

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA

Profesores Patrocinantes:
Dr. Claudio Saavedra O.
Dr. Cristian Cuevas B.



**DISEÑO DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN, SISTEMA DE
INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE Y DE UNA TOBERA PARA UNA
TURBINA DE GAS.**

Jorge Manzanares Escalada

PROYECTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Diciembre – 2014

RESUMEN

Este proyecto se realizó en el Laboratorio de Termofluidos, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil Mecánica y nace para poder otorgar una mejor información a los alumnos sobre la turbina de tipo tubular.

El proyecto tiene por objetivo diseñar varios componentes de una turbina de gas, la cual se constituye esencialmente, de una cámara de combustión y un turbocompresor. El objetivo es hacer girar el compresor mediante los gases de escape de la cámara de combustión de forma continua.

Para ello se explicará detalladamente en qué consisten los diferentes elementos y sus respectivas funciones que harán que dicha turbina funcione adecuadamente.

Para llevar a cabo este proyecto se trabajó bajo la supervisión y asesoramiento de los profesores patrocinantes y se contó además con la ayuda de los maestros del laboratorio quienes fueron fundamentales para realizar el trabajo.

INDICE

1. CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo	
1.1.1 Objetivo general.....	1
1.1.2 Objetivo específico.....	1
1.2 Descripción	1
1.3 Elementos que componen el turbocompresor	4
1.4 Sistema de lubricación	8
1.4.1 Cárter.....	8
1.4.2 Bomba.....	8
1.4.3 Filtro de aceite.....	11
1.4.4 Manguitos.....	12
2. CAPÍTULO 2	13
Sistema de inyección para una turbina de gas.....	13
3. CAPÍTULO 3	
Tobera.....	20
4. CONCLUSIONES	23
5. BIBLIOGRAFÍA	24

NOMENCLATURA

Símbolos	Descripción	Unidades
Q	Caudal	$\frac{m^3}{s}$
C	Coeficiente del inyector	–
S	Sección	m^2
P	Presión	Pa
γ	Relación entre capacidad caloríficas a presión y volumen constante del aire	–
γ_p	Relación entre capacidad caloríficas a presión y volumen constante de los gases de escape	–
v	Velocidad del fluido	m/s
a	Velocidad del sonido	m/s
C_t	Coeficiente de la tobera	–
ρ	Densidad	Kg/m^3

CAPÍTULO 1

Introducción.

Debido al crecimiento de las nuevas tecnologías cada vez se intenta llegar más lejos en los propósitos de mejora de rendimiento y eficiencia. Para ello se pueden crear nuevas tecnologías o mejorar a las ya existentes.

Hace aproximadamente 100 años que se invento el turbocompresor, pero no ha sido hasta hace poco que su uso se ha incrementado exponencialmente. Esto es debido al efecto positivo que se ha logrado conseguir de este sistema y que repercute en un área tan avanzada como es el área automotriz.

De esta forma se unen elementos en completo desarrollo con principios básicos de termodinámica de hace cientos de años. Estas uniones son parte del éxito de lo que se podría denominar como nuevas tecnologías.

1. Objetivo

1.1.1 General

El proyecto a desarrollar se basa en el diseño y construcción de ciertos componentes de una turbina de gas, concretamente el sistema de lubricación, el sistema de inyección de combustible y la tobera de propulsión.

1.1.2 Específico

- Diseño y construcción del circuito de lubricación del turbocompresor.
- Diseño y construcción del sistema de inyección para la cámara de combustión.
- Diseño y construcción de la tobera.

1.2 Descripción

En primer lugar se va a describir en qué consiste una turbina de gas y un turbocompresor, así como sus diferentes componentes, para poder explicar detenidamente la finalidad de lo que se pretende hacer en este proyecto.

Las turbinas de gas son equipos que permiten transformar la energía química contenido en un combustible en energía mecánica.

El proceso que se lleva a cabo es bien sencillo, entra aire y combustible en una cámara de combustión en donde se genera el proceso de combustión. Los gases generados tienen una cierta energía, la cual es utilizada por los álabes de la turbina que hace girar un eje. Con este movimiento lo que se consigue es mover un generador y producir electricidad o provocar un impulso.

En la figura 1 podemos ver ciclo simple de gas.

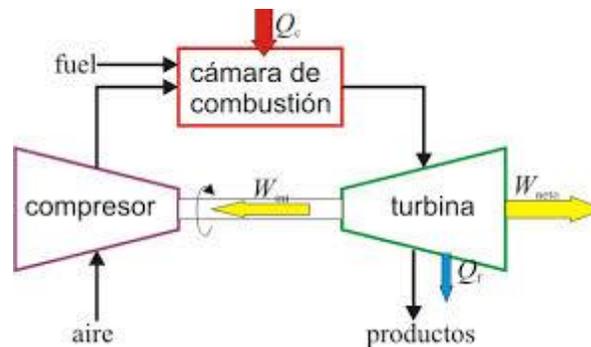


Figura 1. Componentes de un ciclo de gas [1].

Un turbocompresor o también llamado turbo se describe como una turbina acoplada a un compresor centrífugo (siendo en el caso de los automóviles una presión no muy por encima de la atmosférica que oscila entre 1,5 y 2 bar) y que se destina a la compresión de un fluido, es decir, los gases de escape del motor tienen una cierta energía que es aprovechada por la turbina en forma de movimiento rotatorio que es directamente transmitido mediante un eje a la rueda compresora. La función de esta última es comprimir el aire que está a presión atmosférica, mediante el movimiento rotatorio que le transmite la turbina, para posteriormente introducirlo en el cilindro.

