



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR
DE AIRE PARA LA AUTOMOCIÓN DE UNA
BICICLETA.

*TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR
POR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO*

AUTOR: José Alexander Ordóñez Roblez

DIRECTOR: Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvin

LOJA - ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN


Ing. Manuel Ayala Chauvin

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en “**Diseño y construcción de un motor de aire comprimido para la automoción de una bicicleta**”, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **José Alexander Ordóñez Roblez**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja,



Ing. Manuel Ayala Chauvin

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo **José Alexander Ordóñez Roblez** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Autor: José Alexander Ordóñez Roblez

Firma: _____

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'J' followed by 'A', 'O', 'R', 'D', 'O', 'Ñ', 'E', 'Z', 'R', 'O', 'B', 'L', 'E', 'Z', written over a horizontal line.

Cédula: 070432888-9

Fecha: 14 de octubre del 2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **José Alexander Ordóñez Roblez**, declaro ser autor de la tesis titulada “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE AIRE PARA LA AUTOMOCIÓN DE UNA BICICLETA**”, como requisito para optar al grado de Ingeniería Electromecánica autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 14 días del mes de octubre del dos mil catorce.

Firma: _____



Autor: José Alexander Ordóñez Roblez

Cédula: 070432888-9

Dirección: Santa Rosa (Zamora Chinchipe entre la G y H)

Correo Electrónico: jos_ordo27@hotmail.com

Teléfono: 2 178 – 122

Celular: 0994571255

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Manuel Ignacio Ayala Chauvin, Mg. Sc

Tribunal de Grado: Ing. Milton Amable León Tapia, Mg. Sc

Ing. Darwin Yiovanny Tapia Peralta, Mg. Sc

Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc

PENSAMIENTO

“El ejercicio más noble de la mente y la mejor forma de mejorar es mediante el estudio”

William Mitchell Ramsay

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar esta Tesis a mi Dios en primer lugar por darme la vida, cuidarme protegerme y guiarme en todo momento.

Para mis padres, por su comprensión y ayuda incondicional para que yo pueda conseguir y cumplir las metas que me he propuesto en mi vida. Me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.

A mis hermanos, por apoyarme en las noches de desvelo y brindarme aliento para culminar este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Primero y como más importante, me gustaría agradecer sinceramente a mi director y tutor de Tesis, Ing. Manuel Ayala, su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador. Él ha inculcado en mí un sentido de seriedad, responsabilidad y rigor académico sin los cuales no podría tener una formación completa como investigador. A su manera, ha sido capaz de ganarse mi lealtad y admiración, así como sentirme en deuda con él por todo lo recibido durante el periodo de tiempo que ha durado esta Tesis.

También me gustaría agradecer los consejos recibidos a lo largo de los últimos años por otros profesores del Área de la Energía, Industrias y Recursos Naturales No Renovables, que de una manera u otra han aportado su granito de arena a mi formación.

De igual manera agradecer a todas las personas que ayudaron a ser posible la realización de la Tesis.

Para ellos, muchas gracias por todo.

CONTENIDO

a.- TÍTULO	11
b.- RESUMEN.....	12
c.- INTRODUCCIÓN.....	14
d.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
d.1 CAPÍTULO I: Aire comprimido.....	15
d. 1.1. Aplicaciones del aire comprimido.	15
d.1.2. Producción del Aire Comprimido	16
d.3. CAPÍTULO III: TECNOLOGÍA DE MOTORES NEUMÁTICOS.....	22
d.3.1.Motor de aire Regusci	22
d.3.2. EngineAir Research & Development (Motor Rotatorio de Aire)	23
d.3.3. MDI.....	24
d.4. CAPÍTULO IV: DINÁMICA EN BICICLETA.....	26
d.4.1.Leyes de Newton	26
d.4.2. Masa	26
d.4.3.Energía.....	26
d.4.3.1.Energía cinética.....	27
d.4.3.1.2.Energía potencial	27
d.4.4.Fuerza de Resistencia Aerodinámica (Fra)	29
d.4.5.Fuerza de rozamiento de rodadura.....	30
d.4.6.Fuerza de la componente tangencial del peso	32
d.4.7.Fuerza de rozamiento mecánico	32
d.4.8.Traslación y rotación combinadas	33
d.4.8.1. Torque.....	33
d.4.8.2. Relaciones de Energía	34
d.4.8.2. Rodamiento sin deslizamiento.	34
d.5. CAPÍTULO IV: ACTUADORES LINEALES.....	34
d.5.1. Cilindros de simple efecto	35
d.5.2. Cilindros de doble efecto	35
d.5.3. Mecánica de un cilindro	36
d.5.4.Cálculos de cilindros.....	40
d.5.4.1.Fuerza del émbolo.....	40
d.5.4.2. Longitud de carrera.....	40
d.5.4.3. Velocidad del émbolo.....	41
d.5.4.4. Consumo de aire	41
d.5.4.6. Cálculo del vástago	42

d.5.4.7. Cálculo de la camisa	43
d.5.4.8. Cálculo de los tirantes	44
d.5.5. Cálculo del depósito.....	45
e.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
e.1 Materiales	47
e.1.1. Instrumentos	47
e.1.2. Equipos	47
e.2 Métodos	48
e.2.1. Criterio técnico para el diseño del motor de aire para la automoción de la bicicleta	48
e.2.1.1. Información básica	48
e.2.1.2. Consideraciones importantes	48
e.2.2. Determinación del tipo de motor a diseñar.	49
e.2.3. Parámetros de trabajo del proceso de experimentación	49
e.2.4. Cálculo y dimensionamiento del motor de aire comprimido.....	50
e.2.4.1. Cálculo de fuerzas que actúan en una bicicleta.....	50
e.2.4.1.1. Resistencia Aerodinámica.....	50
e.2.4.1.2. Resistencia a la Rodadura	50
e.2.4.1.3. Resistencia de la fuerza de gravedad en subidas	51
e.2.4.1.4. Resistencia Por Rozamientos Mecánicos.....	51
e.2.4.2. Cálculo del cilindro	52
e.2.4.2.1. Cálculo de la camisa del cilindro:	53
e.2.4.3. Cálculo del diámetro del vástago	54
e.2.4.3.1. Cálculo del momento de inercia (I):	55
e.2.4.3.2. Cálculo del área del vástago	55
e.2.4.4. Cálculo de los tirantes.....	56
e.2.4.5. Cálculo de consumo de aire.....	56
e.2.4.5.1. Cálculo del volumen requerido para una carrera del pistón	56
e.2.4.5.2. Cálculo de la relación de compresión	56
e.2.4.6. Cálculo de la fuerza que ejerce el resorte	57
e.2.4.6.1. Constante del resorte.....	58
e.2.4.6.2. Diámetro exterior del resorte	58
e.2.4.6.3. Cálculo del diámetro medio.....	58
e.2.4.6.4. Cálculo del índice del resorte C.....	58

e.2.4.6.5. Cálculo espiras activas	59
e.2.4.6.6. Cálculo longitud libre.....	59
e.2.4.6.7. Cálculo del coeficiente K_B	59
e.2.4.6.8. Cálculo de la tensión de rotura	59
e.2.4.6.9. Cálculo del diámetro del alambre	59
e.2.4.7. Cálculo del depósito	60
e.2.4.7.1. Cálculo de espesor de las bombonas	62
e.2.4.8. CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS.....	63
e.2.4.9. Sistema neumático.....	64
e.2.5. INFORME DE CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE AIRE.....	65
e.2.5.1. Construcción del motor de aire comprimido	65
f.- RESULTADOS	71
f.1. Resumen de los cálculos	71
g.- DISCUSIÓN.....	76
g.1. Valoración económica del motor de aire para la automoción de la bicicleta	76
g.2. Análisis económico del motor de aire comprimido.....	78
g.3. Impacto Ambiental	78
h.- CONCLUSIONES.....	79
i.- RECOMENDACIONES.....	80
j. BIBLIOGRAFÍA	81
k. ANEXOS	83

SIMBOLOGÍA

ρ : Densidad

P: Presión

T: Temperatura

V: Volumen

m: Masa

k: Coeficiente de elasticidad

v: Velocidad del vehículo

Cd: Coeficiente de resistencia al avance

S: Área frontal del vehículo afectado por un coeficiente de forma cuyos valores se sitúan entre 0,85-0,90

α Ángulo de inclinación de la pendiente del terreno

m Masa del conjunto: vehículo + depósitos + conductor

η : Rendimiento

K: Energía cinética

μ : Coeficiente de rozamiento: estático + dinámico

μ_r : Coeficiente de rozamiento a la rodadura

Ft: Fuerza de resistencia total

Fra : Fuerza de resistencia al aire

Frr: Fuerza de resistencia a la rodadura

Ftp: Fuerza de resistencia a la pendiente

g: Gravedad

N: Normal

A.-TÍTULO

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE AIRE PARA LA
AUTOMOCIÓN DE UNA BICICLETA**

B.- RESUMEN

El presente estudio está enfocado en el sector automotriz, pues los vehículos son una fuente principal de contaminación del medio ambiente, debido a que la mayoría de estos funcionan con motores de combustión interna, los cuales emiten gases tóxicos causantes del efecto invernadero, por esto surge la necesidad utilizar fuentes de energías no contaminantes. El desarrollo del presente proyecto tiene como objetivo la concepción del diseño y la construcción de un motor para vehículos menores como una bicicleta que funcione con aire comprimido. El motor constará de un cilindro, un pistón, una biela y demás componentes que puede esperarse de una mecánica convencional, con la novedad que a la cámara del cilindro ingresará aire comprimido. La fuerza de expansión del aire comprimido moverá el pistón dentro del cilindro y con ello se conseguirá la energía mecánica de rotación para el desplazamiento del vehículo y la transmisión del movimiento será por medio del mismo sistema de piñón libre que viene incorporado en las bicicletas para el uso controlado del aire comprimido.

SUMMARY

The present research is focused on the automotive sector, because the vehicles are a major source of pollution in the environment, because most of these operate with internal combustion engines, which emit toxic gases that cause the greenhouse effect, for this reason appear the need to use sources of non-polluting energy.

The development of this project has as objective the conception of the design and construction of an engine for minor vehicles such as a bike that works with compressed air. The engine will consist of a cylinder, a piston, rod and other components that can be expected from a conventional mechanical, with the newness to the cylinder chamber will enter compressed air.

The force of expansion of the compressed air will move the piston inside the cylinder and with this will get the mechanical energy of rotation for the movement of the vehicle and the transmission of movement will be through the same system of freewheel that is built into the bicycles for the controlled use of compressed air.

C.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en todas partes del mundo se están viviendo los efectos del impacto ambiental causados por el avance tecnológico que originan diferentes fuentes contaminantes que afectan la salud, el rendimiento laboral y académico de las personas. Estas fuentes contaminantes causan uno de los problemas más graves que tiene el mundo en estos momentos, que es el calentamiento del planeta, provocado principalmente por la emanación de CO₂ de los vehículos convencionales que funcionan con motores de combustión interna. Por tal razón me ha motivado a realizar la presente investigación sobre el “Diseño y construcción de un motor de aire para la automoción de una bicicleta”.

Para lo cual se planteó los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar información para caracterizar el comportamiento de un motor de aire.
- Diseñar adecuadamente los elementos que componen el motor de aire.
- Construir el motor de aire para la automoción de la bicicleta.
- Realizar pruebas de funcionamiento de la bicicleta con el motor de aire acoplado.

Lo que se plantea en el presente proyecto es la concepción de los parámetros necesarios para la autonomía de vehículos menores que utilicen como combustible el aire previamente comprimido en un depósito. El estudio se realiza adaptando un sistema cilindro-pistón al conjunto en la rueda de un velocípedo para el impulso. Al llegar a una cierta distancia la carrera del pistón, es decir el punto muerto superior, un resorte ejercerá la fuerza necesaria para trasladarla al punto muerto inferior y así se repetirá el ciclo nuevamente.

Los resultados de este proyecto se mostrarán a través de presentaciones en diapositivas que se expondrán, donde mostrarán la presión necesaria que debe tener el aire para poder mover el pistón. Además con el desarrollo de esta investigación se logrará incentivar a los estudiantes y público en general a la búsqueda de nuevas tecnologías como el diseño de motores de aire eficientes para que sean utilizados en la automoción de vehículos pequeños como las motocicletas entre otros y en un futuro el reemplazo de los motores de combustión interna por motores no contaminantes en todos los vehículos convencionales que existen en la actualidad.

D.- REVISIÓN DE LITERATURA

d.1 CAPÍTULO I: Aire comprimido

El aire comprimido se refiere a una tecnología o aplicación técnica que hace uso de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. En la mayoría de aplicaciones, el aire no sólo se comprime sino que también se deshumidifica y se filtra. El uso del aire comprimido es muy común en la industria, su uso tiene la ventaja sobre los sistemas hidráulicos de ser más rápido, aunque es menos preciso en el posicionamiento de los mecanismos y no permite fuerzas grandes¹.

d. 1.1. Aplicaciones del aire comprimido.

Dentro de las aplicaciones industriales, los componentes que utilizan fluidos a presión van tomando una gran preponderancia y su aceptación se universaliza cada vez más a medida que se van desarrollando nuevas aplicaciones. Es por esta razón que el aire comprimido se ha convertido en la segunda fuente de energía utilizada en la industria, después de la energía eléctrica, ahora otra gran fuente es el gas.

Si se pregunta por qué el aire comprimido, la respuesta es por su velocidad y su rapidez de respuesta de trabajo. Su acción no es tan rápida como la eléctrica, pero si es notablemente más rápida que la hidráulica. Por otra parte podemos pensar que la energía neumática tiene como materia prima el aire atmosférico el cual se puede tomar en la cantidad necesaria, totalmente gratuito, para comprimirlo y transformarlo como fuente de energía². Se utiliza en:

- Elevadores neumáticos.
- Destornilladores automáticos.
- Tornos dentales.
- Armas de aire comprimido
- Equipos de minería (taladros rotopercutores, martillos picadores, lámparas, ventiladores y muchos otros).

¹ WIKIPEDIA La enciclopedia libre. 2014. "Aire comprimido". http://es.wikipedia.org/wiki/Aire_comprimido

² Cardona Barrientos, Marcela. "Aire comprimido". <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>

- Arranque de motores de avión.
- Coches de aire comprimido y motores de aire comprimido
- Atracciones, para conseguir grandes velocidades en poco tiempo.

d.1.2. Producción del Aire Comprimido

La producción de aire comprimido se realiza mediante el compresor. Existen varias clasificaciones, si los clasificamos por la forma de producción sería:

- **Compresores dinámicos:** Incorporan elementos giratorios que aportan energía cinética al aire. Aumentando la velocidad se consigue mayor presión estática. Se caracterizan por producir un movimiento del aire continuo. Estos a su vez se dividen en:
 - Radial
 - Axial
 - Radiaxial
- **De desplazamiento positivo:** Aumentan la presión al reducir el volumen, a veces con pistones, tornillos o compartimentos plásticos:
 - Alternativas
 - Rotativas

D.2. CAPÍTULO II: NEUMÁTICA EN AUTOMOCIÓN

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos y actualmente se intenta desarrollar esta tecnología en el ámbito de la automoción para hacer frente a las formas de energía contaminantes. A pesar de este impulso actual en cuanto a la investigación y desarrollo del aire comprimido en los vehículos no se puede decir que esta tecnología es de reciente aparición, la historia del coche de aire comprimido comenzó hace dos siglos.

El primer motor de aire comprimido se debe a Denis Pupin y data de 1687 y el primer vehículo de aire comprimido fue construido por los franceses Andraud y Tessie de Motay en 1838. Con este vehículo se efectuó una demostración, sobre una pista de pruebas en Chaillot, el 9 de Julio de 1840. Todo terminó con la presentación ya que no se continuó con la idea.

El motor de aire es la base del motor de explosión tal como lo conocemos en la actualidad y comparten su funcionamiento. En el motor de explosión una chispa inicia la combustión del combustible, provocando una explosión en el cilindro que mueve los pistones. En el motor de aire la fuerza impulsora es provocada por la expansión del aire comprimido, como sucede en un martillo neumático.

Hacia finales del siglo XIX el transporte público en Francia era movido por estos motores utilizados en líneas regulares. En 1890 la Porter Company de Pittsburg (EEUU) produce una locomotora que funcionaba con aire comprimido para la industria minera y química. La primera locomotora híbrida de diésel y aire comprimido llegó en 1930 en Alemania. Los combustibles fósiles lograron imponerse en el sector del transporte y con ello la investigación en este campo se abandonó.

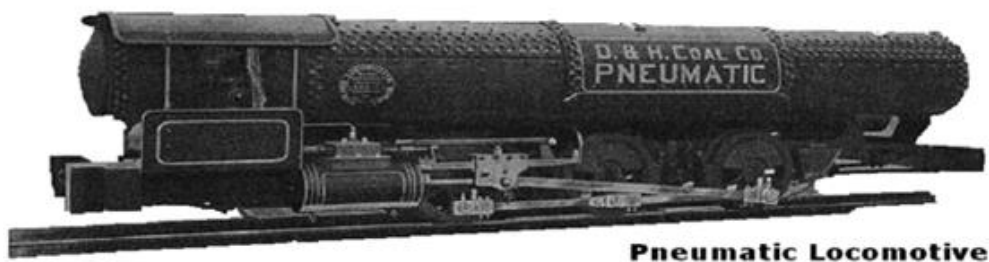


Fig.1: Locomotora Neumática de la H.K. Porter Company

En 1926 es cuando verdaderamente se introduce la neumática en el campo de los automóviles ya que en ese año Lee Barton Williams de Pittsburg presentó un automóvil que funcionaba con aire. El motor arrancaba con gasolina, pero después de haber alcanzado una velocidad de diez millas por hora (aprox. 16 km/h) la fuente de gasolina se apagaba y comenzaba a trabajar el aire. En la primera prueba de su invento logró una velocidad de 62 millas por hora (aprox. 100 Km/h).

