

FASE 3 VARIADOR DE VELOCIDAD

FEDERICO CASTRILLÓN CADAVID  
DARWIN MONTOYA GALLO  
ESTEBAN LOTERO GALVIS

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ  
2014

FASE 3 VARIADOR DE VELOCIDAD

FEDERICO CASTRILLÓN CADAVID  
DARWIN MONTOYA GALLO  
ESTEBAN LOTERO GALVIS

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNOLOGO EN  
MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Asesor  
Luis Guillermo Vásquez Paniagua  
Ingeniero Mecánico

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ  
2014

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	9
2. JUSTIFICACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo general	11
3.2. Objetivos específicos	11
4. REFERENTES TEÓRICOS	12
4.1. PRINCIPIOS DEL TURBO COMPRESOR	12
4.2. TURBO COMPRESOR	13
4.3. FUNCIONAMIENTO	16
4.3.1. Turbina	17
4.3.2. Compresor	20
4.4. LÍNEA DE SOBRECARGA	21
4.4.1. Línea de estrangulación	22
4.4.2. Drenaje del lubricante	22
4.5. RODAMIENTOS	22
4.5.1. Sistema de rodamientos radial	23
4.5.2. Sistema de rodamientos de empuje axial	23
4.6. COJINETES	24
4.7. SISTEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN	26
4.7.1. Regulación de caudal en turbo de geometría variable	27
4.7.2. Válvula de alivio	28
4.7.3. Válvula Wastegate	30
4.8. VENTAJAS DEL TURBO COMPRESOR	31
4.9. REFRIGERACIÓN DEL TURBO COMPRESOR	31
4.10. MANTENIMIENTO DEL TURBO COMPRESOR	34
4.11. SENSOR DE EFECTO HALL	35

5. METODOLOGÍA	37
5.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	37
5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	37
5.3. IMPLEMENTACIÓN	37
5.4. PRUEBA Y EVALUACIÓN	38
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	39
6.1. PROCEDIMIENTO	40
6.2. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN	46
6.3. PRESUPUESTO	47
6.4. CRONOGRAMA	48
7. RECOMENDACIONES	49
CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	54

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Presupuesto	47
Tabla 2 Cronograma	47

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Circulación de aire y gases en el motor	17
Figura 2 Línea de sobrecarga	21
Figura 3 Sistema de cojinetes	26
Figura 4 Temperatura de funcionamiento del turbo compresor	33
Figura 5 Sensor de efecto hall	36
Figura 6 Plano para mecanizado de eje acoplado al motor-tool	53

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1 Instalación de turbo compresores	41
Imagen 2 Circuito de lubricación	43
Imagen 3 Mecanizado del eje para la sopladora	43
Imagen 4 Mecanizado del eje para la sopladora	43
Imagen 5 Circuito electrónico para la medición de la velocidad	44
Imagen 6 Circuito electrónico para la medición de la velocidad	44
Imagen 7. Turbo compresores y caja de control	45
Imagen 8. Módulo de pruebas de turbo compresor	46

## INTRODUCCIÓN

Las mejoras y obras civiles de los diferentes laboratorios y talleres, que actualmente se encuentran en proceso de construcción en la institución, beneficiarán en gran parte a la nueva generación de estudiantes, permitiéndoles obtener una mejor calidad de educación y amplios espacios que generen un ambiente óptimo a la hora de unir conocimientos teóricos-prácticos.

Por lo anteriormente dicho ha surgido una idea que vista desde el proceso que en estos momentos lleva a cabo la institución, es acorde iniciar. Se tomara como punto partida un proyecto de grado presentado en el año 2013 llamado “MODULO DE PRUEBAS DE UN TURBO COMPRESOR” en el cual invertiremos tiempo y conocimientos ya adquiridos en la institución acerca de la mecánica automotriz a lo largo de seis semestres, para mejorar y adecuar de una manera versátil y estética el proyecto, y así permitirnos contribuir con el mejoramiento de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Es así como este proyecto resultara de fácil acceso a docentes y estudiantes, ya que es primordial entender de manera didáctica y confortable un objeto como el turbo compresor, el cual tiene un funcionamiento complejo, y a partir de esto se obtendrá una mejor manera de completar los conocimientos ya adquiridos en las aulas de clase, logrando así un entendimiento de mayor categoría por parte de los alumnos y de esta manera también facilitarle el proceso de enseñanza de los maestros.

## 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los turbocompresores son artículos utilizados en los vehículos directamente en el motor con el fin de aumentar la cantidad de aire dentro del mismo, logrando así una mayor potencia aprovechando una “perdida” como lo son los gases de escape. Pero cuando se necesita saber más sobre el tema, algo más técnico y con mayor profundidad, los turbo compresores se pueden poner un poco “complicados”.

Al ser un producto actualmente muy utilizado en todo tipo de vehículos actualmente, es necesario que una persona que se dedica al mundo de los automotores (o en un futuro planea hacerlo), conozca la construcción y el funcionamiento de esta pieza que juega un papel importante en el desempeño de un vehículo, desde una perspectiva más didáctica y teniendo la oportunidad de manipular los diversos objetos y cambiar las condiciones de trabajo.

La falta de un modelo como ese dentro de la institución, podría haberse catalogado por los anteriores estudiantes como una falencia o quizá un “vacío” en su proceso educativo, pero ahora se puede cambiar parte de esa realidad poniendo el proyecto en marcha y así generar la curiosidad por este objeto de los estudiantes venideros. De tal manera que se convertiría en una solución versátil y de gran ayuda que permite obtener los conocimientos deseados de una manera más puntual, concreta y fácil que antes no se encontraba en la universidad.

Con la modernización de las instalaciones de la institución y la regionalización, se hace necesario que el proyecto tenga un módulo más compacto para su fácil y cómoda manipulación y traslado. También con el novedoso “Laboratorio Móvil” adquirido por el Pascual Bravo, se tendrá la oportunidad de que sea un material didáctico más para las demás universidades y las comunidades donde vaya la institución.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La iniciación de este proyecto se realiza aplicando cada uno de los conocimientos otorgados por cada docente a lo largo de 3 años de estudio, permitiendo hacer práctico y de manera más real la teoría instituida en las materias vistas, de tal modo que estos conocimientos en este proyecto se aplicaran en un turbocompresor, que son artefactos que tiempos antes eran solamente utilizados en los motores diésel, pero como todo cambia y evoluciona ahora es común ver turbocompresores en motores diésel más pequeños o gasolina debido a su gran rendimiento.

El funcionamiento de un turbocompresor y algunas de sus variables permitió establecer y formular una cantidad de mejoras al proyecto de grado realizado el año inmediatamente anterior por otros compañeros, para así continuar con este proceso de enseñanza de gran utilidad con la educación en algunos temas que pueden ser complicados y de difícil entendimiento, y así de esta manera se complementan las actividades impartidas por los docentes en las aulas de clase, permitiendo avanzar en el tema específico sin necesidad de alargar explicaciones que sin un apoyo didáctico tardaran más tiempo para que el estudiante las comprenda.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1. Objetivo General**

Montar un variador de velocidad a un turbo compresor para afectar la velocidad de giro del mismo.

### **3.2. Objetivos Específicos**

- Modificar la velocidad del turbo
- Observar el comportamiento de los gases de compresión en los diferentes grados de revoluciones.
- Construir un módulo de pruebas más compacto.

## 4. REFERENTES TEÓRICOS

### 4.1. PRINCIPIOS DEL TURBO COMPRESOR

En 1903 comenzó a experimentar con un rudimentario sistema de turboalimentación para mejorar la eficiencia del motor de combustión. Alfred Büchi registra en 1905 la patente basado que los motores de combustión interna tienen una eficiencia muy baja debido a que dos tercios de la energía se pierden a través del calor por el escape. Quería capturar ese calor y utilizarlo para mejorar el motor.

Los principios de su tecnología fueron idénticos a los de los turbocompresores de hoy. La potencia se incrementó al forzar aire adicional en los cilindros, con el calor del gas de escape utilizado para impulsar la turbina. En 1911, inició un departamento especial para experimentar el turbocompresor y produjo el primer prototipo en 1915. Intento demostrar cómo podría ser utilizado en los aviones para aumentar la potencia del motor en el aire y a gran altura. Fue un desastre. Aunque el turbo compresor funcionaba, no pudo mantener la presión de sobre alimentación requerida, por lo tanto no era fiable. Esto significa que, aunque se acercó a empresas como Brown Boveri (ABB ahora) en Baden ninguno estaba interesado porque se consideraba al turbo: “indeseable y poco rentable”.

Persistió con sus trabajos y patentó un nuevo sistema en 1915. En 1925, finalmente consiguió, con éxito acoplar el turbo compresor a un motor diésel y lograr una mejora de la eficiencia en más de un 40%.

