



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Construcción de un banco de pruebas electrónico para realizar el balanceo de turbos de entre 1000 rpm y 5000 rpm para la Unidad de Gestión de Tecnología**

**ESPE**

Taco Guaman, Hugo Hernan

Departamento de Ciencias de Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica Automotriz

Ing. Jácome Guevara, Fausto Andrés, Mtr

Julio 2021



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que la monografía, **“Construcción de un banco de pruebas electrónico para realizar el balanceo de turbos de entre 1000 rpm y 5000 rpm para la Unidad de Gestión de Tecnología ESPE”** fue realizado por el señor **Taco Guaman, Hugo Hernan** la cual ha sido revisada y analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, julio de 2021

Firma:

**Ing. Jácome Guevara, Fausto Andrés, Mtr.**

C.C.: 1717579609

## URKUND ANALYSIS RESULT



### Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Tesis Taco Guaman Hugo Hernan .pdf (D110219013)  
**Submitted:** 7/7/2021 12:31:00 AM  
**Submitted By:** hhtaco@espe.edu.ec  
**Significance:** 5 %

#### Sources included in the report:

TESIS VIBRACION EN M.C.I. TURBOCARGADO.pdf (D54556246)  
 Gallardo urkun.docx (D24279982)  
 3° J NOLIVOS.pdf (D11244556)  
 TESIS GABRIEL MENDOZA 23 AGOSTO.docx (D54971705)  
 c50a3389-6355-4b9b-abc7-c83136488bda  
<https://www.slideshare.net/nicolascalado/10-sobrealimentacion>  
[http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14132/1/65955\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14132/1/65955_1.pdf)  
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/164/1/T-UIDE-0158.pdf>  
[https://www.academia.edu/35718850/Elementos\\_de\\_Medici%C3%B3n\\_y\\_An%C3%A1lisis\\_de\\_Vibraciones\\_en\\_M%C3%A1quinas\\_Rotatorias](https://www.academia.edu/35718850/Elementos_de_Medici%C3%B3n_y_An%C3%A1lisis_de_Vibraciones_en_M%C3%A1quinas_Rotatorias)  
<https://es.slideshare.net/ricardoguetto/tesis-trailblazer-gt>  
[https://www.turbopartesdiesel.com/pdf/Manual%20de%20Fallas%20de%20un%20turbo%20original%20GARRETT.pdf?fbclid=IwAR3gdSzm9D-8Fra8dxOdL0PFK3orFVwv2x-H\\_pbOTeh8pUIYiVfGSWLABgQ](https://www.turbopartesdiesel.com/pdf/Manual%20de%20Fallas%20de%20un%20turbo%20original%20GARRETT.pdf?fbclid=IwAR3gdSzm9D-8Fra8dxOdL0PFK3orFVwv2x-H_pbOTeh8pUIYiVfGSWLABgQ)  
<https://docplayer.es/34327882-Introduccion-al-analisis-de-vibraciones.html>  
<https://docplayer.es/78788257-Escuela-politecnica-del-ejercito-espe-latacunga.html>  
[http://zaguan.unizar.es/record/4732/files/TAZ-PFC-2010-082\\_ANE.PDF%3B](http://zaguan.unizar.es/record/4732/files/TAZ-PFC-2010-082_ANE.PDF%3B)  
<https://docplayer.es/72916579-Programa-de-complementacion-para-titulacion.html>  
<https://www.mahle-aftermarket.com/media/homepage/facelift/media-center/workshop/e-paper-turbolader-schaden-es.pdf>  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/11554/1/Jos%C3%A9%20Luis%20V%C3%A1squez%20Guillen.pdf>

#### Instances where selected sources appear:

31

Ing. Jácome Guevara, Fausto Andrés, Mtr.

C.C.: 1717579609



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

### RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Taco Guaman, Hugo Hernan**, con cédula de ciudadanía n° 1724721764, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: “**Construcción de un banco de pruebas electrónico para realizar el balanceo de turbos de entre 1000 rpm y 5000 rpm para la Unidad de Gestión de Tecnología ESPE**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, julio de 2021

Firma

**Taco Guaman, Hugo Hernan**

**C.C.: 1724721764**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

### **AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Taco Guaman, Hugo Hernan** con cédula de ciudadanía n° 1724721764 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía “**Construcción de un banco de pruebas electrónico para realizar el balanceo de turbos de entre 1000 rpm y 5000 rpm para la Unidad de Gestión de Tecnología ESPE**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, julio de 2021**

Firma

**Taco Guaman, Hugo Hernan**

**C.C.: 1724721764**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de manera especial a mis padres que sin su apoyo no sería posible el sueño de culminar mis estudios universitarios. De igual manera dedico a mis hermanos quienes me apoyaron a poder seguir adelante y no rendirme. A mis padrinos quienes nunca dudaron en mí y confiaron en que este sueño sería una realidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres quienes me apoyaron incondicionalmente en mi vida estudiantil y gracias a ellos se culmina una meta más en mi vida. Agradezco a mis hermanas por ayuda en mi etapa universitaria y a mi hermano por ser también mi mejor amigo en momentos difíciles y siempre confiar en mí. A mis compañeros y compañeras quienes me brindaron su amistad y apoyo en todo momento. Agradezco a todos los ingenieros que conforman la carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz y a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

**Taco Guaman Hugo Hernan**

**Tabla de contenido**

<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>2</b>
<b>Urkund Analysis Result .....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de autoría.....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla de contenido.....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>16</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>17</b>
<b>Definición del Problema .....</b>	<b>18</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>18</b>
<b>Planteamiento del Problema.....</b>	<b>19</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>20</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>21</b>
<b><i>General</i>.....</b>	<b>21</b>
<b><i>Específicos</i> .....</b>	<b>22</b>
<b>Alcance .....</b>	<b>22</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>23</b>
<b>Historia del Turbo.....</b>	<b>23</b>

<i>La sobrealimentación</i> .....	26
Sistema de sobrealimentación .....	27
¿Qué es un sistema de sobrealimentación?.....	27
<i>La sobrealimentación en diésel</i> .....	29
<i>Fundamentos de la sobrealimentación</i> .....	30
Función del sistema de sobrealimentación.....	31
Tipos de turbos.....	32
<i>Tipos de turbos más utilizados</i> .....	34
Turbocompresor de geometría fija.....	34
Turbocompresor de geometría variable .....	35
<i>Funcionamiento con bajos regímenes de rotación del motor</i> .....	37
<i>Funcionamiento con altos regímenes de rotación del motor</i> .....	38
Turbocompresor de doble entrada (Twin Scroll) .....	39
Turbocompresor con válvula de descarga controlada electrónicamente.....	40
Averías .....	41
<i>Falta de lubricación</i> .....	42
<i>Aceite sucio</i> .....	44
<i>Fuga de aceite en el turbo compresor</i> .....	45
<i>Daños por partículas extrañas</i> .....	47
<i>Daños por temperaturas elevadas</i> .....	48
<i>Número excesivo de revoluciones</i> .....	49
Mantenimiento del turbo compresor.....	52
Tipos de Balanceo .....	52
<i>Balanceo estático</i> .....	53
<i>Balanceo dinámico</i> .....	53
Tipos de desbalance .....	54

	10
<i>Desbalanceo estático</i> .....	55
<i>Desbalanceo Par</i> .....	55
<i>Desbalance casi Estático</i> .....	56
<i>Desbalance Dinámico</i> .....	57
Causas del Desbalanceo del turbocompresor .....	58
Efectos del desbalanceo en turbocompresores.....	58
Tipos de vibraciones.....	59
<i>Introducción</i> .....	59
<i>Amplitud</i> .....	61
<i>Frecuencia</i> .....	61
<i>Desplazamiento, Velocidad y Aceleración</i> .....	62
<i>Instrumentos y métodos</i> .....	62
Vibración debido al desbalanceo .....	63
Vibración debido a falta de alineamiento .....	63
Vibración debido a excentricidad.....	64
Norma ISO 1940 .....	64
Balancadora de turbocompresores .....	67
Tipos de equilibradoras.....	68
Diseño y Construcción del Banco de Pruebas Electrónico.....	69
Estructura de la balancadora descripción y ensamble completo .....	69
Base de la balancadora .....	70
Guía de poleas regulables.....	71
Torre de balanceo.....	73
Bases flotantes .....	74
Poleas.....	75
Construcción de la balancadora .....	76

	11
<i>Placas laterales</i> .....	76
<i>Ejes</i> .....	77
<i>Torres</i> .....	78
<i>Balero fijo y balero móvil</i> .....	79
<i>Poleas</i> .....	80
<i>Guía para las poleas</i> .....	80
<i>Rodamientos</i> .....	81
Generalidades del equipo de balanceo .....	82
Selección del motor. ....	82
Descripción del sistema de medición.....	84
<i>Sensor de vibración</i> .....	84
<i>Tarjeta electrónica</i> .....	85
Diseño del software.....	86
Usart .....	88
Pruebas .....	89
Inspección del banco de pruebas electrónico para la realización del balanceo de turbos.....	89
Desarmado y armado de un turbocompresor .....	89
Balanceo del turbocompresor .....	92
Conclusiones y Recomendaciones .....	100
Conclusiones .....	100
Recomendaciones .....	100
<i>Bibliografía</i> .....	102
Anexos.....	108

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Grado de calidad ISO 10816.....</i>	<b>65</b>
<b>Tabla 2.</b> <i>Tipos de máquinas equilibradoras.....</i>	<b>68</b>
<b>Tabla 3.</b> <i>Materiales de la base de la balanceadora.....</i>	<b>71</b>
<b>Tabla 4.</b> <i>Materiales de la guía para las poleas móviles.....</i>	<b>73</b>
<b>Tabla 5.</b> <i>Materiales para la torre móvil.....</i>	<b>74</b>
<b>Tabla 6.</b> <i>Materiales para bases flotantes.....</i>	<b>75</b>
<b>Tabla 7.</b> <i>Materiales para las poleas.....</i>	<b>76</b>
<b>Tabla 8.</b> <i>Inspección de la balanceadora.....</i>	<b>89</b>
<b>Tabla 9.</b> <i>Datos del turbocompresor.....</i>	<b>92</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Maquina sobrealimentada a finales de los años 30.....</i>	24
<b>Figura 2.</b> <i>Modelo vtr320 y vt402 .....</i>	24
<b>Figura 3.</b> <i>Primer turbo sobrealimentado 1924.....</i>	26
<b>Figura 4.</b> <i>Motor que se alimenta por medios naturales.....</i>	28
<b>Figura 5.</b> <i>Concepto de rendimiento volumétrico.....</i>	29
<b>Figura 6.</b> <i>Concepto de sobrealimentación.....</i>	30
<b>Figura 7.</b> <i>Partes del turbo.....</i>	31
<b>Figura 8.</b> <i>Curvas características de un motor de gasolina .....</i>	32
<b>Figura 9.</b> <i>Conjunto colector de escape - turbo.....</i>	33
<b>Figura 10.</b> <i>Sistema simplificado de turbocompresor.....</i>	33
<b>Figura 11.</b> <i>Turbocompresor de geometría variable.....</i>	37
<b>Figura 12.</b> <i>Funcionamiento de un turbo de geometría variable a bajas revoluciones.....</i>	38
<b>Figura 13.</b> <i>Funcionamiento de un turbo de geometría variable a altas revoluciones.....</i>	38
<b>Figura 14.</b> <i>Turbocompresor de doble entrada .....</i>	40
<b>Figura 15.</b> <i>Esquema de accionamiento mediante presión positiva, controlada eléctricamente .....</i>	41
<b>Figura 16.</b> <i>Fallas del turbocompresor .....</i>	51
<b>Figura 17.</b> <i>Desbalance estático.....</i>	55
<b>Figura 18.</b> <i>Desbalance par.....</i>	56

<b>Figura 19.</b> <i>Desbalance casi estático</i> .....	57
<b>Figura 20.</b> <i>Desbalance dinámico</i> .....	58
<b>Figura 21.</b> <i>Amplitud de una onda sinusoidal</i> .....	61
<b>Figura 22.</b> <i>Un espectro de fft</i> .....	63
<b>Figura 23.</b> <i>Grado de desbalance residual iso 1940</i> .....	67
<b>Figura 24.</b> <i>Ensamble de la maquina balanceadora de turbos</i> .....	70
<b>Figura 25.</b> <i>Base lateral de la balanceadora</i> .....	70
<b>Figura 26.</b> <i>Base de la balanceadora</i> .....	71
<b>Figura 27.</b> <i>Medidas de guía de poleas móviles</i> .....	72
<b>Figura 28.</b> <i>Ensamblado de la guía de las poleas</i> .....	72
<b>Figura 29.</b> <i>Torre regulable</i> .....	73
<b>Figura 30.</b> <i>Bases flotantes</i> .....	74
<b>Figura 31.</b> <i>Poleas</i> .....	75
<b>Figura 32.</b> <i>Placa lateral</i> .....	77
<b>Figura 33.</b> <i>Ejes</i> .....	77
<b>Figura 34.</b> <i>Torres móviles</i> .....	78
<b>Figura 35.</b> <i>Baleros desmontables</i> .....	79
<b>Figura 36.</b> <i>Poleas</i> .....	80
<b>Figura 37.</b> <i>Guía para las poleas</i> .....	81
<b>Figura 38.</b> <i>Cojinete</i> .....	82
<b>Figura 39.</b> <i>Factor de servicio</i> .....	83
<b>Figura 40.</b> <i>Acelerómetro</i> .....	85

<b>Figura 41.</b> <i>Placa</i> .....	85
<b>Figura 42.</b> <i>Labview</i> .....	86
<b>Figura 43.</b> <i>Diagrama de conexión</i> .....	88
<b>Figura 44.</b> <i>Turbocompresor</i> .....	90
<b>Figura 45.</b> <i>Rueda compresora</i> .....	90
<b>Figura 46.</b> <i>Rueda de turbina</i> .....	91
<b>Figura 47.</b> <i>Turbocompresor</i> .....	91
<b>Figura 48.</b> <i>Montaje del turbo</i> .....	93
<b>Figura 49.</b> <i>Banda</i> .....	93
<b>Figura 50.</b> <i>Motor dc</i> .....	94
<b>Figura 51.</b> <i>Conectores rj45</i> .....	94
<b>Figura 52.</b> <i>Conector rj45 de la placa</i> .....	95
<b>Figura 53.</b> <i>Conexión del motor dc</i> .....	95
<b>Figura 54.</b> <i>Regulador de velocidad</i> .....	96
<b>Figura 55.</b> <i>Conexión de la placa</i> .....	96
<b>Figura 56.</b> <i>Programa labview</i> .....	97
<b>Figura 57.</b> <i>Selección del puerto</i> .....	97
<b>Figura 58.</b> <i>Vibraciones a bajas revoluciones</i> .....	98
<b>Figura 59.</b> <i>Vibraciones a media velocidades</i> .....	98
<b>Figura 60.</b> <i>Vibraciones a altas revoluciones</i> .....	99

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata de la Construcción de un banco de pruebas electrónico para realizar el balanceo de turbos de entre 1000 rpm y 5000 rpm para la Unidad de Gestión de Tecnología ESPE. En el mismo se investiga los sistemas de sobrealimentación que existen, las ventajas y desventajas de cada uno de sus modelos, teniendo en cuenta los tipos de balanceo y desbalanceo que existen, se realizó un estudio de las normas ISO aplicadas como referencia para considerar que un turbo este correctamente balanceado y en base a las mismas se realizó un diseño, selección de material construcción del banco de pruebas e implementación de un software capaz de medir las RMS que se producen en el rango de 1000 a 5000 rpm y que permitan determinar si los componentes del turbo se encuentran balanceados. Realizando las respectivas pruebas de funcionamiento al momento de realizar el balanceo del turbo. Obteniendo resultados positivos en el proyecto práctico mismo en el cual se encuentra establecido y comprobado en el trabajo escrito. Dando como resultado el balanceo de un turbocompresor listo para poder ser puesto en funcionamiento. El banco de pruebas servirá como material de apoyo en los talleres de mecánica automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Palabras clave:

- **ISO 1940 - 10816**
- **BALANCEADORA DE TURBOS**
- **RPM (REVOLUCIONES POR MINUTO)**
- **TURBOCOMPRESOR**

## **ABSTRACT**

The present degree work is about the Construction of an electronic test bench to perform the balancing of turbos between 1000 rpm and 5000 rpm for the ESPE Technology Management Unit. In which, are investigated the existing supercharging systems, the advantages and disadvantages of each one of the models. A study of the ISO standards has been applied as a reference to consider that a turbo is correctly balanced. A design was created with a selection of the bench's construction supplies and a software implementation capable of measuring the RMS that is been producing in the range of 1000 to 5000 rpm. Allowing to prove that turbo components are correctly balanced. Getting positive results in the practical project itself in which it is established and verified in the written work. As a result, in the balancing of a turbocharger ready to works into operation. The test bench will serve as a supporting material in the automotive mechanic workshops in the University of the Armed Forces ESPE.

Key words:

- **ISO 1940 - 10816**
- **TURBO BALANCING MACHINE**
- **RPM (REVOLUTIONS PER MINUTE)**
- **TURBOCHARGER**

## CAPÍTULO I

### 1. Definición del problema

#### 1.1. Antecedentes

El turbo tocaría el cielo luego de la Primera Guerra Mundial cuando J.C. Garrett creó una nueva compañía que inmortalizaría su apellido. Produciendo inicialmente intercoolers enfriadores de aire que se utilizaban en grandes aviones con turbo como el Boeing B-17, en 1954 crea una división dedicada exclusivamente a la producción de turbos para vehículos Garrett Automotive (Calaza, 2017).

La tecnología de la turboalimentación lleva décadas existiendo. Nació para usos militares, buscando mejorar el rendimiento de los motores de aviación a gran altura, donde la densidad del aire era tan baja, que se hacía necesario forzarlo al interior del motor para obtener un mayor rendimiento (Álvarez, 2016).

Según el Manual de Análisis de Fallas (2005) refiere que:

Durante el funcionamiento del turbo los gases provenientes del motor son dirigidos a la rueda de turbina. Estos gases que poseen la energía en forma de presión, temperatura y velocidad provocan la rotación del rotor de la turbina y por consiguiente del rotor del compresor. Con la rotación, el aire atmosférico propiamente filtrado es aspirado y luego comprimido por el rotor de compresor, que sigue hacia los cilindros del motor. Existiendo una presión mayor en la admisión, el trabajo realizado por los cilindros es positivo, en otros términos, los cilindros gastan menor cantidad de energía en la fase de admisión (p.4).

El turbo compresor nos ayuda aprovechar la energía de los gases de escape para reducir el consumo del combustible y las emisiones sean menores o casi nulas.

El uso de un banco de pruebas electrónico para la realización del balanceo de turbocompresores permite realizar un diagnóstico del estado del componente ya mencionado, así como también el poder realizarle un mantenimiento preventivo correctivo para con ello garantizar el correcto funcionamiento del turbo compresor ya que la mayoría de automóviles a diésel en el mundo utilizan este componente y con ello aprovechan la recirculación de los gases de escape llegando a obtener una correcta quema del combustible y con ello disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se establece que el banco de pruebas permite realizar tareas de diagnóstico y mantenimiento. Lara (2006) hace énfasis al decir que “Se pueden realizar las pruebas de balanceo estático y dinámico lo que permite obtener un diagnóstico técnico acerca del estado del turbocompresor” (p.7).