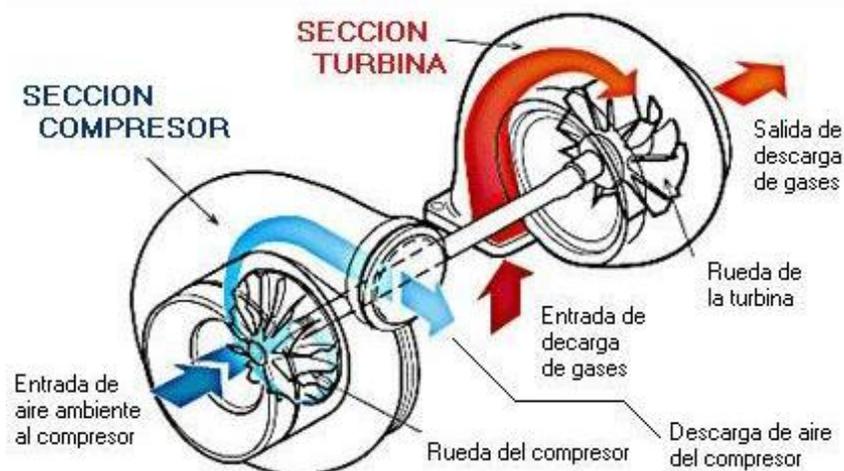


Figura 2. Mecanismo de un turbocompresor [2].

Lo que se pretende con la utilización del turbocompresor es elevar la densidad del aire a la entrada del cilindro, es decir, para un mismo volumen de aire, la masa de aire sea mayor. Así cuanto más aire y combustible sea introducido en el cilindro mayor será la potencia obtenida.

La utilidad de estos sistemas se enfoca principalmente en motores de combustión interna.

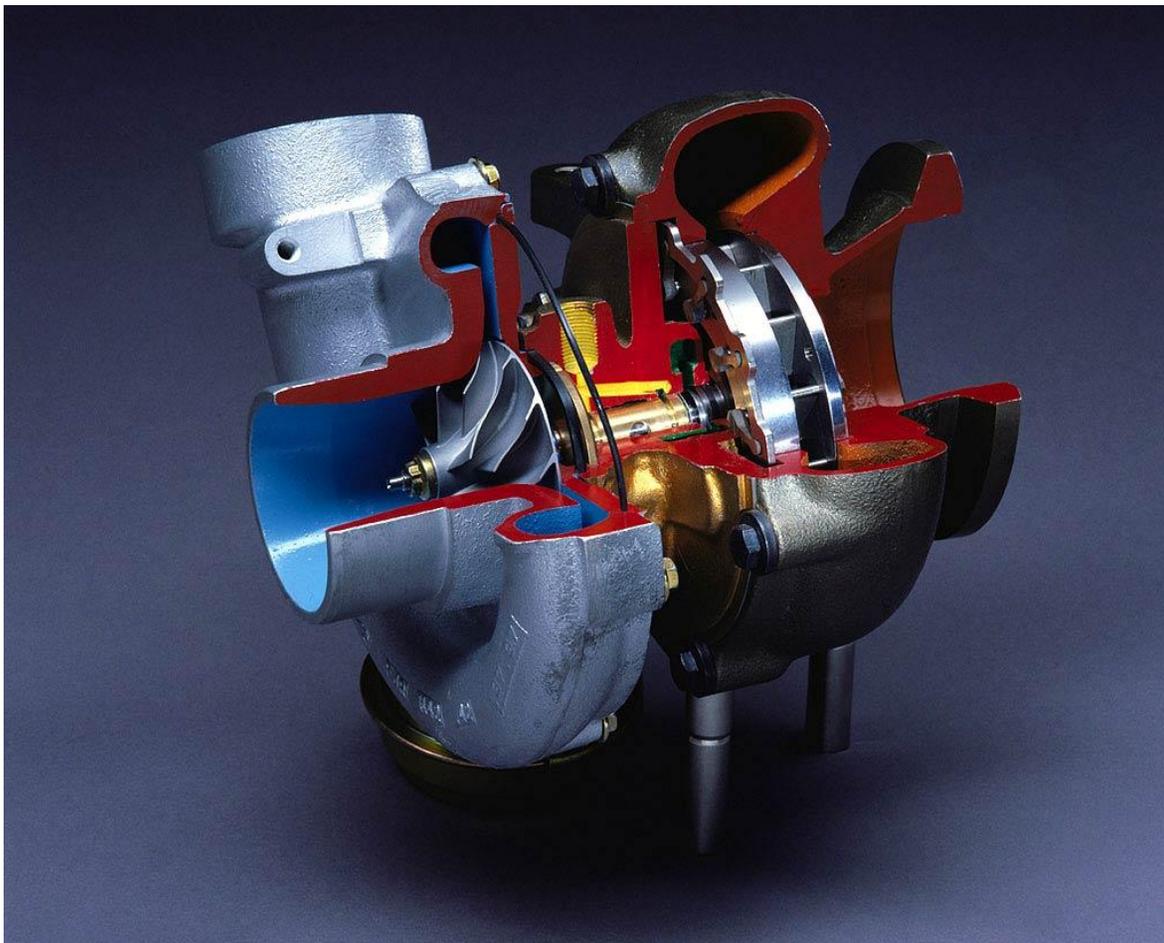


Figura 3. Corte parcial en un turbocompresor [3].

1.3 Elementos que componen el turbocompresor.

Para este proyecto se trabajará con un turbocompresor de la marca *Garret*, en concreto con el modelo GT1749, mostrado en la figura 4.