## 4.2. TURBO COMPRESOR

El motor de combustión interna es una máquina consumidora del aire. Esto es porque el combustible se quema que requiere el aire con el cual puede mezclarse para terminar el ciclo de la combustión. Una vez que el cociente aire/combustible alcance cierto punto, la adición de más combustible no producirá más energía, sino produce solamente humo o el combustible llega a la atmósfera sin quemarse. Cuanto más denso el humo, el motor está siendo más sobrecargado de combustible.

Por lo tanto, aumentando la entrega del combustible más allá del cociente aire/combustible límite, los resultados son el consumo de combustible excesivo, la contaminación, la alta temperatura de extractor (diésel) o la temperatura de extractor baja (gasolina), y la vida se acorta del motor.

La potencia que un motor puede alcanzar depende de su habilidad para sacarle al combustible la energía calorífica que contiene. Para ello necesita ante todo mezclarlo con el suficiente aire para que este le ceda su oxígeno en el momento de la reacción química de la combustión. Por supuesto, el volumen de un cilindro limita la cantidad de aire que puede penetrar en él, de modo que si su volumen es de X cantidad de  $\text{cm}^3$ , la cantidad de aire que pueda tener cabida en el será, teóricamente, la misma X cantidad de  $\text{cm}^3$ .

De acuerdo con la cantidad con la cantidad de aire tenemos que calcular la cantidad máxima de combustible inyectado pues sería inútil del todo introducir en la cámara mayor cantidad de combustible del que puede consumirse de acuerdo con el aire aportado, de modo que la cilindrada limita la potencia que un motor puede alcanzar dentro de unos límites relativamente estrechos y a igualdad de número de r/min del motor. Esta consideración nos lleva a darnos cuenta la importancia que tiene no solo el combustible, sino también el aire para obtener

una mayor potencia, y nos sirve también para darnos cuenta del porqué los motores de menor cilindrada dan potencias más discretas que los motores de una cilindrada mayor.

Como muy bien sabemos, el llenado del cilindro se produce en el momento en que la válvula de aspiración se abre y el embolo desciende creando un vacío que la presión atmosférica corre a llenar. La cantidad de aire que consigue entrar en el cilindro en estas circunstancias resulta en la práctica bastante menor incluso que el cilindro, condición que además agrava a medida que el régimen del giro del motor es más elevado.

Un turbo compresor es una bomba del aire diseñada para funcionar encendido la energía normalmente perdida en gas de escape del motor. Estos gases conducen el montaje de la rueda de turbina (lado caliente) que se junta a una rueda del compresor (lado frío). Al rotar, proporcionan un alto volumen de aire en la presión creciente a las cámaras de combustión del motor. Debido a este peso creciente de aire comprimido, más combustible se puede programar para producir más caballos de fuerza de un motor dado del tamaño.

Un motor sobrealimentado puede conseguir hasta un 40% más de potencia que un motor de iguales características no sobrealimentado. Este aumento de potencia se debe tener en cuenta a la hora de fabricar los motores con el objetivo de evitar sobrecalentamientos del motor o presiones y temperaturas excesivas de encendido en la cámara de combustión provocados por la alta capacidad de entrega de aire y presión. De todas formas, se emplean dispositivos que limitan la velocidad máxima o rendimiento de potencia para evitar perjudicar al motor.

Los motores sobrealimentados, o cualquier motor que funcione en la alta salida de energía específica, requiere muy buen temple, como también los sistemas del motor para que puedan sobrevivir en este ambiente exigente. El cuidado se debe

ejercitar para utilizar exactamente los ajustes del combustible del turbocargador y del motor, puesto que el turbo tiene altas capacidades y la presión de aire puede exceder los parámetros totales del motor. La falta de la selección apropiada puede dar lugar al recalentamiento de motor, las presiones o las temperaturas excesivas en la cámara de combustión. Las presiones y las temperaturas excesivas podrían tener efectos perjudiciales la vida del motor causando la falla costosa de los elementos del motor. Cambiar el horario de la entrega del combustible del motor, en cualquier sobrealimentado, debe ser hecho solamente siguiendo las recomendaciones y los procedimientos del fabricante.

Para entender mejor el turbocargado, el pensamiento se debe dar a la operación del motor, a las presiones y a los caudales relativos en los cilindros y los múltiplos durante el proceso de cuatro ciclos. La combustión debe desarrollar presiones muy altas en el cilindro para que la fuerza útil sea transferida al cigüeñal. Cerca del extremo del ciclo de la energía, aunque el aire en el cilindro ha ampliado muchas veces su volumen original, las presiones del cilindro pueden ser todavía absolutamente altas. A este punto de la operación el cilindro se abre y los lanzamientos de la alta presión su energía en el múltiple del extractor. La cantidad de energía lanzada es directamente proporcional al potencial específico de la energía del motor. Poca energía se deja encima a la salida en el múltiple del extractor cuando la salida de energía para un motor es baja o está en la marcha lenta.

Por otra parte, cuando se exige la energía, las cantidades significativas de energía en la forma de aire de alta temperatura, se amplían y pierden en el dispositivo de escape. Un turbo captura algo de esta energía y la utiliza para ayudar a recargar el motor con tanto aire como sea posible. En un cierto punto, las capacidades del turbo, el múltiple o el motor previene la progresión adicional del aumento de la energía. La vida y la eficacia del motor dictan el uso de paradas o de controles positivos de limitar velocidad máxima y energía.

### **4.3. FUNCIONAMIENTO**

Un turbocompresor montado en un motor aprovecha la energía de los gases de escape y la usa en la acción de comprimir el aire fresco del conducto de admisión de los cilindros. Como sabemos, la potencia de un motor de combustión interna está determinada por la cantidad de aire y de combustible que se puede comprimir en sus cilindros y por la velocidad del motor. Los turbocompresores suministran al motor aire a una presión elevada, forzando la entrada en los cilindros de una cantidad mayor de aire, que queda disponible para la combustión.

Compuesto por tres partes principales: turbina, parte central y compresor, basan su principio básico de funcionamiento en aprovechar la salida de los gases de escape del motor de combustión interna, para mover la turbina a alta velocidad. La turbina es solidaria a un eje que está alojado en una caja de cojinetes, y que transmite el giro hacia una rueda compresora. Esta rueda compresora aspira el aire a través del filtro y lo hace circular por la carcasa compresora, aumentando la presión y velocidad del flujo de aire que pasa a los cilindros. La carcasa central contiene dos cojinetes planos, juntas de tipo segmento y un manguito de separación. Posee también conductos para el suministro y vaciado del aceite que entra y sale de la carcasa.

La rueda de la turbina gira dentro de su carcasa y es solidaria con el eje central, que gira apoyado en unos cojinetes lisos, acoplados en el interior de la carcasa central. La rueda del compresor, que se monta en el otro extremo del eje, forma con la de la turbina un conjunto de rotación simultánea. Un turbocompresor puede girar a velocidades de 300.000 rpm, en algunas unidades de alto rendimiento.

El turbocompresor está montado en la brida de salida de escape del colector de escape del motor. Una vez puesto en marcha el motor, los gases de escape de motor que pasan a través del alojamiento de turbina hacen que giren la rueda de

turbina y el eje, los gases se descargan a la atmósfera después de pasar por el alojamiento de turbina.

Durante el funcionamiento, el turbocompresor responde a las exigencias de carga del motor reaccionando al flujo de los gases de escape del motor. Al ir aumentando el rendimiento del motor aumenta el flujo de los gases de escape y la velocidad, y el rendimiento del conjunto rotatorio aumentan proporcionalmente mandando más aire al soplador del motor. Con ello, se logra un mayor llenado de aire en el motor y por consiguiente, aumento de potencia que puede ser superior a un 40 %.

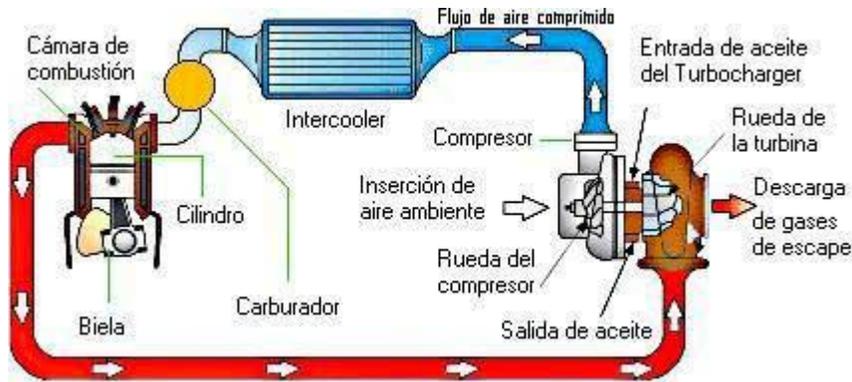


Figura 1. Circulación de aire y gases en el motor

#### 4.3.1. Turbina

La turbina del turbocompresor, formada por una rueda de turbina y una caja de turbina, convierte los gases de escape del motor en energía mecánica para accionar el compresor. Los gases, que quedan restringidos por la zona de sección transversal del flujo de la turbina, experimentan una caída de presión y temperatura entre la toma y la salida. La turbina convierte esta caída de presión en energía cinética para accionar la rueda de la turbina.