## **1.2. Planteamiento del Problema**

En un motor cuando se busca obtener una mayor potencia es necesario que el volumen introducido a la cámara de combustión sea mayor esto se obtiene implementando un turbocompresor cuya función es introducir una mayor cantidad de aire a la cámara esto se obtiene gracias a la recirculación de los gases de escape que no fueron totalmente combustionados aprovechando aquella energía se logra una mayor potencia en el motor.

El turbocompresor es un gran contribuyente a la protección del medio ambiente ya que recircula los gases de escape que no fueron totalmente combustionados y los vuelve a introducir a la cámara de combustión logrando que

las emisiones de co2 sean mínimas logrando con ella a la disminución de gases de escape mal combustionados y con ello proteger al medio ambiente.

La vida útil de un turbocompresor dependerá de los cuidados que se le proporcionen tales como el balanceo, la lubricación, revisión de fisuras, revisión de componentes pues cuando no se le realiza un buen mantenimiento a tiempo estos pueden causar desgastes prematuros en el componente con ello acortando la vida útil del mismo y causando daños considerables al motor, así como el rendimiento del vehículo llegando afectar la economía del conductor pues al no ser diagnosticado a tiempo tales daños puede representar un gasto aun mayor de lo previsto.

### **1.3. Justificación**

La realización de este proyecto busca reducir los niveles de contaminación que existen en el medio ambiente por el mal funcionamiento del turbo compresor ya que este componente ayuda a que los gases que no fueron completamente quemados son recirculados a la cámara de combustión nuevamente para quemarlos completamente y con ello contribuir a la protección del medio ambiente y disminuyendo considerablemente los gases de escaque contaminantes que emana el automóvil por la mala quema de la mezcla estequiometria.

El balanceo preventivo del turbocompresor ayuda a extender la vida útil del mismo con este banco de pruebas se busca realizar el diagnóstico del estado en el cual se encuentra el turbocompresor.

Casi el 90% de los vehículos que salen actualmente al mercado incluyen un turbocompresor por lo que un fallo en este componente podría ocasionar daños graves al motor del vehículo tales como el consumo excesivo del aceite, fugas de presión. (RO-DES,2015).

La vida útil del turbo depende del mantenimiento que se le realice conjuntamente del tipo de lubricante que se utilice ya que esto puede crear el deterioro más rápidamente de lo que el fabricante estipula del ser el caso de la elección de un mal lubricante o un diagnóstico mal realizado.

El turbocompresor puede tener las siguientes averías o desgastes, por ejemplo:

El desequilibrio del turbocompresor y posteriormente la rotura del turbo esto se puede dar por el ingreso de objetos extraños al mismo por un filtro de aire en mal estado contribuyendo con ello a la baja potencia del vehículo.

Exceso de temperatura esto lo puede causar la mala elección de un turbocompresor teniendo como resultado temperaturas elevadas las cuales pueden llegar a desgastar las propiedades que tiene el aceite de lubricación y con ello causar fisuras o roturas en los alabes del turbo.

Es preciso profundizar en el estudio del turbocompresor, así como su balanceo combinando tanto la parte teórica como práctica en el momento real del funcionamiento, en donde los técnicos tengan guías detalladas para un mejor aprendizaje de los conocimientos teóricos, ya que se podrá analizar la curva en tiempo real, comparar datos, realizar un diagnóstico y poder solucionarlo.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Construir un banco de pruebas electrónico para la realización del balanceo de turbocompresores para reducir considerablemente las emisiones de gases nocivos de los vehículos y con ello alargar la vida útil del componente.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Obtener información teórica relacionada con el balanceo de turbocompresores, así como sus componentes.
- Construir el banco de pruebas para el balanceo de turbocompresores.
- Evaluar los resultados obtenidos de la construcción del banco de pruebas y establecer conclusiones

### **1.5. Alcance**

El presente proyecto tiene como propósito implementar un banco de pruebas electrónico para la realización de balanceo de turbos mismo que servirá como material de apoyo para el aprendizaje teórico-práctico en la formación académica de los estudiantes de la carrera de Tecnología en Mecánica Automotriz.

Este documento está conformado por cuatro capítulos. El capítulo 1 contiene la Introducción del documento y detalla el Propósito y el Alcance y Referencias utilizadas en el documento. El capítulo 2 contiene la Historia del turbo, Tipos de turbos, Tipos de balanceo, Tipos de vibraciones, Tipos de desbalanceo. El capítulo 3, Diseño y construcción del banco de pruebas electrónico, Descripción del sistema de medición, Pruebas en el banco de pruebas electrónico, Mantenimiento. El capítulo 4 contiene las Conclusiones y Recomendaciones, Glosario, Referencias utilizadas en el documento, Anexos.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1. Historia del turbo

Cuando se aborda la historia del turbo se habla de que las primeras aplicaciones de este fueron para maquinaria pesada como se lo menciona a continuación:

Los turbocompresores se utilizaban para máquinas de régimen constante y grandes potencias (barcos, locomotoras, compresores, motores para la industria, etc.). Estos turbocompresores eran de enormes dimensiones y muy elevado peso, giraban a un régimen muy lento y tenían una altísima inercia, obteniéndose su rendimiento en régimen máximo del motor. (Arias, M, 2004, p.553).

El turbo compresor tuvo sus orígenes surgidos por la necesidad de aumentar la potencia del vehículo mientras se economizaba el uso del combustible, BorgWarner (2020) menciona que “En 1885 y 1896, Gottlieb Daimler y Rudolf Diesel investigaron incrementar la potencia y reducir el consumo de combustible de sus motores mediante la pre compresión del aire de combustión” (p.1).

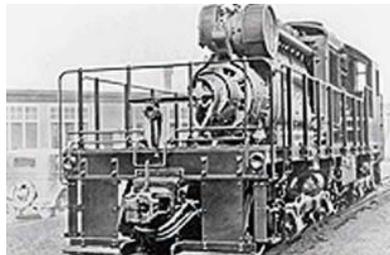
El autor refiere que turbocompresor fue creado para poder economizar el consumo de combustible y así mismo aumentar la potencia del motor.

Alfred Büchi es conocido como el inventor del turbo patente como lo menciona Ferrer (2013), “Su idea en 1905 fue descrito como un motor de excitación mixta altamente sobrealimentado que incluía un motor diésel, un compresor axial y una turbina axial montada sobre un árbol común”. Siendo reconocido entonces como el pionero en la sobrealimentación de motores que favorecería a la potencia del mismo.

En el transcurso de la historia del turbo existieron varios aportes significativos dentro de los cuales el trabajo del ingeniero suizo Alfred Büchi es el más sobresaliente como lo menciona BorgWarner (2020) “Fue el primero en lograr la turbo alimentación por gases de escape, obteniendo un aumento de potencia superior al 40 %. Esto marcó el inicio de la introducción paulatina de la turbo alimentación en la industria automovilística” (p.1).

### **Figura 1.**

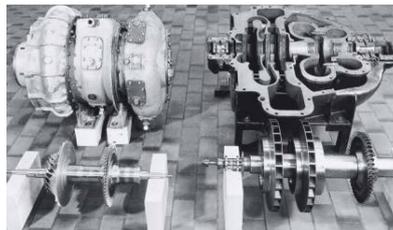
*Maquina sobrealimentada a finales de los años 30*



*Nota.* Locomotora con sistema de sobrealimentación. Tomado de (Summers, 2007)

### **Figura 2.**

*Modelo VTR320 y VT402*



*Nota.* Evolución del turbo y la sobrealimentación entre los años 1924 y 1945.

Tomado de (Summers, 2007)

Siguiendo esta línea del tiempo nos encontramos con una fecha que marco significativamente el inicio de la industria automotriz como lo recalca BorgWarner (2020) señalando que “En 1938, se construyó el primer motor turboalimentado para camiones a cargo de la sociedad "Swiss Machine Works Saurer “. El Chevrolet

Corvaire Monza y el Oldsmobile Jetfire fueron los dos primeros turismos dotados de turbocompresor” (p.1).

En el transcurso del tiempo vemos en avance de esta tecnología el autor Arias (2004) ha señalado lo siguiente con respecto a este tema:

En la era de los años 60 comienza a emplearse de forma generalizada en los grandes motores de automoción dedicados al transporte; es el comienzo de la reducción de tamaño, pero aún son pesados y de alta inercia con regímenes de giro entre el 40.000 y 60.000 rpm. A partir de entonces comienza la era de la sobrealimentación en la que todos los fabricantes de motores se interesan por la aplicación de esta tecnología con el fin de obtener mejores rendimientos de los actuales motores. (Arias, 2004, p.553).

Ferrer (2013) señala que:

Después de la primera crisis del petróleo de 1973. Hasta entonces, las elevadas inversiones en el desarrollo de esta tecnología solo se veían compensadas por el ahorro de coste en el combustible, que era mínimo. Pero el aumento en las limitaciones de la normativa sobre emisiones a finales de los 80 derivó en un incremento del número de motores con turbo. (p.1).

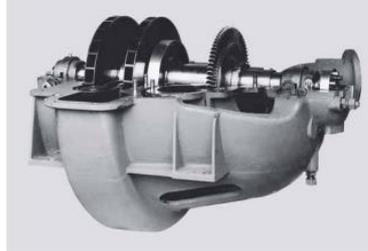
Con la normativa ecológica implementada para los automotores el turbo compresor llegó a tener una mayor aceptación en la industria automotriz.

La gran revolución para automóviles para turismo llegó en los años 1978 con el Mercedes-Benz 300SD, seguido del VW Golf – Turbo Diésel en 1981, estos automóviles lograron reducir las emisiones significativamente contando con la misma manejabilidad que un motor a gasolina. (BorgWarner, 2020).

La introducción de la turbo alimentación al mundo de las carreras se dio en el año 1979 Renault RS10 cruzó victoriosamente la meta del gran premio de Francia de F1. (Ferrer, 2013).

**Figura 3.**

*Primer turbo sobrealimentado 1924*



*Nota.* Primer turbocompresor del año 1924. Tomado de (Summers, 2007)

En el ámbito de la sobrealimentación se evidencia un exponencial desarrollo del turbo que se remonta a un siglo anterior como lo señala Summers (2007) diciendo que:

Durante los 100 años transcurridos desde la patente de Büchi de 1905, el turbo sobrealimentador de gases de escape ha sido indispensable para la industria de motores diésel y de gas. La inversión en investigación y desarrollo a lo largo de las décadas ha traído avances excepcionales en tecnología y diseño (p.90).

Es por ello que en la industria automotriz el turbo compresor ha jugado un papel importante en el progreso de tecnología en automóviles.

**2.1.1. La sobrealimentación**

Al abordar el tema de la sobrealimentación se concibe como la simplificación del proceso de una mezcla estequiométrica ideal en el cual intervienen diversos factores que permiten obtener un mejor rendimiento del automóvil, explicado desde la perspectiva de Summers (2007) hace énfasis en mencionar lo siguiente:

La potencia de un motor de combustión interna está determinada por la cantidad de aire y combustible que puede comprimirse en sus cilindros y por la velocidad del motor. Los turbos sobrealimentadores suministran al motor aire a alta presión, forzando que en los cilindros entre más aire disponible para la combustión. El gas de escape del motor, a unos 600°C de temperatura, es dirigido a alta velocidad a las paletas de una turbina que impulsa la rueda de un compresor montada en el mismo eje. Al girar, la rueda aspira aire a través de un filtro-silenciador, lo comprime y lo envía por un post enfriador al depósito de aire, desde donde pasa a los cilindros. (p.90).

Por tanto existe una clara mejora en la mezcla estequiometrica aprovechando la recirculacion de los gases de escape para obtener una mejor combustion de la mezcla aire – combustible.

Otro autor menciona lo siguiente:

En la actualidad se obtienen velocidades de giro de los turbocompresores entre 100.000 y 120.000 rpm. La crisis energética y la necesidad imperiosa de evitar la contaminación en las ciudades, no hacen sino imponer como la solución, la implantación del turbocompresor de forma generaliza y casi imprescindible en los motores diésel. (Arias, 2004,p.553).

## **2.2. Sistema de sobrealimentación**

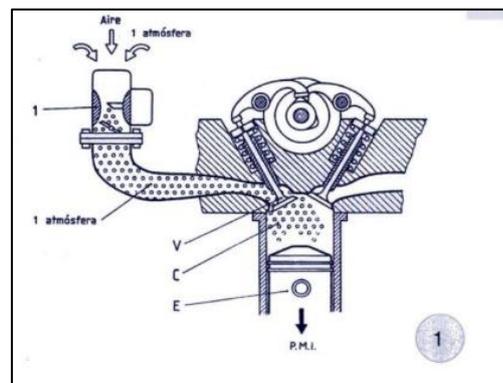
### **2.3. ¿Qué es un sistema de sobrealimentación?**

El avance en la industria automotriz refleja cambios significativos al reutilizar los gases de escape ayudando a generar una mayor potencia al motor, como lo afirma Gil (2002) al señalar lo siguiente:

Sobrealimentar un motor puede definirse como la forma de utilizar un sistema mediante el cual se consiga al interior de cada cilindro una mayor cantidad de mezcla (aire gasolina en la proporción adecuada) de la que el motor puede aspirar de por medios naturales. Esta entrada forzada de la mezcla hace que aumente las presiones en el interior de la cámara de combustión y que se obtenga con ello una mayor potencia por cada pistoneada. (p.8).

#### Figura 4.

*Motor que se alimenta por medios naturales*

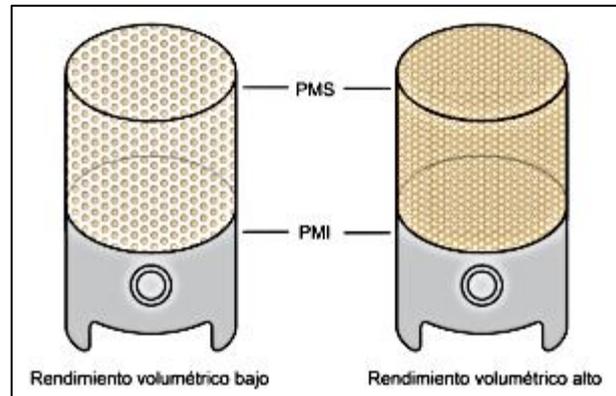


*Nota.* Sobrealimentación en motores a gasolina. Tomado de (Gil, 2002)

Se identifica también que existe una comparación en la cilindrada del motor y las cotas del mismo, así como lo describe Pérez (2017) “En cierto modo, es comparable a un incremento de la cilindrada, puesto que se admite una mayor cantidad de aire o mezcla en cada ciclo, pero sin incrementar para ello las cotas del motor” (p.440). Este autor concibió llamar a estos motores también con el nombre de motores soplados.

## Figura 5.

Concepto de rendimiento volumétrico



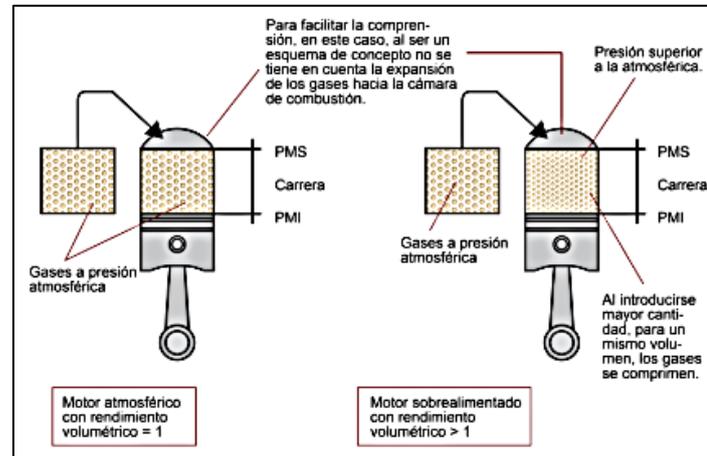
Nota. Rendimiento volumétrico en el cilindro. Tomado de (Pérez, 2017)

### 2.3.1. La sobrealimentación en diésel.

Cuando comenzó la era de la sobrealimentación en automóviles a gasolina y viendo la importancia de este en el proceso del aumento de la potencia del motor se da la incorporación de este a los automóviles en diésel como lo reconoce Pérez (2017) al referirse que “En los motores diésel la sobrealimentación favorece la realización de su ciclo de trabajo, ya que mejora las turbulencias del aire, beneficiando la combustión, además de mejorar la refrigeración interna del motor, sobre todo en la cabeza del pistón, prolongándose su vida útil. Todo ello siempre dentro de unos límites razonables”. (p.440).

**Figura 6.**

*Concepto de sobrealimentación*

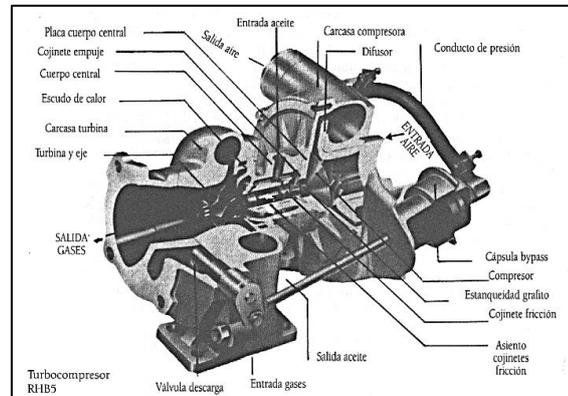


*Nota.* Comportamiento de la sobrealimentación en el motor. Tomado de (Pérez, 2017)

### 2.3.2. Fundamentos de la sobrealimentación.

Arias (2004) describe las características principales para aumentar la cantidad de masa de aire que ingresa al cilindro:

- Aumentar la cilindrada o lo que es lo mismo la capacidad de absorción del motor. Esta solución tiene como consecuencia el incremento del peso, de las dimensiones exteriores, de los rozamientos del motor y el consumo es más elevado.
- Aumentar el régimen, incrementando el número de operaciones de bombeo en un tiempo determinado. Esta operación requiere de un refuerzo del motor y aumentan los rozamientos.
- Aumentar el llenado, favoreciendo el efecto de aspiración del pistón durante su descenso. Esta solución implica que sobre un motor de aspiración atmosférica se tenga que actuar.

**Figura 7.***Partes del turbo*

*Nota.* Componentes que conforman un turbocompresor. Tomado de (Arias-Paz, 2004)

#### 2.4. Función del sistema de sobrealimentación.

Existen diferentes funciones para la sobrealimentación las cuales son descritas por Arias (2004) de la siguiente manera:

- En la altitud compensar la disminución de la densidad del aire, con el objetivo de que el motor conserve sus prestaciones; es el caso de la aviación.
- Incrementar la cantidad de aire suministrada al motor para aumentar sus prestaciones; es el caso de su empleo en el campo de automoción.

Cuando se implementa el sistema de sobrealimentación es importante tener en cuenta la temperatura de los gases de escape que recirculan al cilindro puesto que de no hacerlo el aumento de potencia esperado no se obtendría ya que el aumento de temperatura disminuye la densidad del aire para solucionar este

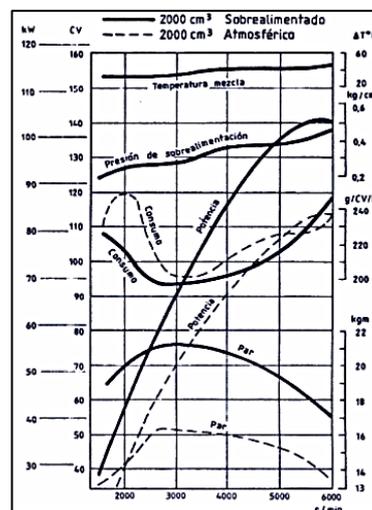
problema se utiliza intercambiadores de aire conocido también como Intercooler. (Pérez, 2017, p.441).