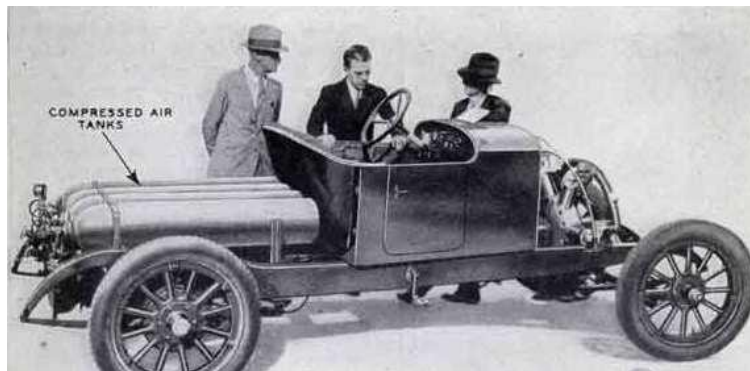


Fig.2: Automóvil híbrido de Lee Barton Williams.

En 1934 Johannes Wardenier, anunció el desarrollo del primer automóvil sin combustible. Durante semanas los periódicos holandeses divulgaron la increíble invención que cambiaría el mundo para siempre. Poco después de la divulgación de la noticia, Johannes fue misteriosamente encarcelado en una institución mental.

Tras la II Guerra Mundial el término "motor de aire" no se volvió a usar, y si se mencionaba, se decía que eran motores poco válidos o ineficientes. La crisis del petróleo de la década de 1970 impulsó nuevamente la investigación donde hacia finales del siglo pasado se lograron motores muy adecuados para diferentes usos aunque más desarrollados fuera del campo de los automóviles.

Los principales escollos para el desarrollo de estos vehículos han sido la seguridad de los depósitos de aire comprimido, la autonomía y la disponibilidad de suministro de aire. Actualmente los depósitos se construyen de fibra. En caso de accidente violento no explotarían puesto que se resquebrajan facilitando la pérdida de presión.

Para alcanzar mayores velocidades y autonomía, se han desarrollado motores híbridos que funcionan con aire y combustibles tradicionales. En ellos como en todos los vehículos

propulsados por aire comprimido un compresor recarga el depósito de aire mediante conexión a la red eléctrica y utilizando la energía sobrante en los momentos de frenado.³

Uno de los impulsores en la actualidad de esta forma de energía en los coches es el uruguayo Armando Regusci, el actual director de la Regusciair Club Company viene trabajando desde 1959 con distintos sistemas alternativos al combustible fósil y lleva más de veinte años desarrollando vehículos en los que se almacena la energía que les permite moverse en forma de aire comprimido en unos tanques instalados en el vehículo. Un sistema de almacenamiento de energía económico y sostenible, siempre que el compresor utilizado para comprimir el aire utilice energías renovables no contaminantes. Para comprimir el aire utiliza un motor eléctrico, que envía el aire a los depósitos a unas presiones de 200 bares de presión. Regusci tiene varias patentes y ha presentado varios prototipos de motos y automóviles. Está buscando atraer inversores para proveer vehículos a toda Latinoamérica.



Fig.3: Armando Regusci en su coche de aire comprimido.

Engineair Research & Development, con sede en Melbourne, Australia es una empresa centrada en el desarrollo de la tecnología de motores de aire comprimido basado en un concepto único de pistón rotativo. A diferencia de los motores de aire convencionales, el inventado por el ingeniero Ángel Di Pietro ha eliminado virtualmente el desgaste y el rozamiento interno ofreciendo un rendimiento superior en una gran variedad de

³ Fair companies. 2008. “Vivir del aire: coches propulsados con aire comprimido”. <http://faircompanies.com/news/view/vivir-l-aire-coches-propulsados-con-aire-comprimido/>

aplicaciones. Este motor está destinado a utilizarse en barcos, coches u otros vehículos de transporte.

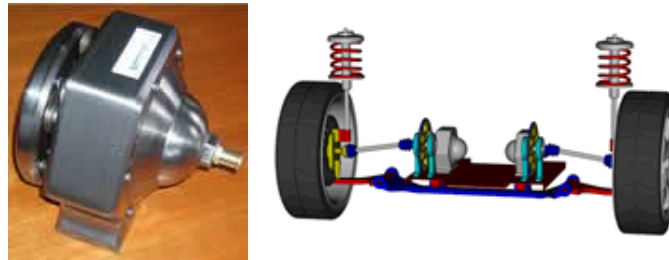


Fig.4: El motor de Di Pietro.

Otra de las empresas dedicadas a esta tecnología, la francesa MDI, ha firmado un convenio con TATA Motors de la India para fabricar vehículos en ese país que utilicen la tecnología del aire comprimido como fuente de energía. En el 2009 realizaron un lanzamiento conjunto de este tipo de vehículos en Francia y en la India. Actualmente hay concedidas licencias en todo el mundo.

MDI está fabricando vehículos impulsados por el motor inventado por Guy Negre alimentado con aire comprimido que se almacenan en unos depósitos a presión tan alta como 300 bares, en este motor se utiliza la expansión de una mezcla de aire tomada del exterior y el almacenado en los depósitos para empujar los pistones y entregar la energía al vehículo.



Figura5: Guy Negre con uno de sus vehículos neumáticos.

En estas épocas en donde todas las organizaciones del sector ambiental propenden por tecnologías más limpias que verdaderamente ayuden a frenar el calentamiento global, la

invención del auto a aire comprimido se convierte en una alternativa válida para la protección de nuestro entorno.⁴

⁴ Celades, Miguel. 2012. “Coches con motores de aire comprimido (Miguel Celades) (Completo)”. <http://energiaslibres.wordpress.com/2012/04/27/coches-con-motores-de-aire-comprimido-miguel-celades-completo/>

D.3. CAPÍTULO III: TECNOLOGÍA DE MOTORES NEUMÁTICOS

d.3.1. Motor de aire Regusci

El ingeniero Armando Regusci, ya lleva más de veinte años desarrollando vehículos en los que se almacena la energía que les permite moverse, en forma de aire comprimido en unos tanques instalados en el vehículo.

El motor Regusci consiste en un pistón libre y una rueda libre. El motor puede estar constituido por uno o varios pistones pudiendo a su vez ser estos iguales o distintos en un mismo motor. También un pistón puede estar conectado a una o más ruedas libres pudiendo ser éstas iguales o diferentes para un mismo motor.

Los pistones pueden ser de simple o de doble efecto y de diferentes diámetros y recorridos para un mismo motor. Uno de los tantos tipos de motor sería un cilindro de gran longitud para su diámetro, un pistón conectado a un eje de tal forma que cuando le inyectamos un gas a presión este empuja el pistón el cual está unido a una cadena hace girar una rueda libre. Tiene dos válvulas, una para permitir entrar el gas desde un tanque presurizado y otra que deja escapar el aire. Un resorte permite el retorno del pistón a su posición inicial.⁵

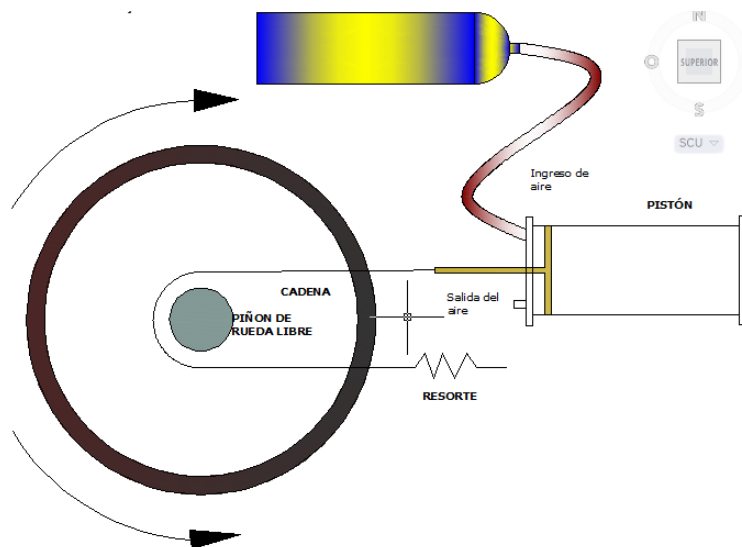


Fig.6: Esquema del motor de aire del ingeniero Armando Regusci.

⁵ Regusci, Armando. 2011. "Regusci Air". <http://www.regusciair.com/>

d.3.2. EngineAir Research & Development (Motor Rotatorio de Aire)

El concepto del motor Di Pietro se basa en un pistón giratorio. A diferencia de los motores rotativos existentes, el motor Di Pietro utiliza un pistón sencillo cilíndrico giratorio (eje conductor) que se enrolla, y sin ningún tipo de fricción, en el interior del estator cilíndrico. El espacio entre el estator y el conductor del eje se divide en 6 cámaras de expansión pivotando divisores. Estos divisores deben seguir el movimiento del eje accionador a medida que rueda alrededor de la pared del estator. El motor mostrado es efectivamente un motor de expansión de 6 cilindros.

El controlador de eje cilíndrico, forzado por la presión del aire en su pared exterior, se mueve excéntricamente, de ese modo debe conducir el eje del motor por medio de dos elementos de rodadura montados sobre cojinetes en el eje. El movimiento de balanceo del controlador de eje dentro del estator está amortiguado por una película delgada de aire. Momento y la duración de la entrada de aire y de escape se rige por un temporizador ranurado que está montado en el eje de salida y gira a la misma velocidad que el motor.

Variación de los parámetros de rendimiento del motor se consigue fácilmente variando el tiempo durante el cual se permite que el aire entre en la cámara: Un periodo de entrada de aire más largo permite que más aire fluya dentro de la cámara y por lo tanto resulta en más par motor. Un periodo más corto de entrada limitará el suministro de aire y permite que el aire en la cámara para realizar el trabajo de expansión a una eficiencia mucho más alta. En esta forma de aire comprimido (energía) el consumo puede ser cambiado por mayor par y potencia de salida en función de los requisitos de la aplicación.

La velocidad del motor y el par motor son simplemente controlados por estrangulación el volumen o presión de aire en el motor. El motor Di Pietro da par motor instantáneo en cero RPM y puede ser controlada con precisión para dar arranque suave y control de la aceleración.⁶

⁶ Engine Air. 2010. "The solution a pollution". <http://www.engineair.com.au/>

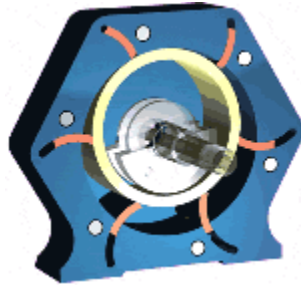


Fig.7: Esquema del motor de aire del ingeniero Angelo di Pietro

d.3.3. MDI

MDI (Moteur Developpment International) es una empresa creada en 1991 por el ingeniero francés **Guy Nègre**, quien antes había trabajado en la fabricación de motores en la industria aeronáutica y Fórmula 1. El proyecto de realizar un motor de aire comprimido viable surge en 1992, pero hasta 1998 no se realiza el primer prototipo.

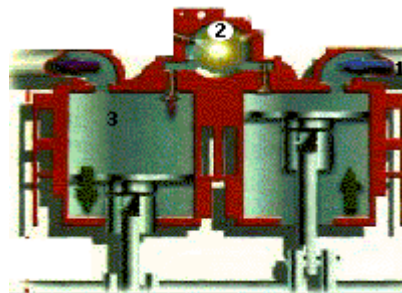


Fig.8: Funcionamiento del motor de aire de Nègre.

El primer pistón aspira aire del exterior y lo comprime hasta alcanzar una elevada temperatura. El aire a elevada presión y temperatura pasa a una cámara esférica, en la figura con el número 2. En esta cámara es inyectado aire a presión con una temperatura ambiental procedente de cuatro bombonas que limitan la autonomía del vehículo, haciendo aumentar la presión del volumen del aire y descender al pistón que entregará la energía al vehículo.

Las bombonas de aire a presión almacenan 90 metros cúbicos de aire a una presión de 300 bares. El aire que sale por el escape es mucho más puro que el entrante puesto que éste ha sido filtrado antes de su uso en el motor. Incluso el sistema de climatización aprovecha el aire frío expandido. El mantenimiento de este motor es reducido, como referencia diremos que el aceite se cambia cada 50.000 Km debido a la ausencia de combustión o explosión en el cilindro.

La transformación de la energía se realiza en tres fases o ciclos. Estas fases se pueden definir como:

Fase de Compresión.

En un cilindro se comprime el aire, obtenido del exterior, a unos 20 bares. Esta compresión hace la temperatura del aire se eleva a unos 400 °C.

Fase de Inyección.

En el momento que se detiene el pistón en su fase de compresión, el aire queda comprimido a un volumen constante y a una temperatura elevada como ya hemos descrito en la Fase de Compresión. A ese volumen de aire comprimido se le inyecta una cantidad de aire comprimido que procede de cuatro bombonas situadas en el vehículo, a una temperatura ambiental.

Fase de Expansión.

Al inyectarse esta cantidad de aire comprimido a temperatura ambiente, se genera un aumento de presión en el volumen del aire comprimido en el cilindro, lo que provoca el empuje del pistón y consigo el accionamiento del motor.

Con todo esto, el rendimiento esperable (energía entregada/energía gastada) es similar a la de un motor de combustión interna normal (que también es muy ineficiente).

El depósito de aire comprimido es un simple, económico y pesado acumulador de energía. Lo componen cuatro bombonas que tienen una capacidad total de 300 litros, donde se pueden almacenar hasta 100kg de aire (unos 90.000 litros de aire medidos en condiciones ambientales), a una presión de 300 bares. En estas condiciones MDI declara una autonomía en torno a 200 km en ciclo urbano, que es la orientación básica de un vehículo dotado con este motor. ⁷

⁷ Veríssimo, Juan Carlos. 2000. “Motor de aire MDI”. <http://www.km77.com/tecnica/alternativas/aire/t02.asp>

D.4. CAPÍTULO IV: DINÁMICA EN BICICLETA

d.4.1. Leyes de Newton

- **1ª Ley (Ley de inercia):** Todo cuerpo permanece en estado de reposo, o en movimiento uniforme y rectilíneo, a no ser que se aplique una fuerza resultante sobre él.
- **2ª Ley (Ley de fuerza):** El cambio de movimiento de un cuerpo es proporcional a la fuerza aplicada, en la dirección y sentido de la misma. La constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo (La conocida expresión de $F = m \cdot a$)
- **3ª Ley (Ley de acción y reacción):** Si un cuerpo A ejerce una acción sobre otro cuerpo B, éste realiza sobre A otra acción igual y de sentido contrario (Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria).

d.4.2. Masa

La masa es la medida de la “inercia” que se opone al cambio de estado de movimiento.

$$F = m \cdot a \quad (4.1)$$

La unidad de fuerza en el Sistema Internacional es el Newton y se representa por “N”.

Un Newton es la fuerza que hay que ejercer sobre un cuerpo de un kilogramo de masa para que adquiera una aceleración de 1 m/s^2 ($1 \text{ N} = 1 \text{ Kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$)

La ecuación de la variación de la velocidad en un movimiento de traslación en el que existe una aceleración:

$$v = v_0 + a \cdot t \quad (4.2)$$

d.4.3. Energía

La energía es una abstracción matemática de los físicos, se debe entender como la “capacidad” de realizar un trabajo o bien de transformar, de alguna manera, el entorno o el propio sistema físico en cuestión.

En mecánica clásica, que es la física que nos interesa para entender nuestro sistema “bicicleta-ciclista”, el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo equivale a la energía necesaria para desplazar ese cuerpo. Es decir, trabajo y energía son “equivalentes”, se miden en las mismas unidades, y podemos entender la energía (en nuestro caso) como “la

capacidad de realizar un trabajo”. El **trabajo** por lo tanto es una magnitud física escalar que se representa con la letra W y se expresa en unidades de energía, es decir, en Julios: El trabajo (W) que realiza una fuerza (F) sobre un cuerpo en un desplazamiento (d) es:

$$W = F \cdot d \cdot \cos(\alpha) \quad (4.3)$$

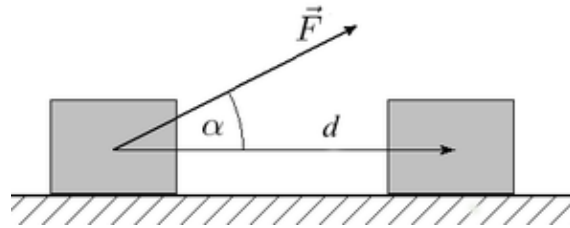


Fig.9: Muestra gráfica del trabajo (W).

Donde α es ángulo que forma la dirección de la fuerza aplicada respecto a la dirección del desplazamiento.