Existen dos tipos principales de turbinas: de flujo axial y radial. En el tipo de flujo axial, el flujo a través de la rueda sólo se produce en la dirección axial. En las turbinas de flujo radial, la entrada de flujo de gases es centrípeta, es decir, en dirección radial de fuera adentro, mientras que la salida se produce en dirección axial. Con ruedas de hasta 160 mm aproximadamente de diámetro, sólo se utilizan turbinas de flujo radial. Esto equivale a una potencia de motor de unos 1000 kW por turbocompresor. A partir de 300 mm en adelante, sólo se emplean turbinas de flujo axial. Entre estos dos valores, ambas variantes son posibles. Como la turbina de flujo radial es el tipo más generalizado en aplicaciones de automoción, la siguiente descripción se limita al diseño y función de este tipo de turbina.

En la cámara espiral de dichas turbinas radiales o centrípetas, la presión de los gases de escape se convierte en energía cinética y los gases de escape de la circunferencia de la rueda son dirigidos a velocidad constante a la rueda de la turbina. La conversión energética de energía cinética en potencia de eje se produce en la rueda de la turbina, que está diseñada de forma que para cuando los gases lleguen a la salida de la rueda, la práctica totalidad de la energía cinética ya esté transformada.

El rendimiento de la turbina aumenta a medida que aumenta la caída de presión entre la toma y la salida, es decir, cuando se retienen más gases en entrada de la turbina como resultado de un régimen más alto del motor, o en el caso de un aumento de temperatura de los gases de escape, debido a una mayor energía de estos.

El funcionamiento característico de la turbina viene determinado por la sección transversal de flujo específica, la sección transversal de la garganta, en la zona de transición del canal de entrada a la cámara espiral. Al reducir la sección transversal de la garganta, se contienen más gases de escape en entrada de la turbina y aumenta el rendimiento de ésta como resultado del incremento en la

relación de presiones. Por lo tanto, si se reduce la sección transversal de flujo, aumentan las presiones de sobrealimentación. La zona de sección transversal de flujo de la turbina se puede modificar cambiando la carcasa de la turbina.

Además de la zona de la sección transversal de flujo de la carcasa de la turbina, la zona de salida en la toma de la rueda también afecta a la capacidad de flujo de masa de la turbina. El mecanizado del contorno de fundición de la rueda de una turbina permite ajustar la zona de sección transversal y, por ende, la presión de sobrealimentación. Una ampliación del contorno incrementa la zona de sección transversal de flujo de la turbina.

Las turbinas de geometría variable cambian la sección transversal de flujo entre el canal de la voluta y la toma de la rueda. La zona de salida a la rueda de la turbina cambia por acción de unos porta-álabes variables o un anillo deslizante que recubre la parte de la sección transversal. En la práctica, las características de funcionamiento de las turbinas con turbocompresor de gases de escape se describen mediante planos en los que se muestran los parámetros de flujo trazados como función de la relación de presiones en la turbina. El plano de la turbina refleja las curvas de flujo de masa y el rendimiento de la turbina a distintas velocidades. Para simplificar el plano, las curvas de flujo de masa, así como el rendimiento, pueden representarse mediante una curva promedio.

Para un rendimiento general elevado del turbocompresor, la coordinación de los diámetros del turbocompresor y de la rueda de la turbina es de vital importancia. La posición del punto de funcionamiento en el plano del compresor determina la velocidad del turbocompresor. El diámetro de la rueda de la turbina debe ser tal que permita maximizar el rendimiento de la turbina en este rango de funcionamiento. La turbina apenas se somete a una presión de escape constante.

En motores diésel comerciales turboalimentados por impulsos, las turbinas de doble entrada permiten optimizar los impulsos producidos por los gases de escape, ya que se alcanza una relación de presiones en la turbina más alta en menos tiempo. Así, al incrementar la relación de presiones, aumenta el rendimiento, mejorando el crítico intervalo de tiempo cuando un flujo de masa elevado y más eficiente circula a través de la turbina. Como resultado de este mejor aprovechamiento de la energía producida por los gases de escape, mejoran las características de presión de sobrealimentación del motor y, por ende, también el funcionamiento del par motor, especialmente a bajas velocidades del motor.

Para evitar que los distintos cilindros interfieran entre sí durante los ciclos de intercambio de carga, se conectan tres cilindros a un colector de gases de escape. Las turbinas de doble entrada permiten entonces que se insufla el caudal de gases de escape por separado a través de la turbina.

#### **4.3.2. Compresor**

Los compresores de los turbocompresores suelen ser de tipo centrífugo, formados por tres componentes básicos: rueda del compresor, difusor y caja. Sirviéndose de la velocidad de rotación de la rueda, se introduce el aire axialmente, se acelera a gran velocidad y posteriormente se expulsa en dirección radial. El difusor frena el aire que fluye a gran velocidad, sin apenas pérdidas, para aumentar tanto la presión como la temperatura.

Características de funcionamiento: El comportamiento operativo del compresor se define normalmente mediante planos que reflejan la relación existente entre la relación de presiones y el volumen o el caudal másico. La sección del plano relativa a los compresores centrífugos está delimitada por las líneas de sobrecarga y cierre y la velocidad máxima permitida del compresor.

#### 4.4. LÍNEA DE SOBRECARGA

El ancho del mapa está delimitado a la izquierda por la línea de sobrecarga. Esto es básicamente la “pérdida” del flujo de aire en la entrada del compresor. Con un caudal demasiado pequeño y una relación de presiones demasiado alta, el flujo no puede seguir adheriéndose a la cara de aspiración de las aspas, lo que provoca la interrupción del proceso de impulsión.

La circulación de aire a través del compresor se invierte hasta que se alcance una relación de presiones estable con un caudal volumétrico positivo, se vuelve a generar presión y se repite el ciclo. Esta inestabilidad del flujo continúa con una frecuencia constante y el ruido resultante se conoce como "sobrecarga".

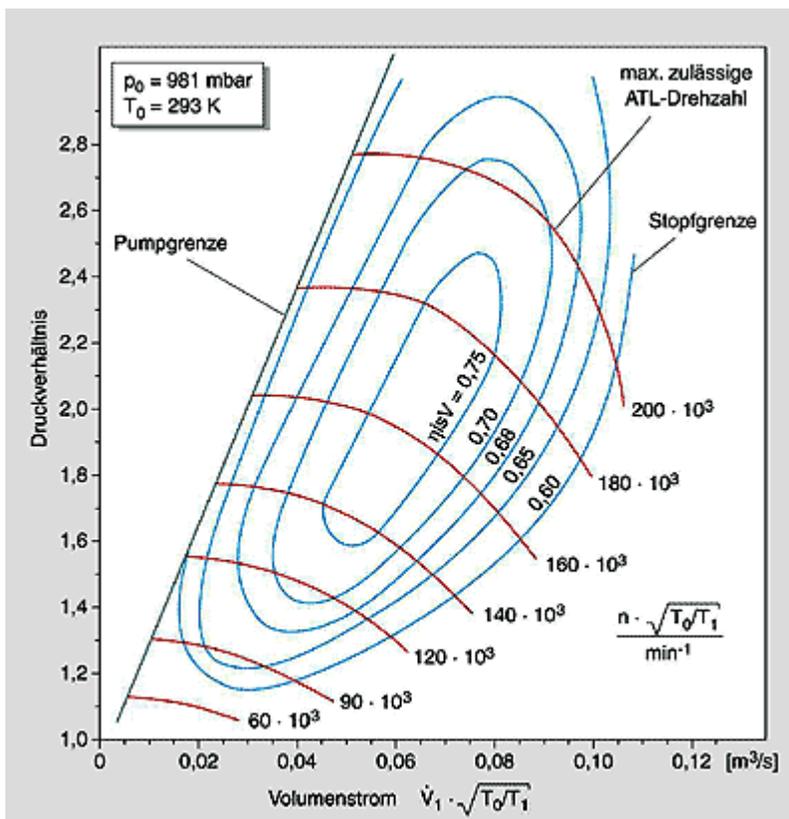


Figura 2. Línea de sobrecarga

#### **4.4.1. Línea de estrangulación**

El caudal volumétrico máximo del compresor centrífugo normalmente está limitado por la sección transversal en la toma del compresor. Cuando el flujo en la entrada de la rueda alcanza la velocidad sónica, ya no puede aumentar más el caudal.