Pérez (2017) menciona los siguientes valores de presión que se obtienen al utilizar el sistema de sobrealimentación:

Los valores máximos de sobrepresión, mantenidos, en vehículos de turismo, oscilan en torno a los 0,4 – 1,2 bares en Otto y hasta 2,2 en diésel, siempre teniendo en cuenta que se trata de presiones relativas, puesto que se parte de la presión atmosférica ya existente. Algunos motores a gasolina ofrecen presiones puntuales, no mantenidas, de hasta 1,5 bares. Por tanto, el valor absoluto de presión, mantenido, alcanzado por sistemas de sobrealimentación, oscilan entorno a los 1,4 – 3,2 bares. (p.442).

### Figura 8.

*Curvas características de un motor de gasolina*



*Nota.* Curvas características de una marca FIAT. Tomado de (Gil, 2002)

## 2.5. Tipos de turbos

Los turbocompresores son utilizados en la actualidad tanto en vehículos a gasolina como a diésel obteniendo elevadas potencias con bajas cilindradas sin afectar

el peso del vehículo. A lo largo del tiempo se ha ido implementando nuevas tecnologías para un mejor aporte a la potencia del motor. (Pérez, 2017, p.449).

**Figura 9.**

*Conjunto colector de escape - turbo*

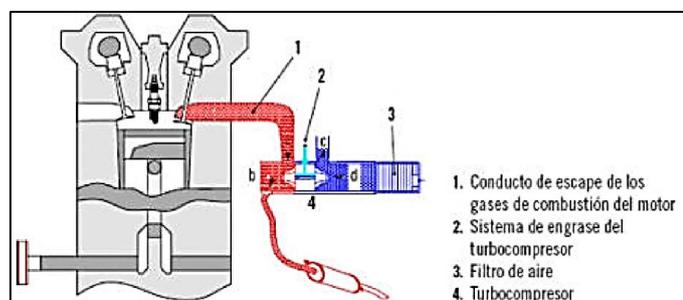


*Nota.* Cuerpo completo del colector del escape del turbocompresor. Tomado de (Pérez, 2017)

El turbocompresor aprovecha energía cinética de los gases de escape para comprimir el aire atmosférico que entra al sistema de admisión de aire. (Rodríguez, 2013, pp.2 ).

**Figura 10.**

*Sistema simplificado de turbocompresor*



*Nota.* La imagen representa el funcionamiento del turbocompresor aprovechando la energía de los gases de escape. Tomado de (Rodríguez, 2013)

El turbocompresor aumenta la potencia del motor sin consumir la potencia mecánica del mismo. Alcanzando así la turbina revoluciones de hasta 300000 rpm y temperaturas que llegan a sobrepasar los 1000°C siendo importante el sistema de refrigeración, así como el de lubricación del turbo. Rodríguez( 2013).

Según Arias (2004) en cuanto al proceso de recirculación de aire nos señala la acción que cumple los diferentes componentes del turbo señalando lo siguiente:

La turbina es accionada por los propios gases de escape, va unida solidariamente por un eje a la rueda del compresor, al que mueve, cuya finalidad consiste en mandar a presión al colector de admisión el aire tomado del exterior, filtrado previamente por el purificador; de esta manera nace el turbocompresor, que consta de tres partes fundamentales: la turbina, el cojinete central y el compresor. (p.557).

### **2.5.1. Tipos de turbos más utilizados**

En la industria automotriz existen diferentes tipos de turbos los cuales cumplen la función de aumentar la potencia del motor dando a conocer entre ellos:

- Turbocompresor de geometría fija
- Turbocompresor de geometría variable
- Turbocompresor Twin Scroll
- Turbocompresor Eléctrico

### **2.6. Turbocompresor de geometría fija**

Sanchez, E.(2008) señala:

El conjunto del turbo compresor está formado principalmente por una turbina y un compresor que se encuentran introducidos en sus respectivas carcasas

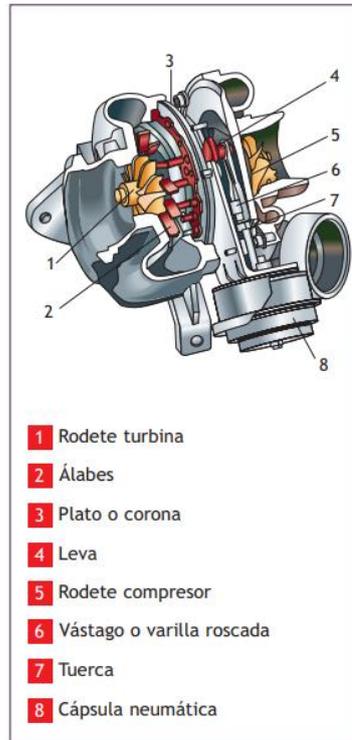
de forma opuesta y unidas ambas por un eje común. Tanto la turbina como el compresor contiene alabes para conseguir aumentar la presión de alimentación. En una parte anexa al turbo también se encuentra la válvula de descarga. Que se encarga de limitar la presión de sobrealimentación del turbo desviando una cantidad de gases de escape directamente al escape sin pasar por la turbina. La carcasa de la turbina tiene forma de caracol para aumentar la velocidad de los gases haciéndolos incidir con mayor fuerza sobre sus alabes. En la parte central se ubica el eje que une la turbina y el compresor. Este eje está sometido a altas sollicitaciones mecánicas debido al giro y, además, debe soportar elevadísimas temperaturas. El eje se apoya en el turbocompresor por medio de los cojinetes o rodamientos (turbos muy pesados) en sus extremos y está en contacto con el circuito de engrase para conseguir un perfecto movimiento del eje y una refrigeración debido a las altas temperaturas. La falta de lubricación correcta puede provocar la destrucción del turbo en cuestión de minutos (p.414).

De tal manera como lo señala el autor este tipo de turbos fueron implementados especialmente para automóviles a gasolina ya que trabajaban con altas temperaturas y estos exigían grandes esfuerzos al motor y al turbocompresor por lo que su armazón es diseñado con materiales que soporten estas altas temperaturas.

## **2.7. Turbocompresor de geometría variable**

Con el avance tecnológico automotriz se desarrolló un turbo únicamente para motores diésel el cual en la actualidad es muy utilizado, Autoavance (2012) en su artículo con respecto a este tema hace referencia lo siguiente:

Los turbocompresores de geometría variable tienen la característica de que a bajas revoluciones del motor se nota su efecto, eliminando el gran inconveniente de los turbocompresores de geometría fija. Son los más implantados en vehículos modernos. Su funcionamiento es similar a los de geometría fija. Pero con la salvedad de que estos no necesitan de una válvula de descarga, puesto que el sistema puede hacer disminuir el giro de la turbina y, por tanto, rebajar la presión a los valores preestablecidos en determinados modos de funcionamiento del motor. La gestión electrónica en este caso es la encargada de hacer disminuir o aumentar la fuerza que ejercen los gases de escape sobre la turbina. Con esto se consigue tiempos de respuesta del turbo muy breves, además velocidades de gases alta y funcionamiento progresivo de la turbina desde bajos regímenes. Para conseguir los efectos anteriormente expuestos se ha dispuesto en la turbina de escape del turbocompresor una corona con un número de álabes móviles en su periferia. La corona a su vez se encuentra unida a una varilla y está a una capsula neumática dividida en dos cámaras. (p.1).

**Figura 11.***Turbocompresor de geometría variable*

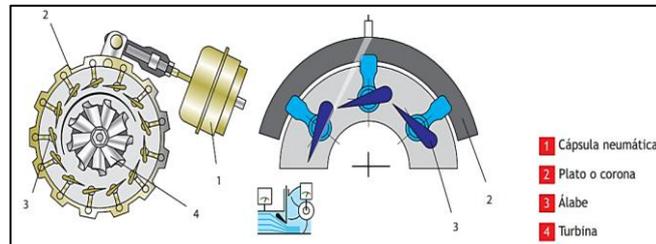
*Nota.* Este tipo de turbo trabaja mejor en bajas revoluciones. Tomado de (Autoavance, 2017)

### **2.7.1. Funcionamiento con bajos regímenes de rotación del motor.**

Sanchez, E.(2008), los turbos de geometria varible cuando funciona a bajos regimenes de rotacion sus alabes móviles se encuentran cerrados en su totalidad llegando a ser minima su seccion de paso. Al aumentar la velocidad de los gases crea una mayor velocidad por parte de la turbina del turbo y por lo tanto del compresor, aumentando con esto la sobrealimentacion cuando el motor trabaja en regimenes bajos.

**Figura 12.**

*Funcionamiento de un turbo de geometría variable a bajas revoluciones*



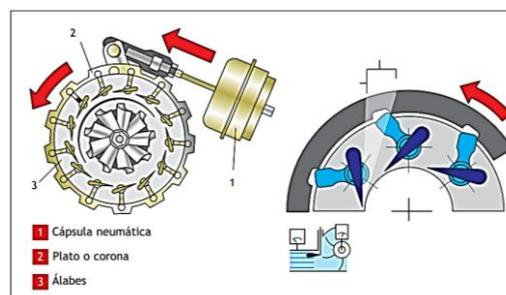
*Nota.* Se observa los alabes móviles completamente cerrados creando una mejor sobrealimentación a bajas revoluciones. Tomado de (Sanchez, 2008)

### **2.7.2. Funcionamiento con altos regímenes de rotación del motor.**

El funcionamiento del turbo cuando el motor trabaja con altos regímenes de rotación su velocidad aumenta proporcionalmente a la velocidad de los gases de escape. Como consecuencia se eleva la velocidad del rotor del turbo aumentando la presión de la sobrealimentación. La posición de los alabes al final dependerán de la presión que ejerza el sistema de sobrealimentación siempre y cuando estén totalmente abiertos para alcanzar la presión máxima establecida. Obteniendo finalmente las velocidades del compresor igual o inferior a cuando se trabaja a regímenes bajos. (Sanchez, 2008).

**Figura 13.**

*Funcionamiento de un turbo de geometría variable a altas revoluciones*

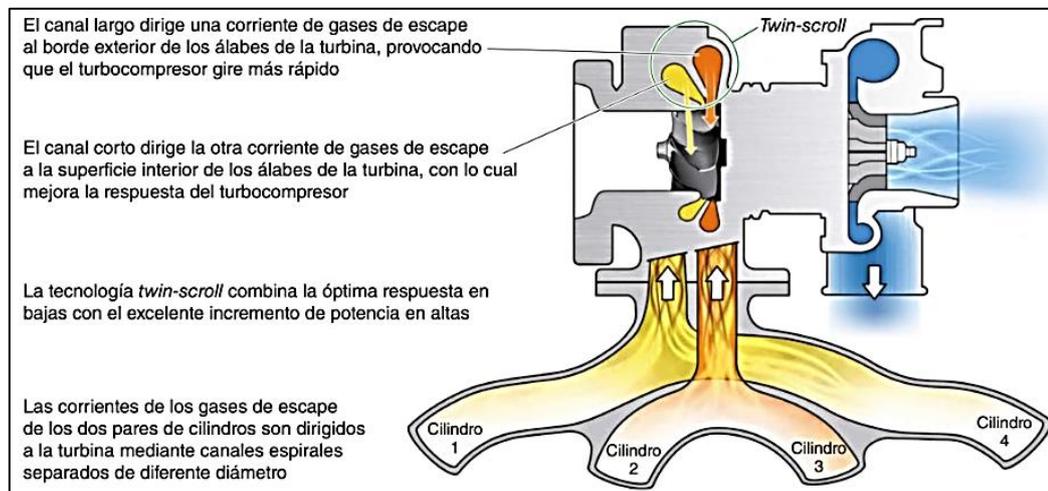


*Nota.* Los alabes móviles se encuentran totalmente abiertos. Tomado de (Sanchez, 2008)

## 2.8. Turbocompresor de doble entrada (Twin Scroll)

El turbo Twin Scroll aprovecha todos los gases de escape sin dejar perdida de potencia al motor según como se lo señala en la investigación realizada por Pardiñas, J y Feijó, R (2018):

Algunos fabricantes utilizan turbocompresores de doble entrada (Twin Scroll) con los gases de escape, mediante los cuales los cilindros 1 y 4 tienen una entrada a la turbina de escape y los cilindros 2 y 3 otra distinta. Así, no hay en ningún momento la comunicación entre el cilindro que está en la fase de escape y otro que tenga abiertas aun las válvulas de escape debido al retraso en el cierre de las mismas. De esta forma, se evita que los gases de escape sean respirados de nuevo a los cilindros, y con ello un empeoramiento del funcionamiento del motor, por estar estos incomunicados. Otra particularidad de este turbocompresor está en el funcionamiento de la válvula reguladora de presión, ya que esta limita solo dos de los cilindros. Los otros dos siguen alimentando de gases a la turbina para que continúe girando. De esta forma, hay una respuesta más rápida del motor cuando el turbo llega a su nivel más bajo de revoluciones (p. 514 - 515).

**Figura 14.***Turbocompresor de doble entrada*

*Nota.* Este tipo de turbos trabaja en altas y bajas revoluciones. Tomado de (Pardiñas y Feijó, 2018)

## 2.9. Turbocompresor con válvula de descarga controlada electrónicamente.

Con respecto al avance progresivo de los turbos el que resalta por su avance tecnológico es el turbo eléctrico puesto que genera una mayor precisión al momento de crear una sobrealimentación en el motor como lo señala Pérez (2017):

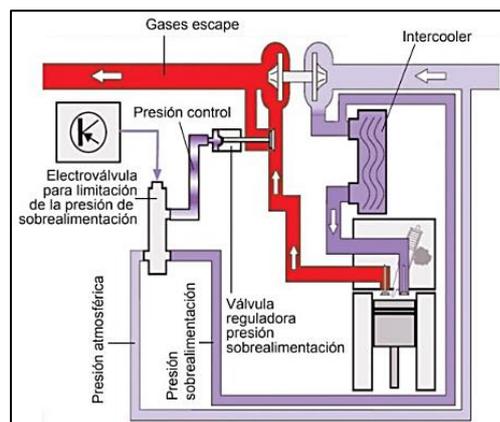
Este sistema tiene la ventaja de que permite un control electrónico de la presión de sobrealimentación, contando para ello con la información facilitada, sobre todo, por el sensor de presión de sobrealimentación. Así, se evita depender del muelle del pulmón, no estando expuestos a la fatiga mecánica por envejecimiento, que hace que la presión de soplado vaya disminuyendo paulatinamente, a medida que el taladro del muelle se va reduciendo con el paso del tiempo. Este sistema se emplea, tanto en turbos cuya válvula de descarga está controlada por presión positiva, como en aquellos en los que esta pilotada por depresión. En el primer caso, la

electroválvula controla la llegada de presión positiva al pulmón de accionamiento de la válvula de descarga. En los motores diésel en cambio, si el turbo dispone de gestión electrónica, se utiliza la depresión para accionar el pulmón de la válvula de descarga (p. 454).

Estos cambios se lo realizaron con la finalidad de mejorar el sistema de sobrealimentación al momento de generar una mayor potencia al motor sin descuidar una sobrepresión en el sistema.

### Figura 15.

*Esquema de accionamiento mediante presión positiva, controlada eléctricamente.*



*Nota.* Funcionamiento del control electrónico de la presión de sobrealimentación.

Tomado de (BELLO, 2017)

### 2.10. Averías

Dentro del funcionamiento del turbo compresor debemos saber las causas de sus averías y como solucionarlas correctamente ya que si no es reparada correctamente puede conllevar a que vuelva a fallar el turbo compresor causando con esto más gastos al propietario del automotor. Los turbos compresores están expresamente fabricados acordes a la vida útil del motor del automóvil no obstante

el mal funcionamiento de otros componentes puede llevar a un mal funcionamiento o en casos extremos el deterioro prematuro del turbo compresor. MAHLE. (s.f.).

Se va abordar a continuación los siguientes temas: los tipos de fallas, consecuencias y la prevención siendo estos temas muy relevantes al momento de realizar el mantenimiento al turbo desde la perspectiva de MAHLE. (s.f.) lo describe de la siguiente manera:

- Perdidas de potencia
- Emisión de humo negro o blanco
- Ruido
- Consumo excesivo de aceite o combustible

Las causas que provoca el mal funcionamiento del turbo compresor son:

- Falta de lubricación
- Aceite sucio
- Fuga de aceite en el turbo compresor
- Daño por partículas extrañas
- Daños por temperaturas elevadas
- Número excesivo de revoluciones

### **2.10.1. Falta de lubricación**

Las causas más comunes de averías en un turbo compresor es la falta de lubricación ya que al existir un déficit o nula lubricación puede existir desgaste prematuro de los componentes provocando el cambio del componente sin poder completar su vida útil.

### **Consecuencias**

- El rodete del compresor y el rodete de la turbina pueden llegar a existir una fricción entre ambos componentes debido a una falla en el cojinete que existe en la carcasa del turbocompresor. Esta falla se la puede detectar debido a las marcas de fricción en las mismas.
- Al existir una baja presión en el sistema de sobrealimentación, el motor tendrá una pérdida considerable de potencia. A consecuencia del desgaste del rotor esto provoca que no alcance las revoluciones máximas provocando que no alcance una presión plena. Esto puede deberse a la falta de lubricación.
- A consecuencia de un déficit de lubricación el vástago del eje llega a presentar una decoloración debido a la fricción de los componentes con llevando alcanzar altas temperaturas consecuencia por la falta de lubricación. Esto puede conllevar a la fundición de los materiales consecuentemente a una soldadura térmica.
- Si los casquillos de cojinete fijos montados en la carcasa del cojinete quedan soldados con el eje, los casquillos pueden torcerse dentro de la carcasa.
- Al existir una fricción con la carcasa, puede llegar a existir un desequilibrio en el rotor. Como consecuencia llega a existir el riesgo que el cojinete radial se rompa.

### **Causas**

- Debido a la falta de líquido lubricante ya sea en el motor como en el turbocompresor llegan a tener un déficit de lubricación por ello una refrigeración por aceite insuficiente existiendo fricción en los componentes.

- El aceite puede llegar a perder sus propiedades llevando a un mayor volumen de carbonilla dando a lugar la obstrucción de los conductos de lubricación como consecuencia el turbo no recibe la lubricación adecuada eliminando la película de aceite.
- Si en el sistema de lubricación se evidencia la presencia de cuerpos extraños o suciedad puede llegar a obstruir los conductos de lubricación del turbocompresor.

### **Prevención**

- Es necesario que el motor sea sometido a un riguroso proceso de calentamiento y enfriamiento.
- El nivel de aceite debe de ser lo suficiente para para el correcto funcionamiento del sistema de lubricación.
- Utilizar el aceite lubricante especificado por el fabricante del vehículo.
- Utilizar filtros de aire y aceite de calidad.

#### **2.10.2. Aceite sucio**

La existencia de cuerpos extraños en el sistema de lubricación o suciedad pueden llegar a contaminar el fluido. Esto puede llevar a provocar daños en el turbo.

