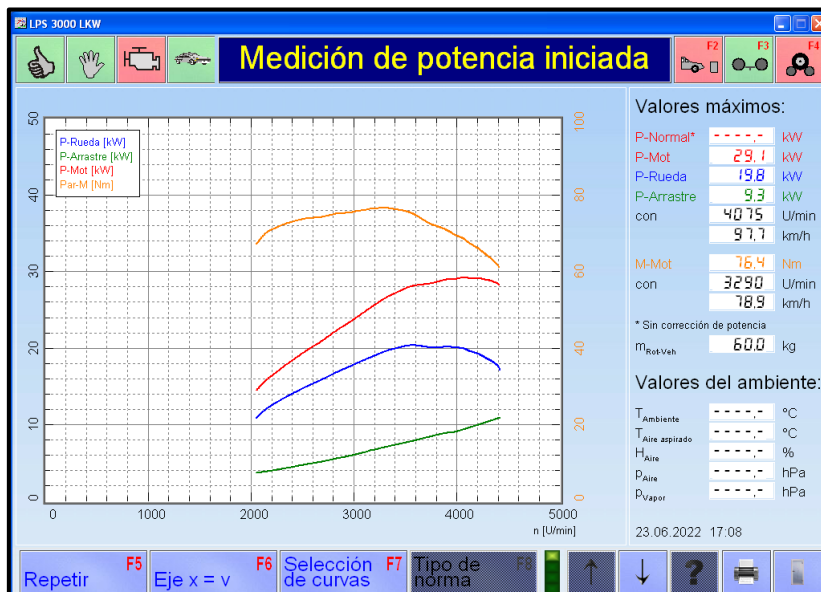
Figura 10. Medidas del Motor MEP NISSAN J15 atmosférico.



Fuente: Autores

En la **Figura 11** se muestra la primera medida en el banco dinamométrico, siendo de 58.2 kW equivalente a 78.05 caballos de fuerza (HP). Evidenciando que el motor se encuentra condiciones adecuadas.

Figura 11. Primera medición de la potencia iniciada.



Fuente: Autores

5. SELECCIÓN DEL TURBO COMPRESOR PARA EL MOTOR MEP NISSAN

J15

Para la selección del turbo compresor se debe utilizar las fórmulas del cálculo de motores de combustión interna y presión de carga del turbocompresor. En la **Tabla 5**, se muestra las fórmulas utilizadas para el cálculo y los resultados obtenidos.

Tabla 5. Formulas aplicadas para la selección del turbocompresor.

	FORMULA	DESARROLLO	RESULTADOS
R_C	$R_C = \frac{V_{CIL} + V_{CA}}{V_{CA}}$	Datos obtenidos de la ficha técnica del motor	8,3
C_T	$C_T = \left(\frac{\pi * dC^2}{4} \right) * C_{RR} * \# \text{ Cilindros}$	$C_T = \left(\frac{\pi * 7.8^2}{4} \right) * 7.76 * 4$	1483 cm³
V_{CIL}	$V_{CIL} = \frac{C_T}{\# \text{ Cilindros}}$	$V_{CIL} = \frac{1483}{4}$	370,75 cm³
V_{CA}	$V_{CA} = \frac{V_{CIL}}{R_C - 1}$	$V_{CA} = \frac{370,75}{8,3 - 1}$	50,8 cm³
R_{CT}	$R_{CT} = \frac{V_{CIL} * \left(\frac{P_S + P_{atm}}{P_{atm}} \right) + V_{CA}}{V_{CA}}$	La relación de compresión en los motores MEP oscila entre los 12,5:1 para motores atmosférico y para motores sobrealimentados de 7,5:1.	12,5
P_S	$P_S = \frac{((R_{CT} * V_{CA}) - V_{CA}) * P_{atm}}{V_{CIL}} - P_{atm}$	$P_S = \frac{((12,5 * 50,8) - 50,8) * 14,7}{370,75} - 14,7$	8,46 psi

Fuente: Autores

R_C: relación de compresión real.

C_T: cilindrada total del motor.

C_{RR}: carrera del pistón.

dC: diámetro del cilindro.

V_{CIL}: cilindrada unitaria.

V_{CA}: volumen de la cámara de combustión.

R_{CT}: relación de compresión con sobrealimentación.

P_S: presión de sobrealimentación.

P_{atm}: presión atmosférica (14.7 psi)

Los resultados demuestran que el motor puede soportar una presión de 8,46 psi, en este caso por seguridad se disminuye el 17%, resultando que el valor máximo de presión será de 7 psi.

Posteriormente, para la selección del turbocompresor, se debe utilizar el resultado de los cálculos y el número de revoluciones donde entrega la máxima potencia el motor estándar. Según los resultados obtenidos, más el factor de seguridad, se evidencia que se necesita un turbocompresor que entregue una presión de 7 psi, (valor que debe ser ajustado en la válvula wastegate).

A continuación, se procede con la selección del turbocompresor que cumpla con los parámetros anteriormente descritos; por lo tanto, de los turbocompresores disponibles en el mercado automotriz, se optó por el turbocompresor de marca NAKAJIMA modelo PT425232. En la **Tabla 6** se presenta las características del turbocompresor:

Tabla 6. Características del turbocompresor Nakajima

Turbo compresor NAKAJIMA modelo PT425232		
	RPM del motor	Observaciones
min:	2.043	Inicio de la compresión de aire de admisión.
max η:	3.746	Valor en donde el turbo brinda mayor eficiencia.

Fuente: Autores

Según las características del turbocompresor **PT 425232**, empezará a trabajar cuando el motor llega a 2.043 RPM. Cuando el motor alcance las 3.746 RPM la compresión de aire de admisión alcanza los 7 psi y se mantiene constante con el aumento de RPM del motor. En la **Figura 12** se muestra la marca y modelo del turbocompresor.

Figura 12. Selección del turbo.