El **Julio** (J) se define como el trabajo realizado por una fuerza constante de un Newton en un desplazamiento de un metro en la misma dirección de la fuerza ($\cos(0)=1$)

Potencia es el trabajo realizado por unidad de tiempo, y por lo tanto se mide en Julios/segundo, su unidad es el **Vatio** (W).

d.4.3.1.Energía cinética

La energía cinética que tiene un determinado cuerpo de masa “m” por estar moviéndose a una determinada velocidad “v”, viene dada por la expresión:

$$Ec = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (4.4)$$

d.4.3.1.2.Energía potencial

Es aquella que tiene una masa “m” por estar situada a cierta altura (h) sobre la superficie terrestre (en la cual la aceleración de la fuerza de la gravedad es, aproximadamente, 9,8 m/s²)

$$Ep = m \cdot g \cdot h \quad (4.5)$$

Cuando anteriormente exponíamos la 2ª Ley de Newton lo hacíamos en el marco de la dinámica de traslación. Existe otra dinámica análoga que es la de rotación. En esta

dinámica las fuerzas se “transforman” en momentos (M) al multiplicarlas por la distancia (r) al eje de giro, produciendo una aceleración angular a un objeto de un determinado momento de inercia “I”:

$$M = F \cdot r = I \cdot \alpha \quad (4.6)$$

El momento de inercia de un cuerpo en la dinámica de rotación es el equivalente a la masa en la dinámica de traslación: Es la medida de la resistencia (inercia) a cambiar su estado de movimiento (en rotación). Depende de la distribución de su masa respecto al eje de giro, así por ejemplo el momento de inercia de un aro “ideal” (rueda sin radios) de radio “R” y masa “M” respecto a un eje que pase perpendicular por el centro del mismo es:

$$I = M \cdot R^2 \quad (4.7)$$

Por lo tanto, de forma análoga, la energía cinética de un cuerpo en rotación a una determinada velocidad angular (ω) es:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (4.8)$$

En el marco de la física (mecánica) de una bicicleta tenemos movimiento de traslación y también de rotación en las ruedas. Las magnitudes físicas de velocidad y aceleración, lineal y angular, están ligadas, ya que suponemos que la bicicleta se desplaza con las ruedas sin deslizar, y por lo tanto, para una rueda de radio “R”:

$$\omega = \frac{v}{R} \quad (4.9)$$

Con el breve repaso anterior se ha pretendido refrescar los conceptos básicos de fuerza, trabajo, energía y potencia. Así como el momento de una fuerza respecto a un eje de giro y el momento de inercia de un cuerpo.

Estamos interesados en entender cuál es el modelo energético, no de cuantificar, por ejemplo, los vatios exactos que perdemos por la fuerza de resistencia debida al rozamiento de rodadura, pero sí de compararlos, en “orden de magnitud” con los que nos “roba” el rozamiento con el aire. Y en su caso atacar las variables que podemos modificar para obtener un sistema más eficiente.

Las 3 fuerzas fundamentales que tenemos que vencer con nuestros vatios son:

- **Potencia para vencer la resistencia aerodinámica (~ 60-85%) (Fra)**
- **Potencia para vencer la resistencia a la rodadura (~ 20-35%) (Frr)**
- **Potencia para superar la fuerza de la gravedad en subidas (hasta el 90%) (Fp)**

Empecemos entonces por analizar un poco más en detalle la potencia (energía) necesaria para vencer la resistencia aerodinámica. En terreno llano veremos que esta fuerza es la más importante, absolutamente, y tiene una contribución aproximada del 60-85% del total en función de la velocidad. Veremos cómo:

d.4.4.Fuerza de resistencia aerodinámica (Fra)

Se modeliza según la siguiente fórmula:

$$Fra = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \quad (4.10)$$

“ C_d ” es el coeficiente de resistencia aerodinámica: Distintas formas y volúmenes se comportan de manera diferente al avanzar en un fluido como es el aire, siendo mayor o menor la resistencia que oponen en este desplazamiento.

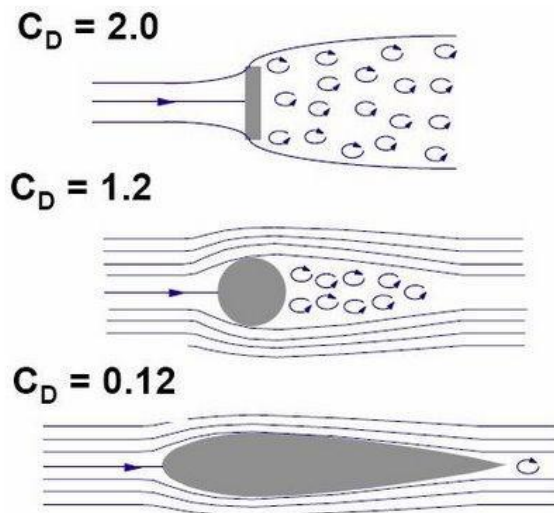


Fig.10: Ejemplos de diferentes formas para el valor de C_d

“ A ” es la superficie frontal que presenta el sistema bicicleta-ciclista perpendicular a la dirección de avance, y podemos considerar un valor típico de 0.4 m^2 , y éste es el otro

parámetro fundamental sobre el que podemos actuar para bajar la fuerza de resistencia aerodinámica (haciéndonos más “pequeñitos” sobre la bici)

“ ρ ” es la densidad del aire, que aún siendo un fluido muy poco denso lo es suficientemente para ser prácticamente el único impedimento para que no podamos alcanzar velocidades estratosféricas sobre una bicicleta.. Pero en cualquier caso es una variable no controlable, que se mueve en valores acotados, y que podemos considerar de valor “estándar” igual a 1.2 kg/m^3

“ v ” es la velocidad relativa del aire respecto al ciclista. Si no existe viento en contra entonces la velocidad del ciclista (V_c) es esta “ v ”, y en caso de que exista viento en contra (V_v) hay que sumar ambas velocidades para obtener esta v ($v=V_c+V_v$) (o restar si el viento es a favor).

d.4.5.Fuerza de rozamiento de rodadura

La fuerza de rozamiento por rodadura (ruedas-suelo) es más fácil de calcular (en su caso estimar), aunque también depende de algún parámetro sobre el cual podemos actuar, para reducirla en la medida de lo posible.

La fuerza de rozamiento viene dada por el producto del coeficiente de rozamiento de rodadura (μ) y la normal del peso, (N), que es la componente del peso perpendicular al movimiento:

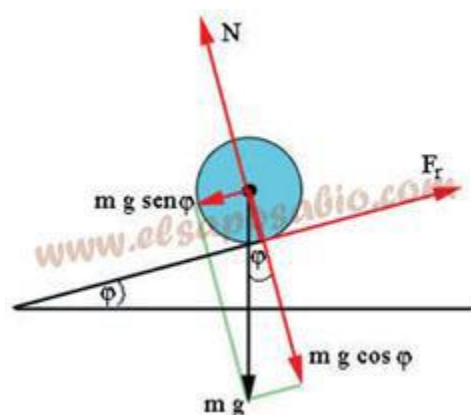


Fig.11: Demostración gráfica de la fuerza de rozamiento de rodadura

$$F_{rr} = \mu \cdot N = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (4.11)$$

“ μ_{rr} ” es el coeficiente de rozamiento de rodadura.

“ α ” es el ángulo que forma la carretera con la horizontal. Se obtiene sencillamente de la pendiente de la carretera (el desnivel habitual que con el símbolo -%- con el que medimos las pendientes) y es igual al arcotangente (% / 100):

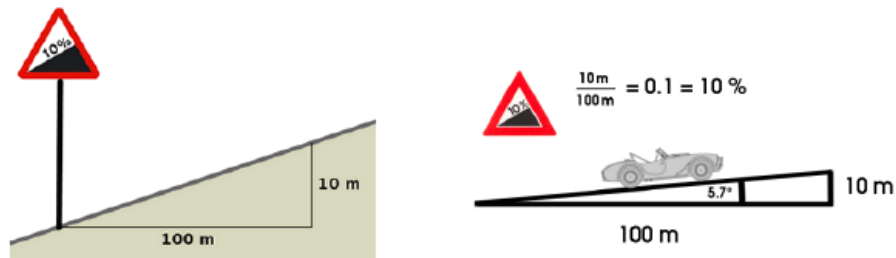


Fig.12: Demostración gráfica del ángulo que forma la carretera con la horizontal

Para valores pequeños de pendiente (hasta 10%) el coseno de este ángulo es prácticamente “1” por lo que la componente normal del peso es prácticamente el peso, y por lo tanto incluso podemos despreciar este ángulo en cuanto al cálculo de la Normal se refiere.

Para una pendiente del 10% (ángulo de 5,7): $\cos(5,7) = 0,995$

Algunos apuntes sobre el rozamiento por rodadura: El rozamiento por rodadura se produce cuando dos sólidos en contacto ruedan el uno sobre otro. En una situación ideal de dos sólidos perfectamente indeformables, la rodadura no tendría rozamiento alguno, ya que el contacto se produciría en un solo punto, para el cual la velocidad es nula (la velocidad neta es cero ya que para el punto en contacto con el suelo se anula la velocidad de traslación con la componente tangencial de la velocidad correspondiente a la rotación de la rueda –del mismo valor y sentido opuesto-).



Fig.13: Demostración gráfica de los movimientos de rotación y traslación en una rueda

d.4.6.Fuerza de la componente tangencial del peso

Cuando un cuerpo se desplaza por un plano inclinado la fuerza del peso ya no es perpendicular a la dirección de movimiento, y por lo tanto se descompone en dos vectores, uno perpendicular al movimiento, “Py” en la figura, que es igual a la fuerza normal que el suelo realiza para “sustentar” el cuerpo sobre la superficie, y que corresponde a la fórmula expresada antes de $P \cdot \cos(\alpha)$, y en la que ya comentábamos que para ángulos pequeños de pendiente (<10%) es prácticamente igual en módulo al propio peso. Y la otra componente es “Px”, esa fuerza que tira de nosotros hacía abajo en los puertos y pendientes, y que veremos que es la protagonista de las 3 fuerzas vistas hasta ahora cuando subimos pendientes.⁸

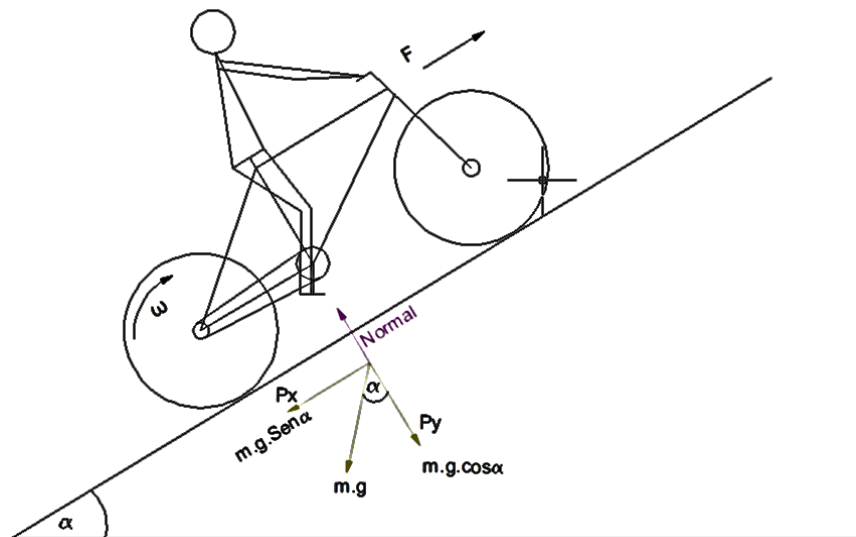


Fig.14: Demostración gráfica de la fuerza de la componente tangencial del peso

$$F_p = m \cdot g \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (4.12)$$

d.4.7.Fuerza de rozamiento mecánico

Esta resistencia es la que se produce por el contacto entre las partes mecánicas cuando la bicicleta esta en movimiento como son los rulimanes, cadena, etc, las cuáles absorven una parte de potencia en forma de rozamiento.

⁸ @edecast. 2013. “Física y Bicicleta: Fuerza, energía, trabajo, potencia...: 4 conceptos básicos”. <http://edecast.blogspot.com/2013/08/fisica-y-bicicleta-fuerza-energia.html>

$$f_r = \mu \cdot N = \mu_e \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (4.13)$$

Donde:

μ_e : es el coeficiente de rozamiento estático o cinético tomado de tabla para el acero-acero tiene un valor de 0,15

N : es la fuerza normal del sistema la cual en una pendiente se la calcula por medio de:

$$N = m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (4.14)$$

m : masa del cuerpo en Kg

g : la fuerza de gravedad la cual tiene un valor de $9,8 \text{ m/s}^2$

α : es el ángulo que forma la carretera con la horizontal

d.4.8. Traslación y rotación combinadas

Si un cuerpo rígido se mueve en el espacio al tiempo que gira, su movimiento puede considerarse como la conjunción de un movimiento traslacional del centro de masa y un movimiento rotacional en torno a un eje que pasa por el centro de masa. De esta manera, la energía cinética es la suma de una energía cinética traslacional y una rotacional. En dinámica la segunda ley de Newton describe el movimiento del centro de masa y el equivalente rotacional de esa ley describe la rotación en torno al centro de masa. En el caso de un cuerpo que rueda sin resbalar, existe una relación especial entre el movimiento del centro de masa y el movimiento rotacional.

d.4.8.1. Torque

El análogo rotacional de la segunda ley de Newton dice que el torque neto que actúa sobre un cuerpo es igual al producto del momento de inercia del cuerpo y su aceleración angular.

$$\sum \tau = I\alpha \quad (4.15)$$

d.4.8.2. Relaciones de energía

La energía cinética de un cuerpo rígido con movimiento tanto traslacional como rotacional está dada por la suma de una parte asociada al movimiento del centro de masa y una parte asociada a la rotación alrededor de un eje que pasa por el centro de masa:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (4.16)$$

d.4.8.2. Rodamiento sin deslizamiento.⁹

$$V_{cm} = R\omega \quad (4.17)$$

$$k = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (4.18)$$

D.5. CAPÍTULO IV: ACTUADORES LINEALES

Los cilindros neumáticos independientemente de su forma constructiva, representan los actuadores más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Existen dos tipos fundamentales de los cuales derivan construcciones especiales.

Cilindros de simple efecto, con una entrada de aire para producir una carrera de trabajo en un sentido.

Cilindros de doble efecto, con dos entradas de aire para producir carreras de trabajo de salida y retroceso. Más adelante se describen una gama variada de cilindros con sus correspondientes símbolos.

⁹ YOUNG, Freedman y SEARS, Zemansky. 2009. Física universitaria. vol. 1. Décimo segunda edición. Pearson Educación, México. p316-327.

d.5.1. Cilindros de simple efecto

Un cilindro de simple efecto desarrolla un trabajo sólo en un sentido. El émbolo se hace retornar por medio de un resorte interno o por algún otro medio externo como cargas, movimientos mecánicos, etc. Puede ser de tipo “normalmente dentro” o “normalmente fuera”.



Figura 15: Cilindro simple efecto “tradicional”, normalmente dentro.

d.5.2. Cilindros de doble efecto

Los cilindros de doble efecto son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas cámaras), por lo que estos componentes sí que pueden realizar trabajo en ambos sentidos.



Figura 16: Cilindro de doble efecto convencional.

d.5.3. Mecánica de un cilindro

El cilindro de émbolo se compone de: tubo, tapa posterior (fondo) y tapa anterior con cojinete y aro rascador, además de piezas de unión y juntas.

Cuando el cilindro ha de realizar trabajos pesados, el tubo (camisa del cilindro), se fabrica en la mayoría de los casos de tubo de acero embutido sin costura (St. 35). Para prolongar la duración de las juntas, la superficie interior del tubo debe someterse a un mecanizado de precisión (bruñido).

Hoy en día, donde la mayoría de las aplicaciones requieren esfuerzos débiles, se suelen construir en aluminio. Estas ejecuciones especiales se emplean cuando los cilindros no se accionan con frecuencia o para protegerlos de influencias corrosivas. También para la captación de finales de carrera magnéticamente.

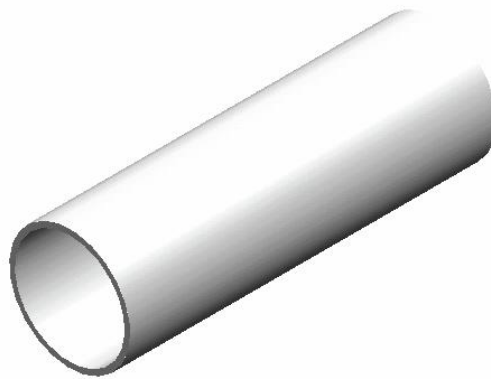


Figura 17: Camisa

La camisa marca dos parámetros fundamentales del cilindro. Por un lado, su diámetro interno marcará la sección que presenta el cilindro y por tanto, para una presión dada nos indicará la fuerza que este es capaz de realizar. Evidentemente, a mayor diámetro, mayor fuerza y consumo.

Por otro lado, la longitud del tubo delimita lo que se conoce como carrera del cilindro, o longitud útil para el trabajo con el mismo.

Tanto diámetros como carreras se encuentran normalizados.

Para las tapas posterior fondo y anterior se emplea preferentemente material de fundición (aluminio o acero en función del resto de materiales del cilindro). La fijación de ambas tapas en el tubo puede realizarse mediante tirantes, roscas o bridas.



Figura 18: Detalle de la culata posterior



Figura 19: Detalle de la culata anterior

El vástago se fabrica preferentemente de acero bonificado. Este acero contiene un determinado porcentaje de cromo que lo protege de la corrosión.

A deseo, el émbolo se puede someter a un tratamiento de temple. Su superficie se comprime en un proceso de rodado entre discos planos. En algunas ocasiones, sobre la simbología de los actuadores los fabricantes indican mediante una serie de símbolos tratamientos específicos aplicados a los vástagos.

La profundidad de asperezas del vástago es de 1 μm . En general, las roscas se laminan al objeto de prevenir el riesgo de roturas. En cilindros hidráulicos debe emplearse un vástago cromado (con cromo duro) o templado.