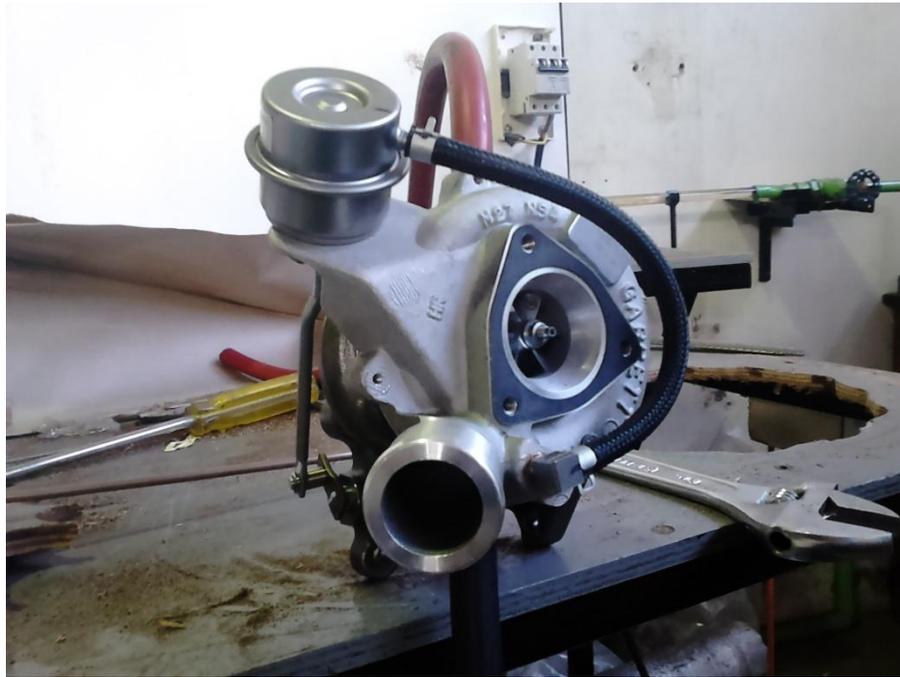


Figura 4. Turbocompresor marca *Garret*.

Los elementos principales que se podrían destacar en un turbo son los siguientes:

- **Eje turbina.** Normalmente al eje se le denomina eje turbina porque el eje y la turbina están contruidos como un solo elemento. Este es accionado por los gases de escape del motor. Se encuentra alojado en el interior de la carcasa turbina y tiene la misión de hacer que la rueda compresora gire lo suficientemente rápido para producir la tasa de flujo de aire diseñada para cada valor de presión. El eje, normalmente es fabricado a partir de superaleaciones austeníticas de base níquel-cromo.



Figura 5. Álabes de turbina.[4].

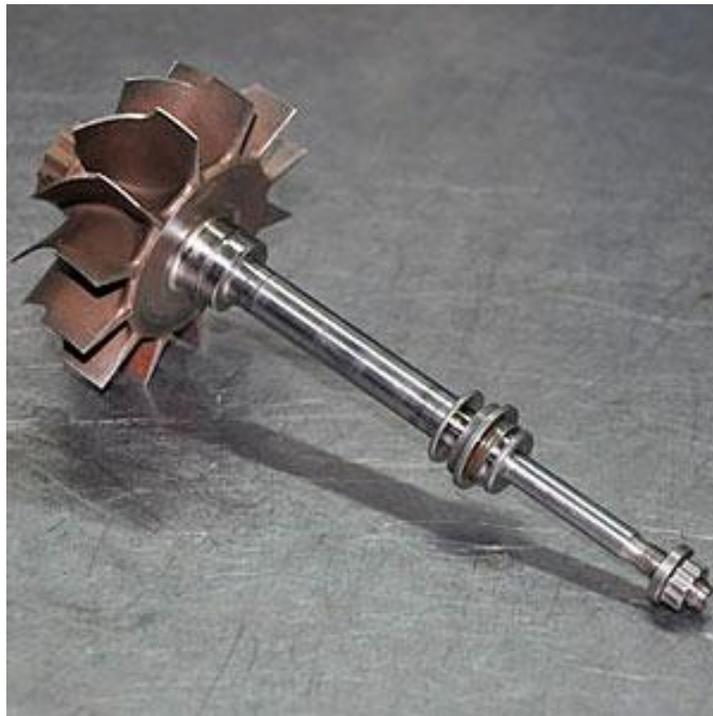


Figura 6. Eje turbina [5].

- **Carcasa de la turbina.** No es nada más que un cono envuelto alrededor de la turbina lo que da la apariencia de una caracola. Las áreas internas de esta carcasa determinarán la velocidad con que los gases de escape entran en contacto con los álabes de la turbina.

Existe una característica geométrica en todas las carcasas de turbinas definida como A/R que corresponde al área o sección del cono dividida por el radio o distancia desde el centro de la salida de gases hasta el centroide la sección del cono.

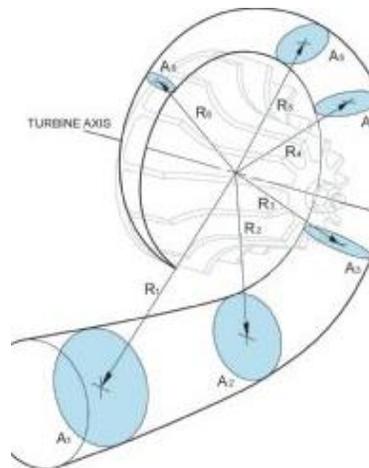


Figura 7. Esquema de A/R en un Turbocompresor [6].

El rendimiento de la turbina se ve bastante afectado al modificar la relación A/R de la carcasa, ya que esta es usada para ajustar la capacidad de flujo de la turbina. Si se utilizan pequeños valores para A/R, se incrementará la velocidad de los gases de escape en la turbina, esto provee incrementos de la potencia a bajas revoluciones del motor; sin embargo, esto también podría afectar el desempeño del motor a altas velocidades ya que tenderá a incrementar la contrapresión de salida y, por lo tanto, a reducir la capacidad de “respirar” efectivamente a altas rpm, afectando negativamente el punto más alto de potencia.

Por el contrario, usando una relación mayor de A/R se obtendrán valores menores de velocidad de los gases de escape lo que resultará en mejores valores de potencia a altos valores de rpm del motor. El material con el que se fabrica es un tipo de fundición de acero austenítico con contenidos de Ni y Cr.



Figura 8. Carcasa de una turbina [7].

- **Rueda compresora.** Es movida por el eje de la turbina lo que hace que aspire aire del medio ambiente y suministre el flujo de aire a la presión requerida por el motor, llegando a alcanzar hasta tres veces la presión atmosférica.

Las ruedas compresoras son fabricadas en un proceso de fundición del aluminio, las que posteriormente son mecanizadas de forma muy precisa.