Fuente: Autores

6. MONTAJE DEL TURBOCOMPRESOR PARA EL MOTOR MEP NISSAN J15

6.1. Confección del múltiple de escape y del adaptador del turbo

Según el espacio físico del motor como se muestra en la **Figura 13**, se considera colocar el turbocompresor junto al múltiple de escape.

Figura 13. Ubicación del turbo.

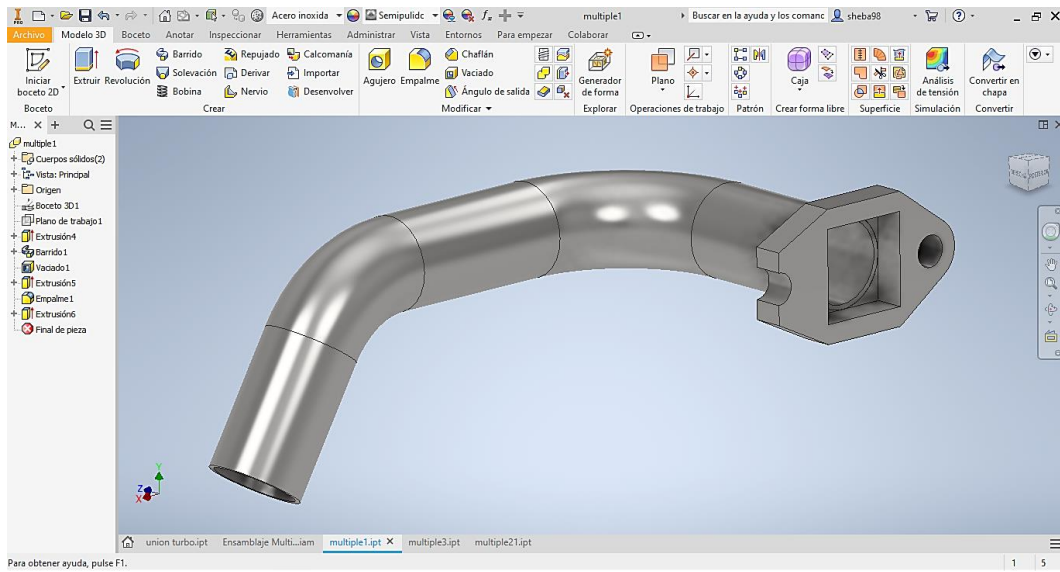


Fuente: Autores

6.1.1. Diseño del múltiple de escape en el programa Inventor.

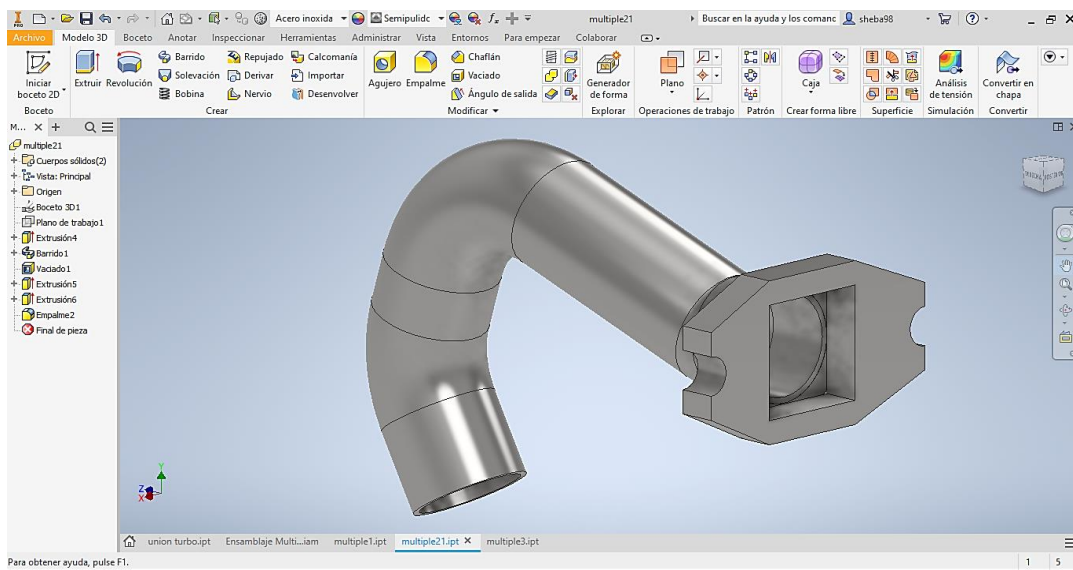
Antes de fabricar el múltiple de escape se debe diseñar con las medidas acorde al motor, en este caso se utiliza el programa Inventor Autodesk. Se diseño para cada orificio del cabezote una salida para el múltiple de escape, como se muestran en las siguientes figuras. En este caso el diseño del motor solo tiene tres salidas de escape.

Figura 14. Salida de escape del cilindro 1.