### **Consecuencias**

- Al existir un alto consumo de aceite puede deberse al ingreso de partículas extrañas que no corresponden al fluido de lubricación. Puede deberse al desgaste de los segmentos del pistón que no ofrecen la misma calidad de estanqueidad para el turbo desgastando y afectando a los diferentes componentes que lo conforman.

- Si el conducto de retorno del aceite existe una obstrucción esto puede provocar una excesiva capa de carbonilla en los diferentes componentes que la conforman pudiendo ser estos la carcasa del cojinete como los segmentos del pistón llegando a sufrir un desgaste mayor de lo común.
- Llega a presentar desgastes en el eje del turbo presentando con ello marcas de desgaste.

### **Causas**

- Al llegar la vida útil del filtro de aceite este ya no cumple con su función que es de filtrar las partículas de suciedad en el fluido llegando estas al circuito de lubricación del motor por medio de la válvula bypass abierta del filtro de aceite provocando el desgaste prematuro de los componentes.
- El motor al estar sometido a fuertes desgastes, las partículas de desgastes que en su mayoría llega hacer metálicas pueden llegar a afectar el turbocompresor por medio del sistema de lubricación.

### **Prevención**

- Estrictamente se debe cumplir con los mantenimientos recomendados por el fabricante en el intervalo de tiempo indicado.
- Obligatoriamente cuando se sustituye el turbocompresor se deben de colocar un Intercooler, así como un filtro nuevo seguido de un cambio de aceite permitiendo con esto que el sistema de lubricación trabaje correctamente.

#### ***2.10.3. Fuga de aceite en el turbo compresor***

Si existe la presencia de humo azul puede deberse al consumo excesivo de aceite por lo cual se debe de tener en cuenta al turbo compresor entre las posibles causas del problema.

### **Consecuencias**

- Presenta pérdida de potencia el motor esto se puede deber a la acumulación de aceite en el sistema de admisión y el Intercooler llegando a presenciar humo azul en el sistema de escape. También puede deberse a la fuga de aceite en el turbo compresor.
- Puede existir embalamiento provocando con esto revoluciones excesivas y descontroladas debido a la acumulación de aceite en el Intercooler.
- Se llega a presenciar carbonización en los alabes de un turbo de geometría variable.

### **Causas**

- Si existe la presencia de cuerpos extraños en el sistema de lubricación existe la posibilidad de una obstrucción en el conducto de retorno por la existencia de un pliegue negando la salida del aceite hacia el turbocompresor. Existiendo múltiples posibilidades por la obstrucción del conducto de retorno como carbonización del conducto de retorno debido a la falta de protección térmica o una baja calidad de aceite lubricante.
- Al estar obstruido el respiradero del cárter la presión interna se llega a transmitir al conducto de retorno, impidiendo con ello la salida del aceite del conducto de salida del turbo como consecuencia el aceite llega a derramarse por la turbina o el compresor.

### **Prevención**

- Se debe utilizar la carga máxima de aceite especificada por el fabricante.
- Utilizar el aceite recomendado por el fabricante para evitar el desgaste prematuro de los componentes.

- Al realizar una sustitución del turbo compresor siempre se debe colocar un nuevo Intercooler y filtros de aire y aceite, así como también un cambio de caite.

#### **2.10.4. Daños por partículas extrañas**

El ingreso de partículas o cuerpos extraños tales como arena, segmentos del pistón, sedimentación provocada por las altas revoluciones conlleva a la avería parcial o total del turbocompresor o a su vez en el Intercooler.

##### **Consecuencias**

- La turbina se puede verse afectada por el ingreso de cuerpos extraños procedentes ya sea del motor o del colector.
- Al verse afectado los alabes de un turbo compresor (TGV) como consecuencia se obtiene una pérdida de potencia.
- El ingreso de cuerpos extraños por el conducto de admisión puede afectar a la rueda del compresor produciendo el daño total de las aletas, así como la carcasa del compresor.

##### **Causas**

- Al existir fracturas en una válvula o de segmentos, estos fragmentos llegan a impactar en los alabes del turbo y a su vez sobre la rueda de la turbina luego de pasar por el colector de escape.
- El ingreso de partículas extrañas puede ser el resultado de un filtro defectuoso o que el mismo ya cumplió su vida útil.

##### **Prevención**

- Verificar los filtros para verificar el acceso de cuerpos extraños.

- Realizar una limpieza del sistema de admisión, así como el respectivo cambio del filtro de aire de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

#### **2.10.5. Daños por temperaturas elevadas**

Los turbocompresores están fabricados con materiales exclusivamente para un rango de temperatura ya definido. Si las condiciones de temperatura se llegan a sobrepasar su rango máximo el turbo llega a sufrir averías en intervalos de segundos.

##### **Consecuencias**

- Las elevadas temperaturas pueden causar fisuras en la carcasa del turbocompresor.
- Al existir elevadas temperaturas llegan a carbonizarse conductos de entrada del sistema de lubricación con ello el turbocompresor no llega a recibir el aceite suficiente para su lubricación. En el caso que el conducto de retorno este carbonizado el fluido tiende a derramarse al exterior.

##### **Causas**

- La temperatura puede ser modificada debido a modificaciones en el auto (tuning).
- El motor puede presentar una combustión fuera de lo normal.

##### **Prevención**

- Colocar el turbo siempre y cuando no se le realice modificaciones técnicas.
- Luego de exponer al motor a grandes esfuerzos se debe dejar enfriar utilizando un número moderado de revoluciones.

### **2.10.6. Número excesivo de revoluciones**

Los turbos compresores están diseñados para un máximo número de revoluciones en el caso que llegue a sobrepasar el número de revoluciones puede llegar a sufrir graves daños.

#### **Consecuencias**

- Debido a excesivas revoluciones la rueda del compresor tiende a deformarse como consecuencia el diámetro exterior tiende a aumentar.
- El exceso del número de revoluciones puede causar la fricción entre la rueda del compresor y la carcasa llevando como resultado la rotura del mismo.

#### **Causas**

- Debido a las modificaciones realizadas al motor se llega a sobrepasar el número de revoluciones permitidas del turbo.
- Existe fallas en la regulación neumática o también eléctrica llegando a tener como diagnostico fugas o simplemente esta defectuoso.

#### **Prevención**

- Bajo ningún motivo se debe realizar modificaciones al turbocompresor.
- Estrictamente solo se debe de colocar el turbocompresor en vehículos previstos.
- Utilizar únicamente aceites autorizados por el fabricante.
- Realizar los mantenimientos obligatorios en los periodos establecidos por el fabricante.

Se evidencia la importancia de realizar un mantenimiento preventivo al turbocompresor ya que la mínima falla en el sistema de lubricación o filtro de aire

puede llegar a desgaste prematuro en las piezas que conforman el turbo obteniendo como resultado falta de potencia en el motor o a su vez la ruptura del mismo turbo. Las fallas expuestas anteriormente son de las más comunes que suelen suceder con el turbo ya que técnicamente el componente en cuestión debe tener la misma vida útil que el motor del automóvil por ende mientras más riguroso y periódico sea el mantenimiento mejor serán las probabilidades que cumpla la misma vida útil que el motor. Una vez detectada algunas de estas fallas ya mencionadas, es bueno corregir cambiar empaques, filtro de aire ya que la mínima partícula extraña que llegue a ingresar al cuerpo del turbo representa obstrucciones de los conductos de lubricación llegando a producirse carbonilla, destruyendo los alabes, deformando el eje del turbo causando una pérdida importante de potencia representando con ello un sobre esfuerzo del sistema.

Figura 16.

## Fallas del turbocompresor

	Causa	Acción correctiva
Falta de potencia en el motor Humo negro en el escape	Rotura de la manguera de admisión de aire	Sustituir manguera
Consumo excesivo de aceite lubricante Humo azul en el escape	Filtro de aire obstruido	Cambie los filtros según las recomendaciones del fabricante del motor.
Turbocompresor ruidoso	Tuberías de entrada de aire del turbo obstruido	Quite la obstrucción o cambie las piezas averiadas según necesario.
Ruido intermitente en el turbocompresor	Tuberías de aire obstruidas entre el turbo y el múltiple de admisión	Quite la obstrucción o cambie las piezas averiadas según necesario.
Fuga de aceite por los sellos del lado compresor	Múltiple de admisión obstruido	Consulte el manual del fabricante del motor y quite la obstrucción.
Fuga de aceite por el sello de la turbina	Fuga de aire en las tuberías entre el filtro de aire y la entrada del turbo	Repare la fuga, sustituyendo las abrazaderas, las juntas o reapriete las conexiones, según necesario.
	Fuga de aire en las tuberías entre la salida del turbo y el múltiple de admisión	Repare la fuga, sustituyendo las juntas y/o reapriete las conexiones, según necesario.
	Fuga de aire en la junta entre el múltiple de admisión y el motor	Consulte el manual de fabricante de motor y sustituya las juntas del motor y/o reapriete las conexiones, según necesario.
	Obstrucción en el múltiple de escape	Consulte el manual del fabricante del motor y quite la obstrucción.
	Obstrucción en el silenciador o en las tuberías de escape	Quite la obstrucción o cambie los componentes según necesario.
	Fuga de gases en la junta entre el múltiple de escape y el motor	Consulte el manual del fabricante del motor y sustituya el escape y/o las juntas del motor o reapriete las conexiones según necesario.
	Fuga de gases entre múltiple de escape y entrada de gases al turbo	Sustituya las juntas y/o reapriete la conexión con el múltiple de escape según necesario.
	Fuga de gases por la salida de gases de escape del turbo	Consulte el manual del fabricante del motor y repare la fuga.
	Retorno de aceite del turbo obstruido	Quite la obstrucción y/o sustituya el caño de retorno de aceite, según necesario.
	Ventoeo del cárter obstruido (válvula PCV)	Consulte el manual del fabricante del motor, para sustituir o limpiar la válvula PCV.
	Cuerpo central del turbo carbonizado o con borra.	Sustituya el filtro, el aceite del motor y cambie el aceite del turbo, si necesario.
	Problemas en el sistema de inyección de combustible	Consulte el manual del fabricante de motor, regule o sustituya los componentes según necesario.
	Sincronización incorrecta del comando de válvulas	Consulte el manual del fabricante del motor y sustituya las piezas averiadas.

*Nota.* Fallas más comunes en el funcionamiento del turbo, así como las posibles causas y sus respectivas acciones para poder corregirlas. Tomado de (Anónimo, 2005)

### **2.11. Mantenimiento del turbo compresor**

Generalmente la vida útil del turbocompresor está diseñada para durar tanto como la del motor. No requieren mantenimiento o inspecciones únicamente se requiere de algunas comprobaciones periódicas.

Para que la vida útil del turbo compresor concuerde con la del motor se debe de realizar estrictamente los siguientes mantenimientos.

- Periodos de cambio de aceite.
- Mantenimiento del filtro de aceite
- Control de la presión del aceite
- Limpieza del filtro de aire

Realizando este tipo de mantenimiento regularmente se puede evitar la falla prematura del componente.

### **2.12. Tipos de Balanceo**

La velocidad desempeña un rol fundamental al momento de equilibrar y elegir su grado de calidad en un sistema giratorio. A lo largo del tiempo se ha ido innovando en los procesos para equilibrar máquinas de altas velocidades. En las máquinas de altas velocidades un desequilibrio mayor puede representar daños en la maquina a muy temprano tiempo acortando así la vida útil del mismo si no se lo llega a equilibrar. A medida que el desequilibrio sea menor las fallas pueden ser vistas desde diferentes puntos de vista tales como: la transferencia del ruido, etc. Si sucede lo contrario siendo el caso que el desequilibrio llegara a ser mayor puede presentar fatiga en el eje, desgaste o también el fallo de los rodamientos. Llegando a determinar que mientras las vibraciones en el sistema sean bajas, mayor llega a ser la vida útil del sistema. Los ejes se pueden considerar rígidos siempre y cuando

estos estén por debajo de la primera velocidad crítica. Con la llegada de las máquinas de altas velocidades las cuales operan por encima de la primera velocidad crítica fue preciso tomar en cuenta la flexibilidad de los ejes al momento de realizar un balanceo. (Loewy, R y Piarulli, V. 1969).

### **2.12.1. Balanceo estático**

Loewy, R y Piarulli, V (1969) señala:

La precisión de este método de balanceo estático está limitada por la fricción de rodadura entre las palas y el rotor. Para pequeños rotores es conveniente montar los ejes y soportes que tienen sus propios rodamientos de bolas. La precisión está limitada por la fricción en los rodamientos de bolas en lugar de la fricción entre el rotor y los rieles. En cualquier caso, la teoría del balanceo estático puro es por supuesto muy simple. Dado un rotor rígido, cuyo centro de gravedad no está en el eje de rotación, solo es necesario agregar una masa para balancear el rotor (p. 64).

Según lo señalado por el autor uno de los métodos más simples para balancear es el balanceo estático dado su bajo grado de complejidad y que se lo realiza en un solo plano para este tipo de rotores.

### **2.12.2. Balanceo dinámico**

El balanceo dinámico se lleva a cabo comúnmente montado el rotor en la plataforma móvil de una maquina balanceadora. Cuando se gira el rotor, la plataforma vibra debido al desequilibrio. La ubicación y la magnitud de los pesos de equilibrio requeridos se determinan mediante la amplitud y la fase de la vibración de la plataforma. Los componentes básicos de una balanceadora dinámica según Loewy, R y Piarulli, V (1969) son:

- Un conjunto de plataforma mecánica que permite los grados necesarios de libertad del rotor.
- Un sistema de accionamiento que imparte una velocidad de rotación definida al rotor.
- Dispositivos de mediación para detectar con precisión el movimiento de la plataforma.
- Un dispositivo preciso para agregar o quitar material en un lugar definido en libertad del rotor.

La resonancia mecánica del ensamblaje de la plataforma se puede utilizar como ventaja para amplificar el movimiento causado por el desequilibrio. Muchos dispositivos de medición para detectar la amplitud y fase de la plataforma móvil son ópticos. Timoshenko discutió tres variaciones diferentes de las máquinas de balanceo dinámico del tipo de resonancia que fueron ampliamente utilizadas en la década de 1930. Las ventajas son la simplicidad, la fiabilidad de la operación y un costo relativamente modesto. (Loewy, R y Piarulli, V. 1969 p. 65).

### **2.13. Tipos de desbalance**

Una maquina desbalanceada llega a originar una fuerza centrífuga que corrige las variaciones del rotor desplazándose radialmente una vez por revolución. Este desplazamiento puede llegar a ser medido tratándose de una vibración sincrónica. El desbalanceo puede llegar a ser expresado de la siguiente manera: como el producto de la masa que lo causa por la distancia de su centro de la gravedad al eje de rotación. Para calcular el desbalanceo se utilizan las siguientes medidas: onzas por pulgada o a su vez gramo por centímetro. En un sistema balanceado una pequeña masa puede llegar a causar vibraciones elevadas causando daños severos a todo el sistema. (Disanndro, J. 1997).

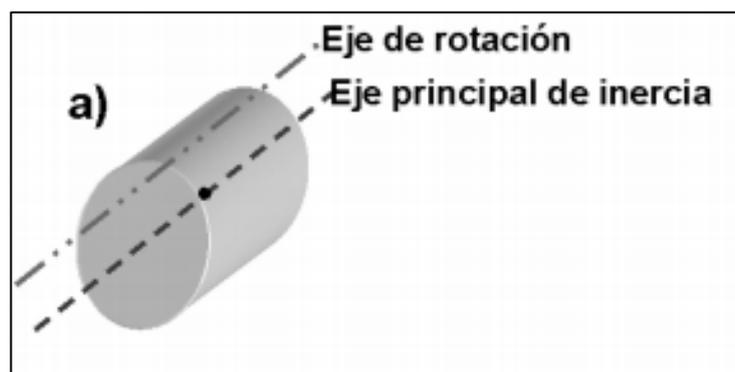
### 2.13.1. Desbalanceo estático

Este tipo de desbalance se lo puede identificar a simple vista sin la necesidad de un banco de pruebas, aunque si queremos mayor precisión al momento de realizar una corrección de balance en este tipo de desbalance se requiere equipo especializado. Palomino (2007) menciona lo siguiente “Identificado también como desbalance de fuerzas se define como aquella condición para la cual: el eje longitudinal principal de inercia del rotor este desplazado paralelamente con respecto al eje de rotación” (p.114 ).

Puede ser detectado colocando el rotor sobre dos apoyos prismáticos. La parte más pesada tendera siempre a ubicarse por debajo del eje de rotación o lo que es lo mismo el eje longitudinal principal de inercia quedara por debajo del eje de rotación. (Palomino, 2007 ).

### Figura 17.

*Desbalance estático*



*Nota.* El eje de rotación llega a estar ubicado paralelamente con el eje de inercia o también conocido como centro de masa. Tomado de (Palomino, 2007)

### 2.13.2. Desbalanceo Par

El desbalanceo par desde la perspectiva de Palomino (2007) sugiere que “Se define como aquella condición para la cual: El eje longitudinal principal de inercia del

rotor intercepta al eje de rotación en el centro de masa del propio rotor” (p. 115), llegando a dar a lugar lo que se conoce como desbalanceo par.

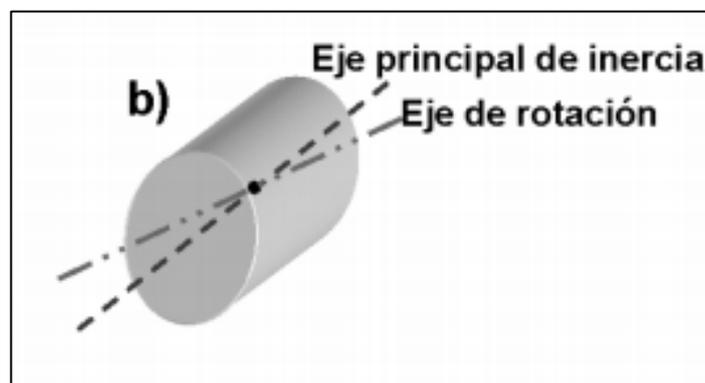
Según Palomino (2007) en cuanto a las características específicas del desbalanceo par señala:

Un par de fuerzas está constituido por dos fuerzas iguales, paralelas y de sentido contrario, desplazadas cierta distancia. Al comparar las lecturas de amplitud de las vibraciones de un rotor simétrico soportado por cojinetes idénticos, estas serán iguales pero la fase tendrá una diferencia de  $180^\circ$  (p. 115).

La mayor diferencia para poder identificar este tipo de desbalanceo se encuentra en la fase que llega a tener una diferencia de  $180^\circ$ .