Figura 9. Alabes de un compresor [8].

- **Carcasa compresora.** Es el lugar donde se aloja la rueda compresora y es fabricada en aluminio, también existe la relación A/R, pero no tiene la misma influencia como en la carcasa turbina.



Figura 10. Carcasa donde va alojada la rueda compresora [9].

- **Cuerpo central.** Es el lugar para que el eje turbina gire hasta 170.000 rpm sobre cojinetes de bronce altamente lubricados.



Figura 11. Cuerpo central de un Turbocompresor [10].

1.4 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.

El sistema de lubricación en un turbocompresor es, sin ninguna duda, el punto más importante a la hora del mantenimiento y durabilidad del turbo puesto que trabaja con temperaturas de hasta 900°C debido a los gases de escape procedentes del motor, por lo que se necesita un sistema de lubricación adecuado para que no se fundan los diferentes elementos que lo componen. En este caso la estimación que se ha realizado ha sido de unos 500/600 °C.

El sistema de refrigeración se compone de una bomba, un filtro, varios manguitos/tubos y un cárter donde almacenar el aceite.

1.4.1 CARTER

El sistema empieza en el cárter donde se almacena todo el aceite del circuito. Es un estanque normalmente de aluminio, pero en este caso se usará un cubo de plástico, ya que es mucho menos costoso y cumple la misma función que el de aluminio.

1.4.2 BOMBA

Con la bomba lo que se consigue es bombear el aceite, es decir, conseguimos a base de presión, el cual es dado por la bomba, mover el aceite del cárter hacia las diferentes zonas del turbocompresor. Normalmente la bomba que se utiliza es una bomba mecánica accionada por el motor y que sirve

tanto para lubricar dicho motor como para lubricar el turbocompresor. Ya que no disponemos de un motor para accionar dicha bomba se utilizará una bomba de engranajes que se compone de un motor eléctrico que acciona la parte de los engranajes, que es la encargada de crear la sobrepresión en el líquido que circula.



Figura 12. Bomba de aceite compuesta por un motor eléctrico y una bomba de engranajes.

El funcionamiento de la bomba de engranajes es simple, el aceite entra por el puerto de entrada debido a la depresión creada por la separación de los dientes de los engranajes. De la misma forma una vez el aceite ha sido conducido por los flancos de los engranajes al juntarse los dientes crean una sobrepresión en el aceite el cual es impulsado por el puerto de salida.

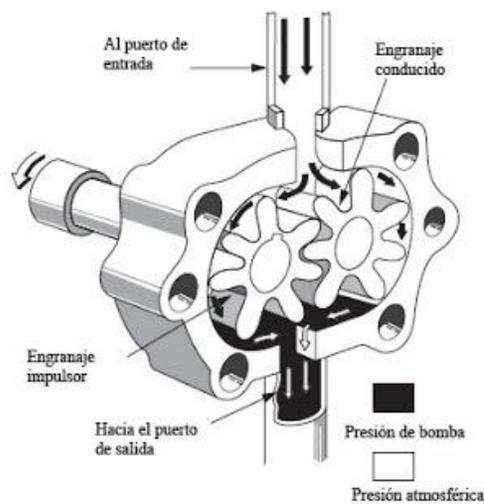


Figura 13. Bomba de engranajes [11].

Para medir el caudal de la bomba se hizo el siguiente procedimiento:

Se hicieron varias pruebas calculando el peso del aceite que desplazaba la bomba en un intervalo de tiempo acotado. Para ello se tuvo que medir la densidad del aceite con un densímetro para más tarde, con la densidad y la masa determinada anteriormente, calcular el flujo volumétrico entregado por la bomba.

La medición de la densidad fue de 0.850 g/cm^3 lo que equivale a 850 g/dm^3 o 850 g/l . Los valores de flujo medidos se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de flujo de aceite.

DENSIDAD en g/l		850
Peso en gramos	Tiempo en segundos	Flujo [l/s]
2832,4	10,6	0,314
2878	10,6	0,319
2858	10,6	0,317
2733	10,4	0,309
PROMEDIO en l/s		0,315037672

El promedio del caudal es de 0.315 l/s lo que equivale a 18.9 l/min .

Viendo los resultados se descubrió que el caudal que entrega la bomba está muy por encima de las necesidades del turbocompresor, ya que el turbocompresor tiene orificios de lubricación que pueden llegar a medir micras. Según los fabricantes de turbocompresores, el caudal que pasa por el turbo es de aproximadamente el 8% del caudal impulsado por la bomba de aceite.

Se estimó que el caudal de la bomba, para un automóvil funcionando con el mismo turbo que se utilizará en este proyecto, tiene un promedio de 12 l/min , lo que supone un caudal en el turbocompresor de $0.96 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 1 \text{ l/min}$.

Así pues, la solución fue crear una pérdida de carga lo suficiente como para no dañar el sistema de lubricación del turbo por sobrepresión pero sin quedarse corto en flujo de aceite, ya que se dañaría de forma irreversible.

A la salida de la bomba se realizó una bifurcación donde un manguito irá directamente al turbo y el otro servirá de retorno al cárter. De esta forma se consigue derivar todo el caudal de aceite de retorno al cárter y mediante una llave (en la figura 13, llave roja en la parte inferior derecha) se va cortando ese caudal y así derivarlo al turbo.

De esta forma se puede conseguir la presión y caudal necesario de forma manual.

Haciendo referencia a los motores de combustión interna, se puede saber de forma aproximada que la presión requerida en el turbo es aproximadamente de 4 bar, pudiendo oscilar entre los 2 y 6 bar.