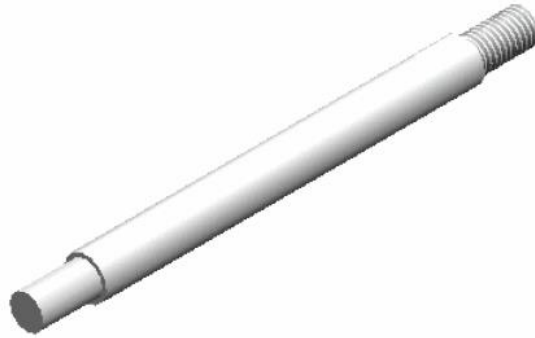


Figura 20: Vástago de un cilindro

El vástago acopla mecánicamente con el émbolo del cilindro, cerrando la unión mediante tuerca y juntas estáticas (para el sellado).

Sobre el émbolo se montaran las juntas dinámicas y el imán (si es un cilindro preparado para captación magnética de la posición).

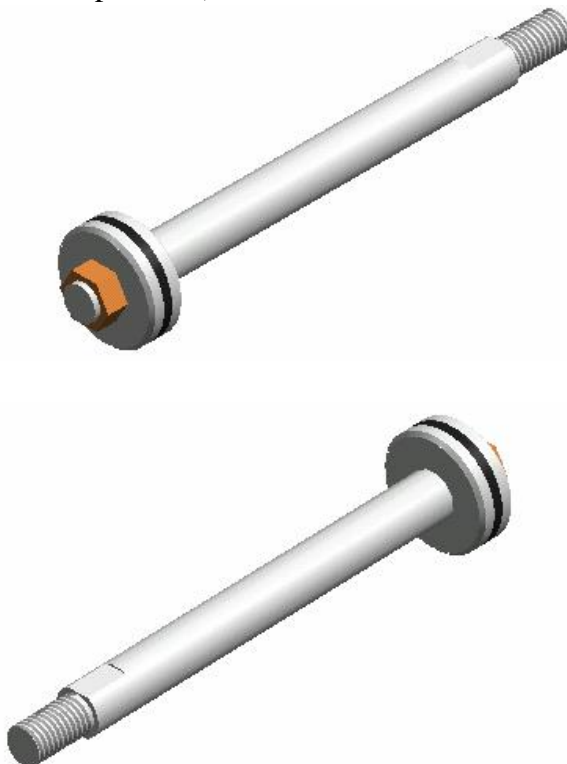


Figura 21: Detalle del conjunto pistón.

Para hermetizar el vástago, se monta en la tapa anterior un collarín obturador . De la guía de vástago se hace cargo un casquillo del cojinete, que puede ser de bronce sinterizado o un casquillo metálico con revestimiento de plástico. Delante del casquillo del cojinete, se encuentra un aro rascador.

Este impide que entren partículas de polvo y suciedad en el interior del cilindro. Por eso, no se necesita emplear un fuelle. Pertenece a los elementos estanqueizantes que componen el cilindro.

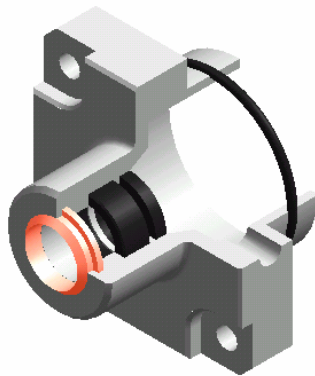


Figura 22: Detalle de rascador, casquillo guía, obturador y tórica de cierre.

El junta dinámica, hermetiza las cámaras del cilindro para un óptimo rendimiento. Las juntas tóricas o anillos toroidales, se emplean para la obturación estática, porque deben pretensarse, y esto causa pérdidas elevadas por fricción en aplicaciones dinámicas.

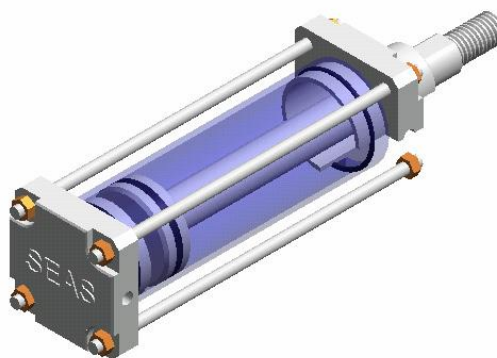


Figura 23: Detalle de cilindro (doble efecto I).

d.5.4.Cálculos de cilindros

Analizaremos brevemente los principales aspectos a tener en cuenta a la hora de calcular un cilindro. No obstante, lo más recomendable es acudir siempre a los datos aportados por el fabricante donde se nos mostraran tablas para los esfuerzos desarrollados, máximas longitudes de flexión y pandeo, etc.

d.5.4.1.Fuerza del émbolo

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende principalmente de la presión del aire, del diámetro del cilindro y del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica del émbolo se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{teórica} = P \cdot A \quad (5.1)$$

$$F_{teórica} = \frac{F}{\lambda\mu} = P \cdot A \quad (5.2)$$

Donde:

$F_{teórica}$: Fuerza teórica del vástago en Kgf.

P: Presión relativa en Kg / cm²

A: Superficie del émbolo en cm²

λ : Factor de carga, 0.7 para aceleraciones normales y 0.4 – 0.5 para aceleraciones grandes

μ : Rendimiento interno del cilindro por rozamiento de las juntas. Entre 0.8 y 0.9

En la práctica, es necesario conocer la fuerza real que ejercen los actuadores.

Para determinarla, también hay que tener en cuenta los rozamientos. En condiciones normales de servicio (presiones de 400 a 800 kPa. / 4 a 8 bar) se puede suponer que las fuerzas de rozamiento representan de un 3 a un 20% de la fuerza calculada.

d.5.4.2. Longitud de carrera

La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe exceder de 2000 mm. Con émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire y precio de los actuadores.

Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía, es demasiado grande. Para evitar el riesgo de pandeo, si las carreras son grandes, deben adoptarse vástagos de diámetro superior a lo normal. Además, al prolongar la carrera, la distancia entre cojinetes aumenta y, con ello, mejora la guía del vástago. Otra solución la aportan los cilindros de vástago guiado, mucho más resistentes a los esfuerzos mecánicos.

d.5.4.3. Velocidad del émbolo

La velocidad del émbolo, en cilindros neumáticos depende de la fuerza antagonista, de la presión del aire, de la longitud de la tubería, de la sección entre los elementos de mando y trabajo y del caudal que circula por el elemento de mando. Además, influye en la velocidad la amortiguación de final de carrera. Cuando el émbolo abandona la zona de amortiguación, el aire entra por una válvula anti retorno y de estrangulación y produce un aumento de la velocidad.

La velocidad media del émbolo, en cilindros estándar, está comprendida entre 0,1 y 1,5 m/s. Con cilindros especiales (cilindros de impacto) se alcanzan velocidades de hasta 10 m/s.

La velocidad del émbolo puede regularse con válvulas especiales. Las válvulas de estrangulación, las anti retorno y de estrangulación, y las de escape rápido, proporcionan velocidades mayores o menores, dependiendo de su regulación.

d.5.4.4. Consumo de aire

Para disponer de aire y conocer el gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación, cálculo que comenzará por los actuadores (potencia). Para una presión de trabajo, un diámetro y una carrera de émbolo determinado, el consumo de aire se calcula como sigue:

La fórmula de cálculo por embolada, resulta:

$$Q = \text{Rel. de compresion} \times A_{\text{piston}} \times n \times S \quad (5.3)$$

Con ayuda de tablas, se puede establecer los datos del consumo de aire de una manera más sencilla y rápida. Los valores están expresados por cm de carrera para los diámetros más corrientes de cilindros y para presiones de 100 a 1500 kPa. (1-15 bar).¹⁰

Donde:

Q: Caudal nominal (l / min)

S: Carrera en cm.

n: Carreras por minuto que consume por carrera.

Rel. compresión: La relación de compresión referida al nivel del mar está dada por:

$$\text{Rel. de compresión} = \frac{0,987+p(\text{bar})}{0,987} \quad (5.4)$$

d.5.4.6. Cálculo del vástago

El vástago de un cilindro neumático trabaja siempre a tracción, a compresión o a pandeo. Dada la forma constructiva de los mismos, no es conveniente que existan esfuerzos radiales que produzcan flexión. Si estos esfuerzos existen, han de ser de magnitud moderada ya que el cojinete y la junta de la tapa delantera puede deteriorarse prematuramente. El caso más desfavorable para el vástago se presenta cuando las carreras son elevadas, trabajan a compresión y, además, el anclaje es por articulación trasera. La compresión de elementos mecánicos esbeltos se denomina pandeo, ya que se produce una flexión lateral que hace que dichos elementos soporten cargas inferiores a las que soportarían si estuvieran expuestos a compresión pura. Cuando los cilindros son de carrera corta, o bien cuando trabaja el vástago a tracción, pueden calcularse como elementos sometidos a tracción o compresión simple. Así pues, para este caso:

$$\sigma_{adm} = \frac{4F}{\pi d^2} \quad (5.5)$$

Siendo:

σ_{adm} = tensión admisible a tracción o compresión simple, siendo:

¹⁰ Bernal, Victor Hugo. “Guía Neumática”.
<http://automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/GUIA%20NEUMATICA%205.pdf>

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_R}{C_{S1}} = \frac{\sigma_F}{C_{S2}} \quad (5.6)$$

σ_R , σ_F : tensión de rotura y de fluencia del material respectivamente.

C_{S1} , C_{S2} : coeficientes de seguridad para la rotura y la fluencia.

F: fuerza axial sobre el vástago.

d: diámetro del vástago

Para el cálculo del vástago a pandeo se emplearán las fórmulas de Euler. En el caso de los cilindros estas expresiones pueden quedar reducidas a dos: la referida a elementos esbeltos empotrados en un extremo y libres en otro, y la referida a elementos articulados en ambos extremos.

En la práctica, se ha demostrado que la fijación más desfavorable de entre los dos casos expuestos corresponde a los elementos articulados en ambos extremos. Para ellos, la fórmula de Euler toma la siguiente forma:

$$F_P = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2 \cdot C_S} \quad (5.7)$$

Donde:

F_P : es la carga axial permitida sobre el vástago.

E: es el módulo de elasticidad del material. Para el acero vale $2,1 \times 10^6$ Kg/cm²

L_p : es la longitud de pandeo

C_S : es el coeficiente de seguridad en el cálculo. Suele tomarse entre 2 y 4.

I: es el momento de inercia de la sección del vástago. Para una sección circular vale:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (5.8)$$

d.5.4.7. Cálculo de la camisa

La camisa de un cilindro puede calcularse como un cilindro de pared delgada, cerrado herméticamente y sometido a una presión interior. Aunque la pared de dicha camisa está sometida a un estado biaxial de tensiones, fig. a bastará con considerar la fuerza F_y que tiende a romper el cilindro, como se ve en la fig. b. Así pues la tensión admisible en el material de la camisa será:

$$\sigma_{adm} = \frac{P.D}{2.e} \quad (5.9)$$

Donde:

σ_{adm} : es la tensión admisible en el material

p : es la presión interior en el cilindro

d : es el diámetro interior de la camisa

e : es el espesor de la pared de la camisa

En cuanto a las tensiones de resistencia del material, si se poseen datos de ambas (rotura y fluencia), es más aconsejable utilizar la de fluencia con su correspondiente coeficiente de seguridad.

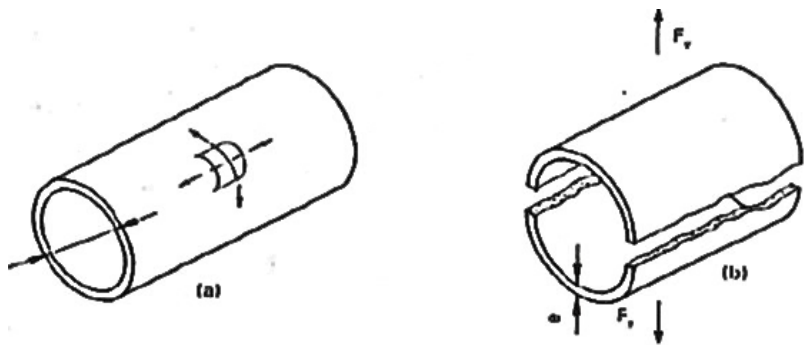


Fig 24: Estado tensional y rotura de un cilindro

d.5.4.8. Cálculo de los tirantes

Los cilindros neumáticos se construyen con tapas roscadas a la camisa, o con tapas unidas mediante tirantes roscados en sus extremos y sujetos por tuerca, según se muestra en la siguiente figura:

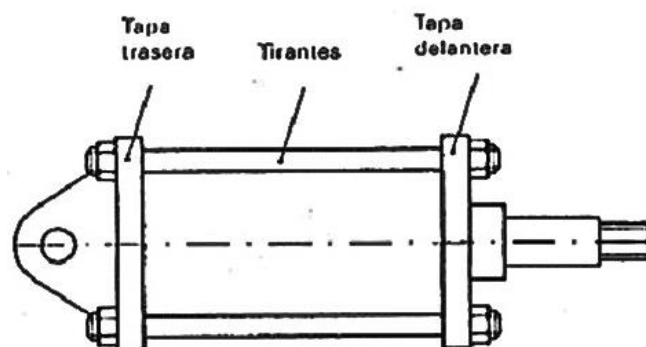


Fig 25: Cilindro neumático con tirantes

Suelen montarse 4 tirantes de sección circular. Dichos tirantes trabajan a tracción y están sometidos, en el caso más desfavorable, a la máxima fuerza de empuje que puede realizar el cilindro. Para el cálculo a tracción debe considerarse la sección mínima del tirante que es la sección correspondiente al fondo de la rosca de los extremos.

Los tirantes serán calculados de la siguiente forma:

$$\sigma_{adm} = \frac{4.F_a}{\pi.z.d_n^2} \quad (5.10)$$

Siendo:

σ_{adm} : es la tensión admisible en el material.

F_a : fuerza de avance del cilindro.

z : N° de tirantes del cilindro.

d_n : diámetro del núcleo de rosca o fondo de rosca.

La tensión admisible será la de rotura o fluencia dividida por el coeficiente de seguridad correspondiente.¹¹

d.5.5. Cálculo del depósito

El depósito se encarga de contener la cantidad de aire comprimido necesario para que el motor funcione, supone un gran avance trabajar con herramientas de aire comprimido móviles, es decir no ancladas en un sitio sino que se puedan usar sin depender de un depósito fijo, por ello los depósitos pueden acoplarse al coche y ser transportados por este.

El factor más importante del que depende el depósito es el consumo de aire que tiene el motor, para saber así la cantidad de aire que será necesario almacenar teniendo en cuenta también la autonomía de la que queramos que disponga el coche.

La necesidad de almacenar un volumen a una presión elevada nos va hacer recurrir a materiales de alta resistencia pero que a la vez no sean demasiado pesados, investigando sobre tema de depósitos para contener gases de alta presión se llegó a la conclusión que

¹¹ SERRANO, Nicolás A. 2009. “Neumática Práctica”. <http://booklens.com/antonio-serrano-nicol%C3%A1s/neum%C3%A1tica-pr%C3%A1ctica>

el mejor sistema en cuanto a la forma del depósito es el cilíndrico con los extremos redondeados, como las bombonas de aire clásicas, esto es debido a que este diseño tiene menor superficie respecto a su volumen con lo que se usa menos material y la presión esta homogéneamente distribuida sobre las paredes con lo que sufre menos esfuerzos, Nos proponemos a definir el sistema de almacenamiento del aire sabiendo que los depósitos deben tener forma cilíndrica, con ello realizamos los cálculos pertinentes para concretar el número y la mejor disposición de las bombonas, su colocación depende del diseño en cuanto a la forma del coche.

Pero el cálculo de los depósitos no acaba solamente en el tamaño y disposición de los mismos, es todavía más importante concretar el material del que están hechas las bombonas y que debe resistir la presión y ser lo suficientemente liviano para no añadir un excesivo peso a la bicicleta¹²

¹² Gorrindo Oses, Ismael. 2010. “Adaptación de un motor neumático a un coche de golf”. Universidad Pública de Navarra. <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2155/577236.pdf?sequence=1>

E.- MATERIALES Y MÉTODOS

e.1 Materiales

- Acero F-114 de 7/8"
- Tanques de Al de presión de 300 Psi
- Tubo de acero sin costura de 3" de diámetro
- Acero de transmisión 3/8"
- Acero negro de 8 mm de espesor
- Manguera de presión R1 de 1/4"
- Conexiones y adaptadores de bronce

e.1.1. Instrumentos

- Manómetro
- Regulador de presión
- Válvulas de bola de 1/4 de pulgada

e.1.2. Equipos

- Computadora
- Impresora
- Cartuchos de tinta
- Papel de impresión
- Memoria USB
- Calculadora
- Cámara fotográfica

e.1.2.1. Técnicos

- Internet
- Libros
- Catálogos
- Manuales

e.1.2.2. Tecnológicos

- Microsoft Office
- Microsoft Excel
- Software Auto CAD
- Software Mathcad 14 PTC
- Microsoft PowerPoint

e.2 Métodos

e.2.1. Criterio técnico para el diseño del motor de aire para la automoción de la bicicleta

e.2.1.1. Información básica

Antes de decidir el tipo de motor y su diseño, se inició primero buscando información acerca de motores de aire comprimido, encontrando que existen varios tipos de motores. Durante la investigación bibliográfica y la navegación por Internet, se ha encontrado una limitada información respecto a los motores de aire comprimido por lo que se decidió regirse a criterios técnicos de ingeniería.

e.2.1.2. Consideraciones importantes

Considerando las características del presente proyecto, se ha decidido construir un motor de aire en acero y aluminio. El motor de aire, se lo presentara en los patios de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, para su manipulación y ubicación en un lugar adecuado.