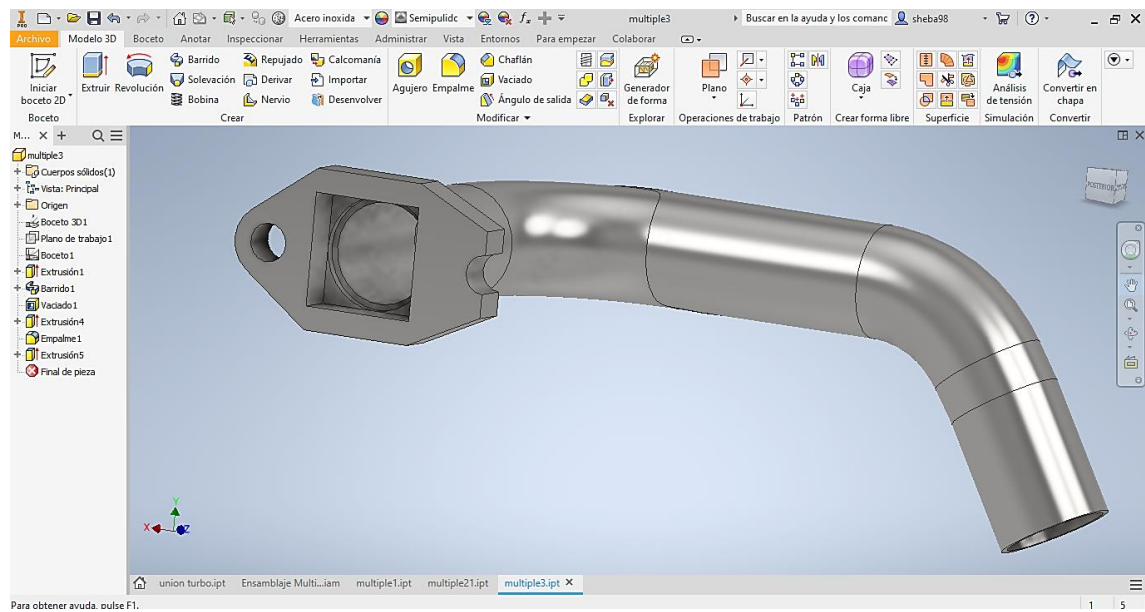
Fuente: Autores

Figura 15. Salida de escape de los cilindros 2 y 3.



Fuente: Autores

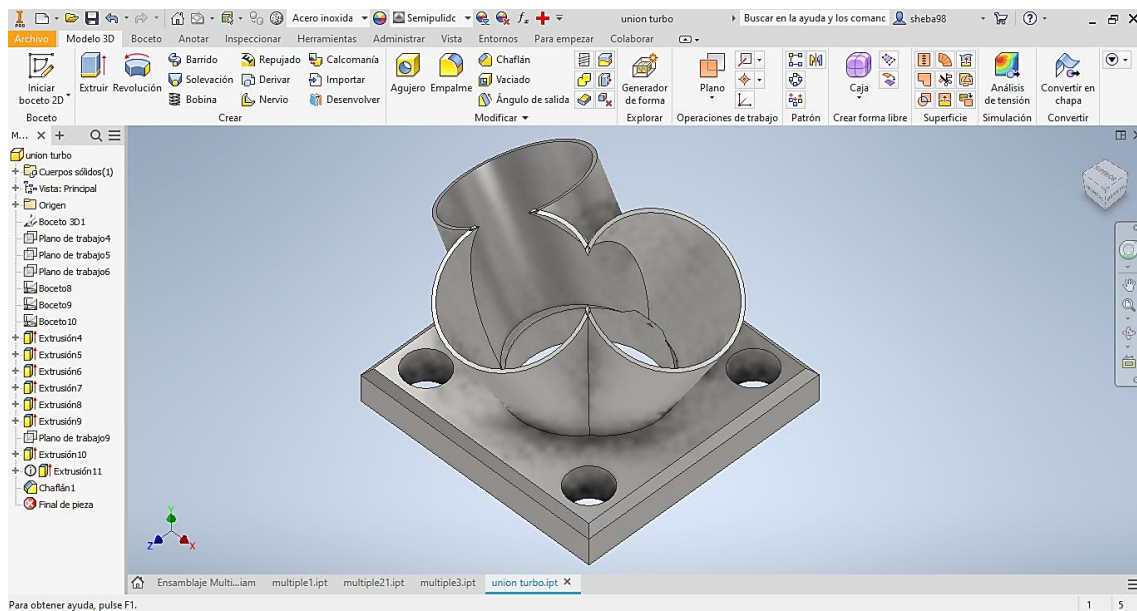
Figura 16. Salida de escape del cilindro 4.



Fuente: Autores

En la **Figura 17** se diseña el adaptador del turbo para que se conecte al múltiple.

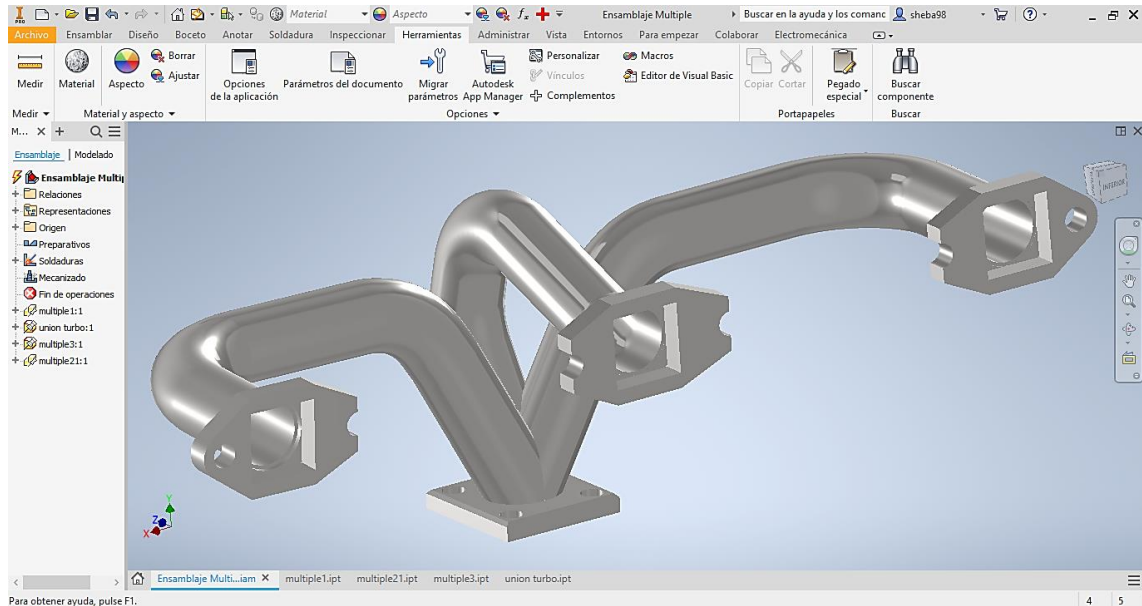
Figura 17. Adaptador del turbo.