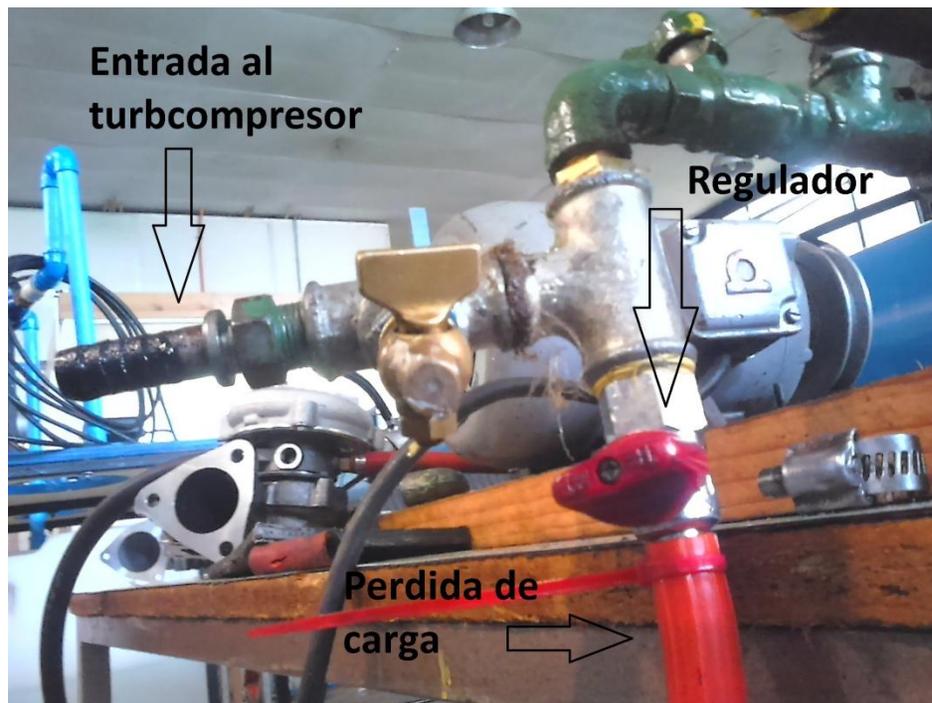


Figura 14. Sistema de lubricación para el turbocompresor.

1.4.3 FILTRO DE ACEITE

La función que desempeña el filtro de aceite, como su nombre bien indica, es parar las impurezas que circulan por el circuito, ya que cualquier viruta que entrase podría dañar al turbocompresor y en consecuencia habría un deterioro prematuro del conjunto.

En este caso no se ha utilizado filtro ya que el circuito de aceite del turbo es un circuito independiente y no es necesario. Aun así, y para cerciorarse del correcto funcionamiento, se hizo el circuito de forma que el aceite en ningún momento esté en contacto con el ambiente, de esta forma no habrá problema alguno.



Figura 15. Filtro de aceite [12].

1.4.4 MANGUITOS

Los manguitos son los encargados de conducir el aceite de un lugar a otro, en este caso, del cárter al turbo y viceversa.

La entrada de aceite se hace por presión, en cambio, la salida se hace por gravedad. De esta forma el turbocompresor debe de ir montado de tal forma que el agujero de salida esté en la parte inferior.



Figura 16. Manguitos de entrada y salida de aceite en el turbocompresor.

CAPÍTULO 2.

Sistema de inyección para una turbina de gas.

El sistema de inyección es el encargado de inyectar la cantidad necesaria de combustible para el correcto funcionamiento de la cámara de combustión. Para ello se han de calcular y diseñar varios elementos, los cuales serán mostrados en este capítulo.

Debido a que no hay mucha información sobre el sistema de inyección en turbinas de gas, se seguirán los pasos sobre la teoría de inyectores de la asignatura de combustión.

La fórmula esencial con la que se trabajará será la fórmula para inyección de alta presión, debido a que se trabajará con presiones mayores a la presión atmosférica. La fórmula a seguir se detalla a continuación:

$$Q = c * s * P_1 * \sqrt{\left(\frac{\gamma_p}{P_0 * \rho_0}\right) * \left(\frac{2}{\gamma_p + 1}\right)^{\frac{\gamma_p + 1}{\gamma_p - 1}}}$$

Más adelante se obtendrá el cálculo del diámetro del inyector en función del caudal de combustible y las presiones con las que se trabajarán.

Un dato importante a tener en cuenta respecto al inyector, es el coeficiente de flujo.

Cada vez que se desconoce la forma del inyector, la convención es de asumir un valor de $C = 0.8$. Este valor corresponde a un orificio de pared espesa de espesor igual al diámetro y unido al conducto anterior por un cono de ángulo comprendido entre 60 y 120°.

Un cono más alargado aumenta ligeramente el coeficiente de flujo. Así se tiene $C = 0.84$ para el mismo orificio con un cono de 30°.

La figura 17 muestra el orden de magnitud del coeficiente de flujo. Este está limitado interiormente a 0.5 (perfil de borda) ó 0.6 (pared delgada) y superiormente a 1 (perfil tobera). En la práctica, para los orificios de pared espesa, está comprendido entre 0.8 y 0.95.

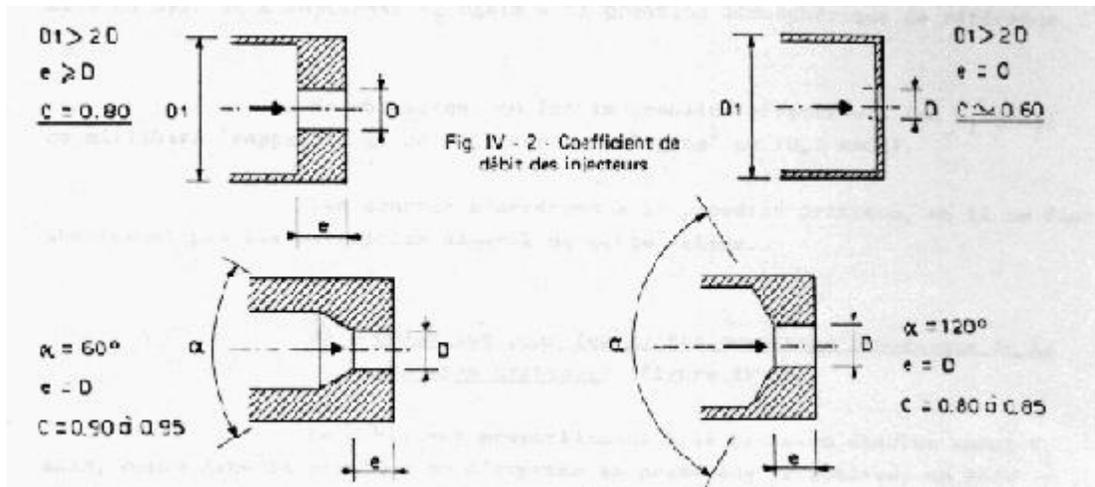


Figura 17. Coeficientes de flujo respecto a la geometría del inyector [13].