#### **4.4.2. Drenaje de lubricante**

El aceite lubricante fluye al interior del turbocompresor a una presión aproximada de 4 bar. Al efectuarse el drenaje del lubricante a baja presión, el diámetro del conducto de drenaje de lubricante debe ser mucho mayor que el del conducto de entrada de lubricante. Siempre que sea posible, el flujo de lubricante que pasa a través del rodamiento debe ser en dirección vertical descendente.

El conducto de drenaje de lubricante debe retornar al cárter por encima del nivel de lubricante del motor. Toda obstrucción que se produzca en el conducto de drenaje de lubricante produce una contrapresión en el sistema de rodamientos. El lubricante pasa entonces por las juntas de estanqueidad hacia el interior del compresor y la turbina.

### **4.5. RODAMIENTOS**

El eje del turbocompresor y el conjunto de la rueda de la turbina giran a velocidades de hasta 300000 rpm. La vida del turbocompresor debe corresponderse con la del motor, que podría ser de 1000000 km para un vehículo comercial. Sólo los rodamientos de manguito especialmente diseñados para turbocompresor pueden satisfacer estos exigentes requisitos a un coste razonable.

#### **4.5.1. Sistema de rodamientos radial**

Con un rodamiento de manguito, el eje gira sin fricción sobre una película de aceite contenida en el cilindro de rodamiento. El suministro de lubricante del turbocompresor procede del circuito de aceite del motor. El sistema de rodamientos está diseñado de forma que los casquillos flotantes de latón, que giran a la mitad de la velocidad del eje aproximadamente, queden situados entre la carcasa central fija y el eje giratorio. De este modo dichos rodamientos de alta velocidad pueden adaptarse de forma que no se produzca contacto metálico alguno entre el eje y los rodamientos en ninguno de los puntos de funcionamiento.

Además de su función lubricante, la película de aceite en las separaciones de los rodamientos también sirve de amortiguación, contribuyendo así a estabilizar el conjunto de la rueda de la turbina y el eje. Estas separaciones optimiza la capacidad de soporte de carga hidrodinámica y las características de amortiguación de los rodamientos.

La selección del espesor del aceite lubricante para las separaciones interiores viene determinado por la resistencia del rodamiento, mientras que las separaciones exteriores se diseñan en función de la amortiguación de los rodamientos. Las separaciones de los rodamientos son de tan solo unas centésimas de milímetro. El sistema de rodamiento de una sola pieza es una forma especial de sistema de rodamientos de manguito. El eje gira dentro de un casquillo fijo, que se limpia de aceite desde fuera.

#### **4.5.2. Sistema de rodamientos de empuje axial**

Como las fuerzas gaseosas que actúan en dirección axial sobre el compresor y las ruedas de la turbina tienen cargas distintas, el conjunto del eje y la rueda de la turbina se desplaza en dirección axial. El rodamiento axial, rodamiento de

superficie deslizante con recubrimientos cónicos, absorbe dichas fuerzas. Dos pequeños discos que se fijan al eje actúan como superficie de contacto.

#### **4.6. COJINETES**

El sistema de cojinetes del turbo puede parecer un diseño sencillo, con uno o dos cojinetes de bronce y en ocasiones un cojinete de empuje axial separado, pero desempeña un papel fundamental al garantizar que las turbinas puedan girar sin entrar en contacto con el alojamiento. Tras este diseño en apariencia simple se oculta la realidad de que el diseño, los materiales y los procesos de fabricación usados para crear el sistema de cojinete se ha refinado constantemente para seguir el ritmo de los nuevos niveles de prestaciones del turbo exigidos por el avanzado diseño de los motores. Estas son las principales funciones que realizan los cojinetes:

- Ofrecer soporte y amortiguación para controlar el movimiento radial y axial de los ejes y turbinas
- Aislar la vibración de las piezas giratorias
- Permitir a las turbinas girar a velocidades 60 veces mayores que la velocidad máxima del motor.
- Funcionar eficazmente con los últimos aceites para reducir la fricción y las pérdidas de potencia en los motores modernos
- Funcionar eficazmente con las mayores temperaturas del aceite-motor actuales.

Los sistemas de cojinetes deben equilibrar unas bajas pérdidas de potencia con la capacidad de controlar las enormes fuerzas aplicadas por las cargas mecánicas que varían constantemente. Los modernos sistemas de cojinetes para turbos se dividen en dos tipos:

- Sistemas de cojinetes hidrodinámicos: usados en la amplia mayoría de los turbos actuales y antiguos

- Sistemas de cojinetes de rodamientos de bolas: usados anteriormente solo para aplicaciones de competición y deportivas, pero introducidos recientemente por Honeywell en la producción de turbos VNT para vehículos de pasajeros.

En un sistema de cojinetes hidrodinámico para turbocompresor, el fluido (aceite motor) no solo lubrica las piezas evitando el contacto, sino también controla el movimiento del eje y las turbinas en todas las condiciones de funcionamiento. El sistema de cojinetes hidrodinámicos pueden utilizar dos cojinetes lisos “completamente flotante” que giran aproximadamente a la mitad de la velocidad del eje. Hay dos láminas de aceite hidrodinámicas: una externa, entre el centro del alojamiento y el cojinete, y una lámina interna entre el cojinete y el eje.

Un cojinete de empuje controla el movimiento axial del conjunto rotor, que puede ser una pieza separada o integrada en el cojinete liso, como el caso del “cojinete Z” de una pieza. En todos estos diseños se generan altas presiones en la zona de la pastilla de fricción para controlar el movimiento axial. El cojinete Z también incluye prestaciones diseñadas para optimizar el rendimiento con los modernos aceites de baja viscosidad.

Los cojinetes de bolas combinan las funciones de los cojinetes lisos y de empujes en un mismo paquete. Las holguras reducidas permiten mejorar el rendimiento de la turbina y el compresor, mientras que las menores pérdidas de potencia del cojinete mejoran el rendimiento general.

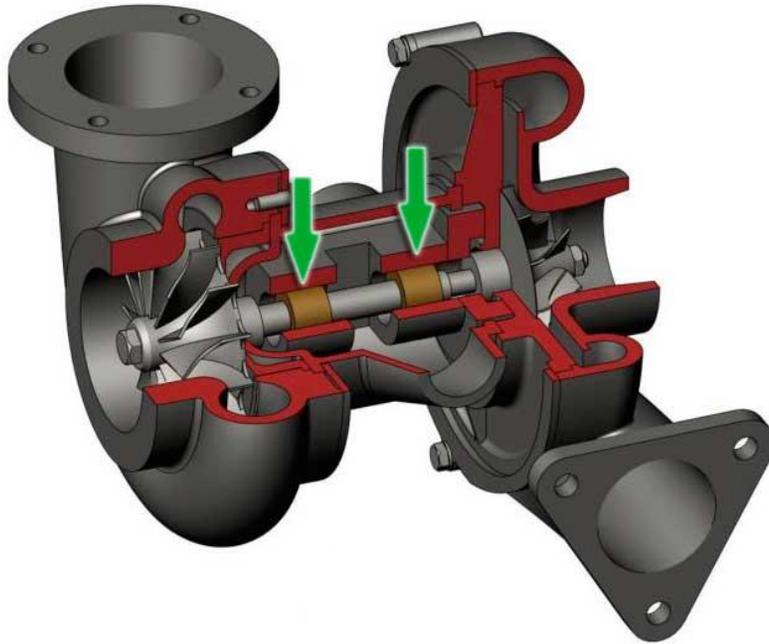


Figura 3. Sistema de cojinetes

#### 4.7. SISTEMA DE REGULACIÓN DE PRESIÓN

La manejabilidad de los motores turbo para turismos debe cumplir los mismos requisitos rigurosos que los motores atmosféricos de idéntica potencia. Esto significa que debe existir presión de sobrealimentación plena a bajas velocidades del motor. Esto sólo se puede lograr con un sistema regulador de la presión de sobrealimentación en la turbina.

El derivador en la turbina es la forma más sencilla de regular la presión de sobrealimentación. El tamaño de la turbina se elige de forma que se cumplan los requisitos de características de par motor a bajas velocidades del motor y se logre una óptima manejabilidad del vehículo. Con este diseño, se insufla a la turbina más gases de escape de los necesarios para producir la presión de sobrealimentación requerida poco antes de que se alcance el par motor máximo.

Por tanto, cuando se alcanza una presión de sobrealimentación determinada, parte del flujo de los gases de escape se insufla alrededor de la turbina a través de un derivador. La válvula de descarga que abre o cierra el derivador se acciona normalmente mediante un diafragma de resorte que responde a la presión de sobrealimentación.