### Figura 18.

*Desbalance par*



*Nota.* Se interceptan el eje de inercia con su centro de masa del rotor. Tomado de (Palomino, 2007)

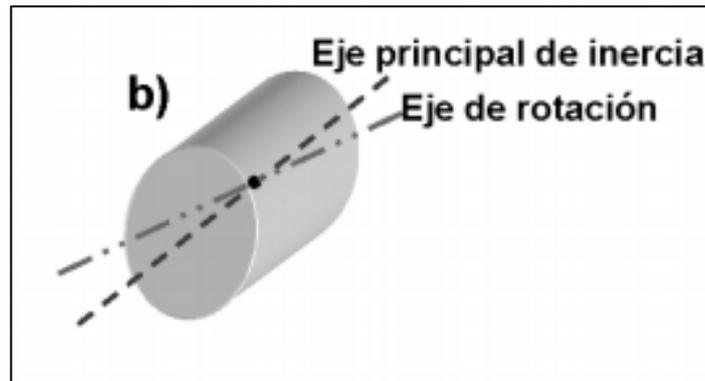
#### **2.13.3. Desbalance casi Estático**

Se define como como aquella condición para la cual: El eje longitudinal principal de inercia del rotor intercepta al eje de rotación en un punto arbitrario ósea, un punto que no coincide con el centro de masas del propio rotor. En este caso las

lecturas de fase a ambos lados del rotor exhibirán una diferencia aproximada de  $180^\circ$  aunque las amplitudes difieran substancialmente (Palomino, 2007, p.115 ).

**Figura 19.**

*Desbalance casi estático*

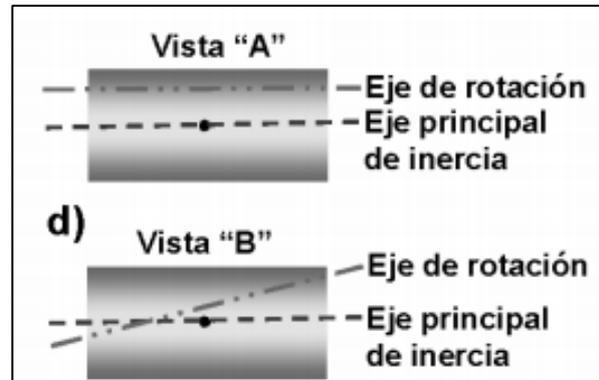


*Nota.* El centro de masa del rotor no llega a coincidir con su eje de inercia. Tomado de (Palomino, 2007)

**2.13.4. Desbalance Dinámico**

Se define como aquella condición para la cual: El eje longitudinal principal de inercia del rotor no intercepta al eje de rotación y tampoco es paralelo a este. En otras palabras, el eje longitudinal principal de inercia del rotor cruza al eje de rotación del propio rotor (Palomino, 2007, p.115 ).

En el desbalanceo dinámico su centro de masa no coincide con su centro de masa por lo cual para identificar este tipo de desbalance se requiere dos planos para balancearlos.

**Figura 20.***Desbalance dinámico*

*Nota.* En este caso eje de inercia no llega a interceptar o estar paralelo con respecto a su centro de masa. Tomado de (Palomino, 2007)

#### **2.14. Causas del Desbalanceo del turbocompresor**

Todo cuerpo que llegue a estar sometido a rotación sobre su propio eje requiere de una correcta distribución de peso para con ello evitar el desbalanceo dinámico. Los turbocompresores han sido diseñados para aumentar la potencia de los motores MCI, por medio de los gases de escape. Al llegar a un cierto número de horas de uso llegan a requerir un balanceo para seguir funcionando correctamente sin la necesidad de cambiar todo el turbo. La sobre revolución llega a dañar prematuramente al turbo dando como resultado el desbalanceo. Otro de los daños que causa el desbalanceo son el ingreso de cuerpos extraños al turbo provocando con esto el desgaste de los alabes causando su daño parcial o total.

#### **2.15. Efectos del desbalanceo en turbocompresores**

El problema principal del desbalanceo son las vibraciones que se presentan en el sistema de sobrealimentación. De toda energía proporcionada por el turbocompresor una parte de ella es desperdiciada por las vibraciones. Cuando no

se llega a realizar un seguimiento periódico de las vibraciones que causa el turbo, se empieza a causar daño en los alabes del turbo. Ocasionando la pérdida de potencia al punto de ser necesaria la intervención de un técnico especialista. Siendo las vibraciones la principal causa de fallas prematuras. En los turbocompresores el desbalanceo llega a resultar en la disminución de la potencia final del motor siendo esta significativa o no, pero a largo o corto plazo puede ocasionar una falla mayor.

## **2.16. Tipos de vibraciones**

### **2.16.1. Introducción**

Las vibraciones explicadas de una manera básica se consideran como la oscilación de un cuerpo alrededor de una posición de equilibrio, siendo esta el resultado de las fuerzas que actúan sobre el objeto sea cero. Las vibraciones pueden llegar a todos los componentes de un sistema (White, 2010).

Wowk (2008) menciona las siguientes características:

Toda vibración no es mala. Las máquinas producen algún movimiento oscilatorio como parte de su funcionamiento normal y no hay de qué preocuparse. Llamo a estas vibraciones benignas y aquí hay algunos ejemplos:

- Zumbido del motor de 120 Hz
- Turbulencia de banda ancha de máquinas de manejo de fluidos, como ventiladores y bombas
- Frecuencias de engranajes

Estas vibraciones benignas son características del funcionamiento regular de una máquina que hace lo que se supone que debe hacer. Las amplitudes variarán de una máquina a otra y son una medida de la calidad de fabricación y la condición de carga. La presencia de estas vibraciones benignas a niveles "normales"

proporciona una sensación cómoda de que la máquina todavía está viva. Un cambio por encima de los niveles normales no explicado por un cambio de carga correspondiente es motivo de investigación, pero no de alarma. Las vibraciones serias son:

- Amplitudes de 1xRPM por encima de los límites de equilibrio
- Pulsos de choque
- Gran movimiento de sacudida
- Ruido anormal Estas vibraciones graves causarán un desgaste acelerado y fallas prematuras. Deben reconocerse como perjudiciales y abordarse con alguna acción correctiva.

Las vibraciones forzadas en las máquinas se corrigen equilibrando la masa, alineando o cambiando las partes defectuosas. Las vibraciones naturales son un efecto estructural, donde algunas estructuras se comportan como un amplificador mecánico sensible a la frecuencia. Las características más comunes que presentan las vibraciones naturales según Wowk (2008) son:

1. La vibración es muy mala, en otras palabras, amplitud anormalmente alta.
2. La vibración es fuertemente direccional.
3. La amplitud no es constante, sino que varía de arriba a abajo.
4. La desaceleración a medida que los armónicos pasan a través de la frecuencia natural.

Para poder tener un mejor conocimiento sobre las vibraciones se deben conocer los siguientes conceptos:

### 2.16.2. Amplitud

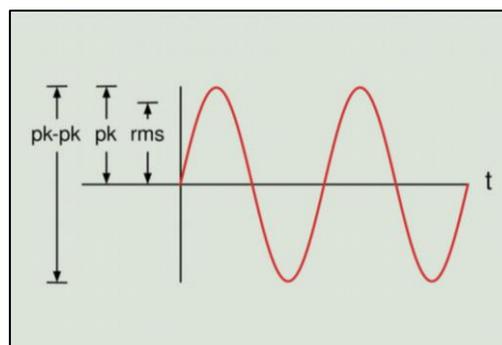
Fernández (2017) señala:

La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es cuanto movimiento puede tener una masa desde una posición neutral (marcada como 0). Es la intensidad de la vibración, y es indicativa de la severidad de la misma.

Existen diversas formas de medir la amplitud de una onda. El valor RMS se utiliza para medir la energía de la forma de onda (p. 17).

#### Figura 21.

*Amplitud de una onda sinusoidal*



*Nota.* Formas de medir la amplitud de la onda sinusoidal de un cuerpo en posición neutral. Tomado de (Palomino, 2007)

### 2.16.3. Frecuencia

Fernández (2017) señala con respecto a la frecuencia lo siguiente:

El tiempo que tarda la masa en ir y volver al punto A es siempre constante. Este tiempo recibe el nombre de período de oscilación (medido generalmente en segundos o milisegundos) y significa que el muelle completó un ciclo. El recíproco del período es la frecuencia (es decir  $F = 1 / P$ ) la cual generalmente es dada en Hz (ciclos por segundo) o CPM (ciclos por minuto) (p. 17).

#### **2.16.4. Desplazamiento, Velocidad y Aceleración**

Fernández (2017) señala lo siguiente:

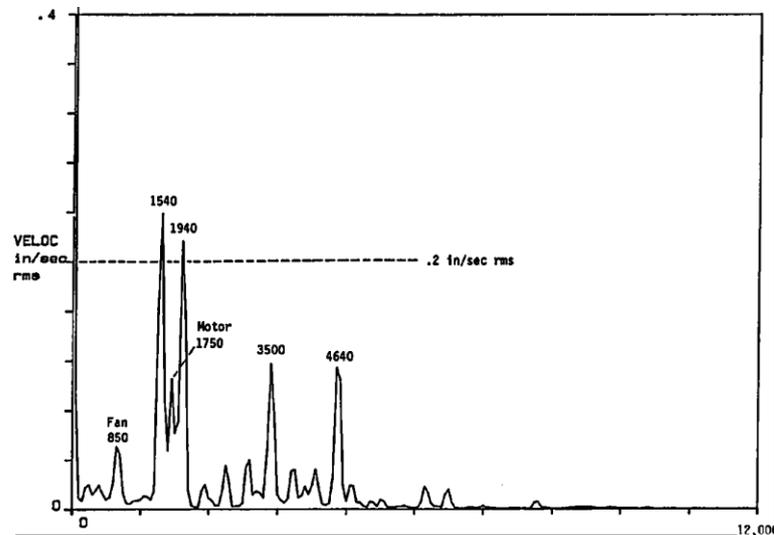
El desplazamiento es sencillamente la distancia al objeto desde una posición de referencia o punto de equilibrio. Aparte de un desplazamiento variable, un objeto que vibra presenta una velocidad variable y una aceleración variable. La velocidad se define como la variación en el desplazamiento y se mide por lo general en in/s (pulgadas por segundo) o mm/s. La aceleración se define como la variación en la velocidad y se mide en g (la aceleración promedio debida a la gravedad en la superficie de la tierra) o mm/s<sup>2</sup>. Como hemos visto, el desplazamiento de un cuerpo que está sometido a un movimiento armónico simple es una onda sinusoidal. También la velocidad y la aceleración del movimiento son ondas sinusoidales. El desplazamiento muestra sus mayores amplitudes en bajas frecuencias (típicamente por debajo de 10 Hz), la velocidad lo hace en un rango intermedio de frecuencias (entre 10 y 1.000 Hz), y la aceleración se manifiesta mejor a altas frecuencias (por encima de 1.000 Hz) (p. 21)

#### **2.16.5. Instrumentos y métodos**

En una investigación realizada por Wowk (2008) menciona que los instrumentos fundamentales para poder realizar las medidas de las vibraciones son los acelerómetros los cuales transforman las señales eléctricas en datos los cuales podamos interpretar de una forma más fácil. “Existen tres categorías principales de instrumentos de vibración, cada una de las cuales puede usar un transductor de velocidad o un acelerómetro como sensor” (p. 7).

**Figura 22.**

*Un espectro de FFT*



*Nota.* Interpretación de las señales de vibración mediante la transformada rápida de Fourier. Tomado de (Wowk, 2008)

### 2.17. Vibración debido al desbalanceo

Las causas más comunes para la aparición de las vibraciones es el desbalanceo en el sistema como lo indica Mejía (2004):

- La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x los rpm de la pieza desbalanceada.
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las máquinas con ejes horizontales).

### 2.18. Vibración debido a falta de alineamiento

Al presentarse una falta de alineación o un desbalance se llega a presenciar diferentes condiciones como lo señala Mejía (2004):

- La frecuencia de vibración es de 1x rpm; también 2x y 3x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.

El conjunto de estas condiciones antes mencionadas deriva a un desbalanceo del sistema y un desgaste prematuro de los componentes llegando a provocar el daño total de la máquina.

### **2.19. Vibración debido a excentricidad**

Cuando se aborda el tema ya expuesto anteriormente que este tipo de vibraciones es una de las más comunes en sistemas rotativos como lo indica Lara Andrade (2006):

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa “ovalamiento”, sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica (p.16).

Para entender de una mejor manera lo expuesto se debe resaltar que la excentricidad no es sinónimo de ovalamiento.

### **2.20. Norma ISO 1940**

De acuerdo a la norma ISO 1940 nos indica que al no coincidir el eje de inercia con el eje de rotación da origen a las vibraciones en el sistema, Puruncajas, B y Sosa, C. (2015) señalan lo siguiente:

- Seleccionar un grado de calidad G del cuadro de Grado de calidad de balanceo según ISO 1940, basándose en el tipo de rotor.
- Usar la figura siguiente para determinar el valor permisible residual específico de desbalance  $e_{per}$  seleccionando la máxima velocidad de rotación en trabajo luego multiplicar  $e_{per}$  por el peso del rotor para obtener el desbalance permisible residual  $U_{per}$ .
- Para obtener la masa máxima de desbalance permitida, calcular la masa dividiendo  $U_{per}$  para el radio donde se colocaron las masas de prueba.

**Tabla 1.***Grado de calidad ISO 10816*

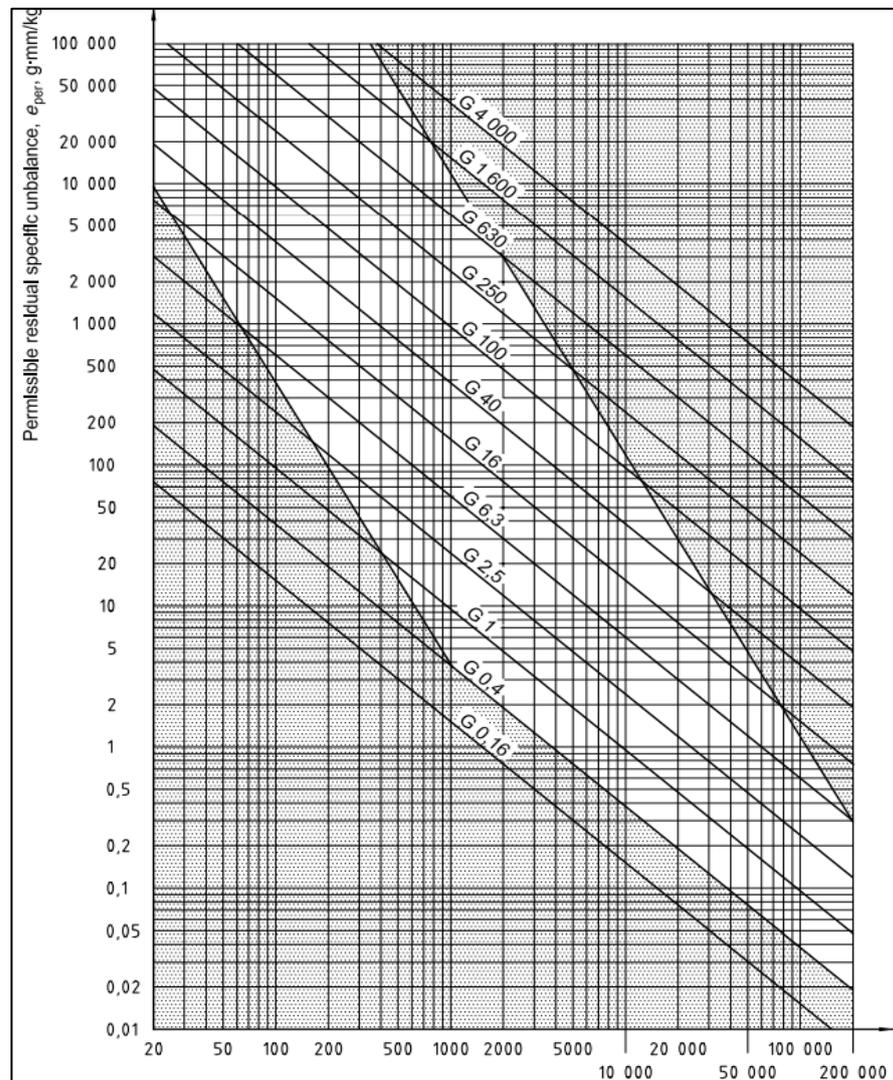
<b>Tipos de maquinaria: ejemplos generales</b>	<b>Calidad del equilibrio calificación Gramo</b>	<b>Magnitud <math>mi \text{ por } \cdot \Omega</math> mm/s</b>
Accionamientos de cigüeñal para grandes motores diésel marinos lentos (velocidad del pistón por debajo 9 m / s), inherentemente desequilibrado	G 4000	4000
Accionamientos de cigüeñal para grandes motores diésel marinos lentos (velocidad del pistón por debajo 9 m / s), inherentemente desequilibrado	G 1600	1600
Transmisiones de cigüeñal, inherentemente desequilibradas, montadas elásticamente	G 630	630
Cigüeñal, inherentemente desequilibradas, montadas rígidamente	G 250	250
Motores alternativos completos para Automóviles, camiones y locomotoras	G 100	100
Automóviles: ruedas, llantas, juegos de ruedas, ejes de transmisión Accionamientos de cigüeñal, inherentemente equilibrados, montados elásticamente	G 40	40
Maquinaria de agricultura; Accionamientos de cigüeñal, trituradoras inherentemente equilibradas y montadas rígidamente Ejes de transmisión (ejes cardán, ejes de hélice)	G 16	16

Tipos de maquinaria: ejemplos generales	Calidad del equilibrio calificación Gramo	Magnitud <i>mi por</i> · $\Omega$ mm/s
Turbinas de gas para aeronaves Centrífugas (separadoras, decantadores) Motores eléctricos y generadores (de al menos 80 mm de altura de eje), de máximo	G 6,3	6,3
velocidades de hasta 950 r / min		
Motores eléctricos con alturas de eje inferiores a 80 mm Ventiladores		
Engranajes Maquinaria, general		
Herramientas de máquina		
Máquinas de papel		
Máquinas para plantas de proceso		
Zapatillas		
Turbocompresores		
Turbinas de agua		
Compresores		
Unidades de computadora		
Motores eléctricos y generadores (de al menos 80 mm de altura de eje), de máximo	G 2,5	2,5
velocidades superiores a 950 r / min		
Turbinas de gas y turbinas de vapor		
Accionamientos		
de máquinas herramienta		
Máquinas textiles		
Accionamientos de audio y video	G 1	1
Accionamientos para rectificadoras		
Giroscopios		
Husillos y accionamientos de sistemas de alta precisión	G 0,4	0,4

*Nota.* En esta tabla podemos visualizar el grado de calidad G es el producto del desequilibrio específico y la velocidad angular a su máxima velocidad de funcionamiento. Tomado de (ISO, 2003).

**Figura 23.**

Grado de desbalance residual ISO 1940



*Nota.* La tabla nos indica el grado de desbalance residual tomando en cuenta la velocidad y grado de calidad. Tomado de (ISO, 2003)

### 2.21. Balanceadora de turbocompresores

La máquina balanceadora de turbos llega a determinar la ubicación y cantidad exactas de masas desequilibradas en el turbocompresor. El turbo llega a montarse en los cojinetes de las bases flotantes y una vez ubicado el turbo la balanceadora gira el turbo. El sistema SBS de las bases flotantes llega a medir el

desplazamiento de los rodamientos y del turbo. La balanceadora llega a medir el Angulo de fase y el desplazamiento con estos datos se calcula el desbalance del turbo y cuanto hay que restar el peso del mismo.

Las maquinas balanceadoras de dos planos o también conocidas como balanceadoras dinámicas pueden llegar a medir los desbalances estáticos, así como dinámicos. Este tipo de balanceadoras han llegado a obtener un alto grado de aceptación por su sistema de bases flotantes SBS.