De acuerdo a las investigaciones realizadas los motores de aire deben ser:

El diseño debe ser simple tanto para la construcción como para la operación y mantenimiento.

Para el diseño se tendrá en cuenta:

Todos los elementos que actúan en la construcción del motor de aire.

La selección de los materiales de construcción tiene una gran importancia y por lo tanto se debe satisfacer con aspectos tales como:

Resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico.

Resistencia al ataque químico.

Disponibilidad local.

Emplear un tipo de material resistente a la corrosión y oxidación con propiedades de aislamiento efectivas. Muchas de las veces estos problemas son originados por la naturaleza del mismo material utilizado como materia prima.

Compatibilidad ambiental.

e.2.2. Determinación del tipo de motor a diseñar.

Las experiencias bibliográficas investigadas, permitieron establecer que el tipo más conveniente de motor a diseñar es el tipo de pistón y rueda libre, estos motores son aquellos en los que la fuerza para poder mover una bicicleta la produce un pistón neumático que a su vez tira de la cadena en la bicicleta y el embolo regresa a su posición inicial por medio de un resorte.

e.2.3. Parámetros de trabajo del proceso de experimentación

Para el presente proyecto se ha decidido tomar como base bibliográfica el motor de pistón y rueda libre el cual fue diseñado por el uruguayo Armando Regusci para encontrar nuevas tecnologías que eviten el uso de combustibles derivados del petróleo que provocan mucha contaminación al medio ambiente como lo es la gasolina o el diésel en la automoción.

E.2.4. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR DE AIRE COMPRIMIDO

e.2.4.1. Cálculo de fuerzas que actúan en una bicicleta

Para el cálculo de la fuerza de tracción para desplazar la bicicleta está en función a las fuerzas que se oponen al movimiento. Estas fuerzas son:

- la resistencia aerodinámica
- la resistencia a la rodadura
- La resistencia debida a las pendientes
- La resistencia por rozamientos mecánicos

La masa total del sistema es:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{ciclista}}: 150 \text{ kg} & & m = m_{\text{ciclista}} + m_{\text{bici}} + m_{\text{tanques}} + m_{\text{aire}} + m_{\text{cilindro}} \\
 m_{\text{bici}}: 20.8 \text{ kg} & & m = 150 + 20,8 + (2 \times 14,3) + (6 \times 2) + 10 \\
 m_{\text{tanques}}: 14.3 \text{ kg} & & \\
 m_{\text{aire}}: 6 \text{ kg} & & m = 221.4 \text{ Kg} \\
 m_{\text{cilindro}}: 10 \text{ kg} & &
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$F_t = F_{tp} + F_{ra} + F_{rr} + fr$$

e.2.4.1.1. Resistencia aerodinámica.

$$\begin{aligned}
 C_d: 0.9 & & F_{ra} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \\
 A: 0.4 \text{ m}^2 & & \\
 \rho: 1.2 \text{ Kg/m}^3 & & F_{ra} = \frac{1}{2} \times 0,9 \times 0,4 \times 1,2 \times 8,33^2 \\
 v: 8.33 \text{ m/s} & & \\
 & & F_{ra} = 15 \text{ N}
 \end{aligned}$$

e.2.4.1.2. Resistencia a la rodadura

$$\begin{aligned}
 \mu_{rr}: 0,035 & & F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \text{Cos}(\alpha) \\
 \%: 30 & & \\
 \alpha: \arctg (\% / 100) & & F_{rr} = 0,035 \times 221,4 \times 9,8 \times \text{cos}(16,7) \\
 \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{30}{100} \right) = 16,7 & & F_{rr} = 72,74 \text{ N}
 \end{aligned}$$

e.2.4.1.3. Resistencia de la fuerza de gravedad en subidas

$$F_{tp} = m \cdot g \cdot \text{Sen}(\alpha)$$

$$F_{tp} = 221,4 \times 9,8 \times \text{Sen}(16,7)$$

$$F_{tp} = 623,5 \text{ N}$$

e.2.4.1.4. Resistencia por rozamientos mecánicos

$\mu_e(\text{acero-acero}): 0,15$

$$fr = \mu_e \cdot N = \mu_e \cdot m \cdot g \cdot \text{Cos}(\alpha)$$

$$fr = 0,15 \times 221,4 \times 9,8 \times \text{Cos}(16,7)$$

$$fr = 311,73 \text{ N}$$

Ahora se reemplaza los valores en:

$$F_t = F_{tp} + F_{ra} + F_{rr} + fr$$

$$F_t = 623,5 + 15 + 72,74 + 311,73$$

$$F_t = 1023 \text{ N}$$

Con el resultado de la fuerza que el motor tendrá que ejercer para mover la bicicleta se calcula el torque necesario para el desplazamiento de la misma:

DATOS

Drueda: 60 cm

$$\tau = F_t \cdot R_{rueda}$$

$$\tau = 1023 \times 0,3$$

$$\tau = 306,9 \text{ Nm}$$

La potencia viene en función del torque τ y su velocidad angular ω y su valor obtenido es:

$$v = R_{rueda} \cdot \omega$$

$$P = \tau \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{v}{R_{rueda}}$$

$$P = 396,9(27,8)$$

$$\omega = \frac{8,33}{0,3} = 27,8 \text{ rps}$$

$$P = 8,53182 \text{ KW} = 11,44 \text{ Hp}$$

Para obtener la energía que tendremos que generar se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Donde I momento de inercia se calcula por medio de:

$$I = \frac{1}{2}mr^2$$

$$I = \frac{1}{2}(221,4)(0,3)^2$$

$$I = 9,963 \text{ Kg m}^2$$

Ahora se reemplaza el valor de I en :

$$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$K = \frac{1}{2}(221,4)(8,33)^2 + \frac{1}{2}(9,963)(27,8)^2$$

$$K = 11\,531,3 \text{ Joules}$$

e.2.4.2. Cálculo del cilindro

Para dimensionar el cilindro se utiliza la fuerza necesaria para el trabajo que ha sido calculado.

Las medidas del cilindro han sido predimensionadas al inicio del proyecto, comprobaremos ahora si estas dimensiones son correctas y por lo tanto admisibles para diseño final. Los diámetros predimensionados del tubo para el cilindro neumático son:

$\varnothing_{\text{interno}}$: 70 mm

$\varnothing_{\text{externo}}$: 80 mm

e: 5 mm

l: 500 mm

Para encontrar la fuerza teórica en el cilindro:

γ : 0.4

$D_{\text{pistón}}$: 74 mm (0,074 m)

η : 0,6

F_t : 1023 N

$$F_{\text{teorica}} = \frac{F_t}{\gamma \cdot \eta} = A \cdot p$$

$$F_{\text{teorica}} = \frac{1023}{0.4 \times 0.6} = 4262,5 \text{ N}$$

Con esto se encuentra la presión:

$$P = \frac{F_{\text{teorica}}}{A}$$

$$P = \frac{F_{teorica}}{A}$$

$$P = \frac{F_{teorica}}{\frac{\pi \cdot (D_{piston}^2 - d_{vastago}^2)}{4}}$$

$$P = \frac{4262,5}{\frac{\pi \cdot (0.07^2 - 0.022^2)}{4}}$$

$$P = 1\,228\,386,17 \text{ Pa}$$

e.2.4.2.1. Cálculo de la camisa del cilindro:

$$P: 1,228 \text{ N/mm}^2$$

$$D: 80 \text{ mm}$$

$$C_{s1}: 4$$

$$\sigma_R: 540 \text{ kg/cm}^2 = 53 \text{ N/mm}^2$$

$$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{adm}}$$

Primero se encuentra la σ_{adm} para reemplazar en la formula anterior:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_R}{C_{s1}} = \frac{53 \text{ N/mm}^2}{4} = 13,25 \text{ N/mm}^2$$

$$e = \frac{(1,228) \times 80}{2 \cdot \sigma_{adm}}$$

$$e = \frac{1,228 \times 80}{2(13,25)}$$

$$e = 3,71 \text{ mm}$$

Comprobamos si el tubo es de pared delgada o gruesa si cumple la siguiente condición:

-Pared delgada:

$$\frac{D}{e} > 10$$

$$\frac{80}{3,71} > 10$$

$$21,56 > 10$$

Pared gruesa:

$$\frac{D}{e} < 10$$

Por lo tanto las medidas de la camisa del prediseño son correctas y está construida en tubo de acero de calidad ST-52, laminado en frío con una tolerancia de diámetro H-8 y una rugosidad entre 0.2 y 0.3 micras.

e.2.4.3. Cálculo del diámetro del vástago

El vástago de un cilindro trabaja siempre a tracción, a compresión o a pandeo: la consideración de compresión o pandeo dependerá del diámetro del vástago y de la longitud del mismo.

Considerando la fuerza $F_{teórica} = F_p$ se producirá pandeo, luego la fuerza de servicio deberá ser menor que F_p . Normalmente se toma como coeficiente de seguridad 3,5.

El cálculo de la carga axial permitida sobre el vástago es:

Datos del vástago:

$D = 22 \text{ mm}$	$F_p = F_{teorica} \cdot C_s$
$L = 500 \text{ mm}$	$F_p = 4262,5(3,5)$
$C_s: 3,5$	$F_p = 14918,75 \text{ N}$

Con la fórmula siguiente se despeja el diámetro:

$E: 2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$	$F_p = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_p^2 \cdot C_s}$
$d: 2,2 \text{ cm.}$	
$L_p: 2 L$	$F_p = \frac{\pi^2 \cdot E \left(\frac{\pi \cdot d^4}{64} \right)}{L_p^2 \cdot C_s}$
$I: \text{Momento de inercia}$	
$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$	$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_p \cdot L_p^2}{\pi^3 \cdot E}}$
	$d = \sqrt[4]{\frac{64 \times 14918,75 \times (2 \times 0,5)^2}{\pi^3 (2,1 \times 10^{11})}}$
	$d = 0,01956 \text{ m} \quad d = 2 \text{ cm}$

De una forma general, y teniendo en cuenta solamente el vástago, se considera que puede existir pandeo o flexión lateral, cuando se cumpla la relación:

$$\frac{L}{i} \geq 40$$

Donde **L** es la longitud del vástago e **i** es el radio de giro.

e.2.4.3.3.Cálculo del radio de giro i:

I: Momento de inercia

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

A: área del vástago

e.2.4.3.1.Cálculo del momento de inercia (I):

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi \cdot (2)^4}{64} = 0.78 \text{ cm}^4$$

e.2.4.3.2.Cálculo del área del vástago:

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$A = \pi \cdot (1,00)^2 = 3.14 \text{ cm}^2$$

Con los valores obtenidos del momento de inercia y el área del vástago se encuentra el radio de giro i.

$$i = \sqrt{\frac{0.78 \text{ cm}^4}{3.14 \text{ cm}^2}} = 0.5 \text{ cm}$$

Y ahora se comprueba la relacion de pandeo:

$$\frac{L}{i} \geq 40$$

$$\frac{50}{0.5} \geq 40$$

$$100 \geq 40$$

Se aplica a la fuerza de pandeo un factor de seguridad de 3,5 según normativa DIN 2413. Con los cálculos obtenidos las medidas del prediseño serían correctas siendo diámetro de 7/8" (2,2 cm).

e.2.4.4. Cálculo de los tirantes

$$F_{teorica}: 4262,5 \text{ N}$$

$$z : 4$$

$$C_{s1}: 4$$

$$\sigma_R: 310 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{adm}: \sigma_R/C_{s1} = 77.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{adm} = \frac{4 \cdot F_{teorica}}{\pi \cdot z \cdot d_n^2}$$

$$d_n^2 = \frac{4 \cdot F_{teorica}}{\pi \cdot z \cdot \sigma_{adm}}$$

$$d_n = \sqrt{\frac{4(4262,5)}{\pi \times 4 \times 77,5}}$$

$$d_n = 4,18 \text{ mm}$$

Las dimensiones de los tirantes del prediseño son correctas: diámetro de 5/16" (7,9 mm) y fabricados en Acero SAE 1045.

e.2.4.5. Cálculo de consumo de aire

$$Q = \text{Rel. de compresion} \times A_{piston} \times n \times S$$

e.2.4.5.1. Cálculo del volumen requerido para una carrera del pistón

$$V_{cilin} = \frac{\pi \cdot (D_{int}^2 - d_{vast}^2) \cdot l}{4 \cdot 000 \cdot 000}$$

$$V_{cilin} = \frac{\pi \cdot (70^2 - 22^2) \cdot 400}{4 \cdot 000 \cdot 000}$$

$$V_{cilin} = 1,39 \text{ dm}^3$$

e.2.4.5.2. Cálculo de la relación de compresión

$$\text{Rel. de compresión} = \frac{0,987 + p}{0,987}$$

$$\text{Rel. de compresión} = \frac{0,987 + 12,28}{0,987}$$

$$\text{Rel. de compresión} = 13,44$$

Con el valor de la relación de compresión obtenido se reemplaza para calcular el consumo de aire:

$$Q = \text{Rel. de compresion} \times A_{\text{piston}} \times n \times S$$

$$Q = 13,44 \times 1,39 \times 10$$

$$Q = 186,82 \frac{dm^3}{min}$$

$$Q = 186,82 \frac{l}{min}$$

e.2.4.6. Cálculo de la fuerza que ejerce el resorte

Mediante el diagrama de cuerpo libre en el pistón detallamos las fuerzas que intervienen. Y se procede a calcular la fuerza del resorte:

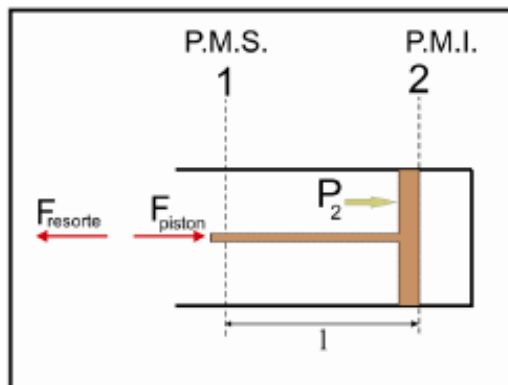


Fig 26: D.C.L pistón

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{roz} = \mu_{cin} \cdot m \cdot g$$

$$\mu_{cin} (\text{caucho-concreto}) = 0,5$$

$$F_{piston} = F_{resorte} + F_{roz}$$

$$4262,5 = F_{resorte} + (0,5 \times 10 \times 9,8)$$

$$F_{resorte} = 4213,5 \text{ N}$$

e.2.4.6.1. Constante del resorte

l : 440mm

Δx : 250mm

l_0 : $l + \Delta x$

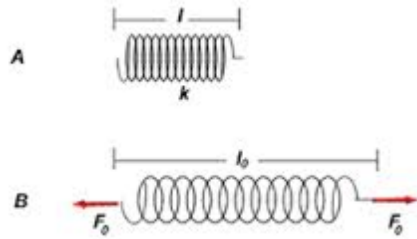


Fig 27: Demostración de variación de longitud en resorte

$$F_{resorte} = k \cdot l_0$$

$$F_{resorte} = k \cdot (l + \Delta x)$$

$$k = \frac{F_{resorte}}{(l + \Delta x)}$$

$$k = \frac{4213,5}{(0,44 + 0,25)}$$

$$k = 22\ 176,31$$

e.2.4.6.2. Diámetro exterior del resorte

Cálculo más preciso del diámetro exterior del resorte, se puede emplear la fórmula siguiente:

p = paso= 0

D = 35 mm

d = 4 mm

$$De = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2}} + d$$

$$De = \sqrt{35^2 + \frac{0^2 - 4^2}{\pi^2}} + 4$$

$$De = 38,9\ mm$$

e.2.4.6.3. Cálculo del diámetro medio

$$Dm = D_{exterior} - d_{alambre}$$

$$Dm = 38,9 - 4$$

$$Dm = 34,9\ mm$$

e.2.4.6.4. Cálculo del índice del resorte C

$$C = \frac{Dm}{d}$$

$$C = \frac{34,9}{4}$$

$$C = 8,725$$

e.2.4.6.5. Cálculo espiras activas

$$Nt = Na + 1$$

$$Nt = 100 + 1$$

$$Nt = 101$$

e.2.4.6.6. Cálculo longitud libre

$$Lb = d_{alambre} \cdot Nt$$

$$Lb = 4(101)$$

$$Lb = 404 \text{ mm}$$

e.2.4.6.7. Cálculo del coeficiente K_B

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3}$$

$$K_B = 1,16$$

e.2.4.6.8. Cálculo de la tensión de rotura

$$\tau_R = K_B \frac{8FC}{\pi d^2}$$

$$\tau_R = 1,16 \frac{8(4213,5)(8,725)}{\pi(4)^2}$$

$$\tau_R = 6\,787,14 \text{ N/mm}^2$$

e.2.4.6.9. Cálculo del diámetro del alambre

$$d = \sqrt{K_B \frac{8FC}{\pi \tau_R}}$$

$$d = \sqrt{1,16 \frac{8(4213,5)8,725}{\pi(6\,787,14)}}$$

$$d = 3,99 \text{ mm}$$

Con los resultados se comprueba que las medidas del prediseño del resorte están correctas y su material de construcción es en Acero alambre de piano AISI- 1085 (A-228)

e.2.4.7.Cálculo del depósito

Se va a desarrollar el cálculo del depósito de aire comprimido. Tenemos previamente el consumo del motor que es de 186,82 litros/min dato con el cual se calculó el volumen de aire que es necesario almacenar en los depósitos para obtener la autonomía requerida.

La distancia que deseo recorrer es de 15 Km a una velocidad de 30 km/h y el tiempo en el que lo realice dependerá de la velocidad. Esta es la autonomía que pretendo alcanzar con el motor.