En la actualidad, cada vez se utilizan más los sistemas electrónicos de regulación de la presión de sobrealimentación en los motores de gasolina y diésel modernos de vehículos de turismo. Frente al control puramente neumático, que sólo puede funcionar como limitador de presión a plena carga, un control de presión de sobrealimentación flexible permite un ajuste óptimo de la presión de sobrealimentación a carga reducida. Esto funciona con arreglo a varios parámetros como temperatura del aire de alimentación, grado de avance de tiempo y calidad del combustible. Esta operación de la aleta corresponde a la del accionador anteriormente descrito.

Esta presión de control es inferior a la presión de sobrealimentación y es generada por una válvula proporcional. Esto asegura que el diafragma se somete a la presión de sobrealimentación y a la presión en la toma del compresor a distintas proporciones. La válvula proporcional está regulada por la electrónica del motor.

#### **4.7.1. Regulación del caudal en turbo de geometría de turbina variable (VTG)**

Los porta álabes variables situados entre la cámara espiral y la rueda de la turbina influyen en la generación de presión y, por tanto, en la potencia de la turbina. A bajas velocidades del motor, la sección transversal del caudal se reduce cerrando los porta-álabes. La presión de sobrealimentación y, por ende, el par del motor aumenta a causa de una caída pronunciada de la presión entre la toma y la salida de la turbina. A velocidades altas del motor, los porta-álabes se abren gradualmente.

La presión de sobrealimentación necesaria se alcanza con una baja relación de presiones en la turbina al tiempo que se reduce el consumo de combustible. Durante la aceleración del vehículo desde bajas velocidades, los porta-álabes de cierran para aprovechar el máximo de energía de los gases de escape. Al aumentar la velocidad, los porta-álabes de abren y adaptan al punto de funcionamiento correspondiente. En la actualidad, la temperatura de los gases de escape en motores diésel de gran potencia llega hasta los 830 °C. El movimiento preciso y fiable de los porta-álabes en el caudal de gases de escape calientes exige mucho de los materiales y requiere una definición precisa de las tolerancias dentro de la turbina. Sea cual sea el tamaño del bastidor del turbocompresor, el porta-álabes necesita un mínimo de espacio libre para funcionar correctamente durante toda la vida útil del vehículo.

#### **4.7.2. Válvula de alivio**

Las válvulas de alivio de presión, también llamadas válvulas de seguridad, están diseñadas para liberar un fluido cuando la presión interna de un sistema que lo contiene supere el límite establecido (presión de tarado). Su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión. Existen también las válvulas de alivio que liberan el fluido cuando la temperatura supera un límite establecido. Estas válvulas son llamadas válvulas de alivio de presión y temperatura.

Este tipo de válvula se encargan de descargar el aire que origina un exceso de presión en un motor con turbo, se pueden diferenciar dos tipos:

- Válvula de descarga blow off: también conocidas como atmosféricas. Estas válvulas descargan el aire sobrante al exterior del motor, de ahí el nombre de atmosféricas.

- Válvula recirculadora o Bypass: Estas válvulas vuelven a meter el aire sobrante en admisión, pero haciéndolo después del caudalímetro para evitar errores de medición de aire absorbido por el motor.

La función de estas válvulas es evitar problemas o futuras averías al turbocompresor. Esto es provocado en los momentos en los que la mariposa de admisión está cerrada pero el turbo sigue girando por su propia inercia y sigue emitiendo presión. Esto ocurre a menudo en los cambios de marcha. En el momento que se cambia de marcha, se suelta el acelerador al pisar el embrague, en ese momento la mariposa se cierra bloqueando el paso al aire dentro del cuerpo de admisión, donde se provoca una depresión o presión negativa. En ese momento, el turbo sigue girando por su propia inercia, y emitiendo flujo de aire, pero al no tener por donde salir, este aire se bloquea en el tramo entre el turbocompresor y la mariposa creando una sobrepresión en este conducto.

Esta sobrepresión también es ejercida sobre la turbina, lo que provoca una fuerza inversa al movimiento del turbo pudiendo dañarlo. Para solventar este problema se instalan las válvulas de descarga, el cual es un simple mecanismo que libera la presión extra en esos momentos antes descritos. La válvula se coloca entre el turbocompresor y la mariposa, con una toma de vacío al cuerpo de admisión, para poder detectar la diferencia de presión entre el cuerpo de admisión y el conducto donde está alojada.

Mientras la mariposa este abierta, habrá igualdad de condiciones en ambos lugares, (cuerpo y conducto de admisión) ya que el aire circula libremente. Esa condición puede ser presión en el caso que el turbo este presurizando el motor o depresión. En el momento que la mariposa se cierra, en el cuerpo de admisión se crea una depresión, mientras que el conducto de admisión puede generarse presión. La válvula al tener una toma de vacío en el cuerpo de admisión, y por otro lado recibir presión por otra, genera una diferencia que mueve un pistón o válvula

interna abriéndola para que escape ese aire presurizado, ya sea al exterior u otra vez al circuito.

#### **4.7.3. Válvula Wastegate**

La válvula Wastegate es la encargada de regular la presión que genera la turbina, es decir la presión de turbo que marca el reloj.

Por el momento en el mercado hay dos tipos de válvulas Wastegate que son las más conocidas:

- Son las que utilizan las turbinas valvulares: son aquellas turbinas que ya traen incorporadas dicho dispositivo
- Wastegate externas: Son aquellas que el cuerpo o núcleo principal esta separadas de la turbina, y que por medio de un adaptador se conectan al múltiple de escape. Su método de funcionamiento o accionamiento es muy simple y sencillo: trabaja 100% con principios de fuerza de presión, está directamente ligada al sistema de escape antes de la turbina y después de la misma. Esta misma fuerza después de la turbina genera una presión sobre un diafragma que lo hace levantarse y a la vez abre una válvula similar a la de un auto situada en el interior de la Wastegate. Al mismo tiempo tenemos en funcionamiento la entrada de gases de escape antes de la turbina, la cual da directamente sobre la base de la Wastegate sellando contra el asiento de la válvula. Por una fuerza ejercida de gases de escape y de presión de turbo, el resorte dentro la Wastegate es accionado en conjunto con el diafragma y permite liberar la sobre presión de turbo. Esto es medido por un regulador que la misma posee en su parte superior. Cuanto más apretado este ese regulador más duro va a estar el resorte y le dará mayor dificultad vencerlo, por consecuencia la presión de turbo va a ser mayor cuanto más presión le demos al mismo.

#### **4.8. VENTAJAS DEL TURBO COMPRESOR**

Hay absolutamente un número de ventajas que se ganarán con un turboalimentador. Cuando el motor no está sobrealimentado recibe el aire con el esfuerzo del cigüeñal y de la presión atmosférica solamente. Un turbocargador proporciona el aire presurizado que permite más aire, y por lo tanto más combustible, para ser introducido en el cilindro. El resultado final es más energía y eficacia más alta de la combustión. Esto significa que más energía se puede tener del mismo tamaño y motor del peso o la misma energía se puede tener de un motor más pequeño de la dislocación. Las ventajas adicionales pueden incluir reducciones crecientes de la economía y de la emisión de combustible.

El turbocargador entrega más aire al motor, la combustión del combustible será más completa, más limpia, y ocurre dentro de los cilindros del motor donde se logra su trabajo. La presión de aire positiva (sobre la presión atmosférica) que se mantiene en el múltiple beneficia el motor de varias maneras. Durante traslapo de la válvula del motor, el aire limpio se empuja a través del barrido de la cámara de combustión todos los gases restantes mientras que también refresca culata, los pistones, y las válvulas.

Los turbocargadores se pueden utilizar también en la altitud compensando las pérdidas de presión. Un motor y un turboalimentador se emparejan y/o se controlan para mantener la presión múltiple atmosférica del nivel del mar en la altitud, mientras que un motor aspirado natural perderá caballos de fuerza con aumento de la altitud.

#### **4.9. REFRIGERACIÓN DEL TURBO COMPRESOR**

Normalmente el turbocompresor suele estar refrigerado con aceite que circula mientras el motor está en marcha. Si se apaga bruscamente el motor después de

un uso intensivo, y el turbocompresor está muy caliente, el aceite que refrigera los cojinetes del turbocompresor se queda estancado y su temperatura aumenta, con lo que se puede empezar a carbonizar, disminuyendo su capacidad lubricante y acortando la vida del turbocompresor.

Las temperaturas de funcionamiento en un turbo son muy diferentes, teniendo en cuenta que la parte de los componentes que están en contacto con los gases de escape pueden alcanzar temperaturas muy altas (650 °C), mientras que los que está en contacto con el aire de aspiración solo alcanzan 80 °C. Estas diferencias de temperatura concentrada en una misma pieza (eje común) determinan valores de dilatación diferentes, lo que comporta las dificultades a la hora del diseño de un turbo y la elección de los materiales que soporten estas condiciones de trabajo adversas.