## 2.22. Tipos de equilibradoras

**Tabla 2.**

*Tipos de máquinas equilibradoras*

<b>Principio Empleado</b>	<b>Desequilibrio o Indicado</b>	<b>Actitud del eje</b>	<b>Tipos de máquinas</b>	<b>Disponible</b>
Gravedad (no giratorio)	Estático (Plano único)	Eje vertical	Péndulo	No clasificado
		Eje horizontal	Filos de cuchillo Juego de rodillos	
	Estático (Un solo plano)	Vertical	Rodamiento blando Rodamiento duro	
		Horizontal	Rodamiento blando Rodamiento duro	
Centrifugo (giratorio)	Dinámico (2 planos)	Vertical	Rodamiento blando Rodamiento duro	II, III III, IV
		Horizontal	Rodamiento blando Rodamiento duro	I, II, III IV

*Nota.* Existen tipos de equilibradoras las cuales nos ayudan a equilibrar los turbos o rotores. Tomado de (*Industrial Research & Development, s.f.*)

## CAPITULO III

### 3. Diseño y construcción del banco de pruebas electrónico

Una vez recopilada la información y analizada se procede al diseño, construcción e implementación de los diferentes componentes tanto electrónicos como mecánicos que conforman la balanceadora de turbos, finalizada la parte práctica se procede a realizar las pruebas de su funcionamiento y su respectivo mantenimiento preventivo para extender la vida útil de sus componentes. El programa se lo desarrolló con el propósito de que sea una interfaz fácil de utilizar, comprender e interpretar los datos al momento de realizar el balanceo de un turbo.

#### 3.1. Estructura de la balanceadora descripción y ensamble completo

El sistema mecánico que se va a construir es de una balanceadora tipo horizontal debido a que puede llegar a balancear todo tipo de turbocompresor. Para el diseño y construcción de la balanceadora de turbos se tiene en cuenta la correcta selección de los materiales para con ello poder optimizar costos.

Para el diseño de la estructura mecánica de la balanceadora se utilizará un software para diseño CAD en el cual se diseñará toda la estructura, los ejes, las bases flotantes, poleas, bancada y dos correderas verticales.

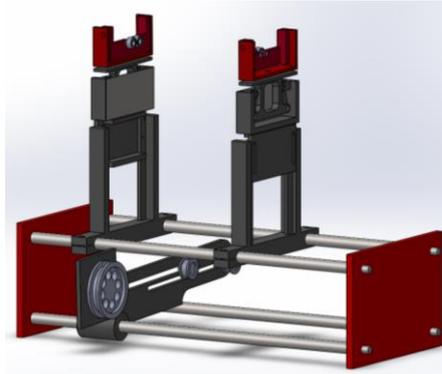
Se tomará como referencia para su construcción las dimensiones de la máquina balanceadora EI - 30 que se encuentra en el mercado. Es una máquina turbo balanceadora horizontal de alta velocidad la cual es ideal para el balanceo de turbocompresores cuenta con un sistema de suspensión de cojinetes.

Su principal característica son sus bases flotantes las cuales permiten que el turbocompresor llegue a girar en torno a su centro de masa. Llegando con esto a

generar esfuerzos más importantes que transmiten la vibración a toda la estructura de la maquina balanceadora o equilibradora incluyendo la base de la misma.

### Figura 24.

*Ensamble de la maquina balanceadora de turbos*



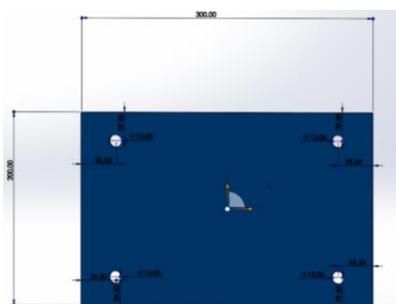
*Nota.* Ensamble de la balanceadora de turbos realizado en software para diseño en CAD.

### 3.2. Base de la balanceadora

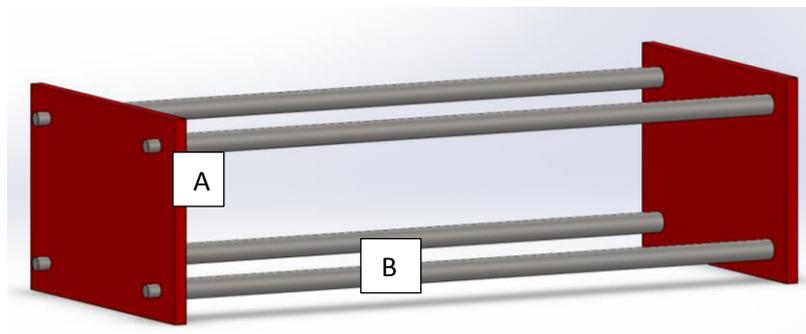
En esta base es en la cual reposan todos los demás componentes de la balanceadora. Cuenta con cuatro ejes y dos placas que sirven de base.

### Figura 25.

*Base lateral de la balanceadora*



*Nota.* Placa lateral de la balanceadora de turbos la cual nos ayudara como soporte para los baleros.

**Figura 26.***Base de la balanceadora*

*Nota.* Base ensamblada de la balanceadora en la cual se montará los baleros y la guía de poleas.

Las medidas de las placas son: largo 300 mm, altura 200 mm y un espesor de 12 mm. Las medidas de los ejes son:

**Tabla 3.***Materiales de la base de la balanceadora*

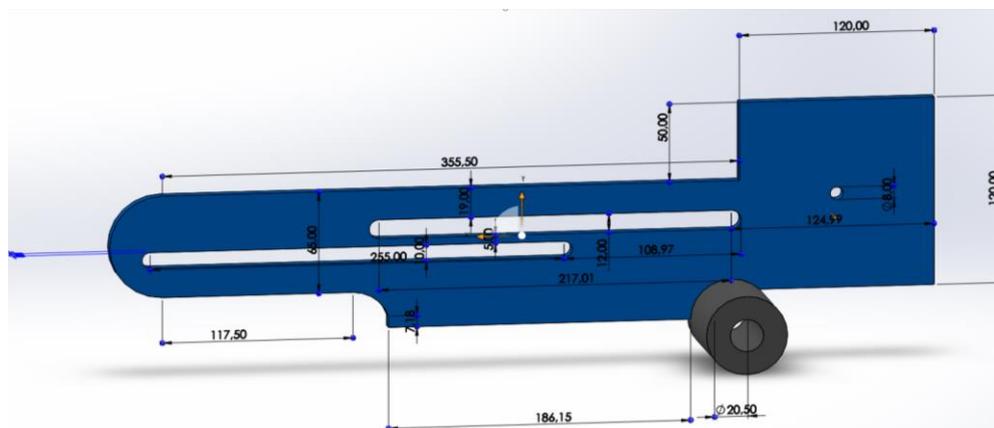
Sección	Material	Descripción
A	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%
B	Acero inoxidable 404 Austenítico	Con un mínimo del 10 % al 12 % de cromo contenido en masa

### 3.3. Guía de poleas regulables

Es una guía de poleas cuenta con dos ranuras por las cuales se pueden deslizar las poleas para ser ajustadas al balanceado que se requiera. Cuenta con un eje perforado en la parte inferior por el cual se desliza a lo largo de la bancada llegando ajustarse correctamente con el punto medio del eje del turbo a balancear.

**Figura 27.**

*Medidas de guía de poleas móviles*



*Nota.* Esta pieza nos ayuda a variar la distancia de las poleas y a su vez ajustar la posición del motor.

**Figura 28.**

*Ensamblado de la guía de las poleas*



*Nota.* Es la vista de la pieza ya acaba para el momento fabricarla.

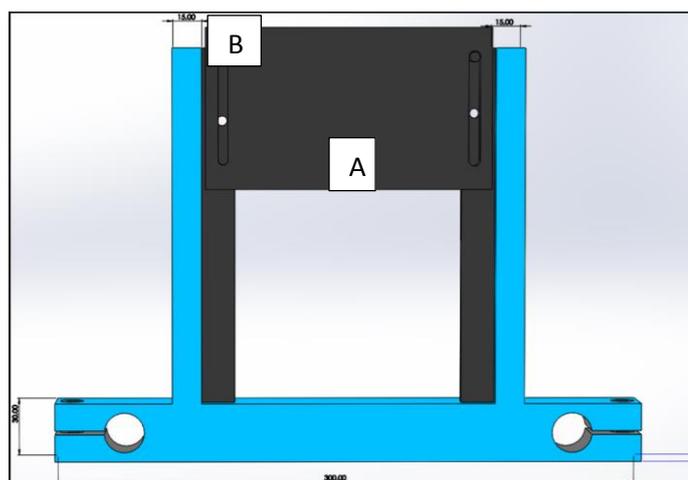
Las medidas de la pieza son: largo 508 mm, altura 163 mm, y un espesor de 8 mm. La medida del eje es:

**Tabla 4.***Materiales de la guía para las poleas móviles*

Sección	Material	Descripción
A	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%
B	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%

### 3.4. Torre de balanceo

Estas torres nos permiten deslizar de arriba hacia abajo para ajustar a la altura a convenir para el balanceo. Tiene un movimiento de izquierda a derecha para ajustarse al eje del turbo. En la parte inferior cuenta con dos orificios los cuales nos permiten ajustarlos para el largo del eje del turbocompresor.

**Figura 29.***Torre regulable.*

*Nota.* Esta pieza nos ayuda a regular la distancia con respecto a la longitud del eje del turbo.

Las medidas de torre son: 300 mm de largo, altura de 213 mm, espesor de 30 mm.

**Tabla 5.**

*Materiales para la torre móvil*

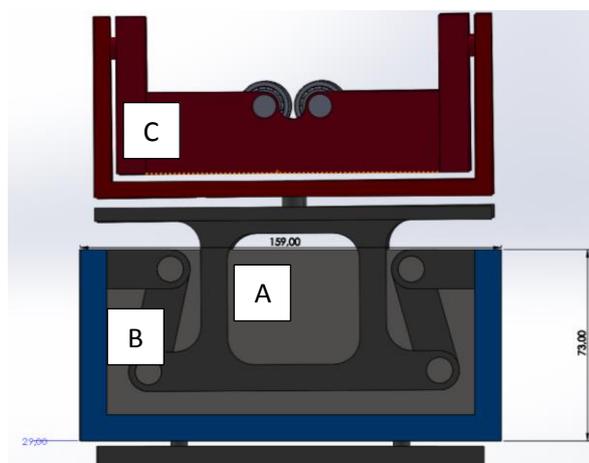
Sección	Material	Descripción
A	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%
B	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%

### 3.5. Bases flotantes

Las bases flotantes nos ayudan absorber todas las vibraciones del sistema cuenta con un balero móvil y uno fijo. Los cuales tienen movimientos oscilatorios ajustándose al eje del turbocompresor.

**Figura 30.**

*Bases flotantes*



*Nota.* Todas las vibraciones del sistema van dirigidas a las bases flotantes.

Las medidas de las bases flotantes son: altura 162,57 mm, largo 159 mm, espesor de 29 mm.

**Tabla 6.**

*Materiales para bases flotantes*

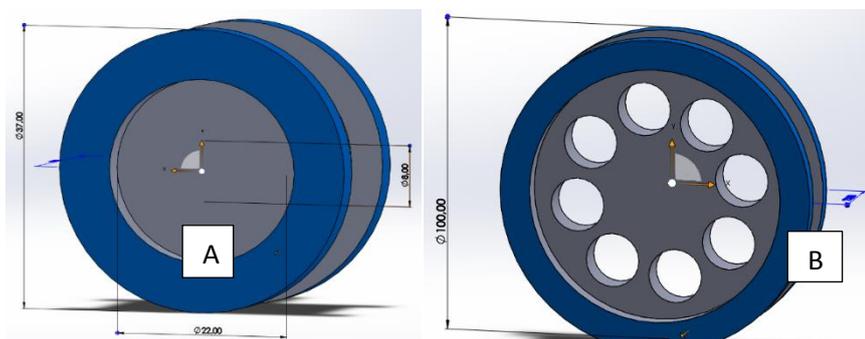
Sección	Material	Descripción
A	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%
B	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%
C	Acero al Carbono AISI 1030	Contenido de Carbono inferior al 0.3%

### 3.6. Poleas

Las poleas tienen diferente diámetro para poder obtener una relación de transmisión más alta.

**Figura 31.**

*Poleas*



*Nota.* Medidas de las poleas.

Las medidas de la polea menor son: diametro externo 37 mm, diametro interno 22 mm. Las medidas de la polea del motor son: diametro externo 100 mm, diametro interno 81 mm.

**Tabla 7.**

*Materiales para las poleas*

<b>Sección</b>	<b>Material</b>	<b>Descripción</b>
A	Acero de transmisión AISI 1030	Es un acero de cementación no aleado
B	Acero de transmisión	Es un acero de cementación no aleado

### **3.7. Construcción de la balanceadora**

#### **3.7.1. Placas laterales**

En la construcción de la balanceadora se ha utilizado materiales como planchas de hierro, acero inoxidable, rodamientos, pernos, tuercas.

Se procedió a tomar las medidas de la plancha para realizar el corte de dos placas por medio de plasma para obtener una mejor exactitud del corte. Estas placas servirán como soportes laterales de la balanceadora. Se realizó cuatro perforaciones con un taladro de pedestal para que puedan ingresar los ejes. Esta pieza fue pintada con pintura roja electrostática.

**Figura 32.***Placa lateral*

*Nota.* Placa lateral de la balanceadora la cual será la base de la máquina.

**3.7.2. Ejes**

Los ejes son de acero inoxidable fueron trabajados en el torno para cilindrarlos y posteriormente enroscarlos utilizando una cuchilla de vidia y tungsteno para un mejor acabado del eje. Para darle el pulido se utilizó un disco abrasivo y de lija o también llamado flat dejando un mejor terminado.

**Figura 33.***Ejes*

*Nota.* Ejes de acero 404 Austenítico para ensamblar la base de la balanceadora.

### 3.7.3. Torres

Fueron fabricadas de acero al carbono AISI 1030, se cortaron tres piezas las cuales fueron soldadas en la parte externa con suelda MIG para un mejor acabado y en la parte interna con proceso de suelda SMAW con electrodo 6013. Al cuerpo móvil que se desliza de izquierda a derecha se le realizaron dos perforaciones con un taladro de pedestal y una pequeña ranura que fue realizada con una amoladora para poder ajustar a la posición deseada por medio de una pequeña palanca. En la parte inferior se realizó una perforación con un taladro de pedestal y con ayuda de un machuelo se pudo realizar el enrosque para un perno que ayudara ascender o descender.

Al cuerpo móvil que se desliza de arriba hacia abajo se recortó una platina de hierro dulce y dos pequeñas del mismo material, para realizar las uniones se utilizó el proceso de soldadura SMAW y electrodo 6013, fue soldado en posición vertical ascendente, se le realizo una ranura para poder deslizarla pieza.

A estas piezas para darles el acabado pulido se utilizó un disco abrasivo y de lija también llamada flat.

#### **Figura 34.**

*Torres móviles*



*Nota.* Estas torres nos ayudan a deslizar a lo largo del eje de la base ajustando a la longitud del eje del turbo.

### 3.7.4. *Balero fijo y balero móvil*

Para el balero fijo se realizó el corte en forma rectangular de una plancha de hierro forjado a continuación se procedió a realizar corte de dos bridas de sujeción mecánica. Se procedió a cortar de la plancha de hierro forjado de acuerdo al diseño el cual oscilara a los lados. En la parte frontal y posterior se soldó una placa de aluminio utilizando el proceso MIG para una mejor precisión y acabado. La pintura que se utilizó para darle el acabo fue negro laca mate.

Para el balero móvil se procedió a realizar el corte de tres platinas para dar la forma rectangular de acuerdo al diseño de SolidWorks a continuación se realizan los cortes de la parte móvil, para unir las platinas se utilizó la suelda mig para un mejor acabado. A continuación, se cortaron tres platinas para soldarlas se utilizó el proceso MIG para un mejor acabado y con un taladro manual se realizan las perforaciones para poder colocar los rodamientos en donde se apoyará el eje del turbo. Para darle el pulido se utilizó un disco abrasivo y de lija o también llamado flat dejando un mejor terminado. La pintura que se utilizó para darle el acabo fue rojo electroestático.

#### **Figura 35.**

*Baleros desmontables*



*Nota.* Los baleros desmontables absorben todas las vibraciones del sistema para una mejor medición de las vibraciones.

### 3.7.5. Poleas

Para las poleas se utilizó ejes de acero inoxidable los cuales fueron cortados a las medidas establecidas en el diseño de SolidWorks para ello se tuvo que trabajar en el torno para darles los diámetros requeridos y el paso para la polea en la parte interna de la polea se le ubico un rodamiento 6200 2rs el cual ayudara a que la polea gire libremente y por medio de un perno poderle ajustar esto se le realizo para las tres poleas móviles.

Para la polea que va al motor de igual manera se utilizó un eje de acero inoxidable utilizando el torno se le dio el diámetro establecido en los planos, se le realizaron perforaciones con un taladro de pedestal para poder alivianar el peso de la polea. Para darle el pulido se utilizó un disco abrasivo y de lija o también llamado flat dejando un mejor terminado.

### Figura 36.

*Poleas*



*Nota.* Las poleas transmiten el movimiento del motor por medio de una banda hasta el turbo.

### 3.7.6. Guía para las poleas

Esta pieza fue realizada en hierro de forja cortado de acuerdo al diseño utilizando el corte por plasma para la figura y para las ranuras por donde se

deslizarán las poleas se utilizó una cortadora de pedestal dándole un mejor acabado a las ranuras para que las poleas puedan deslizarse libremente sin ningún problema. En la parte inferior de la pieza precisamente en la parte cuadrada se soldó un eje tubular hueco para que con esto se pueda deslizar libremente la pieza, se utilizó la soldadura eléctrica con electrodo 6013. Para darle el pulido se utilizó un disco abrasivo y de lija o también llamado flat dejando un mejor terminado. La pintura que se utilizó para darle el acabo fue negro laca mate.

**Figura 37.**

*Guía para las poleas*



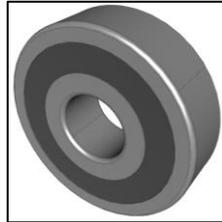
*Nota.* Las guías de poleas nos ayudan a ajustar la distancia requerida las poleas y el motor para un correcto balanceo.

**3.7.7. Rodamientos**

Los rodamientos que se utilizaron fueron 6200 2rs se los escogió porque soporta grandes velocidades vienen sellado ambos lados y tiene lubricación interna sin necesidad de lubricación manual.

**Figura 38.**

*Cojinete*



*Nota.* En los cojinetes es donde se asentará el eje del turbocompresor.

**3.8. Generalidades del equipo de balanceo**

La balanceadora de turbocompresores trabaja en un rango de entre 0 y 5000 revoluciones por minuto para poder realizar las pruebas de balanceo teniendo como tolerancia entre 0 y 1 RMS como parámetros para determinar si el turbocompresor se encuentra desbalanceado o no.

El trabajo principal de las bases flotantes es la de absorber todas las vibraciones del sistema. Consiguiendo con ello obtener parámetros reales de funcionamiento del turbocompresor dentro del motor, pero con la diferencia de no tener restricciones, llegando con esto a ser posible el balance del mismo a diferentes velocidades de trabajo diagnosticando de manera efectiva el estado en el cual se encuentra el turbocompresor ahorrando así los costos de mantenimiento en dichos sistemas de sobrealimentación.