Fuente: Autores.

Por último, en la **Figura 18** se muestra el ensamblaje de las salidas de escape con el adaptador del turbo.

Figura 18. Múltiple de escape.



Fuente: Autores.

Se procedió a fabricar el múltiple de escape y el adaptador del turbo, este último permite que se conecte el turbo con el múltiple como se muestra en la **Figura 19**. Utilizando tubo de acero inoxidable de 1 ½ pulgadas de diámetro exterior por 2mm de espesor.

Figura 19. Múltiple de escape y adaptador del turbo.



Fuente: Autores

En la **Figura 20** se puede observar el múltiple acoplado al turbo.

Figura 20. Múltiple de escape y adaptador del turbo.



Fuente: Autores

6.2. Instalación y adaptación del intercooler

Para la selección del intercooler se toma en cuenta que el turbo solo va a cargar 7 psi de presión como máximo, además del espacio de donde va a ir ubicado. En este caso las medidas del radiador del intercooler son de 13in. de largo por 5,51in de alto y 2,55in de ancho. Se considera colocar el intercooler en la parte frontal del vehículo entre la camisa y el radiador de agua. Posteriormente se procedió a realizar orificios en la carrocería para lograr conectar el intercooler con el turbo. En la **Figura 21** se muestra dónde va el intercooler.

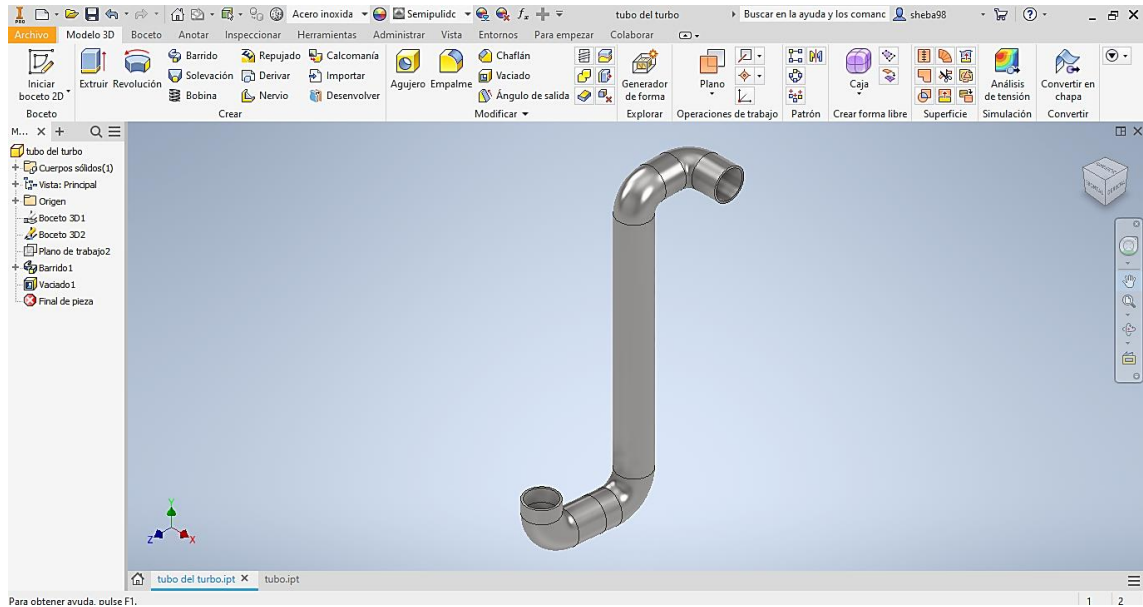
Figura 21. Selección de lugar del intercooler.



Fuente: Autores

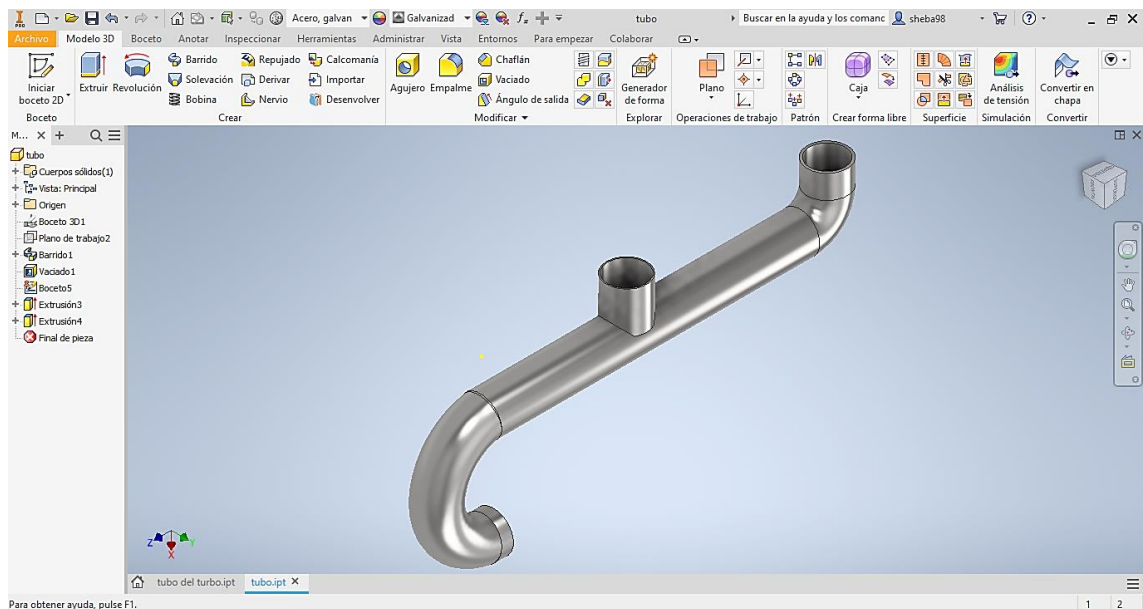
En la **Figura 22** y **Figura 23** se muestra el diseño de los tubos de conexión entre el turbo, el intercooler y el tubo de conexión del intercooler al múltiple de admisión.