El turbo se refrigera en parte por el aceite de engrase además del aire de aspiración, cediendo una determinada parte de su calor al aire que fuerza a pasar por el rodete del compresor. Este calentamiento del aire no resulta nada favorable para el motor, ya que no solo dilata el aire de admisión de forma que le resta densidad y riqueza en oxígeno, sino que, además, un aire demasiado caliente en el interior del cilindro dificulta la refrigeración de la cámara de combustión durante el barrido al entrar el aire a una temperatura superior a la del propio refrigerante líquido.

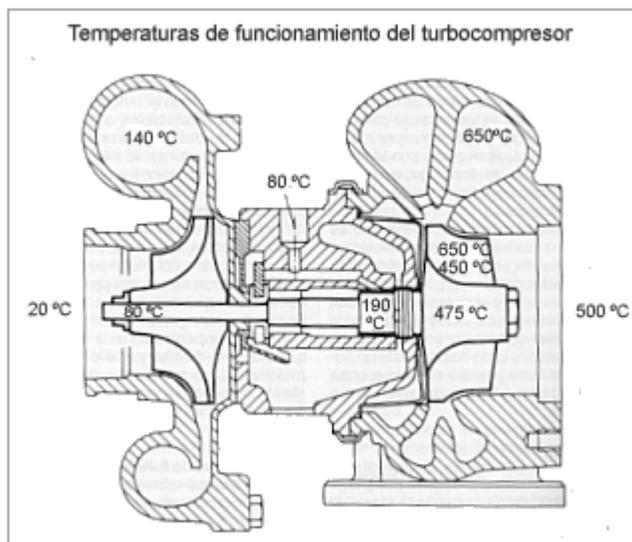


Figura 4. Temperatura de funcionamiento del turbo compresor

Los motores de gasolina, en los cuales las temperaturas de los gases de escape son entre 200 y 300°C más altas que en los motores diésel, suelen ir equipados con carcasas centrales refrigeradas por agua. Cuando el motor está en funcionamiento, la carcasa central se integra en el circuito de refrigeración del motor. Tras pararse el motor, el calor que queda se expulsa utilizando un pequeño circuito de refrigeración que funciona mediante una bomba eléctrica de agua controlada por un termostato.

En un principio cuando se empezó la aplicación de los turbocompresores a los motores de gasolina, no se tuvo en cuenta la consecuencia de las altas temperaturas que se podían alcanzar en el colector de escape y por lo tanto en el turbo que está pegado a él como bien se sabe. La consecuencia de esta imprevisión fue una cantidad considerable de turbos carbonizados, cojinetes defectuosos y pistones destruidos por culpa de la combustión detonante. Hoy en día los cárteres de los cojinetes de los turbocompresores utilizados para sobrealimentar motores con ciclo Otto se refrigeran exclusivamente con agua y se han desarrollado y se aplican materiales más resistentes al calor. Los fondos de

los pistones de los motores turbo casi siempre se refrigeran por medio de inyección de aceite. Con estas medidas se han solucionado la mayor parte de los problemas que tienen los motores de gasolina sobrealimentados por turbocompresor, eso sí, siempre teniendo presente que si por algún motivo la temperatura de escape sobrepasa durante un tiempo prolongado el límite máximo de los 1000°C el turbo podrá sufrir daños.

El Turbo Timer es un sistema que mantiene circulando el aceite en el turbocompresor durante un lapso de tiempo después del apagado del motor. Algunos modelos funcionan con sensores que detectan la intensidad en el uso del turbocompresor para permitir la lubricación forzada del mismo por un tiempo prudencial después del apagado del motor.

#### **4.10. MANTENIMIENTO DEL TURBO COMPRESOR**

El turbocompresor está diseñado para durar lo mismo que el motor. No precisa de mantenimiento especial; limitándose sus inspecciones a unas comprobaciones periódicas. Para garantizar que la vida útil del turbocompresor se corresponda con la del motor, deben cumplirse de forma estricta las siguientes instrucciones de mantenimiento del motor que proporciona el fabricante:

- Intervalos de cambio de aceite
- Mantenimiento del sistema de filtro de aceite
- Control de la presión de aceite
- Mantenimiento del sistema de filtro de aire

El 90% de todos los fallos que se producen en turbocompresores se debe a las siguientes causas:

- Penetración de cuerpos extraños en la turbina o en el compresor
- Suciedad en el aceite
- Suministro de aceite poco adecuado (presión de aceite/sistema de filtro)

- Altas temperaturas de gases de escape (deficiencias en el sistema de encendido/sistema de alimentación).

Estos fallos se pueden evitar con un mantenimiento frecuente. Cuando, por ejemplo, se efectúe el mantenimiento del sistema de filtro de aire se debe tener cuidado de que no se introduzcan fragmentos de material en el turbocompresor.

#### **4.11. SENSOR DE EFECTO HALL**

El efecto Hall consiste en la aparición de un campo eléctrico en un conductor cuando es atravesado por un campo magnético. A este campo eléctrico se le llama campo Hall. Este efecto fue descubierto en 1879 por el físico estadounidense Edwin Herbert Hall.

Los sensores basados en efecto Hall constan de un elemento conductor o semiconductor y un imán. Cuando un objeto ferromagnético se aproxima al sensor, el campo que provoca el imán en el elemento se debilita. Así se puede determinar la proximidad de un objeto, siempre que sea ferromagnético.

##### Aplicaciones de sensores de efecto Hall

Una de las aplicaciones de los sensores por efecto Hall que más se ha instalado en la industria, en especial en la automotriz, es como reemplazo del sensor inductivo (basado en un imán permanente y una bobina). Dado que en este caso el sensor, por estar implementado por un semiconductor, tiene la capacidad de poseer electrónica integrada, la señal que sale de los sensores por efecto Hall para uso como detectores de proximidad por lo general ya está amplificada y condicionada, de modo que su utilización es mucho más directa, fácil y económica.

Se utilizan también chips por efecto Hall como interruptores accionados por el campo magnético de un imán. Un caso concreto es en los sensores de los sistemas de alarma (aquellos que se colocan en puertas y ventanas, para detectar su apertura). Estos interruptores tienen la ventaja de no sufrir fricción al ser accionados, ya que el único elemento que toma contacto es el campo magnético. Son utilizados en teclados de alta eficiencia, y estos mismos interruptores se pueden usar como sensores de choque (contacto físico), posición de un mecanismo, cuentavueltas, límite de carrera y otras detecciones mecánicas dentro y en el exterior de un robot.

En robótica las aplicaciones también son vastas por ejemplo para contar las vueltas de una llanta se pone el imán en la llanta y el sensor en la carcasa y cada vez que pase el imán contara una vuelta esta señal de conteo podemos introducirla a un micro controlador y este comparar el conteo de las dos llantas y hacer un refresco para verificar que las vueltas que ha dado una llanta y otra sean iguales, así podemos asegurar que un robot vaya derecho y no verse afectado por alguna piedra que haya atorado una llanta y desviado a nuestro robot móvil.



Figura 5. Sensor de efecto hall

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En la misma Institución Universitaria se evidenció un problema de funcionamiento del módulo de pruebas principalmente, que por medio de una persona que labora en el Pascual Bravo se recopiló la información necesaria para dar un mejoramiento del mencionado banco de pruebas y que estuvo orientando la construcción del mismo.

A través de muchas páginas web se recopiló también información muy valiosa sobre turbo compresores, que colaboró enormemente a la elaboración de este proyecto.

### **5.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Con el módulo de pruebas anterior se hicieron las pruebas necesarias para analizar cada una de las fases de funcionamiento, tomando datos y confrontándolos con la información del banco actual, apuntando a la entrega de mejores resultados.

### **5.3. IMPLEMENTACIÓN**

La implementación del variador de velocidad, se realizó con la información tomada anteriormente, comenzando con la construcción y pruebas del circuito electrónico, ítem principal del mejoramiento de este proyecto, optimizando también la instalación de la red eléctrica y añadiendo una mesa nueva más compacta.

#### **5.4. PRUEBA Y EVALUACIÓN**

Las principales pruebas y evaluaciones a las que se sometió este banco de prueba fueron realizadas por el creador de este proyecto, el cual se encargó de que todo el sistema funcionara correctamente.

## 6. RESULTADOS DEL PROYECTO

El banco de pruebas de turbo alimentador es un material didáctico que es muy útil para los estudiantes de la institución. En base a éste, se observó que el blower utilizado no tenía el suficiente caudal másico para producir una velocidad más real de funcionamiento del turbo. La medición de las revoluciones de la turbina estaba muy limitada, pues el mecanismo para hacer esta tarea tenía restricciones en cuanto al número de dígitos que podía indicar. Uno de los asuntos más importantes dentro del proyecto es que debido a la mala utilización de los turbo alimentadores, presentaban fallas en los retenes y cojinetes, razón por la cual el aceite se filtraba por la turbina y la rueda compresora, es decir que se necesitaban una reparación urgente.