Tenemos pues:

Tabla. e 1 Autonomía y consumo de aire del motor de aire

Recorrido total	Velocidad	Consumo
15 Km	30 Km/h	186,82 l/min

Fuente: Autor

De ellos se concluye que el tiempo requerido para recorrer el circuito es de 30 minutos, con un consumo de 186,82 l/min a potencia máxima continuada, el volumen de aire necesario para que la bicicleta tenga una autonomía de 30 minutos es:

Volumen de aire necesario

$$186,82 \times 30 = 5604,6 \text{ litros } (273K^{\circ}, 1 \text{ atm})$$

Esta cantidad de aire es imposible de almacenar a presión atmosférica por ello hay que comprimirlo bajo presión, se deben barajar las condiciones de presión y volumen en las que almacenaremos el aire teniendo en cuenta el tamaño y el diseño de los depósitos necesario en cada caso.

Comprimido a 200 bares:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{constante}$$

$$1,01325 \cdot 5604,6 = 200 \cdot V_2$$

$$V_2 = 28,39 \text{ litros.}$$

Entonces se almacenará los 28,39 litros con una presión de 200 bares utilizando dos bombonas con uno de los extremos en forma de semiesfera con lo que el volumen se divide para dos.

Ahora se procede al cálculo de las dimensiones de las bombonas:

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$V_{semiesfera} = \frac{2\pi \cdot r^3}{3}$$

$$V_{total} = \frac{2\pi \cdot r^3}{3} + \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Despejo h (altura del tanque):

$$h = \frac{3V_{total} - 2\pi \cdot r^3}{3 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Con el área y en función del radio:

$$A_{total} = 2\pi \cdot r^2 + 2\pi \cdot r \cdot h + 2\pi \cdot r^2$$

$$A_{(r)} = 2\pi \cdot r^2 + 2\pi \cdot r \cdot \left(\frac{3V_{total} - 2\pi \cdot r^3}{3 \cdot \pi \cdot r^2} \right) + 2\pi \cdot r^2$$

$$A_{(r)} = 2,68 \pi \cdot r^2 + 1,98 V_{total} r^{-1}$$

Se procede a sacar la primera derivada para igualar a cero y despejar el r:

$$A'_{(r)} = 5,36 \pi \cdot r - 1,98 V_{total} r^{-2}$$

$$5,36 \pi \cdot r - 1,98 V_{total} r^{-2} = 0$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{1,98 (V_{total})}{5,36 \pi}}$$

Como según el diseño del motor se utilizan dos tanques de aire tendríamos que dividir el volumen 28,39/2 y nos queda:

$$V = 14,2 \text{ litros} = 0,0142 \text{ m}^3$$

Con las fórmulas encontradas anteriormente se obtiene los valores del radio r y la altura de las bombonas h:

$$r = \sqrt[3]{\frac{1,98 (0,0142)}{5,36 \pi}}$$

$$r = 0,11 \text{ m}$$

$$h = \frac{3(0,0142) - 2\pi \cdot 0,11^3}{3 \cdot \pi \cdot 0,11^2}$$

$$h = 0,30 \text{ m}$$

Según los resultados al tanque no se lo podría adaptar en la bicicleta por lo que se debe configurar las medidas de acuerdo al espacio donde van a ser instalados sin cambiar el volumen requerido quedando las siguientes medidas : 500 mm medida total del depósito,

dispuesta de la siguiente forma, longitud de 410 mm para el tubo cilíndrico y un radio aproximadamente de 90 mm en un extremo del cilindro.

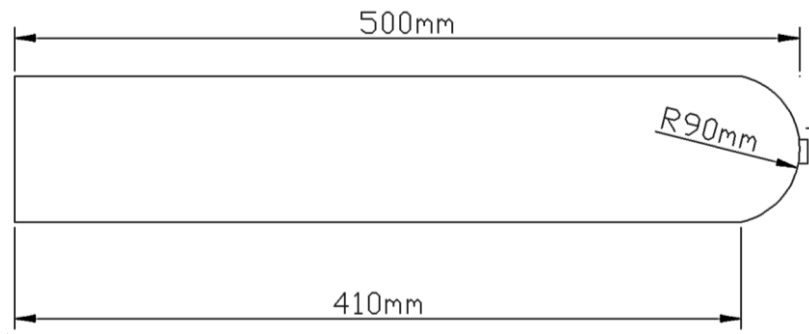


Fig 28: Forma de los Tanques

De modo que las botellas elegidas en nuestro prediseño son las correctas para la autonomía que deseamos obtener.

e.2.4.7.1. Cálculo de espesor de las bombonas

Como las bombonas en el prediseño son de Aluminio 7075 que tiene como límite a la tracción de 400 Mpa se procede a calcular el espesor de la bombona:

P: 200 bar (200×10^5 Pa)

$$\sigma_{max} = \frac{P \cdot r}{t}$$

r: 0,9 mm

$$t = \frac{P \cdot r}{\sigma_{max}}$$

σ_{max} : σ_R / C_{s1} .

Cs: 1,5

$$t = \frac{(200 \times 10^5) \times 0.09}{(266,66 \times 10^6)}$$

$\sigma_R = 400$ Mpa

$$t = 0,00675 \text{ m} = 0,675 \text{ cm} = 6,75 \text{ mm}$$

Ahora se comprueba si el depósito es un tubo de pared delgada o gruesa el cual debe cumplir la siguiente condición:

-Pared delgada:

$$\frac{D}{t} > 10$$

Pared gruesa:

$$\frac{D}{t} < 10$$

$$\frac{180}{6,75} > 10$$

$$26,66 > 10$$

De tal manera que los tanques utilizados en nuestro prediseño son los correctos sus medidas son 184 mm de diametro, longitud total 655 mm y longitud del cilindro de 563 mm los mismos que son hechos en aluminio 7075 y son tanques utilizados para buceo

marino de una capacidad de 12 litros a una presión de 211 bares los cuales están fabricados según la norma ISO 11439.

e.2.4.8. CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS

Para el cálculo del diámetro de las tuberías es preciso tener en cuenta el caudal y la velocidad media de circulación del fluido por el conducto.

$$d = \sqrt{\frac{Q/60}{\pi x v}} x 4$$

d: Diámetro Interno Tubería (m)

Qa: Rango de Flujo de Aire (Real) (m³/min)

v: Velocidad del Aire (m/s)

$$v = \frac{Q/60}{r^2 \cdot \pi}$$

$$v = 110,1234 \text{ m/s}$$

$$d = \sqrt{\frac{0,18682/60}{110,1234 \cdot \pi}} x 4$$

$$d = 6 x 10^{-3} \text{ m} = 6 \text{ mm}$$

En el prediseño se utiliza una tubería flexible R1 AT de 1/4 de pulgada o 6 mm de diámetro con lo que comparando con los resultados del cálculo las medidas están correctas. En cada extremo de las mangueras se presó ferrules HEMBRA GIRATORIA JIC (FJX)

- Medidas: manguera 1/4 a 2" hilo 7/16 a 2.1/2 JIC
- Norma: JIC/SAE J514 asiento 37°
- Material: acero carbono zincado

e.2.4.9. Sistema neumático

El sistema neumático va a ser el encargado de darle la movilidad y las características de dicho movimiento a la bicicleta, para ello es preciso emplear aparatos que controlen y dirijan el fluido de forma preestablecida, lo que obliga a disponer de una serie de elementos que efectúen las funciones deseadas relativas al control y dirección del flujo del aire comprimido. El elemento primero y fundamental de dicho sistema neumático es el motor neumático que ya a sido seleccionado y también disponemos ya de las bombonas de almacenamiento del aire, así pues en este apartado se van a describir los demás elementos que acompañarán a estos y completaran el conjunto del sistema total.

Así pues en primer lugar debemos observar que en las bombonas tenemos el aire almacenado a 200 bares de presión y el motor trabaja con una presión de 12,28 bares esto nos obliga a realizar una reducción de presión entre las bombonas y el motor. Para esa función deberemos escoger un regulador de presión, que se colocará a la salida del aire de las bombonas para reducir la presión de los 200 bares a los 12,28 con los que trabajaremos en el circuito neumático. En la práctica el regulador dará una presión de salida de 20 bares para prevenir la caída de presión que puede darse en el recorrido del circuito hasta llegar al motor y con esto nos aseguraremos que al motor le llega el aire a 12,28 bares.

Concretando pues las características fundamentales que deberá poseer el regulador de presión son:

- Presión de entrada: 200 bares.
- Presión de salida: 12,28 bares.
- Caudal de aire: al motor le deben llegar 186,82 l/min.

Por lo que el modelo de regulador 925D-15 de la empresa Harris cumple con estas condiciones, aunque se podrían buscar otros más ajustados todavía a ellas.



Fig 29: Regulador de presión modelo 925D-15

Ademas se necesita de dos válvulas una para el ingreso del aire al motor y otra para el escape del aire las cuales se usan de bola de 1/4 de diámetro hechas en bronce.

Para el armado del sistema neumático se usa además un adaptador “T” Macho JIC (MJ – MJ – MJ) de 1/4"y 5 adaptadores de MJ-MJ de 1/4" para la unión de las mangueras.

Aquí tenemos la representación del sistema neumático completo, desde los depósitos hasta el motor:

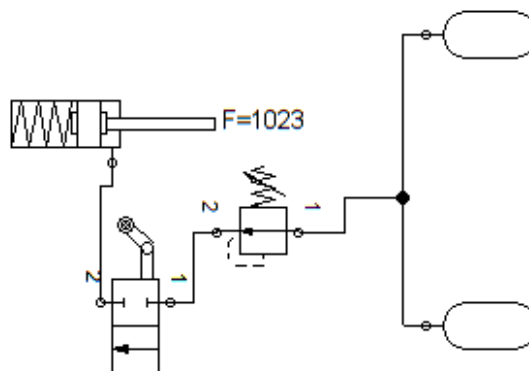


Fig 30: Esquema Neumático

e.2.5. INFORME DE CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE AIRE

e.2.5.1. Construcción del motor de aire comprimido

Para la construcción del motor de aire comprimido se toma en consideración las fuerzas que intervienen en el movimiento de la bicicleta y calcular la presión de admisión necesaria para poder mover a la bicicleta, y seguido diseñar los planos que sirvieron de guía en la construcción del equipo (ver en Anexo A).

e.2.5.1.2. Tecnología de construcción

1. Se procede a adquirir los tanques de aire comprimido que son los utilizados en buceo de 80 pies cúbicos de volumen y una presión de 3000 psi o 211 bares conseguidos en la ciudad de Guayaquil.



Fig 31: Tanques de buceo

2. Posteriormente se adquiere un tubo de acero ST-52 sin costura de 3 pulgadas por 50 cm de largo, 3 metros de acero SAE 1045 de 3/8 de pulgadas de diámetro, plancha de acero de 40 cm de largo por 40 cm de ancho y 8 mm de pulgada de espesor, aluminio de 3 pulgadas de diámetro por 5 cm de largo, un metro de acero F-114 de 7/8 de pulgada de diámetro, 8 tuercas hilo fino con arandelas planas y de presión de 5/16 pulgadas de diámetro y una tuerca hilo grueso con arandela plana de 5/8 pulgadas de diámetro, dos anillos de caucho de 3 pulgadas de diámetro para la construcción del cilindro neumático.

3. Se corta el acero 3/8 de pulgadas de diámetro para los tirantes de las bridas, el acero 705 de 7/8 de pulgada de diámetro que servirá como vástago del cilindro, el aluminio de 3 pulgadas de diámetro que es el embolo; todos a las medidas correspondientes según el plano de construcción.



Fig 32: Cilindro

4. Con el torno se refrenta los filos del tubo de 3 pulgadas que será la camisa del cilindro neumático para evitar desniveles al momento de acoplar con las bridas, seguido se hace el roscado a los tirantes de las bridas para ajustar las tuercas de hilo fino de 5/16 pulgadas y también el roscado en uno de los extremos del vástago para ajustar la tuerca hilo grueso de 5/8 pulgadas al pistón de aluminio y en el otro externo se realiza un corte para su acople con la cadena de la bicicleta .

5. Se perfora un agujero central al pistón de aluminio por donde pasara el vástago, luego se vuelve a colocar en el torno para refrentarlo, cilindrarlo y hacer dos ranurados en donde irán los anillos de caucho y pulirlo con lija n° 11/2 para hierro.

6. Para las bridas se corta el acero con soldadura autógena, en el torno se refrenta y se cilindra a las medidas correspondientes para su acople a la camisa del cilindro seguido se perfora 4 agujeros en cada brida por donde entraran los tirantes.

7. En la brida inferior se hacen dos perforaciones para la entrada y salida del aire comprimido además se suelda dos acoples de ¼ de diámetro para ajustar las dos válvulas de bola y se termina con la perforación de un agujero central por donde pasara el vástago del cilindro donde le soldé luego una guía de acero.

8. En la brida superior se hace un agujero en su parte central que sirve de escape del aire al momento que el pistón suba al P.M.S.

9. Se arma el cilindro neumático ajustando el vástago al pistón con sus dos anillos de caucho e introducir el conjunto vástago-pistón dentro de la camisa para ubicar las bridas

superior e inferior y ajustarlas con los tirantes colocando silicona para un buen hermetizado del sistema y evitar posibles fugas del aire.



Fig 33: Pistón y armado del cilindro

10. Se cortan cuatro platinas de 1" de ancho x 6 mm de espesor dando forma de círculo que sirven como soporte para los tanques y se sueldan a la parte trasera de la bicicleta.



Fig 34: Ajustes para adaptación de motor en bicicleta

11. Además se cortan dos tubos de 1/4" de diámetro se les suelda unas platinas con un orificio de 3/8 de diámetro y estos a su vez se sueldan a la bicicleta que sirven para asegurar el motor a la misma.



Fig 35: Soportes para asegurar motor a bicicleta

12. Se ubica el resorte en la parte inferior del motor por medio de un agujero de 1/4" en la brida superior del cilindro donde se coloca uno de los extremos del resorte y el otro lado va acoplado a uno de los extremos de la cadena.

13. Para acoplar el otro extremo de la cadena al vástago se hace por medio de un orificio de 1/4" de diámetro donde pasa un pin del eslabón de la cadena.

14. Con la soldadura de todo lo necesario a la bicicleta por medio de una amoladora radial se pule el exceso de rebabas dejadas en el proceso de soldado para pintar la bicicleta y el conjunto del motor de aire comprimido con pintura fondo cromato y un acabo final con pintura acrílica color rojo Ferrari.



Fig 36: Proceso de pulido y pintado de motor y bicicleta

15. Se acopla el motor a la bicicleta con el resorte, la cadena al vástago y ubicando los tanques en sus soportes.

16. Se conecta el sistema con manguera de presión de 1/4 de diámetro, acoples prensados FJX de 1/4" con ferrule, una te MJ de 1/4" y 5 adaptadores de MJ 1/4", se instala el regulador de presión con sus manómetros en la entrada y salida del aire para controlar la presión en los tanques y la presión de trabajo seguido se colocan dos válvulas de bola para la entrada y salida del aire en la brida inferior del cilindro quedando terminado todo el sistema de motor de aire comprimido-bicicleta.



Fig 37: Bicicleta con motor de aire terminado

F.- RESULTADOS

f.1. Resumen de los cálculos

Tabla f.1. Resumen de los resultados del cálculo y dimensionamiento del motor de aire comprimido.

N° de paso	Parámetro	Fórmula	Cálculo
1	<p>CÁLCULO DE FUERZAS QUE ACTUAN EN UNA BICICLETA</p> <ul style="list-style-type: none"> Resistencia a la rodadura(Frr) 	$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot \text{Sen}(\alpha)$ <p>Ec. (4.11)</p>	<p>Si:</p> <p>$\mu_{rr}=0,035$;</p> <p>$m=221,9\text{Kg}$;</p> <p>$g=9,8\text{m/s}^2$</p> <p>$\alpha=16.7$</p> <p>$F_{rr} = 72,74 \text{ N}$</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia de la fuerza de gravedad en subidas (Ftp) 	$F_{tp} = m \cdot g \cdot \text{Cos}(\alpha)$ <p>Ec. (4.12)</p>	<p>Si:</p> <p>$m=221,9\text{Kg}$;</p> <p>$g=9,8\text{m/s}^2$</p> <p>$\alpha=16.7$</p> <p>$F_{tp} = 623,5 \text{ N}$</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia de la fuerza aerodinámica(Fa) 	$F_{ra} = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2$ <p>Ec. (4.10)</p>	<p>Si:</p> <p>$cd=0,9$</p> <p>$A=0,4\text{m}^2$</p> <p>$\rho=1,2$</p> <p>$v=8,33 \text{ m/s}$</p> <p>$F_a = 15 \text{ N}$</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia por rozamientos mecánicos (fr) 	$f_r = \mu_{re} \cdot m \cdot g \cdot \text{Cos}(\alpha)$ <p>Ec. (4.13)</p>	<p>Si:</p> <p>$\mu_{re}=0,15$;</p> <p>$m=221,9\text{Kg}$;</p> <p>$g=9,8\text{m/s}^2$</p> <p>$\alpha=16.7$</p>

			$fr = 311,73 N$
	Cálculo de Fuerza Total	$F_t = F_{tp} + F_{ra} + F_{rr} + fr$	$F_t = 1023 N$
	Torque	$\tau = F_t \cdot R_{rueda}$ Ec.(4.14)	Si: D _{rueda} : 60 cm $\tau = 306,9 Nm$
	Potencia	$P = \tau \cdot \omega$	Si: ω : 27.8 $P = 8,53182 KW$
	Energía Cinética	$K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$ Ec. (4.15)	Si: I: 9,963 kg m ²
2	CÁLCULO DEL CILINDRO. • Fuerza Teórica	$F_{teorica} = \frac{F}{\gamma \cdot \eta}$ Ec. (5.2)	Si γ : 0.4 η : 0,6 $F_{teorica} = 4262,5 N$
	• Presión de trabajo	$P = \frac{F_{teorica}}{A}$ Ec. (5.1)	Si D _{pistón} : 70 mm (0,070 m) η : 0,9 F _{te} : 4262,5 N $P = 12,28 bar$
	• Camisa - Espesor	$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_{adm}}$	Si: σ_{adm} : σ_R/C_{s1} .