A continuación se explicará el camino que ha de recorrer el gas propano desde su salida de la bombona hasta su introducción en la cámara de combustión.

En primer lugar se empezará por el elemento esencial que creará la combustión que es el Propano. Este gas, incoloro e inodoro, se obtiene del gas natural y de los gases de los procesos de *cracking* producidos en las instalaciones petroquímicas. Este gas es el más utilizado a nivel mundial ya que es fácil de transportar (estado líquido), y que a su vez tiene un alto poder calorífico lo que hace que sea un combustible eficiente y a la vez conveniente.



Figura 18. Bombona de gas propano.

Tiene varios tipos de uso los cuales se podría clasificar como:

- Gas a domicilio: Cocción alimentos, calefacción, etc.
- Gas recreacional: camping, secado de ropa, calefacción piscinas, etc.
- Gas industrial: vapor/agua caliente en industrias, tratamientos térmicos acero, etc.
- Gas vehicular.
- Gas agrícola: Desecado de frutas, destilación, etc.
- Gas naval: embarcaciones, faros, boyas, etc.

A la hora de la colocación de la bombona, con un taladro se procede a realizar varias perforaciones, como se muestra en la figura 19, para más tarde, con ayuda de una lija, dejar un agujero para poder ubicar la bombona de forma segura y de fácil acceso.



Figura 19. Agujero donde se aloja la bombona de propano.

Para regular la presión a la salida de la bombona, ya que la presión en el interior es de aproximadamente 10 bar, se utilizará un regulador como el que se muestra en la figura 20, que facilita tanto la presión en el interior de la bombona, como la presión de trabajo que se requiere.

Dicho regulador cuenta con un dispositivo de seguridad anti retorno, es decir, solo deja fluir el gas en una dirección. A este elemento se le denomina válvula de seguridad.



Figura 20. Sistema regulador de presión para una bombona de Propano.

Para distribuir el gas, se utiliza una manguera de plástico especial para gas como se puede observar en la Figura 21.



Figura 21. Manguera especial para gases.

Como elemento de prevención, además del sistema anti retorno que posee el regulador de gas, se dispone de una válvula de bola para el corte de suministro de gas, pudiendo así cortar de forma rápida y sencilla el suministro debido a cualquier imprevisto que pueda haber.



Figura 22. Válvula reguladora y de seguridad.

Para poder medir el caudal de gas que sale de la bombona, normalmente se utiliza un flujómetro volumétrico que es un aparato específico para estos casos que da el caudal directamente.

En este caso no se dispone de dicho componente, pero sí de un caudalímetro, el cual entrega el volumen que pasa por el sistema con lo que se deberá hacer una medición durante un intervalo de tiempo determinado para determinar el caudal.

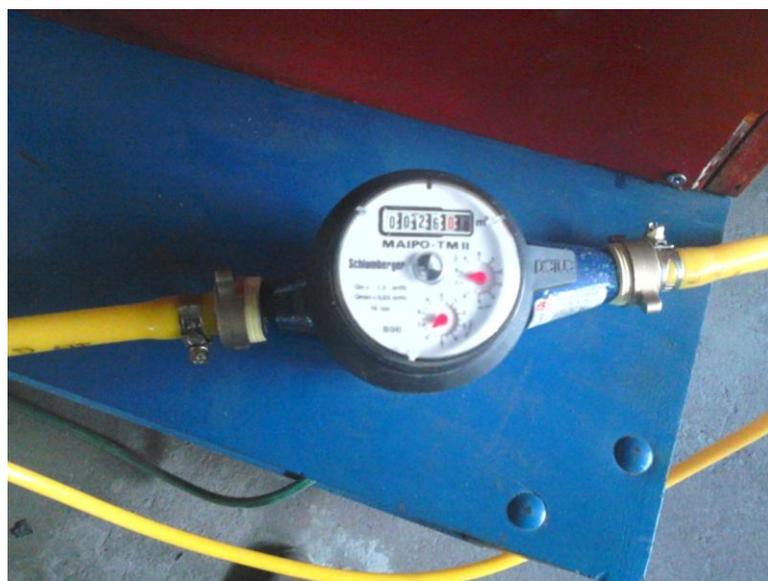


Figura 23. Caudalímetro.

Para poder saber que se tiene la presión deseada a la entrada del inyector, se ha de colocar un medidor de presión como el de la figura 24.

De esta forma se tendrá en cuenta las pérdidas de carga que pueda haber entre la bombona y la entrada del inyector y así tener una presión más exacta para la inyección.



Figura 24. Medidor de presión.

La última parte del sistema de inyección será el diseño del inyector, el cual deberá introducir el gas de forma continua a la cámara de combustión.

En primer lugar, considerando que la cámara de combustión requerida debe tener una potencia de 33.3 W, se estima que el flujo de gas debe ser del orden de $0.0009 \frac{Kg}{s}$.

Para el cálculo del diámetro, se usará la fórmula para inyectores de alta presión mencionada anteriormente.

$$Q = c * s * P_1 * \sqrt{\left(\frac{\gamma_p}{P_0 * \rho_0}\right) * \left(\frac{2}{\gamma_p + 1}\right)^{\frac{\gamma_p + 1}{\gamma_p - 1}}}$$

En esta ecuación se tiene como incógnita la sección del inyector (s) y la presión P_1 (presión a la entrada del inyector).