Figura 22. Diseño del tubo de conexión entre el turbo y el intercooler



Fuente: Autores

Figura 23. Diseño del tubo de conexión entre el intercooler al múltiple de admisión.



Fuente: Autores

Una vez diseñado los tubos de conexión se procede a fabricarlos en tubo de acero inoxidable de 2in de diámetro exterior y 2mm de espesor. Se utiliza de estas medidas para que se acople estos tubos a la salida del turbocompresor y de igual forma a la entrada y salida del intercooler.

En la **Figura 24** se puede observar el tubo de conexión del intercooler con el múltiple de admisión y el tubo de conexión entre el turbo y el intercooler.

Figura 24. Tubos de conexión ya fabricados.



Fuente: Autores

En la **Figura 25** se procedió a acoplar la salida del turbo al escape.

Figura 25. Salida del turbo al escape.



Fuente: Autores

6.3. Toma de aceite para la lubricación del turbo

Con todos los elementos listos como se muestra en la **Figura 26**, se procedió a sacar las líneas de conexión de aceite para la lubricación del turbo. Por lo cual, se acopla una unión en *T* en el trompo de aceite para lograr que una manguera lleve el aceite al turbo, además se utilizó una manguera que soporte altas temperaturas.

Figura 26. Conexión de aceite.



Fuente: Autores

En la **Figura 27** se muestra la perforación en el Carter que fue necesario para la colocación del acople, con la finalidad de lograr conectar la manguera de retorno.

Figura 27. Perforación del Carter.



Fuente: Autores

Asimismo, en el lado del turbo se colocó un perno hueco para la conexión, como se visualiza en la **Figura 28**.

Figura 28. Conexión de aceite.



Fuente: Autores

Antes de empezar con la instalación del turbo es necesario desmontar todas las partes, incluido el turbo y el intercooler. Una vez desmontados se debe limpiarlos rigurosamente para eliminar toda la limalla que dejó el proceso de soldadura. En la **Figura 29** se muestra los elementos del sistema turbocompresor.

Figura 29. Piezas desmontadas.



Fuente: Autores

Con todas las piezas limpias, se procede con la instalación y calibración del turbocompresor a una presión de 7 psi, esto se realiza a través de la válvula wastegate que se encuentra en el turbocompresor.

En la **Figura 30** se observa el turbo compresor con la válvula wastegate.

Figura 30. Turbocargador con la válvula wastegate.



Fuente: Autores

En la **Figura 31** se puede observar el sistema turbocompresor implementado en el motor Nissan J15.

Figura 31. Motor Nissan J15 con turbocompresor



Fuente: Autores

7. PRUEBAS DINÁMICAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR MEP NISSAN J15 SOBREALIMENTADO

7.1. Ingreso y ajuste del vehículo al banco dinamométrico

Para empezar a realizar las pruebas dinámicas de funcionamiento del motor MEP Nissan J15 sobrealimentado, en la **Figura 32** se observa el ingreso del vehículo en el banco dinamométrico.

Figura 32. Ingreso y ajuste del vehículo en el banco dinamométrico.



Fuente: Autores

Se requirió flujo de aire para enfriar el motor y permitir que el intercooler enfríe el flujo de aire. Ver **Figura 33**.

Figura 33. Ventilador del banco dinamométrico.



Fuente: Autores

7.2. Análisis de los gases

En base a la norma NTE INEN 2204 de gases, una vez calentada la máquina, se deja el motor en ralentí y se realiza la prueba a 950 RPM, obteniendo los valores que se muestran en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Resultado de análisis de gases a ralentí a 900 RPM.

RESULTADOS		NTE INEN 2204	OBSERVACIÓN
CO:	5,50% vol.	6,5% vol.	Valores dentro de la norma INEN 2204
CO ₂ :	10,12% vol.	14,2% vol.	
HC:	460 ppm.	1200 ppm.	
O ₂ :	0,49% vol.	4,5% vol.	
λ :	0,962	1	Lambda menor a 1 mezcla rica, diferencia de 0,038

Fuente: Autores

En la **Tabla 8** se muestra los resultados a 2.500 RPM y, por último, realiza la prueba con el motor a 3.500 RPM, con el turbo cargando, obteniendo los valores que se evidencia en la **Tabla 9**.

Tabla 8. Resultado de análisis de gases a 2.500 RPM.

RESULTADOS		NTE INEN 2204	OBSERVACIÓN
CO:	4,01% vol.	6,5% vol.	Valores dentro de la norma INEN 2204
CO ₂ :	10,51% vol.	14,2% vol.	
HC:	891 ppm vol.	1200 ppm.	
O ₂ :	0,63% vol.	4,5% vol.	
λ :	0,975	1	Lambda menor a 1 mezcla rica, diferencia de 0,025

Fuente: Autores

Tabla 9. Resultado de análisis de gases a 3.500 RPM.