		Ec. (5.7)	<p>P: 1,228 N/mm² D: 80 mm C_{s1}: 4 σ_R: 540 kg/cm² = 53 N/mm² e = 3,71 mm</p>
	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DEL VÁSTAGO	$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_p \cdot L_p^2}{\pi^3 \cdot E}}$ <p>Ec. (5.5)</p>	<p>F_p: 14918,75 N. E: 2,1x10¹¹ N/m² d: 2,2 cm. L_p: 2 L d = 2 cm</p>
3	CÁLCULO DE LOS TIRANTES.	$\sigma_{adm} = \frac{4 \cdot F_{teorica}}{\pi \cdot z \cdot d_n^2}$ <p>Ec. (5.8)</p> $d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{teorica}}{\pi \cdot z \cdot \sigma_{adm}}}$	<p>σ_{adm}: σ_R/C_{s1}. F_{teorica}: 4262,5 N z : 4 C_{s1}: 4 σ_R: 310 N/mm² d_n = 4,18 mm</p>
4	CÁLCULO DE CONSUMO DE AIRE.	<p>Q = Rel. de compresion x A_{piston} x n x S</p> <p>Ec. (5.2)</p>	<p>Si: V_{cilin}= 1,39 dm³ Rel. de compresión: 13,44 Q = 186,82 $\frac{l}{min}$</p>
5	CÁLCULO DEL RESORTE • Constante del resorte.	$F_{resorte} = k \cdot (l + l_0)$	<p>Si: F=F_{resorte} l= 44 cm l₀= 25 cm</p>

			$k = 22\,176,31$
• Diámetro exterior del resorte	$De = \sqrt{D^2 + \frac{p^2 - d^2}{\pi^2}} + d$	p= paso= 0 D= 35 mm d = 4 mm	$De = 38,9\text{ mm}$
• Cálculo espiras activas	$Nt = Na + 1$	Si: Na= 100	$Nt = 101$
• Cálculo del diámetro del alambre:	$d = \sqrt{K_B \frac{8FC}{\pi\tau_{adm}}}$	Si: C = 8,725 K _B = 1,16 τ _r = 6787,14	$d = 3,99\text{ mm}$
CÁLCULO DEL DEPÓSITO • Volumen	$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{constante}$	Si: p ₁ :1,01325	$V_2 = 28,39\text{ litros.}$
• Cálculo de espesor de las bombonas:	$t = \frac{P \cdot r}{\sigma_{max}}$	Si: P: 200 bar (300 x 10 ⁵ Pa) r: 0,9 mm σ _{max} : σ _R /C _{s1} . C _s : 1,5 σ _R = 400 Mpa	$t = 6,75\text{ mm}$
CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS	$d = \sqrt{\frac{Q}{1,5x\pi xV}}$	Si: Q: 186,82 lit/min V: 27000 m/s	$d = 0,043\text{ cm} = 4,3\text{ mm}$

El resultado del funcionamiento que se obtuvo con el motor prediseñado fue una autonomía de 30 Km/h, recorriendo 15 km en 40 min. Y contrastando con los cálculos obtenidos del diseño comprobamos una pequeña variación del tiempo de recorrido de 10 minutos más.

También se comprobó que al aumentar la presión del aire por medio del regulador de presión aumentaba la fuerza obteniendo una velocidad de hasta 60 Km/h pero con menor desplazamiento siendo de 9 km en un tiempo de 20 min.

G.- DISCUSIÓN

El objetivo principal de este proyecto de tesis fue el de diseñar y construir un motor de aire, con la finalidad de buscar energías alternativas para la automoción de vehículos y evitar la contaminación ambiental producto de la emisión de gases por la combustión de los motores a gasolina. Para ello se creyó conveniente realizar un diseño que permita una fácil manipulación y un mantenimiento sencillo, de tecnología accesible a nuestro medio, económico y que principalmente resulte compatible con el medio ambiente.

Se realizó el diseño basándome en los conocimientos adquiridos a lo largo nuestra formación académica en la carrera de Ingeniería Electromecánica; cuya capacitación ofrecida por los docentes me fue de gran ayuda para el desarrollo del presente trabajo.

Luego se procedió a poner en funcionamiento al motor de aire comprimido para la automoción de la bicicleta en los patios del AEIRNN tanto en terreno plano y pendiente.

g.1. Valoración económica del motor de aire para la automoción de la bicicleta

Tabla g.1. Costo de mano de obra directa

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Suelda de soportes y acoples	1	30,00	30,00
Torneado de bridas y demás componentes del motor.	1	30,00	30,00
Conexión de mangueras y armado del motor	1	40,00	40,00
Total:		\$ 70,00	

Tabla 5.10. Costo de los materiales directos

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Tanques de Al para buceo de 300 psi y 77,4 pies ³	2	300	600,00

1/4 Plancha de acero de 8mm de espesor (para las bridas inferior y superior)	1	50,00	50,00
Tubo de acero ST-52 sin costura de 3" de diámetro (camisa)	0.5 m	25,00	25,00
Acero SAE 1045 de 3/8" de diámetro (tirantes)	3 m	15,00	15,00
Acero F-114 de 7/8" (vástago)	1 m	10,00	10,00
Aluminio macizo de 3 1/2" (pistón)	50 cm	7,00	7,00
Tuercas y arandelas de planas y de presión de 5/16" hilo fino	8	0,70	5,60
Tuerca y arandela plana en acero de 5/8" hilo grueso	1	1,00	1,00
Pernos hilo grueso de	6	0,70	4,20
Manguera de alta presión R1 de 1/4"	1m	12,00	12,00
Teflón	3	0,50	1,50
Conectores prensados FJX de 1/4" con ferrula	8	8,00	64,00
Te MJ de bronce de 1/4"	1	7,80	7,80
Adaptador MJ x MP de 1/4"	5	3,50	17,50
Reductor hembra de 1/2" a 1/4"	1	4,50	4,50
Válvulas de bronce para presión de 1/4"	2	7,80	15,60
Regulador de Presión	1	30,00	30,00
Manómetro de	1	8,00	8,00
Manómetro de	1	6,00	6,00
Silicona roja	1	2,00	2,00
Rines de caucho de 3"	2	5,00	10,00
Grasa Azul Kendall	1/4	9,60	9,60
Electrodos 60-11	32	1,60	3,20
Silicón	1	2.30	2,30

Gasolina	1 galón	1,48	1,48
Pintura Acrílica color roja	1 litro	20,00	20,00
Pintura fondo cromato	1/2 litro	7,00	7,00
Diluyente	1 galón	6,00	6,00
Total:			\$ 946,28

g.2. Análisis económico del motor de aire comprimido.

El precio de construcción de estos vehículos es muy inferior al de los vehículos actuales por lo que no necesita, caja de cambios, embrague, diferencial utilizando materiales que existen en nuestro mercado así como materiales de segunda mano en buen estado de funcionamiento.

g.3. Impacto Ambiental

El uso del aire comprimido para la automoción facilitaría una disminución de la contaminación, En cuanto al consumo de energía, se puede decir que, de seguir utilizando el transporte privado como hasta ahora, el paso de motores de combustión interna a vehículos con aire comprimido no supondría una reducción drástica de él, pero sí en cambio la obtención de la misma. Disminuyendo la dependencia del petróleo en muchos de los casos.

Otro de los aspectos importantes de la utilización de un combustible es la limitación del espacio y del peso final del vehículo, y más relevancia tiene en el caso del vehículo de aire comprimido como se ha comentado anteriormente. De esta forma comparando los diferentes combustibles, el aire comprimido necesita más espacio para los depósitos y aporta un mayor peso al vehículo.

El inconveniente del volumen y del peso de los depósitos que utilizan el aire comprimido como combustible viene dado por la naturaleza del depósito, ya que el depósito utiliza unos materiales de naturaleza “composites” que proporcionan al depósito la resistencia necesaria para contener el aire a 300 bares de presión.

H.-CONCLUSIONES

1. Con la información recopilada se pudo conocer los distintos tipos de motores de aire comprimido, su funcionamiento, tecnología de fabricación y los parámetros necesarios para su diseño y construcción.
2. El diseño del motor se basó en los siguientes parámetros: las fuerzas que se oponen al movimiento en una bicicleta, torque, presión de trabajo, materiales a utilizar, selección de válvulas neumáticas.
3. El motor de aire comprimido se construyó con materiales existentes en el mercado local y de segunda mano para evitar el costo muy elevado.
4. Se despreciaron algunos efectos de rozamientos, puesto que estos son relativamente pequeños frente a las fuerzas tomadas en consideración.
5. Al poder ser el cilindro mucho más largo con respecto al diámetro del pistón esto permite abrir una sola vez la válvula de entrada y salida en lugar de varias veces.
6. A través del sistema rueda libre se evita el uso continuo del motor.
7. El pistón tiene una gran eficiencia volumétrica y no sufre desgaste ya que no se hacen fuerzas sobre las pared laterales como en el motor de cigüeñal.
8. Se puede usar sin caja de cambios ni diferencial ni embrague esto permite disminuir precios de construcción, peso del vehículo y aumentar su eficiencia.
9. Las pruebas de funcionamiento del motor de aire comprimido construido se las hizo en terreno llano obteniendo una velocidad de 30 km y recorriendo una distancia de 15 km en 30 minutos.
10. El mantenimiento del motor de aire comprimido de pistón libre y una rueda libre es bajo en comparación a los motores de combustión.
11. Este tipo de motor de aire comprimido se lo puede diseñar para trabajar con varios pistones para obtener más potencia.
12. Con el uso del aire comprimido como energía alternativa estaremos contribuyendo a la no contaminación del medio ambiente.

I.- RECOMENDACIONES

1. Leer toda la información disponible sobre los motores de aire comprimido para entender bien su funcionamiento, tipos, su diseño y construcción.
2. Para la etapa del diseño, ubicar adecuadamente las válvulas (admisión y escape), para una mejor eficiencia del motor
3. Automatizar el proceso de ingreso y salida del aire comprimido por medio de electroválvulas para mejorar su rendimiento y funcionamiento.
4. Acoplar filtros de escape en la salida del aire para evitar mucho ruido.
5. Diseñar un mecanismo para que la bicicleta pueda dar reversa.
6. Chequear la tubería y los acoples para evitar posibles fugas del aire comprimido.
7. Diseñar el motor de aire comprimido usando más pistones para aumentar su potencia.
8. En el futuro utilizar tanques de aire comprimido de material liviano como el poliuretano, el kevlar u otro y evitar un peso muy elevado del motor.
9. Adaptar un compresor para la carga de los tanques de aire comprimido
10. Tratar de adaptar este tipo de motor a vehículos más grandes tomando en cuenta los parámetros necesarios
11. Realizar las pruebas de funcionamiento del motor en terreno con pendiente.
12. Dar mayor énfasis a la investigación y desarrollo de nuevas fuentes de energía renovable y segura por parte de la universidad.
13. Brindar información y concientizar a las personas sobre el uso de nuevas tecnologías que usan fuentes de energía no contaminantes por medio de charlas, exposiciones, etc.

J. BIBLIOGRAFÍA

- YOUNG, Freedman y SEARS, Zemansky. 2009. Física universitaria. vol. 1. Décimo segunda edición. Pearson Educación, México. 760p.
- NICOLAS SERRANO, Antonio 2009. Neumática Práctica. 1^{era} edición. Editoriales Paraninfo. España. 232p.
- F.E, WOLFGANG, Schuch. 1999. Manual de la técnica del automóvil. 3^{era} Edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. 895p.
- SÁNCHEZ REAL, José. 1988. La física de la bicicleta. 1^{era} Edición. Ediciones de la Torre. España. 115p.
- UNL. Área de Energía las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. 2011. Diseño de máquinas. Selección de materiales. Loja. 224p.
- LARBURU ARRIZABALAGA, N. 2003. Máquinas Prontuario: técnicas, máquinas, herramientas. Ediciones Paraninfo. Edición 13. España. 619p.
- ROLDAN VILORIA, José. 1997. Neumática, hidráulica y electricidad aplicada: física aplicada. Otros fluidos. Editorial Thomson Paraninfo. 248p.
- Regusci, Armando. 2011. RegusciAir. Disponible en: <http://www.regusci-air.com/> [Consulta: febrero 17, 2014]
- MDI. Disponible en: <http://www.mdi.lu> [Consulta: febrero 25, 2014]
- Di Pietro, Angelo. Engine Air. The solution to pollution. Disponible en: <http://www.engine-air.com> [Consulta: marzo 15, 2014]
- ANCAJIMA JIMENEZ, Felipe Carlos, CUBAS CUBAS, Jhoan, PINEDO TAQUIA, Jairo, MARCOS ROSAS, Luis Miguel. Concepción para el diseño de un motor de aire comprimido para vehículos menores. Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Facultad De Ciencias Físicas E.A.P. Lima, Perú. Disponible en: <http://www.unmsm.edu.pe/cedit/linked/aire%20comprimido.pdf>. [Consulta: abril 20, 2014].
- USEAS, Actuadores neumáticos. Disponible en: http://fosva.seas.es/docs/t3_neumatica.pdf [Consulta: abril 22, 2014].

- Dinámica en bicicleta: El movimiento: Fuerza, energía, trabajo, potencia...: 4 conceptos básicos. Disponible en: https://dl.dropboxusercontent.com/u/2353630/Dinamica_y_Bicicleta.pdf. [Consulta: abril 28, 2014]
- Vehículo de aire comprimido. Wikipedia Enciclopedia libre. Doc. [Consulta: abril 28, 2014]
- Bicytriciclos. Disponible en: <http://www.terra.org/data/bicytriciclos.pdf>. [Consulta: abril 29, 2014].
- VANEGAS USECHE, Libardo. 2011. Diseño de resortes. Disponible en: http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/PresCap9_Res.pdf. [Consulta: abril 30, 2014].
- MARTÍNEZ LÓPEZ, Enrique. Cálculo de resortes helicoidales de compresión. 2013. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería Mecánica. Disponible en: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3379/1/pfc5169.pdf>. [Consulta: mayo 15, 2014].
- RENEDO, CARLOS J. Neumática e Hidráulica. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Disponible en: <http://personales.unican.es/renedoc/Trasparencias%20WEB/Trasp%20Neu/T12%20CILINDROS%20OK.pdf>. [Consulta: mayo 16, 2014].
- GORRINDO OSÉS, Ismael. 2010. Adaptación de un motor neumático a un coche de golf. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. <http://academicae.unavarra.es/bitstream/handle/2454/2155/577236.pdf>. [Consulta: mayo 18, 2014].
- DUCASSE comercial. Soluciones integrales para la industria. Disponible en: <http://www.ducasse.cl/productos/mangueras-hidraulicas/mangueras-hidraulicas/manguera-sae-100-r1> at [Consulta: mayo 18, 2014]
- Danus Conexiones. Productos. Conectores Hidráulicos. Hidráulicos. Disponible en: <http://www.danus.cl/catalogo/hembra-giratoria-jic-fjx-con-espiga/> [Consulta: mayo 18, 2014]

K. ANEXOS

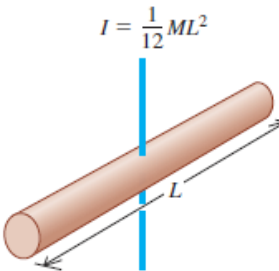
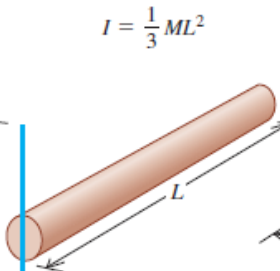
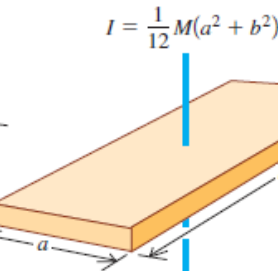
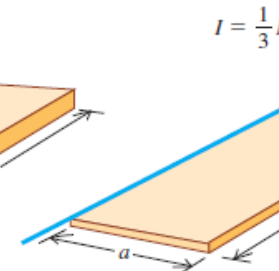
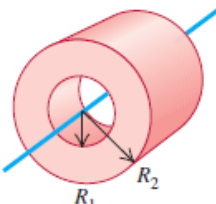
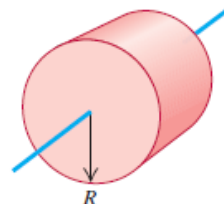
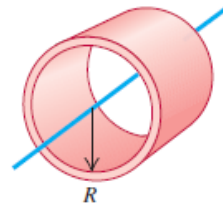

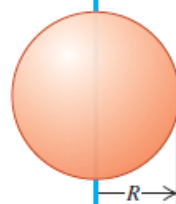
ANEXO A

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

ANEXO B

MOMENTOS DE INERCIA DE DIVERSOS CUERPOS

Tabla 9.2 Momentos de inercia de diversos cuerpos

<p>a) Varilla delgada, eje por el centro</p> $I = \frac{1}{12} ML^2$ 	<p>b) Varilla delgada, eje por un extremo</p> $I = \frac{1}{3} ML^2$ 	<p>c) Placa rectangular, eje por el centro</p> $I = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2)$ 	<p>d) Placa rectangular delgada, eje en un borde</p> $I = \frac{1}{3} Ma^2$ 	
<p>e) Cilindro hueco</p> $I = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$ 	<p>f) Cilindro sólido</p> $I = \frac{1}{2} MR^2$ 	<p>g) Cilindro hueco de pared delgada</p> $I = MR^2$ 	<p>h) Esfera sólida</p> $I = \frac{2}{5} MR^2$ 	<p>i) Esfera hueca de pared delgada</p> $I = \frac{2}{3} MR^2$ 