**3.9. Selección del motor.**

Por medio de cálculos se encontró una potencia de motor de 1/2 HP

Se realizó el sobredimensionamiento del motor eléctrico llegando a tener en cuenta los factores de seguridad y el factor de uso. Tomando en cuenta la potencia y

velocidad del motor se define un número de frame o carcasa que se asocia al factor de servicio basado en la norma MG-1.

**Figura 39.**

**Factor de servicio**

Hp	Service Factor					
	Synchronous Speed, Rpm					
	3600	1800	1200	900	720	600
1/20	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...
1/12	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...
1/8	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...
1/6	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...
1/4	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...
1/3	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...
1/2	1.25	1.25	1.25	1.15*	...	...
3/4	1.25	1.25	1.15*	1.15*	...	...
1	1.25	1.15*	1.15*	1.15*	...	...
1-1/2-125	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*
150	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*
200	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...
250	1.0	1.15*	1.15*	1.15*	...	...

*Nota.* Con esta tabla podemos guiarnos para ver el factor de servicio del motor.

Tomado de (*Industrial Research & Developmen, s.f.*)

$$P = \text{Potencia (Hp)} * \text{Factor de conversión} =$$

$$\left(\frac{1}{2} \text{ hp}\right)(746) = 373 \text{ w}$$

$$(373 \text{ w})(\text{Factor de seguridad para motores (norma catrga especial NEC)}) =$$

$$(373 \text{ w})(1.25) = 466.25 \text{ w}$$

$$(466.25 \text{ w})(\text{Factor de uso según norma MG - 1}) = 233.125 \text{ w}$$

$$(466.25 \text{ w})(1.50) = 699.375 \text{ w} / 746 = 0.9375.$$

Hallar el torque del motor seleccionado:

$$T = \frac{\text{Potencia (HP)} * 5252}{\text{RPM}} =$$

$$T = \frac{0.9375Hp * 5252}{3450rpm} = 1.427173913 Kg * m/s^2$$

Se procede a buscar motor comercial que cumpla las características requeridas.

### **3.10. Descripción del sistema de medición**

El sistema de medición de las vibraciones se lo realiza mediante los datos recolectados por los sensores acelerómetros y analizados por la tarjeta electrónica. Esto permite interpretar de una manera fácil las ondas graficadas por el software en los dos planos al momento de realizar un balanceo dinámico, dándonos a conocer si es necesario la remoción de material o no para obtener un turbocompresor balanceado.

#### **3.10.1. Sensor de vibración**

Para la medición de las vibraciones el banco de pruebas cuenta con un sensor mpu 6050, acelerómetro y un giroscopio, pero en este caso solo se va a utilizar el acelerómetro el cual tiene 8 pines de salida de los cuales se utilizará únicamente 5 los cuales son 2 establecer la comunicación del sensor y el micro controlador utilizando la comunicación  $I^2C$  los cuales son el SDA y el SCL los siguientes dos son para la alimentación del sensor son simplemente VCC y GND y el ultimo para dirección del sensor que se comunica por  $I^2C$  que en binario se representa como 110100X que representa la dirección de los acelerómetros donde la x nos indica la dirección.

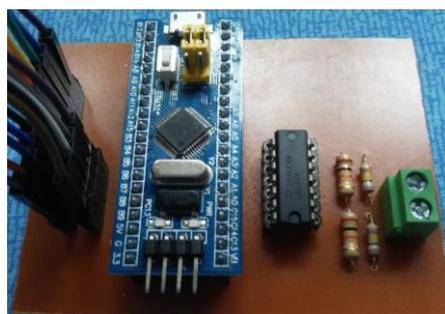
Los acelerómetros trabajan con valores digitales dependiendo de los bits que manejen en este caso trabaja con 16 bits que nos da 65535 que es igual a  $2^{15}-1$ . La aceleración nos devuelve valores entre 0 y 65535 existiendo aceleraciones negativas.

**Figura 40.***Acelerómetro*

*Nota.* El acelerómetro cuenta con la medición de los ejes x, y, z y un giroscopio.

### **3.10.2. Tarjeta electrónica**

Esta tarjeta nos ayuda a recibir las señales analógicas de los sensores y los transforma a señales eléctricas que podemos interpretar fácilmente, llegando a ser el cerebro de la balanceadora al momento de balancear según los parámetros ya establecidos previamente.

**Figura 41.***Placa*

*Nota.* La placa es quien recibe los datos obtenidos por los sensores y los transforma a información que podemos interpretar.

### 3.11. Diseño del software

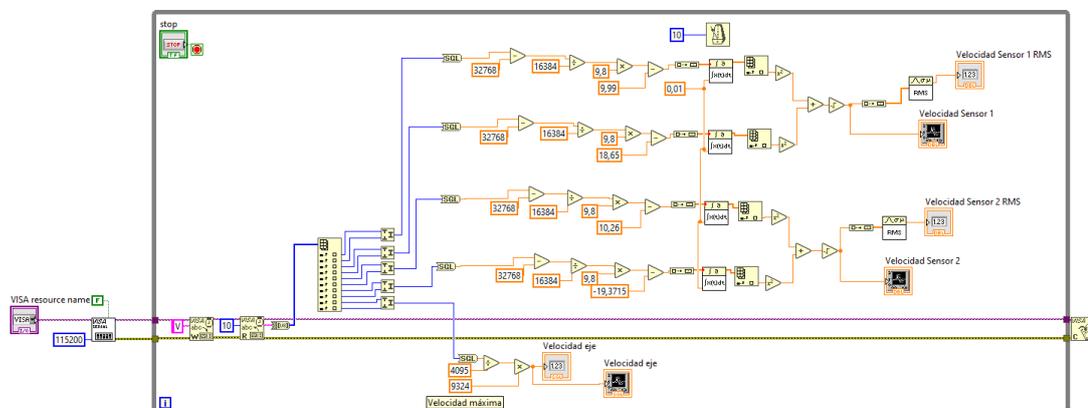
Para realizar el análisis de vibraciones es indispensable la implementación de una tarjeta electrónica para la recolección de datos. Las señales de los sensores serán analizadas por la tarjeta la cual determina la amplitud que genera el desbalanceo en los turbocompresores.

Para realizar la comunicación entre los sensores y la tarjeta electrónica se utilizó el programa Labview observando con ello los datos obtenidos por el acelerómetro.

Para el diseño del software de la balanceadora se utilizó el software Labview el cual nos permite realizar la programación grafica o también llamado interfaces de la aplicación. Realiza diagramas de bloques, análisis de datos, lo que el programador requiera para poder realizar su programa en este caso el desarrollo del software de la balanceadora de turbos, cuenta con una amplia gama de componentes para realizar simulaciones conjuntamente con el hardware para una mejor perspectiva de los parámetros requeridos por el programador.

**Figura 42.**

*Labview*



*Nota.* Diagrama de la interface.

En la parte electrónica se utilizó una placa la cual recibe las señales de los sensores está conformada básicamente con un micro controlador el cual es un sistema donde se encuentra toda la parte lógica de control en este caso del proyecto el cual mide las diferentes variables.

En el micro controlador tiene una salida de cinco pines que son para los acelerómetros y establecer una comunicación entre el micro y los sensores.

Las aceleraciones menores a cero tienen un rango entre cero y  $65535/2 - 1$  y mayores a cero que son entre  $65535/2 + 1$  hasta 65535. Entregándonos estos valores en unidades G que utilizan los acelerómetros.

La aceleración menor a cero el cero representa  $-2g$  y 65535 representan 0G

Las aceleraciones mayores a cero 65535 representa 0G y el cero representa 2G

Para transformas estos valores a unidades de aceleración se los multiplica por 9.8

$$ax = 0 - 65535$$

$$\frac{65535}{2} = 32768$$

$$\frac{ax - 32768}{16384} = [2g]$$

$[-2g]$

$$32768 - 65535$$

↓       ↓

$$0 \quad 2g$$

$$ax = 0 - 65535$$

$$\frac{65535}{2} = 32768$$

$$-\frac{32768 - ax}{16384} =$$

$$0 - 32768$$

↓       ↓

$$-2g \quad 0$$

$$a > 0$$

$$a < 0$$

Del micro controlador salen dos cables los cuales están conectados a un bloque de ganancia de ahí salen dos cables para medir el motor DC

El micro controlador cuyo máximo voltaje es de hasta tres voltios a su vez está conectado a un bloque de ganancia que en realidad nos ayuda a regular el voltaje que ingresa al micro en este caso se multiplica el valor del voltaje por un valor de ganancia que es de  $\frac{3}{110}$  y ese valor entra al micro controlador en unidades digitales el cual está conectado al motor DC que nos ayuda a medir las revoluciones del motor de la balanceadora.

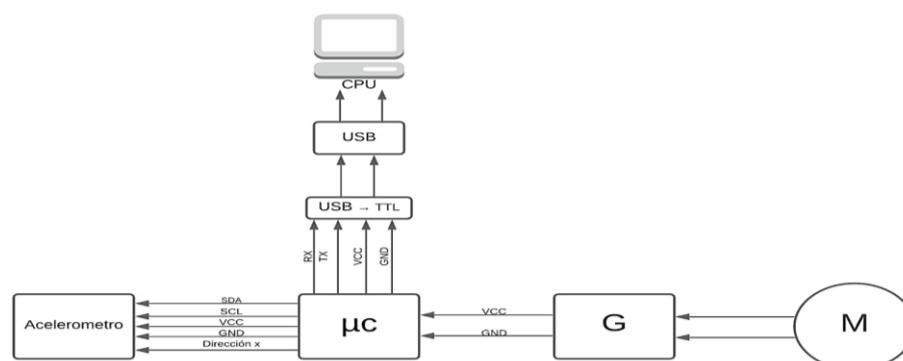
### 3.11.1. USART

Para comunicarse la placa y los sensores con la computadora es necesario utilizar la comunicación USART la cual se logra mediante la conexión de dos pines.

En el micro controlador existen cuatro pines de los cuales existe un pin rx es el cual lee la información y el pin tx es el cual transmite la información. Y los dos restantes que son VCC y GND.

### Figura 43.

*Diagrama de conexión*



*Nota.* Representación de cómo está conectado todo el circuito electrónico.

### 3.12. Pruebas

#### 3.13. Inspección del banco de pruebas electrónico para la realización del balanceo de turbos

Previo a la realización del balanceo del turbocompresor es necesario inspeccionar los elementos que conforman la balanceadora para no tener inconvenientes en la obtención de las ondas generadas por los sensores.

**Tabla 8.**

*Inspección de la balanceadora*

Elementos	Bueno	Malo
Bases flotantes	x	
Cojinetes	x	
Banda	x	
Inspección visual	x	

*Nota.* Se puede concluir que la balanceadora se encuentra en óptimas condiciones.

#### 3.14. Desarmado y armado de un turbocompresor

El desmontaje de un turbo nos permite observar con detenimiento las diferentes partes que componen un turbocompresor, así como identificar también la placa donde se hallan los datos de que marca es y a que motor pertenece.

Observaremos el estado en el cual se encuentra el turbo y sus diferentes piezas.

**Figura 44.**

*Turbocompresor*



*Nota.* La vista del turbocompresor previo a desarmarlo.

1.- Procedemos a retirar la carcasa por parte de la turbina y proseguiremos por la del compresor. Retirando previamente la abrazadera o también conocido como clamps.

**Figura 45.**

*Rueda compresora*



*Nota.* Podemos observar el estado en el cual se encuentra la rueda compresora.

2.- Fijamos la rueda de la turbina para proceder a soltar la ruda compresora procurando evitar deformaciones en los alabes.

**Figura 46.**

*Rueda de turbina*



*Nota.* Procedemos a retirar la rueda de turbina.

3.- A continuación, retiramos la rueda compresora de la placa del cuerpo central liberando con ello la rueda compresora y su eje así también como la rueda de la turbina.

**Figura 47.**

*Turbocompresor*



*Nota.* Aquí podemos observar el turbocompresor completamente despiezado.

**Tabla 9.***Datos del turbocompresor*

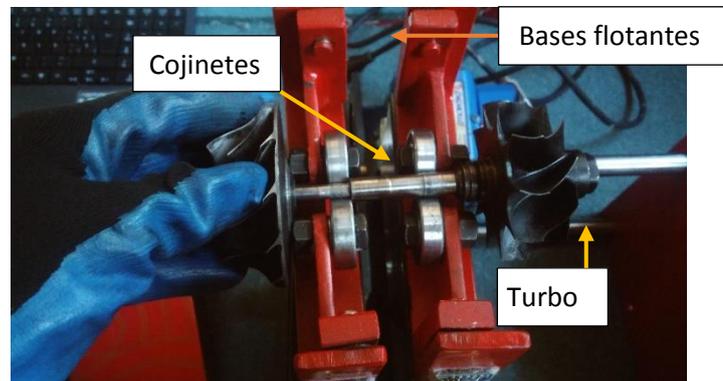
<b>Garrett Turbo Inc. Japan</b>	
Modelo	GT3576
P/N	24100 – 3251C
S/N	FC 01 26J
GTI P/N	479016 - 2
Motor	J08C - TI
Año	1997

*Nota.* Datos de identificación el turbo.

### **3.15. Balanceo del turbocompresor**

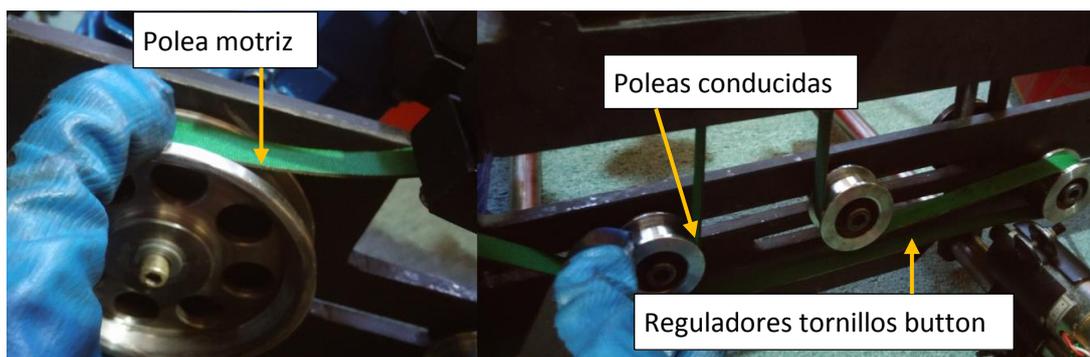
Para las pruebas realizadas se tomó en cuenta la velocidad de vibración en cada uno de los soportes, además se observó que no existiera picos excesivamente altos en las ondas generadas por la vibración tanto en la turbina como en el compresor del turbo.

1.- Se procede a colocar el turbocompresor previamente ya desarmado en las bases flotantes observado que este quede bien posicionado para no obtener lecturas falsas al momento de realizar el balanceo.

**Figura 48.***Montaje del turbo*

*Nota.* Se procede a colocar el turbo en las bases flotantes.

2.- Se procede a colocar la banda en la polea motriz y en las tres poleas conducidas ajustándolas a la distancia a convenir conjuntamente con el eje del turbocompresor y la guía del tensor.

**Figura 49***Banda*

*Nota.* Se posiciona la banda en las poleas las cuales transmitirán el movimiento del motor al turbo.

3.- Ubicamos el motor DC de manera que este se mueva conjuntamente con la banda para darnos la velocidad a la que gira el turbocompresor. Este motor se lo ajusta para cada balanceo de tal forma que quede acoplado con la polea.

**Figura 50.**

*Motor DC*

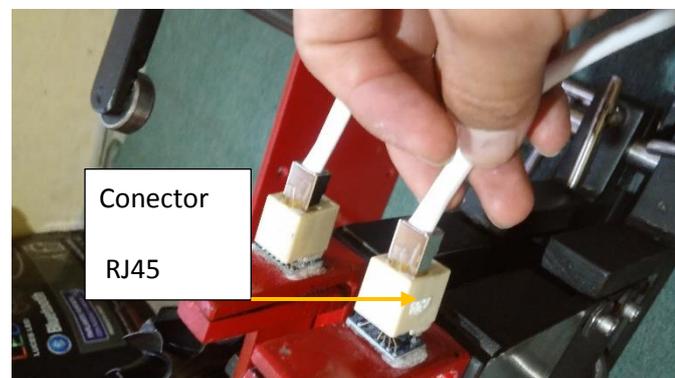


*Nota.* Se posiciona el motor DC conjuntamente con la banda.

4.- Acoplamos el conector rj45 hembra que está ubicado en la base flotante con el conector rj45 macho. No se necesita desconectar el cable para poder iniciar otra prueba de balanceo.

**Figura 51**

*Conectores RJ45*



*Nota.* Se conecta el cable ethernet.

5.- Acoplamos los otros extremos de los conectores rj45 machos a los conectores rj45 hembras que están ubicados en la placa.

**Figura 52.**

*Conector RJ45 de la placa*



*Nota.* Se conecta el otro extremo del cable ethernet al conector RJ45 de la placa.

6.- Conectamos los polos positivo y negativo del motor DC en los bornes correspondientes que están ubicados en la placa.

**Figura 53.**

*Conexión del motor DC*

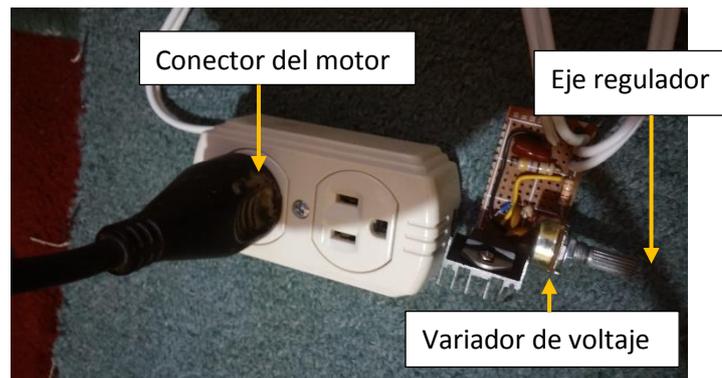


*Nota.* Se procede a conectar los cables del motor DC a la placa.

7.- Conectamos el motor en el circuito variador de velocidades y posteriormente a una fuente de 110 voltios.

**Figura 54.**

*Regulador de velocidad*



*Nota.* Se conecta el motor al circuito regulador de velocidad.

8.- Conectamos la placa con la computadora por medio de un cable USB.