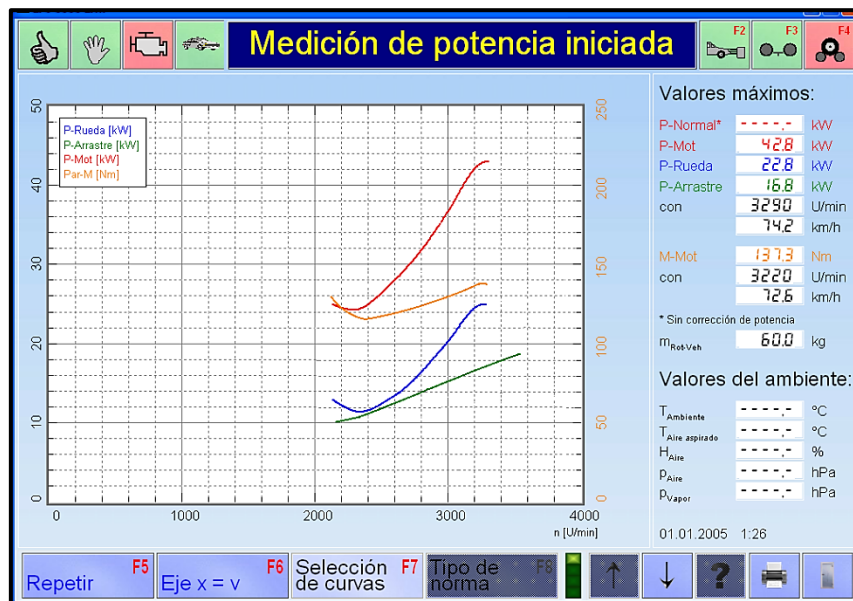
RESULTADOS		NTE INEN 2204	OBSERVACIÓN
CO:	6,22% vol.	6,5% vol.	Valores dentro de la norma INEN 2204
CO ₂ :	10,81% vol.	14,2% vol.	
HC:	921 ppm.	1200 ppm.	
O ₂ :	1,26% vol.	4,5% vol.	
λ :	0,962	1	Lambda menor a 1 mezcla rica, diferencia de 0,038

Fuente: Autores

7.3. Medidas del Motor MEP NISSAN J15 sobrealimentado en el banco dinamométrico

Se obtuvo la primera medida en el banco dinamométrico, siendo 82,4 kW equivalente a 110,5 HP, como se observa en la **Figura 34**. Evidenciando que el motor se encuentra en condiciones óptimas.

Figura 34. Primera medición de la potencia iniciada.

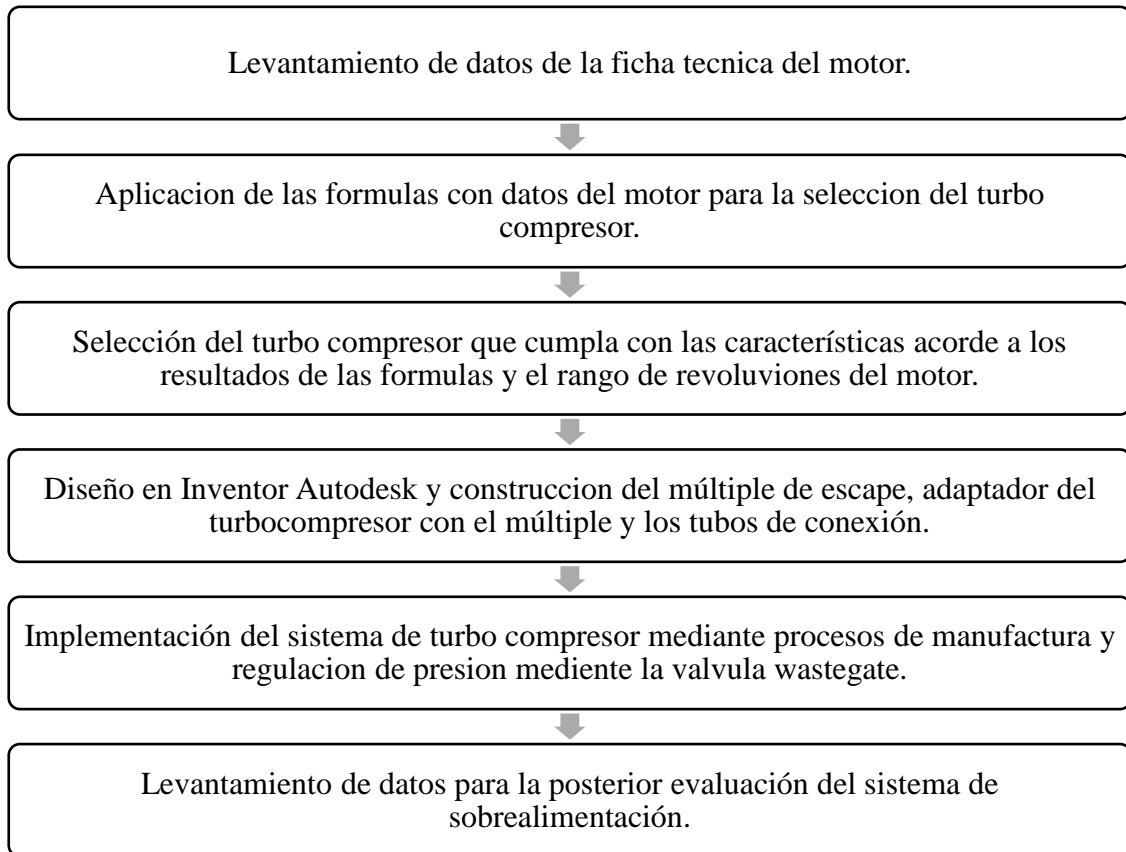


Fuente: Autores

8. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL TURBOCOMPRESOR

En la **Figura 35** se muestra los procesos a seguir de la metodología.

Figura 35. Metodología para la selección e implementación del turbo compresor.



Fuente: Autores

1. Levantamiento de datos de la ficha técnica del motor.

- Ingreso y ajuste del vehículo al banco dinamométrico
- Se debe sincronizar las revoluciones por minuto (RPM) de vehículo con las del banco dinamométrico.
- Se lleva al motor a las revoluciones en donde alcanza la mayor potencia.
- Se realiza el levantamiento de datos como análisis de gases a diferentes RPM.

- Asimismo, se realiza el levantamiento de datos como: relación de compresión, cilindrada total del motor, carrera del pistón, diámetro del cilindro, potencia en HP y RPM máximas del motor.