Para resolver este problema de una ecuación y dos incógnitas lo que se hizo fue dar un valor a la sección del orificio de salida del inyector y así conocer la presión de entrada al inyector, es decir, ir probando para una sección determinada, que presión sería necesaria.

A su vez, el caudal Q está en función de P_1 , ya que $Q = \frac{0.009}{\rho_1}$, es decir, si se aumenta la presión de entrada P_1 , se aumentará la densidad del propano y cambiará el caudal.

Para la resolución de dicho problema se utilizó el programa de resolución de ecuaciones EES, dando un resultado para un diámetro de 15 mm, una presión de 1,82 bares.



Figura 25. Punta del inyector de combustible.

CAPÍTULO 3

Tobera

La tobera es un dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido en energía cinética. El fluido experimenta un aumento de la velocidad a medida que la sección de la tobera va disminuyendo.

Las toberas se podrían clasificar de la siguiente forma:

- Tobera Convergente. Significa que la velocidad del fluido en la tobera es inferior a la velocidad del sonido, normalmente el fluido tiene poca velocidad a la entrada de la tobera, por lo que la disminución del área conforme el fluido va avanzando creará un aumento de la velocidad de este. Número de Mach < 1 , también definido como subsónico
- Tobera Divergente. También llamado difusor, siendo su función todo lo contrario a la tobera convergente, es decir, el área de sección transversal aumenta en dirección del flujo, lo que conlleva a un aumento de la temperatura, presión y entalpía.

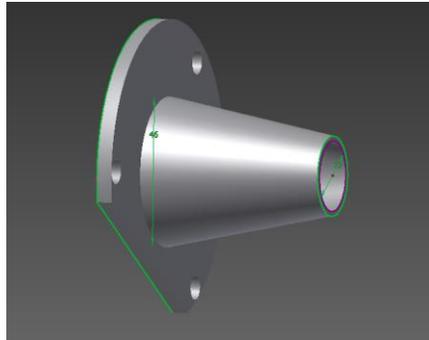


Figura 27. Tobera convergente.

- Tobera Convergente-Divergente. También llamada Laval, cuya característica es que la velocidad del fluido en la parte divergente supera la velocidad del sonido. Para que el fluido siga acelerándose, la sección de la tobera ha de ser creciente. Cabe destacar el cambio del número de Mach conforme el fluido va fluyendo a través de la tobera.

Cuando la tobera es convergente el número de Mach es inferior a la unidad, cuando se encuentra en la sección de cambio, también llamada garganta, el número de Mach es igual a 1 y se denomina transónico, y por último, en la parte divergente, el número de Mach es mayor a la unidad y por consiguiente se denomina supersónico.

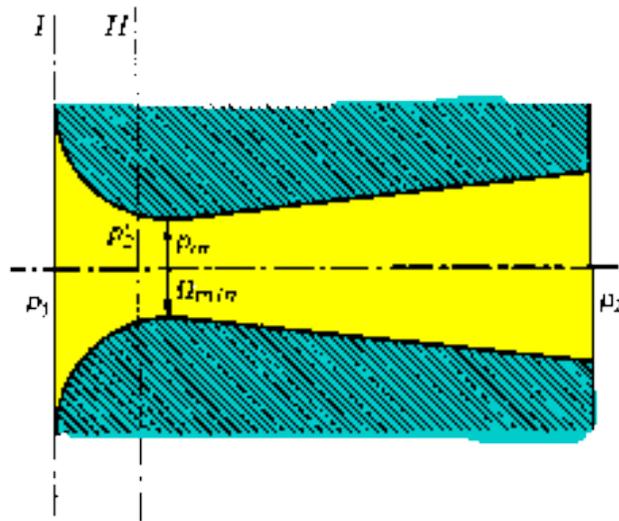


Figura 28. Tobera de Laval [14].

Se considerará que la tobera es isentrópica (proceso reversible sin pérdidas) y adiabática, ya que no hay transmisión de calor del fluido a la tobera exterior.

También se supondrá que se mantiene en estado estacionario, es decir, el flujo másico del fluido que se desplaza a lo largo de la tobera se mantendrá constante.

Visto esto se procederá al cálculo del número Mach para saber qué tipo de tobera se ha de diseñar.

$$\text{Número Mach} = \frac{V}{a}$$

Siendo: a (velocidad del sonido) = $\sqrt{\gamma * P * \frac{1}{\rho}} = \sqrt{1.347 * 1.4 \exp 5 * \frac{1}{0.55}} = 580.3 \frac{m}{s}$.

$$V(\text{velocidad del fluido}) = K * \sqrt{R * T_1} = 1.042 * \sqrt{\frac{8314.3 * 873}{28.964}} = 521.6 \frac{m}{s}$$

$$M = \frac{K * \sqrt{R * T_1}}{\sqrt{\gamma * P * \frac{1}{\rho}}} = \frac{521.6}{580.3} = 0.81$$

Como ya se vio anteriormente, una vez determinado el número de Mach, se podrá diseñar la tobera, que en este caso se diseñará de tipo convergente.

Se procederá al cálculo de la sección de salida para obtener así el diámetro de la tobera y su consiguiente longitud.

$$\frac{\dot{m}}{S} = C_t * \frac{P_1}{\sqrt{R * T_1}}$$

$$\frac{0.075}{S} = 0.655 * \frac{1.4 \exp 5}{\sqrt{8314.3 * \frac{873}{28.964}}}$$

$$S = 0.0004 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

donde $D = 0.022m$.

Una vez hallado el diámetro se podrá conocer la longitud de la tobera.

Por recomendaciones de fabricantes, usualmente se considera la longitud de la tobera como 2.5 veces el diámetro a la salida, es decir, si el diámetro es de 22 milímetros, el largo será de 55 milímetros.