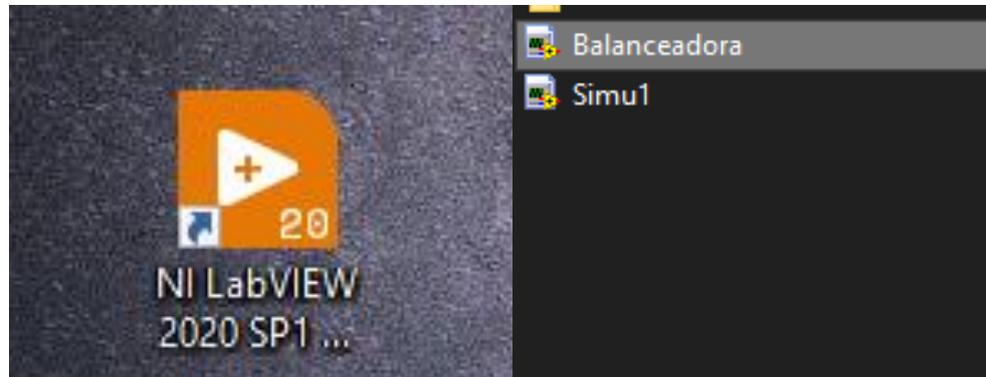
**Figura 55.**

*Conexión de la placa*



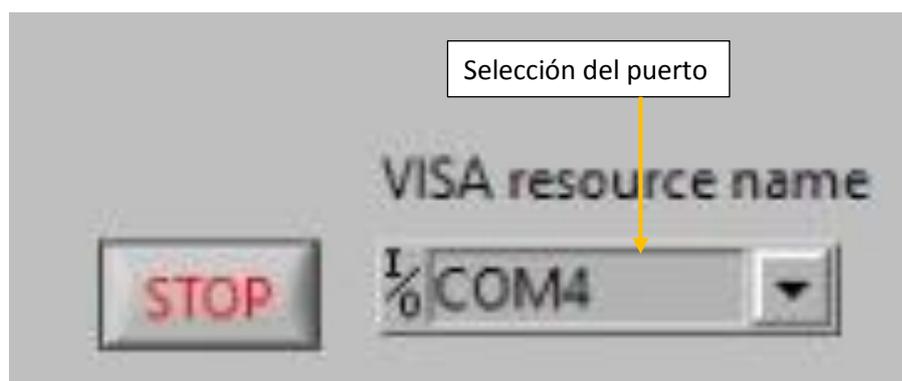
*Nota.* Se procede a conectar la placa con la computadora.

9.- Abrimos el programa labview y procedemos a dar doble click en el archivo balanceadora a continuación se abra la interfaz del programa para la balanceadora.

**Figura 56.***Programa Labview*

*Nota.* Abrimos el programa Labview para observar las interfaces del programa y realizar el balanceo.

10.- Seleccionamos el puerto de la placa que se llama COM4 y damos click en el iniciar el balanceo. Para detener el programa procedemos a dar click en el icono Stop.

**Figura 57.***Selección del puerto*

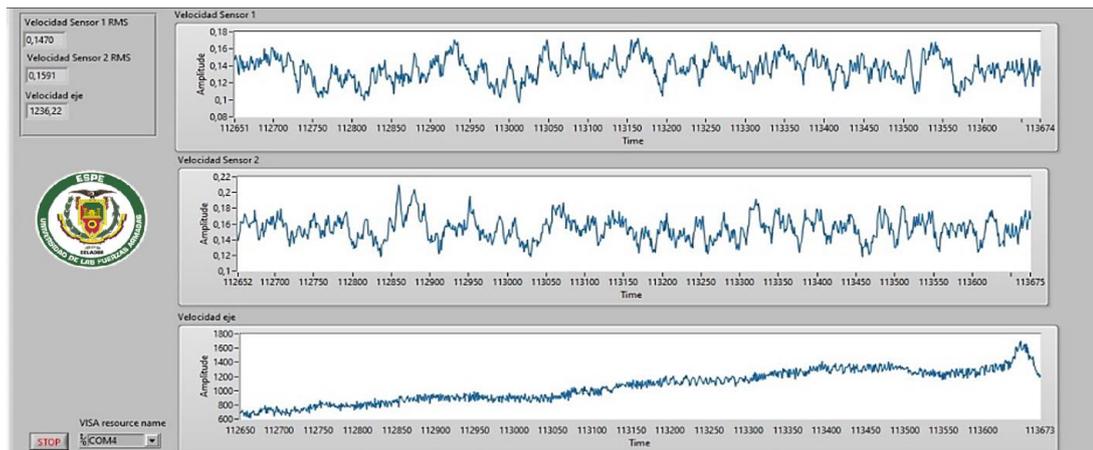
*Nota.* Selección del puerto de comunicación con la computadora.

11.- Iniciamos el programa y procedemos a variar la velocidad del motor obteniendo las gráficas de vibraciones del sistema. Se observa que en bajas

revoluciones no existen picos altos en la onda generada por las vibraciones del turbocompresor.

**Figura 58.**

*Vibraciones a bajas revoluciones*

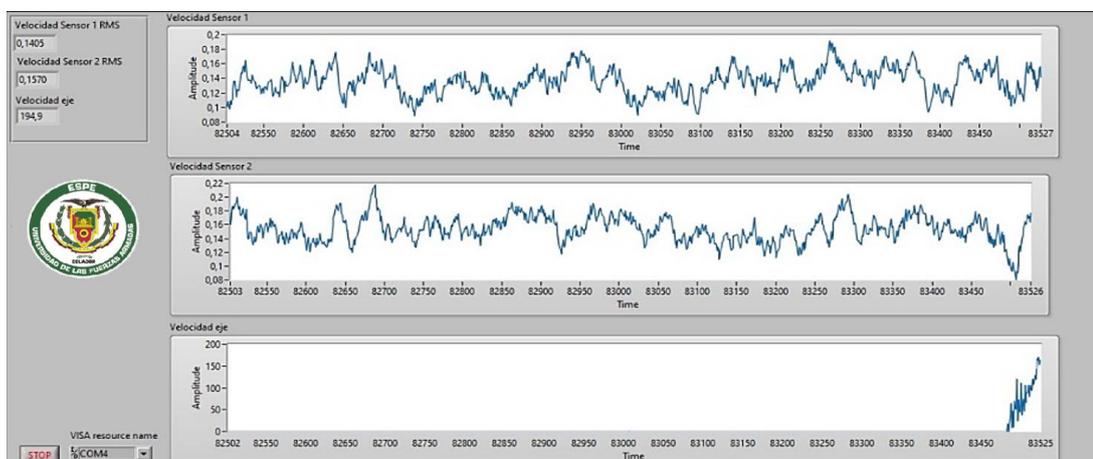


*Nota.* Podemos observar que no existen picos altos.

12.- A revoluciones medias se puede observar una onda constante sin presencia de picos altos lo cual nos indica que no existe desbalanceo

**Figura 59.**

*Vibraciones a media velocidades*

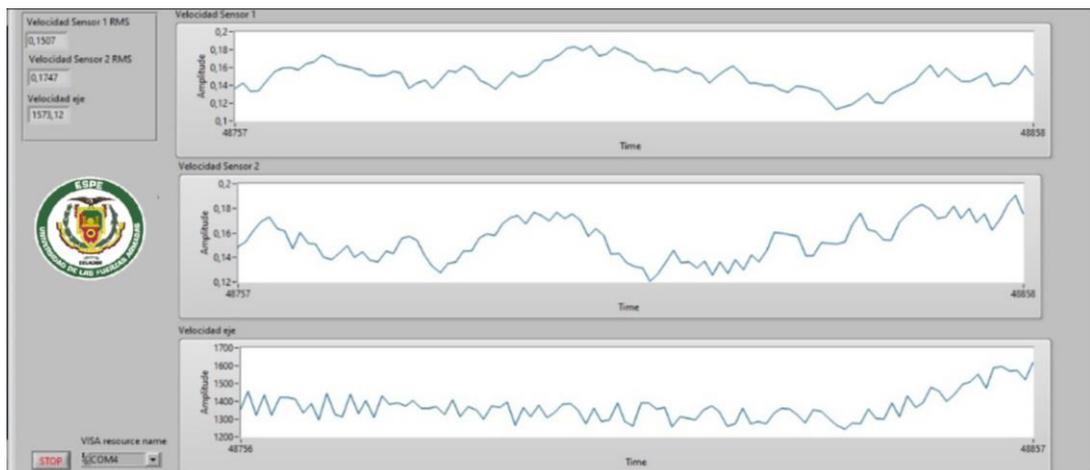


*Nota.* No se presencia picos altos en la gráfica.

13.- La onda generada a altas revoluciones nos indican que no existe la presencia de desbalanceo en el turbocompresor por lo cual podemos concluir que el turbocompresor se encuentra balanceado.

**Figura 60.**

*Vibraciones a altas revoluciones*



*Nota. No se presencia picos anormales en la gráfica.*

## Capítulo IV

### 4. Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

- El turbocompresor ha evolucionado con el pasar del tiempo encontrando en la actualidad diferentes modelos y tecnologías que ayudan al rendimiento del automóvil, así mismo sus componentes pueden llegar a ser controlados electrónicamente ayudando a la precisión al momento de recircular los gases de escape a la cámara de combustión.
- El desbalance del turbocompresor influye directamente con la potencia del motor, afectando no solo el rendimiento del automóvil si no a los componentes que lo conforman, esto es causado por cuerpos extraños que ingresan al turbocompresor, etc. Y que pueden provocar el desbalanceo del mismo
- La sensibilidad de los acelerómetros es alta ya que esto nos ayuda a recolectar los datos de las vibraciones que se presenten en el banco de pruebas siendo estas más precisas al momento de representarlas en ondas podemos observar si existe un pico excesivamente alto que nos indicaran si el turbocompresor se encuentra desbalanceado caso contrario nos indicaría que el turbocompresor se encuentra balanceado y no presentaría pérdidas de potencia para el automóvil.
- Los rangos de tolerancia para el balanceo deben encontrarse de entre 0 y 1 RMS para considerar que el eje y la turbina se encuentren correctamente balanceados.

#### 4.2. Recomendaciones

- En el banco de pruebas es necesario que todos sus componentes se encuentren nivelados para obtener lecturas reales de las vibraciones, caso contrario este

puede llegar a dañar el eje del turbo y por ende sus alabes, dañando completamente el turbocompresor.

- Usar los equipos de protección personal adecuados al momento de realizar cortes o soldaduras salvaguardando la integridad física de la persona y evitando accidentes no deseados.
- Previamente al realizar el balanceo es necesario inspeccionar los cojinetes que no tengan fugas de lubricación para que no oponga resistencia al momento de realizar el giro del turbocompresor.
- Se recomienda realizar mantenimientos periódicos a la balanceadora para evitar deterioros en la estructura mecánica.
- La banda que transmite el movimiento del motor al turbo se recomienda revisar periódicamente ya que al trabajar con altas revoluciones tiende a desgastarse y produce el resbalamiento entre la banda y las poleas como consecuencia deja de transmitir el movimiento del motor al turbo.
- Se recomienda utilizar las herramientas adecuadas al momento de despiezar el turbocompresor ya que al no tener las herramientas podemos llegar a dañar el turbo y no podríamos realizar un correcto balanceo del turbocompresor.
- Al detener la prueba de balanceo se recomienda parar el programa con el botón stop que se encuentra en la parte inferior de la pantalla caso contrario si se utiliza el icono de la parte superior puede aparecer fallas en el programa y para solucionarlo se debe reiniciar la computadora en la cual se abrió el programa.

**BIBLIOGRAFÍA**

Álvarez, S. (27 de abril de 2016). *Diario Motor*. Recuperado el 08 de Abril de 2020 de <https://www.diariomotor.com/2016/04/27/historia-turbo-coche/>

Lara Andrade, J. D. (2006). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para turbocompresores asistido mediante un programa computarizado*. [Tesis de grado, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO].  
Recuperado el 17 de Abril de 2020 de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3817>

Arias, M. (2004). *Manual de Automóviles*. CIE Inversiones Editoriales Dossat 2000.SL. Recuperado el 10 de Junio de 2020 de  
<http://librosdelpobre.blogspot.com/2016/05/manual-del-automovil-arias-paz-55ma.html?m=1>

Pérez, M. (2.<sup>a</sup> edición ). (2017). *Sistemas auxiliares del motor*. Ediciones Paraninfo, S.A. Recuperado el 18 de Junio de 2020 de  
<https://books.google.com.ec/books?id=KtXLDgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Sistemas+auxiliares+del+motor+2.%C2%AA+edici%C3%B3n.+Espa%C3%B1a&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiorMjZv6vvAhWDxFkKHY8rAJ0Q6wEwAHoECAQQAQ#v=onepage&q&f=false>

Calaza, H. (2017). *Esta es la historia del turbo*. Autos Cosmos. Recuperado el 14 de Julio de 2020 de  
<http://noticias.ve.autocosmos.com/2017/10/08/esta-es-la-historia-del-turbo>

Disanndro, J. (1997). *Mecánica II Balanceo*[Archivo PDF]. Recuperado el 4 de Septiembre de 2020 de

<http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Vibraciones%20-%20Balanceo.pdf>

Paredes Echeverría, F. X. (2013). *Implementacion de un Banco Simulador de un Sistema de Inyeccion Electronica de Combustible (gasolina) en un Motor Corsa de Cuatro Cilindros 1.6LMPI*[Tesis de Grado, Universidad Internacional del Ecuador]. Recuperado el 7 de Septiembre de 2020 de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/164/1/T-UIDE-0158.pdf>

Fernandez, A. (2017). *Manual Analisis de Vibraciones*. Maintenance Intelligence LLC. Recuperado el 2 de Enero de 2021: [http://power-mi.vibration\\_manual.pages.ontraport.net/](http://power-mi.vibration_manual.pages.ontraport.net/)

Ferrer, P. (2013). Historia del turbocompresor. *Autofácil. Revista de coches y motor*. Recuperado el 8 de Enero de 2021 de <https://www.autofacil.es/tecnologia/2013/02/12/historia-turbocompresor/12877.html>

Gil, H. (2002). *Técnicas de sobrealimentación*. Editorial Ceac. Recuperado el 20 de Enero de 2021 de [https://books.google.com.ec/books?id=700ObKlrb-4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=700ObKlrb-4C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Pardiñas, J y Feijó, R. (2018). *Sistemas auxiliares del motor*. S.A. EDITEX.

Recuperado el 5 de Febrero de 2021 de

[https://books.google.com.ec/books?id=4hhfDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=4hhfDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Palomino, E. (2007 ). *Elementos de medicion y analisis de vibraciones en maquinas rotatorias*. Instituto Superior Politécnico José Antonio

Echeverría. Recuperado 18 de Febrero de 2021 de

[https://www.academia.edu/35718850/Elementos\\_de\\_Medici%C3%B3n\\_y\\_An%C3%A1lisis\\_de\\_Vibraciones\\_en\\_M%C3%A1quinas\\_Rotatorias](https://www.academia.edu/35718850/Elementos_de_Medici%C3%B3n_y_An%C3%A1lisis_de_Vibraciones_en_M%C3%A1quinas_Rotatorias)

Rodriguez, J. (2013). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo*

*Otto*. IC Editorial. Recuperado 19 de Marzo de 2021 de

<https://books.google.com.ec/books?id=0AVbav1RIMEC&printsec=frontcover&dq=Melchor,+J.+C.+Mantenimiento+de+sistemas+auxiliares+de+l+motor+de+ciclo+Otto&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiS8LeGy6vvAhURh-AKHxcICJwQ6AEwAXoECAUQA#v=onepage&q&f=false>

Parera, A. (1990). *Inyección electrónica en motores de gasolina*. BOIXAREU

EDITORES. Recuperado el 6 de abril de 2021 de

<https://books.google.com.ec/books?id=YFghI1bGeKsC&printsec=frontcover&dq=INYECCI%C3%93N+ELECTR%C3%93NICA+EN+MOTORES+DE+GASOLINA.&hl=es->

419&sa=X&ved=2ahUKEwWijgPr0y6vAhWSmOAKHRHaDxsQ6AEwAH  
oECAIQAg#v=onepage&q=turbo%20%20&f=false

Guevara Torres, R.D y Yáñez Rodríguez, P.D. (2014). *Banco para pruebas del Sistema de Inyección y encendido electrónico del motor GM-Chevrolet Trailblazer 4.2L*[Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE]. Recuperado el 19 de Mayo de 2021 de <https://es.slideshare.net/ricardogueto/tesis-trailblazer-gt>

Loewy, R y Piarulli, V. (1969). *Dynamics Rotor Shafts*. Library of Congress Catalog Card N° 70-606276. Recuperado el 27 de Mayo de 2021 de [https://books.google.com.ec/books?id=8QZIAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=8QZIAQAIAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Summers, M. (2007). Turbo sobrealimentadores de ABB, hitos históricos. *Revista ABB*. Recuperado el 3 de junio de 2021 de <https://new.abb.com/about/technology/abb-review>

BorgWarner. (11 de junio de 2020). *Historia de la Turboalimentación*. Recuperado 10 de Junio de 2021 de <http://www.turbos.bwauto.com/es/products/turbochargerHistory.aspx>

Manual de Análisis de Fallas (Ánonimo, 2005). Recuperado el 11 de Junio de 2021 de <https://www.turbopartesdiesel.com/pdf/Manual%20de%20Fallas%20de>

%20un%20turbo%20original%20GARRETT.pdf?fbclid=IwAR3gdSzm9  
D-8Fra8dxOdL0PFK3orFVwv2x-H\_pbOTeh8pUIYiVFgSWLABgQ

White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. Recuperado el 12 de  
Junio de 2021 de [https://docplayer.es/34327882-Introduccion-al-analisis-  
de-vibraciones.html](https://docplayer.es/34327882-Introduccion-al-analisis-de-vibraciones.html)

Wowk, V. (2008). *A Brief Tutorial on Machine Vibration*[Archivo PDF].

Recuperado el 13 de Junio de 2021 de  
<https://www.scribd.com/document/3870895/Vibration-Analysis>

Sanchez, E.(2008). *Sistema de Sobrealimentación*. MACMILLAN Editorial.

Recuperado el 14 de Junio de 2021 de  
[https://xdoc.mx/documents/sistemas-de-sobrealimentacion-  
5eb31fb7e81a8](https://xdoc.mx/documents/sistemas-de-sobrealimentacion-5eb31fb7e81a8)

Autoavance (30 de junio de 2012). *El turbocompresor*. Recuperado el 15 de

Junio de 2021 de [https://www.autoavance.co/blog-tecnico-  
automotriz/85-el-  
turbocompresor/#:~:text=Los%20turbocompresores%20de%20geomet  
r%C3%ADa%20variable,m%C3%A1s%20implantados%20en%20veh  
%C3%ADculos%20modernos.](https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/85-el-turbocompresor/#:~:text=Los%20turbocompresores%20de%20geometr%C3%ADa%20variable,m%C3%A1s%20implantados%20en%20veh%C3%ADculos%20modernos.)

MAHLE. (s.f.) Turbocompresores: tipos de daños, causas y prevención.

Recuperado el 17 de Junio de 2021 de [https://www.mahle-  
aftermarket.com/na/en/catalogs-and-literature/literature/turbochargers/](https://www.mahle-aftermarket.com/na/en/catalogs-and-literature/literature/turbochargers/)

- Mejia, E. (2004). *Análisis de vibraciones como herramienta en el mantenimiento predictivo en ingenios azucareros* [Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Recuperado el 18 de Junio del 2021 de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0428\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0428_M.pdf)
- Puruncajas, B y Sosa, C. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control, a base de una plataforma de software libre para la rehabilitación de la balanceadora tira k300, e implementación de un sistema mecánico para la seguridad de la misma* [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Recuperado el 19 de Junio de 2021 de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10743>
- ISO. (2003). Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state [Archivo PDF]. Recuperado el 20 de Junio del 2021 de [https://www.dcm.mil/Portals/31/Documents/NPP/Forms/ISO\\_1940-1.pdf](https://www.dcm.mil/Portals/31/Documents/NPP/Forms/ISO_1940-1.pdf)
- Industrial Research & Development. (s.f.) Balancing Machines - Types, Classification, and Methods. Balancing Machines - Types, Classification, and Methods (irdproducts.com)

# ANEXOS