Además, el circuito de lubricación está construido de forma muy compleja y con conductos de color oscuro, por lo que no se permitía la correcta circulación del aceite ni la visión del movimiento del mismo. Dentro del mismo inconveniente, se encontró que el aceite usado anteriormente era de tipo hidráulico, el cual posee características no muy recomendables para su utilización en la industria de los motores, debido a esto la bomba de aceite usada dentro del banco estaba sufriendo un exceso de trabajo y por consiguiente un aumento de presión en la lubricación.

Los recorridos del aire que se comprendían entre la sopladora (blower) y la turbina, tenían mucho trayecto, que por aplicación de conocimientos, se determinó que el aire perdía presión en el recorrido y restaba velocidad al turbo. La gran dimensión de la mesa destinada para la ubicación del banco de pruebas hizo que el proyecto estuviera sin utilización por un considerable lapso de tiempo, pues era muy complicada su movilización debido a su alto peso y la poca versatilidad de acople a los espacios. Otro ítem observado como dificultad fue el número

importante de conexiones necesarias a la red eléctrica, por lo que se imposibilitaba conectar todos los componentes a la vez.

Los componentes utilizados en la realización del proyecto “FASE 3 VARIADOR DE VELOCIDAD”, tanto los nuevos como los ya implementados en la fase anterior son:

- 2 turbo compresores
- 2 sopladores (blower)
- Cámara de humo
- Motor eléctrico
- Bomba hidráulica
- Correa de motor
- Depósito de aceite
- Anemómetro digital (dispositivo externo)
- Conductos de lubricación
- Circuito electrónico de medición de velocidad
- Caja de mandos eléctricos
- Motor-tool eléctrico

## **6.1. PROCEDIMIENTO**

De acuerdo a la planeación hecha para llevar a cabo la construcción del proyecto, era necesario para su ejecución reparar los turbo alimentadores, pues sufrían de una filtración de aceite hacia el exterior por los laterales, es decir, por las turbinas. Dada esta grave situación fue prioridad atenderlo de primera mano, con un centro de reparación especializado, donde se hizo el cambio de retenes, cojinetes y se hizo un balanceo para reducir al máximo el juego radial y axial.



Imagen 1. Instalación de turbo compresores

En el caso de la lubricación se encontró que cada uno de los turbos tenía un circuito de lubricación, por lo que había conductos hacia un lado y hacia el otro y se tornaba difícil de entender, además que se ocupaba mucho espacio, razón por la que se optó por unificar los circuitos y cambiar el aceite, pues las características que lo componen no son las idóneas para la industria automotriz, ya que un aceite hidráulico es muy “grueso” por lo que forzaba el trabajo de la bomba y el de los turbo compresores. Estos turbos son de vehículos comerciales, es decir diésel, por lo que usó un aceite para este tipo de motores, facilitando el funcionamiento en frío, sin esfuerzo y contribuyendo a la extensión de la vida útil de los componentes. Con el fin de hacer el modulo aún más didáctico, los conductos que se acoplaron son transparentes, cumpliendo con las normas de presión, y con un aceite de color rojo que hace al usuario visualizar todo el recorrido del aceite desde y hasta el depósito de lubricación.



Imagen 2. Circuito de lubricación

El acople directo del blower a la turbina fue un factor determinante en el aumento de la velocidad de la misma, aunque aun así se necesitaba mayor caudal de aire para que funcionara a una velocidad más real, comparándola con el funcionamiento en el motor para el que fue diseñado, entonces se implementó la idea de cambiar uno de los motores eléctricos de una de las sopladoras para hacer un acondicionamiento del eje, con el fin de que gire con la ayuda de un motor-tool aumentando su velocidad y por consiguiente su caudal másico de aire.



Imagen 3. Imagen 4. Mecanizado del eje para la sopladora

Hay 2 ítems importantes en los que se basó el proyecto: El variador de velocidad y el diseño compacto del módulo. Al aumentar las revoluciones del turbo, nos encontramos con que la medición de la velocidad tendría una limitación, pues el dispositivo que cumplía esta tarea anteriormente, solo tenía en su visor un espacio de cuatro (4) dígitos, es decir que podía contar revoluciones hasta 9999 rpm, sin estimar que el sensor implementado allí, hacía un trabajo “lento”, pues luego de caer la velocidad de la turbina, en la pantalla apenas indicaría la velocidad alta que acababa de suceder. Con estos criterios y con la valiosa ayuda de personas experimentadas en la electrónica y manejo de sensores, se creó un circuito electrónico que solventara las falencias antes mencionadas, con una mejor respuesta a los cambios de velocidad, y una mayor capacidad de muestra de dígitos en tiempo real. Esto se logró también usando imanes, un dispositivo acoplado a la turbina y un exhaustivo proceso de pruebas, pues el circuito debía ser único para este caso, pues algunos ya diseñados no funcionaron en el proyecto.



Imagen 5. Imagen 6. Circuito electrónico para la medición de la velocidad

Para los cambios de velocidades, el motor-tool posee un potenciómetro, con el que se controla su velocidad y por consiguiente disminuye o aumenta la velocidad del aire impulsado, donde el resultado total es que la turbina tendrá las velocidades que el usuario desee y podrá visualizarlas en la pantalla LCD ubicada en la caja de control.

En el segundo ítem indicado lograrlo no fue más que un reto de diseño y acomodación lógica de espacios, donde el resultado final fue un módulo más completo, dinámico, funcional y útil, contribuyendo a la salud de los usuarios, desde su seguridad hasta su higiene, es decir: creando un módulo más pequeño, con menor cantidad de componentes, se reduce el peso, por consiguiente se disminuye el esfuerzo que deben realizar los usuarios para movilizar el proyecto al lugar que deseen, y con materiales que sean de gran facilidad para su limpieza y la reducción de acumulación de polvo. El diseño minimalista de la mesa hace que el proyecto pueda ser transportado y almacenado en cualquier lugar, pues la

ocupación de espacio es mínimo (unos 120 cm<sup>2</sup> y aproximadamente 100 cm de altura).

Dentro de las tareas eléctricas, se identificaron dos (2) problemas principales: una falla en la cámara de humo y un sinnúmero de cables y enchufes eléctricos que dificultaba la conexión de varios de los elementos a la vez. La cámara de humo presentaba problemas con la bomba del líquido que utiliza para generar el humo y fue reparada por alguien especializado en ello, además el mismo líquido era inexistente por lo que hubo la necesidad de adquirir uno nuevo. El procedimiento para reducir el número de cables con el fin de tener una sola conexión a la red eléctrica, fue incorporar un circuito eléctrico dentro del módulo y controlar cada uno de los artefactos desde una estación de control única, ubicando switches y pantalla, para facilitar el manejo del proyecto, además de evitar la manipulación por varias personas, pues estos son factores que arrojan malas consecuencias en cuanto a operatividad y correcto funcionamiento del banco de pruebas se trata. Teniendo en cuenta que el circuito electrónico que controla el sensor de efecto hall funciona en condiciones diferentes de voltaje y corriente, se introdujo dentro de la caja de mando una fuente eléctrica con salida de corriente directa.



Imagen 7. Turbo compresores y caja de control



Imagen 8. Módulo de pruebas de turbo compresor

Entre los ajustes con el fin de dar un mejor acabado al proyecto se introdujeron empaques, grapas, pinturas y demás insumos imperceptibles, pero que dan una mejor percepción del proyecto a los usuarios del mismo.

## 6.2. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN

- Encender la caja de mando por medio del switch principal.
- Oprimir el switch de encendido de la pantalla LED donde se observa los distintos rangos de revoluciones. Esta funcionará correctamente al oprimir el switch, si por algún motivo no enciende se deben chequear de nuevo las conexiones eléctricas para poder continuar, y así evitar cualquier avería en el módulo.

- Se enciende el motor eléctrico de la bomba de lubricación por medio del switch. Es importante que la lubricación sea encendida antes de poner en funcionamiento los turbo alimentadores, pues de ello depende que su vida útil se prolongue.
- Iniciar el switch del blower o del motor-tool, para que empiecen a girar los turbo alimentadores.
- Cambiar la posición del potenciómetro del motor-tool, permitiendo así variaciones en la velocidad del turbo.
- Encender el anemómetro y observar las variables que este es capaz de calcular.
- Obturar el switch de la máquina de humo para observar la entrada de gases a la caracola de admisión (compresor).