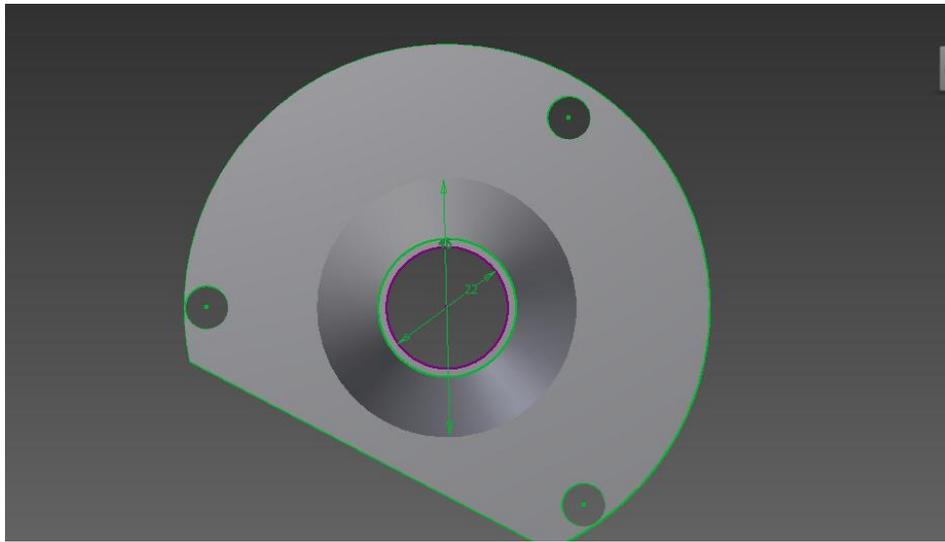


Figura 29. Diseño de la tobera

CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto es realizar las diferentes partes que se han visto respecto a una turbina de gas, tanto de forma teórica como de forma práctica. Siendo esta última parte imposible de realizar debido al tiempo. Por ello las conclusiones que se sacan de los datos teóricos habrá que compararlas con los datos que se obtengan de forma práctica, siendo la experiencia, un aporte realmente valorado hoy en día. Se espera que los resultados obtenidos de forma teórica, sean aproximados a la realidad.

Un dato importante a tener en cuenta a la hora de trabajar es la necesidad de tener una buena planificación del trabajo, ya que el orden es un factor muy importante para poder avanzar de forma fructífera. Así mismo, y con relación al orden, es evitar los accidentes a la hora de trabajar, algo muy usual para un principiante.

Otro factor importante a la hora de la realización de este proyecto, ha sido la falta de información acerca de varios de los componentes anteriormente descritos.

Por ello, se cree que este proyecto es un amplio abanico de posibilidades para la experimentación de la turbina a gas de tipo tubular.

BIBLIOGRAFÍA

- [Ruben M. Olson, 1961] Ruben M. Olson, “Essential of Engineering Fluid Mechanics”
- [Cifuentes L., D. 2014] Cifuentes L., D., “Análisis mediante método CFD del empleo de una turbina radial para su utilización en un ciclo de Rankine orgánico”, Tesis, universidad de Concepción.
- [Farias O, 2004] Farias O., Apuntes Curso Introducción a la Combustión, Departamento de Ingeniería de Civil Mecánica, Universidad de Concepción, 2004.
- [Molina B., F. A. 2008] Molina B., F. A., “Diseño aerodinámico preliminar de una etapa de compresión centrífuga”, Tesis, Universidad de Concepción.
- [Ortega A., M. 2003] Ortega A., M., “Turbocompresores de geometría variable .Estudio y diseño”
- [Carpio O., R. A. 2011] Carpio O., R. A., “Antecedentes para el diseño de la turbina de un ciclo Rankine orgánico”, Tesis, Universidad de Concepción.
- <http://www.monografias.com/trabajos6/turbo/turbo.shtml>
- <http://www.aficionadosalamecanica.net/turbo2.htm>
- <http://www.taringa.net/posts/autos-motos/10011224/El-motor-atmosferico-y-el-sobrealimentado.html>
- <http://www.turbocar.cl/te02.html>
- <http://www.autofacil.es/tecnologia/2013/02/12/historia-turbocompresor/12877.html>
- http://www.turbosjs.com.ar/informaciones_tecnicas.html
- http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Brayton
- <http://mishumildesobrasdearte.blogspot.com/2012/06/mecanica-como-funciona-un.html>
- <http://www.monografias.com/trabajos6/turbo/turbo.shtml>
- <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2011/MENDOZA/1707/pagina%204.htm>
- <http://www.turbos.bwauto.com/es/company/history.aspx>
- <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/418/3/65t00001.pdf>
- http://biblioteca.duoc.cl/bdigital/Documentos_Digitales/600/620/629/Mecanica_Automotriz_Autotronic/RMS3301/39887.pdf
- <http://www.tallervirtual.com/2010/01/24/clasificacion-de-los-sistemas-de-inyeccion-tercera-parte/#>
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/losdiferentestiposdeboquillas/losdiferentestiposdeboquillas.html>

<http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/termo%205-2.pdf>

FIGURAS:

[1]: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Brayton

[2]: <http://mishumildesobrasdearte.blogspot.com/2012/06/mecanica-como-funciona-un.html>

[3]: <http://dim.usal.es/eps/mmt/?p=416>

[4]: <http://www.diesellider.com.ar/?module=news&code=5>

[5]: <http://www.diesellider.com.ar/?module=news&code=5>

[6]: <http://www.turbocar.cl/te02.html>

[7]: <http://www.turbocar.cl/te02.html>

[8]: <http://www.turbocar.cl/te02.html>

[9]: <http://www.turbocar.cl/te02.html>

[10]: <http://www.turbocar.cl/te02.html>

[11]: http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica9.htm

[12]: http://www.cambioaceiteyfiltro.com.ar/cambio-de-aceite/es/PRODUCTOS/Todos_los_Filtros/Filtros_de_Aceite.htm

[13]: Apuntes de la asignatura de Combustión impartida por el profesor Oscar Farias.

[14]: <http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/termo%205-2.pdf>