2. Aplicación de las fórmulas con la base de datos del motor Nissan J15 atmosférico.

- Para la selección del turbocompresor se debe tomar en cuenta la presión de carga de sobrealimentación, ya que de este valor depende los datos ingresados en las fórmulas y el rango de RPM máximas del motor, además se debe tener en cuenta un factor de seguridad en la presión de carga del turbocompresor.

3. Elegido el turbocompresor, se procede con el diseño en Inventor Autodesk del múltiple de escape, del adaptador del turbocompresor con el múltiple, los tubos de conexión entre intercooler con el turbocompresor y con la admisión.

4. Mediante procesos de manufactura se procede con la implementación del sistema de turbocompresor en el motor Nissan J15, posteriormente con la ayuda de la válvula wastegate se calibra la presión de carga del turbocompresor, según el resultado de la fórmula de presión de sobrealimentación (P_s) menos el factor de seguridad.

5. Se procede con el levantamiento de datos para la posterior evaluación del sistema de sobrealimentación mediante el banco dinamométrico, análisis de gases y pruebas de ruta.

9. RESULTADOS

- Se realizó una búsqueda de la literatura científica actualizada acerca de los diferentes tipos de turbo compresor aplicados a motores de encendido provocado. Esta búsqueda fue realizada mediante 30 referencias bibliográficas para la confección del estado del arte.
- A través de los datos obtenidos de la ficha técnica del vehículo se valoró el estado del motor MEP Nissan J15 atmosférico, para lo cual, se realizó el análisis de los gases y la medición de la potencia, dando como resultado una potencia de 78.05 HP, comprobando que el motor se encuentra en condiciones óptimas de funcionamiento. Las pruebas fueron realizadas en el banco dinamométrico de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Para la selección del turbocompresor del motor MEP Nissan J15 atmosférico se realizó cálculos como: Cilindrada, relación de compresión, relación de presión del turbocompresor, potencia del motor y presión de sobrealimentación. En base a los resultados obtenidos se optó por el turbocompresor modelo PT 425232, el cual se calibra para entregar 7psi de presión, el mismo que empieza a trabajar cuando el motor llega a 2.043 RPM hasta las 5.448 RPM.
- La metodología utilizada para la instalación consta en el diseño del múltiple del escape, el adaptador del turbocompresor al múltiple y los tubos de conexión al intercooler, en el programa Inventor Autodesk. Una vez fabricadas las piezas se instaló el turbocompresor. Con la ayuda del banco dinamométrico, se realizó la medición de potencia y un análisis de gases comprobando que el motor alcanza 110.5 HP, con el motor a una temperatura de 87°C, comprobando que la metodología propuesta funciona.

10. CONCLUSIÓN

Luego de la aplicación de la metodología para la implementación del turbocompresor en el motor Nissan J15 de una camioneta Datsun 1500 del año 1978, se puede concluir que:

- Dentro del mercado automotriz se ha evidenciado que existe una gran variedad de turbocompresores, creando confusión en la selección del mismo. Antes de seleccionar el turbocompresor se debe realizar pruebas de potencia y de gases para valorar el funcionamiento y estado del motor.
- Para la selección del turbocompresor se debe utilizar los datos técnicos del motor y las fórmulas matemáticas. Una vez realizado el cálculo se obtuvo que el motor resiste una presión de 8,44 psi; también se debe tomar en cuenta el valor de RPM máximas del motor y las RPM de trabajo del turbocompresor, (mismo que comienza a comprimir desde las 8000 RPM).
- Posterior a la implementación del turbocompresor es necesario realizar un análisis de potencia y de gases para determinar el funcionamiento del sistema de sobrealimentación, el estado y potencia del motor.
- La metodología propuesta funciona, debido a que el motor atmosférico tenía una potencia de 78,05 HP y después de la implementación del sistema turbocompresor la potencia aumento a 110,5 HP, además de mantener la temperatura del motor en 87°C.
- Cuando el motor funciona a ralentí y carga parcial inferior, el gas de escape no tiene la fuerza suficiente para impulsar la turbina del compresor, por lo que el aire fresco aspirado por los cilindros no será precomprimido, y el motor será de simple aspiración,

incluso se nota una ligera pérdida de potencia, por la restricción que ejerce los elementos del propio sistema.

- Durante el funcionamiento del motor a carga parcial media, la presión en el colector de admisión se acerca a la atmosférica, actuando ya el turbo en su función de sobrealimentación.
- Cuando el motor está a plena carga, la presión de aire del turbo alcanza el valor máximo en el colector de admisión, por lo que actúa la válvula wastegate limitando dicha presión.

11. RECOMENDACIONES

- Antes de instalar un turbocompresor, es importante realizar un análisis de gases y pruebas de potencia en el banco dinamométrico, ya que el motor debe estar en óptimas condiciones.
- Si la presión que se aplica al motor supera las 9psi, se recomienda cambiar los componentes internos del motor estándar, por elementos más resistentes, como por ejemplo bielas y pistones forjados.
- Al momento de seleccionar el turbocompresor es importante tomar en cuenta las RPM de funcionamiento del motor, con la finalidad de tener una respuesta más corta del turbocompresor y reducir el lag (tiempo de respuesta) del turbo.
- Luego de implementación del turbocompresor se debe realizar un análisis de gases, prueba de potencia en el banco dinamométrico y una prueba de ruta, para comprobar su comportamiento y verificar la nueva potencia del motor.
- Se debe verificar que no tenga fugas de aceite en las uniones del sistema de lubricación del turbocompresor.