### 6.3. PRESUPUESTO

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
2	Reparación de turbo compresores	\$150.000
3	Manguera 1" (por metros)	\$55.000
1	Manguera 5/8" (por metros)	
2	Manguera 3/8" (por metros)	
5	Accesorios de cobre	
1	Motor-tool	\$70.000
3	Aceite para motor diésel 15W-40 (por cuartos)	\$30.000
1	Eje acero-plata mecanizado	\$20.000
3	Accesorios para eje mecanizado	\$15.000
X	Componentes para circuito electrónico del sensor de velocidades	\$90.000
1	Estación de control (caja de mando del	\$30.000

	banco)	
8	Cable eléctrico para 110 voltios (por metros)	\$20.000
7	Switches eléctricos	\$4.000
1	Reparación de la cámara de humo	\$45.000
1	Líquido para cámara de humo (por litro)	\$12.000
X	Empaques, grapas, tapones, etc.	\$10.000
1	Modulo nuevo (materiales, soldadura, tablones, etc.)	\$70.000
1/8	Pintura	\$24.000
X	Transporte y otros insumos no especificados	\$50.000
	<b>TOTAL</b>	<b>\$695.000*</b>

Tabla 1. Presupuesto

\*Valor aproximado, los precios pueden aumentar en los insumos no especificados y materiales añadidos en último momento.

#### 6.4. CRONOGRAMA

ACTIVIDAD	AGO	SEP	OCT	NOV
Planeación				
Compra de materiales				
Realización				
Pruebas				

Tabla 2. Cronograma

## 7. RECOMENDACIONES

Antes de poner en marcha el banco de pruebas es indispensable tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Revisar los componentes, que no tengan daños (fisuras, cortes, etc.) o estén sueltos.
- Verificar que el nivel de aceite esté mínimo en un nivel medio del recipiente que lo contiene.
- Observar el cableado y verificar que no hayan cables sueltos o rotos.
- Limpiar los turbo alimentadores con un cepillo donde están las turbinas para evitar que algún objeto afecte su funcionamiento.
- Precalentar la máquina de humo 5 o 10 minutos antes de utilizarla.
- El blower existente no debe funcionar por más de 5 minutos continuos, pues se aumentarían las posibilidades de deterioro prematuro.

Mientras el banco de pruebas esté en funcionamiento se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Una sola persona puede operar el banco de pruebas, con el fin de que las indicaciones de operación sean cumplidas de manera correcta y evitar daños en el banco.
- No tocar las turbinas de los turbos porque puede ocasionar lesiones graves, incluso la pérdida de los dedos.
- Si algún componente no funciona o hay alguna anomalía comunicársela al encargado del laboratorio.
- Ser precavidos y tomar distancia cuando estén funcionando los turbos, pues la presión de aire puede afectar la piel de las personas que están muy cerca.

- Tratar de poner en funcionamiento el banco de pruebas de turbo alimentador en un lugar con buena ventilación, o si es posible al aire libre, pues el humo generado por la maquina es muy denso por lo que su disipación en lugares cerrados es lenta, disminuye la visión de las personas y puede generar alguna afección respiratoria.

## CONCLUSIONES

Por medio de este proyecto se logró adjuntar uno de los objetivos de la institución: Poder utilizar los conocimientos ya adquiridos en las aulas de clase. Se adquirieron muchos más, como lo fueron utilizar el torno y la fresadora con materiales plásticos y aceros especiales para realizar piezas específicas, modificar un objeto, conocer nuevos componentes electrónicos, etc. Para concluir este proyecto nos llevó a recordar saberes ya obtenidos y estos ser complementados por un sinnúmero de aprendizajes añadidos con la realización.

Al partir de una referencia que ya se tenía en la fase dos del proyecto, se adquiría un reto aún más grande, ya que hubo que mejorar algo que era funcional y práctico, lo que permitió desarrollar aún más la capacidad investigativa en un tema en el que se ha avanzado mucho en su ciencia y tecnología.

La mejor forma de hacer girar el turbo por medio de aire, por lo que se concluyó que la manera más viable y similar (dentro del funcionamiento normal en un motor), de moverlo fue la modificación de una de las sopladoras que ya tenía el banco de pruebas.

Las variables de temperatura, presión, velocidad del aire y el caudal o flujo volumétrico son de gran importancia tomar sus valores y estudiarlos, ya que con los resultados que se obtengan se pueden reparar fácilmente averías, y ayudar a darle un uso óptimo al turbo alimentador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Excelencias Magazines [en línea]. Medellín. Publicado el 7 de junio de 2010. [Recuperado el 3 de octubre de 2014]. Disponible en <URL: <http://www.revistasexcelencias.com/excelencias-del-motor/volkswagen-amarok-una-nueva-pick/tecnica/turbocompresor-mas-potencia-y-menos-c/>>

Máquinas de barcos [en línea]. Medellín. Publicado el 6 de noviembre de 2008. [Recuperado el 8 de noviembre de 2014]. Disponible en <URL: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2008/11/motores-diesel-turbocompresores-un-poco.html>>

Fierros Clásicos [en línea]. Medellín. Publicado el 11 de febrero de 2008. [Recuperado el 2 de noviembre de 2014]. Disponible en <URL: <http://www.fierrosclasicos.com/quien-invento-el-turbo-compresor/>>

Angel Fire [en línea]. Medellín. Publicado el 23 de septiembre de 2010. [Recuperado el 29 de octubre de 2014]. Disponible en <URL: [http://www.angelfire.com/oz/renault5/historia del cargador de turbo.htm](http://www.angelfire.com/oz/renault5/historia%20del%20cargador%20de%20turbo.htm)>

Monografías [en línea]. Medellín. Publicado el 19 de marzo de 2001. [Recuperado el 8 de noviembre de 2014]. Disponible en <URL: <http://www.monografias.com/trabajos6/turbo/turbo.shtml>>

Aficionados a la mecánica [en línea]. Medellín. Publicado el 18 de enero de 2005. [Recuperado el 12 de octubre de 2014]. Disponible en <URL: <http://www.aficionadosalamecanica.net/turbo2.htm>>

Ecu Red [en línea]. Medellín. Publicado el 25 de mayo de 2006. [Recuperado el 25 de octubre de 2014]. Disponible en <URL:

<http://www.ecured.cu/index.php/Turbocompresor>>

BorgWarner [en línea]. Medellín. Publicado el 14 de febrero de 2009. [Recuperado el 8 de noviembre de 2014]. Disponible en <URL:

<http://www.turbos.bwauto.com/es/products/turbochargerCompressor.aspx>>

## ANEXOS

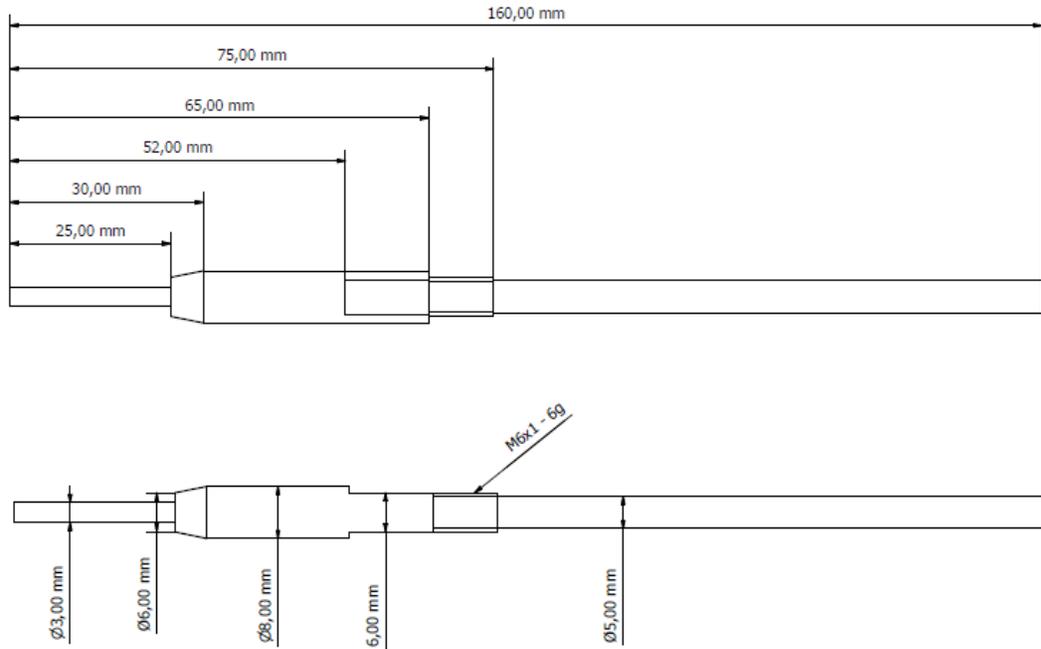


Figura 6. Plano para mecanizado de eje acoplado al motor-tool