12. BIBLIOGRAFÍA

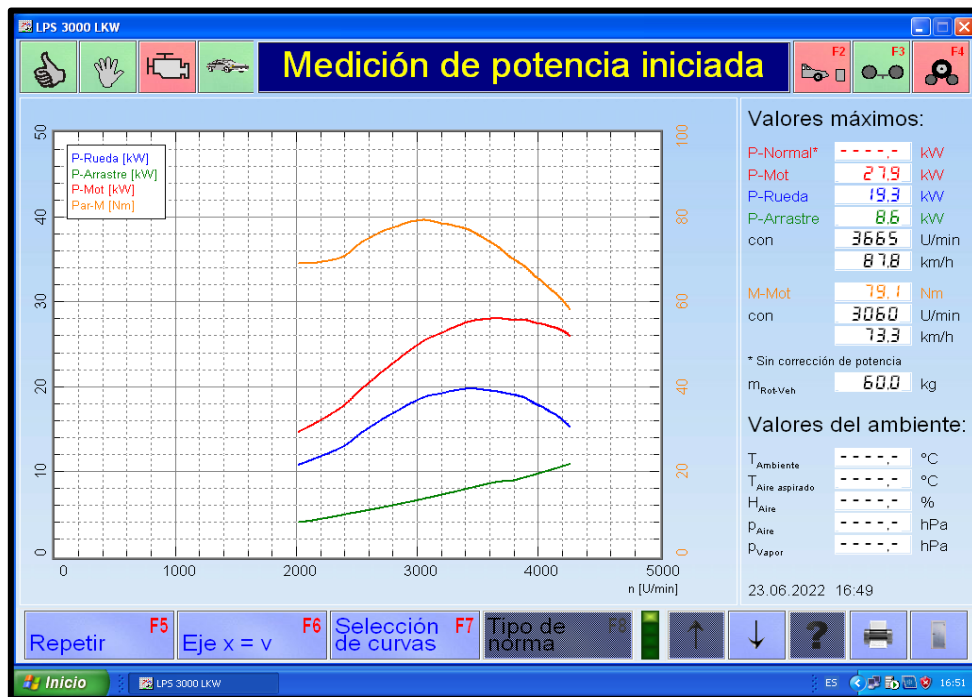
- Barone, S., Citarella, B., Cripiani, F., & Pesavento, N. (2011). *Sobrealimentación en motores*. Universidad de la Plata.
- Cano, J., Novella, R., & Díaz, J. (2019). *ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO PROVOCADO TJI MEDIANTE UNA HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO DE LA COMBUSTIÓN*. Universidad de Valencia.
- Caputo, D., Berberi, R., Cavataio, P., Receloglu, G., & Russo, F. (2017). Obtención de la curva de variación del coeficiente politrópico en la carrera de compresión en motores de combustión interna. *Proyecciones*, 15(2), 41–50.
- Cengel, Y. (2003) Yunus, *Termodinámica*, McGraw-Hill, México.
- Chindon, J., & Palaguachi, J. (2011). *Estudio e implementación de un sistema de sobrealimentación en un motor KIA ASIA y montaje en un banco didáctico con visualización de funcionamiento de la sobrealimentación*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Cisneros S. (2018). *Repotenciación de un motor de combustión interna Diésel*. Universidad San Francisco de Quito.
- Escudero, S., González, J., Rivas, J., & Suárez, A. (2011). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A.
- Fernández, D., & Illanes, J. (2017). *Diseño de la adaptación de un turbocompresor a un motor a carburador de cuatro cilindros (Toyota 4A-F) para aumentar la presión media efectiva en la ciudad de La Paz*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Fuentes, J., & Loboguerrero, J. (2006). *Diseño de un banco de pruebas para un turbocompresor cargado con aire comprimido*. Universidad de los Andes.
- Gago, G., & Torres, M. (2017). *Revisión del Estado Actual de los Motores de Combustión Interna Alternativos de Inyección Directa*. Universidad de Sevilla.
- Gallardo, C. (2017). *Evaluación de la incidencia del uso del diésel en la geometría variable del turbo compresor en un MEC*. Universidad Internacional SEK.
- Gordillo, F., & Sánchez, A. (2013). *Diseño y construcción de un banco didáctico de un motor repotenciado con turbo e inyección de gasolina*. Universidad del Azuay.
- Grajales, J., López, J., & Quintero, H. (2015). Diagnóstico de un motor de gasolina de cuatro cilindros mediante el análisis de vibraciones. *Ingeniería Mecánica*, 18(3), 188–195.
- HERE Maps. (s.f.). Obtenido de <https://wego.here.com/?map=-2.88586,-78.9871,17,normal>
- Lapuerta, Magín, Armas, Octavio, Agudelo, John R, & Sánchez, Carlos A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. *Información tecnológica*, 17(5), 21-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000500005>
- Morocho, J., & Nagua, J. (2019). *Análisis del comportamiento de motores de combustión interna Ciclo Otto y diésel, durante el efecto producido por averías en el sistema electrónico*. Universidad Politécnica Salesiana.

- Narváez, J., & Narváez, J. (2019). *Análisis de los sistemas eléctricos y electrónicos de un motor de combustión interna mediante la utilización del osciloscopio automotriz BOSCH FSA – 500*. Universidad Técnica del Norte.
- Payri, F. & Desantes, J. (2011). Motores de combustión interna (Vol. 33). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Taípe-Defaz, V., Llanes-Cedeño, E., Morales-Bayetero, C., & ChecaRamírez, A. (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 26, 17–37.

ANEXOS

Anexo 1. Medidas obtenidas en el banco dinamométrico del motor MEP Nissan J15 atmosférico.

Para realizar las pruebas se lleva al motor a las RPM en donde entrega la mayor potencia, en este caso según el fabricante es entre 4500 rpm y 5000 rpm.



Para sacar los caballos de potencia que tiene el vehículo se suma P-Mot + P-Rueda + P-Arrastre, obteniendo 55.8 kW, esta medida fue transformada a HP obteniendo **74.83 HP**

Anexo 2. Análisis de gases del motor MEP Nissan J15 sobrealimentado