ANEXO C

TABLA DE INFORMACIÓN DE LAS BOTELLAS DE BUCEO

Características y Dimensiones de Distintas Botellas												
Fabricante	Material	Litros Botella	Bares max.	Aire Litros	Peso kg.	Flot. Llena Kg.	Flot. Vacía Kg.	Diámetro cm.	Alto cm.	Cu/Feet	Psi	
Catalina	Aluminio	0,8	211	170	1,2	-0,6	-0,4	8,1	27,9	6	3000	
OMS	Acero	2,2	169	368	2,7	-1,5	-1,0	9,9	35,6	13	2400	
Catalina	Aluminio	1,7	211	368	2,4	-0,6	-0,2	11,1	31,2	13	3000	
Luxfer	Aluminio	1,8	211	374	2,6	-0,7	-0,3	11,1	33,3	13,2	3000	
Catalina	Aluminio	2,6	211	538	3,4	-0,5	0,0	11,1	43,4	19	3000	
Luxfer	Aluminio	2,7	211	564	3,7	-0,6	0,0	11,1	47,2	19,9	3000	
Catalina	Aluminio	4,0	211	850	6,2	-1,0	0,0	13,3	50,8	30	3000	
Luxfer	Aluminio	4,0	211	850	5,3	-0,5	0,5	12,4	55,6	30	3000	
Catalina	Aluminio	5,4	211	1133	7,1	-0,5	0,9	13,3	63,2	40	3000	
OMS	Acero	7,7	169	1303	8,0	-1,8	0,0	14,0	58,4	46	2400	
Luxfer	Aluminio	6,5	211	1371	9,6	-1,1	0,6	17,5	48,3	48,4	3000	
Catalina	Aluminio	7,1	211	1501	11,6	-1,8	0,0	18,4	48,3	53	3000	
Catalina	Aluminio	7,3	232	1699	12,4	-2,2	-0,2	18,4	50,5	60	3300	
Luxfer	Aluminio	8,5	211	1784	12,2	-1,0	1,1	18,4	55,6	63	3000	
Pressed Steel	Acero	7,5	246	1841	10,9	-2,0	-0,7	18,4	42,7	65	3500	
OMS	Acero	11,1	169	1869	11,3	-2,4	-0,8	17,8	53,3	66	2400	
Catalina	Aluminio	9,0	211	1897	14,7	-2,3	0,0	18,4	60,2	67	3000	
Faber/Scubapro	Acero	9,6	211	2022	13,2	-5,1	-2,7	17,4	52,1	71,4	3000	
Faber/Scubapro	Acero	11,6	186	2147	13,4	-2,9	-0,8	17,2	66,5	75,8	2640	
Catalina	Aluminio	9,4	232	2192	15,9	-2,6	0,0	18,4	63,8	77,4	3300	
Catalina	Aluminio	10,4	211	2192	14,3	-0,8	1,9	18,4	65,5	77,4	3000	
Luxfer	Aluminio	10,4	211	2192	14,4	-0,7	1,9	18,4	66,3	77,4	3000	
Luxfer	Aluminio	10,5	211	2215	16,0	-1,6	1,0	20,3	58,2	78,2	3000	
Pressed Steel	Acero	9,2	246	2266	12,2	-2,5	-0,5	18,4	50,3	80	3500	
Taylor-Warton Ceyne	Acero	13,4	169	2266	15,4	-3,5	-0,9	18,4	61,0	80	2400	
OMS	Acero	15,9	169	2690	14,1	-3,0	0,0	17,8	66,0	95	2400	
Faber/Scubapro	Acero	14,5	186	2693	17,1	-3,9	-0,5	20,4	60,5	95,1	2640	
OMS	Acero	16,4	169	2775	17,2	-3,5	0,0	20,3	61,0	98	2400	
Pressed Steel	Acero	11,5	246	2835	15,0	-3,4	0,0	18,4	60,7	100,1	3500	
Pressed Steel	Acero	17,5	169	2945	20,9	-2,4	-1,1	20,3	66,5	104	2400	
OMS	Acero	18,8	169	3172	18,6	-3,6	-0,5	20,3	66,0	112	2400	
Pressed Steel	Acero	13,8	246	3398	17,2	-4,5	0,5	18,4	70,9	120	3500	
Pressed Steel	Acero	20,1	169	3398	23,6	-3,2	-0,9	20,3	74,7	120	2400	
Heiser/Beuchat	Acero	15,2	224	3398	24,9	-12,0	-8,1	20,4	65,5	120	3190	
OMS	Acero	21,0	169	3540	20,4	-4,3	0,0	20,3	73,7	125	2400	
Heiser/Beuchat	Acero	17,7	224	3965	28,6	-12,9	-8,2	20,4	75,9	140	3190	
Heiser/Beuchat	Acero	17,4	309	5381	39,5	-28,3	-21,3	20,4	79,5	190	4400	

Notas para buceo con botellas de aluminio en medidas americanas.

1 pie cúbico (pie³): 28,32 litros
 1 Psi: 0,0703 bar
 200 bar: 2850 Psi

**¡OJO! Los tanques de 80 pies³ realmente son de 77,4 12l a 200 bar = 84,75 pies³
 15l a 200 bar = 106 pies³
 18l a 200 bar = 127 pies³**

Una botella de Aluminio de 77,4 (80) pies³ a 211 bares (3000 psi.) equivale a un 12 litros a 183 bares. (2200 litros)
 Ese mismo 77,4 (80) pies³ llenado hasta 200 bares equivale a un 12 litros a 173 bares. (2080 litros)

La flotabilidad típica de un 80 lleno es de -0,7 Kg. y de +1,9 Kg. cuando está vacío.

Casi nunca son compatibles DIN. Hay que llevar siempre el adaptador INT.

E. Grandío 2002. Fuente: Rodale's Scubadiving.com

ANEXO D

TABLA DE VALORES DE COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE VARIOS MATERIALES

Coeficientes de rozamiento de algunas sustancias		
Materiales en contacto	μ_e	μ_d
Articulaciones humanas	0,02	0,003
Acero // Hielo	0,03	0,02
Acero // Teflón	0,04	0,04
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Hielo // Hielo	0,1	0,03
Esquí (encerado) // Nieve (0°C)	0,1	0,05
Acero // Acero	0,15	0,09
Vidrio // Madera	0,2	0,25
Caucho // Cemento (húmedo)	0,3	0,25
Madera // Cuero	0,5	0,4
Acero // Latón	0,5	0,4
Madera // Madera	0,7	0,4
Madera // Piedra	0,7	0,3
Vidrio // Vidrio	0,9	0,4
Caucho // Cemento (seco)	1	0,8
Cobre // Hierro (fundido)	1,1	0,3

ANEXO E

TABLA DE VALORES DEL COEFICIENTE A LA RODADURA

C_{rr}	μ_r	Descripción
0,0002 a 0,0010 ^{1 2}	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril sobre railes de acero
	0,1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0,0025 ³		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0,005		Raíles estándar de tranvía
0,0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares ³
0,006 a 0,01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
0,010 a 0,015 ⁴		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0,020		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0,030 a 0,035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0.055 a 0.065		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
0,3 ⁴		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

ANEXO F

TABLA DE PANDEO DEL VÁSTAGO

PANDEO DEL VASTAGO (III)

- 1, 2 y 3: un vástago gastado con cojinete permitirá un pandeo inicial si el vástago está articulado

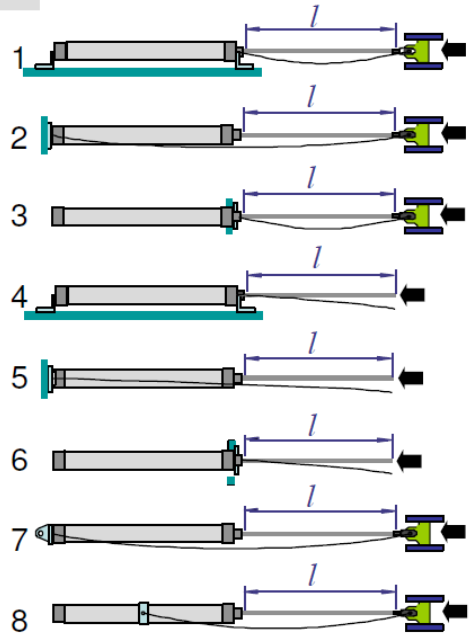
Asumir $l_p = l$ (caso Euler 2)

- 4, 5 y 6: el extremo del vástago está libre lateralmente

Asumir $l_p = 2l$ (caso Euler 1)

- 7: caso especial. $l_p < 2l$

- 8: caso especial. $l_p < 1,5 l$



ANEXO G

TABLA DE ACEROS UTILIZADOS EN FABRICACIÓN DE RESORTES

Tabla 9.2 Aceros duros, aceros aleados y aceros inoxidables para resortes

Material	Designaciones	Descripción
Alambre estirado en frío (estirado duro) (0.60 - 0.70 C)	UNS G10660 AISI/SAE 1066 ASTM A227-47	Es el acero de resorte de uso general de menor costo. Se usa cuando la exactitud, la deformación y la duración no son muy importantes (no adecuado para cargas variables o de impacto). Diámetros de 0.8 a 12 mm ^[3] (o 0.8 a 16 mm ^[1]). Rango de temperaturas 0 a 120 °C.
Alambre revenido en aceite (0.60 - 0.70 C)	UNS G10650 AISI/SAE 1065 ASTM A229-41	Mayor costo que el del SAE 1066 pero menor que el del SAE 1085. No es adecuado para cargas variables o de impacto. Diámetros de 3 a 12 mm ^[3] , aunque es posible obtener otros tamaños (0.5 a 16 mm ^[1]). Rango de temperaturas 0 a 180 °C.
Alambre para cuerda musical (0.80 - 0.95 C)	UNS G10850 AISI/SAE 1085 ASTM A228-51	Es el mejor, más resistente a la tracción, más resistente a la fatiga, más tenaz, y más utilizado para resortes pequeños. Diámetros de 0.12 a 3 mm ^[3] (o 0.10 a 6.5 mm ^[1]). Rango de temperaturas 0 a 120 °C.
Alambre revenido en aceite	AISI/SAE 1070 ASTM A230	Calidad de resorte de válvula. Adecuado para cargas variables.
Al cromo-vanadio	UNS G61500 AISI/SAE 6150 ASTM A231-41	Es el acero aleado más utilizado para aplicaciones con esfuerzos más elevados que los que soportan los aceros duros al carbono, y aquellas donde se necesiten altas resistencia a la fatiga y durabilidad. Soportan cargas de impacto. Ampliamente utilizado en válvulas de motores de avión. Diámetros de 0.8 a 12 mm. Temperaturas hasta 220 °C.
Al cromo-silicio	UNS G92540 AISI/SAE 9254 ASTM A401	Es excelente para aplicaciones con altos esfuerzos, en las que se requiera tenacidad y gran duración. El segundo más resistente después del alambre para cuerda musical. Dureza Rockwell aproximadamente entre C50 y C53. Diámetros de 0.8 a 12 mm. Temperaturas hasta 220/250 °C.
Acero inoxidable	SAE 30302 ASTM A313 (302)	Adecuado para carga variable.

ANEXO H

TABLAS DE ADAPTADORES NEUMÁTICOS

Tee Macho JIC - Macho JIC - Macho JIC



Código Code	 Rosca 1 Thread 1	 Rosca 2 Thread 2	 Rosca 3 Thread 3
3320000400	7/16"	7/16"	7/16"
3320000600	9/16"	9/16"	9/16"
3320000800	3/4"	3/4"	3/4"
3320001000	7/8"	7/8"	7/8"
3320001200	1 1/16"	1 1/16"	1 1/16"
3320001600	1 5/16"	1 5/16"	1 5/16"

Tee Macho JIC - Macho NPT - Macho JIC



Código Code	 Rosca 1 Thread 1	 Rosca 2 Thread 2	 Rosca 3 Thread 3
3320110404	1/4"	1/4"	1/4"
3320110606	3/8"	3/8"	3/8"
3320110808	1/2"	1/2"	1/2"
3320111008	5/8"	5/8"	5/8"
3320111212	3/4"	3/4"	3/4"
3320111616	1"	1"	1"

ANEXO I

TABLA DE MANGUERAS FLEXIBLE

MANGUERA SAE 100 R1AT (NTH Y HYPRESS IMM)



HR01000



TFD0011

Construcción: Tubo interior de caucho sintético, refuerzo trenzado de una malla de alambre. Cubierta de caucho sintético.

Temperatura Trabajo: -40° C a 100° C (máx. Temperatura de operación 125° C)

Temperatura Ambiente: -40° C a 80° C

Aplicación: Líneas de mediana presión para fluidos a base de petróleo; aceite caliente, Grasa, lubricantes, aire y agua.

CÓDIGO DUCASSE	DIÁMETRO INTERIOR	CÓDIGO NTH-IMPERIAL (CHINA)	CÓDIGO IMM-HYPRESS (ITALIA)	PÁG. CATÁLOGO
2663-3	3/16"	HR0100011	A PEDIDO	10-B
2663-4	1/4"	HR0100021	TFD0011-04	10-B
2663-5	5/16"	HR0100031	A PEDIDO	10-B
2663-6	3/8"	HR0100041	TFD0011-06	10-B
2663-8	1/2"	HR0100051	TFD0011-08	10-B
2663-10	5/8"	HR0100061	TFD0011-10	10-B
2663-12	3/4"	HR0100071	TFD0011-12	10-B
2663-16	1"	HR0100081	TFD0011-16	10-B
2663-20	1-1/4"	HR0100091	TFD0011-20	10-B
2681-24	1-1/2"	HR0100101	TFD0011-24	10-B
2681-32	2"	HR0100111	TFD0011-32	10-B

ANEXO J

NORMAS PARA DISEÑO DE RECIPIENTES A PRESIÓN

NORMA ISO 11439

Esta Norma Internacional no establece fórmulas de diseño ni la lista de tensiones admisibles, sino que requiere establecer los cálculos y pruebas apropiados para demostrar que los cilindros cumplen todas las condiciones en cuanto a materiales, cualificación de diseño, producción y pruebas específicas de esta norma.

Presión de prueba:

La presión de prueba marcada es, 1,5 veces la presión de trabajo (405 bar para las bombonas utilizadas en este proyecto).

La presión de ruptura no debe ser inferior por norma a 470 bares para este tipo de materiales. También se suele considerar como norma tomar como presión de ruptura 2,35 veces la presión de trabajo (705 bar en nuestro caso).

Análisis de esfuerzos:

Se debe llevar a cabo un análisis de tensión para justificar los espesores de pared mínimos en el diseño. En él se incluirá la determinación de las tensiones en los revestimientos y las fibras de los materiales compuestos.

Protección en bombonas:

El diseño del cilindro deberá ser protegido con dispositivos de alivio de presión que evitan que el recipiente sufra roturas ante elevaciones excesivas de presión. En el cilindro, los materiales deberán disponer de dispositivos de aislamiento mediante añadidos de material protector diseñados para garantizar la seguridad.

Marcado:

En cada cilindro, el fabricante deberá colocar etiquetas pegadas mediante adhesivo no inferiores a 6 mm de altura. Las etiquetas adhesivas y los datos que aparecen en ellas se harán conforme a la norma ISO 7225, o una norma equivalente y aceptada por el Inspector en el país de uso. Las etiquetas deben estar situadas de tal manera que no se oculten en el montaje.

Todas las botellas que cumplan con esta Norma Internacional deberán estar marcadas con los datos siguientes:

- 1) Las palabras "SOLO y el nombre del gas para el que está destinado".
- 2) Las palabras "No utilizar después de XX / XXXX", donde XX / XXXX identifica el mes y año de caducidad. La fecha de expiración podrá ser aplicada al cilindro en el momento de su expedición siempre que los cilindros sean almacenados en un lugar seco y sin presión interna.
- 3) Identificación de los fabricantes.
- 4) La identificación del cilindro (un número de serie único para cada cilindro).
- 5) La presión de trabajo a temperatura.
- 6) Referencia a la presente norma internacional, "la norma ISO 11439:2000", junto con el tipo de botellas y certificación o número de registro (si procede).
- 7) Cuando se utilizan etiquetas, se deberá estampar un número de identificación de la bombona y el fabricante en una de las superficies expuestas para permitir el seguimiento en el caso de que la etiqueta se destruya.
- 8) fecha de fabricación (mes y año).
- 9) Las marcas adicionales según lo requiera el Inspector del país de uso.

ANEXO K

TABLA DE ESPECIFICACIÓN DEL ACERO SAE 1045

ACEROS AL CARBONO

SUMINISTRO LAMINADO Y TREFILADO

SAE 1045

Descripción: Acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria.

Usos: Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general de resistencia media, tales como: ejes, semiejes, cigüeñales, engranajes, piñones, cuñas, tornillos, pernos, martillos, pasadores, remaches, partes de maquinaria y herramientas agrícolas.

SAE 1045

Composición química (%)	
C	0,43 - 0,50
Mn	0,60 - 0,90
P	0,04 Máx.
S	0,05 Máx.

Tratamiento térmico Valores en °C		
Forjado	850 - 1100	
Normalizado	850 - 880	
Revenido	550 - 650	
Recocido	650 - 700	
Templado	Agua	820 - 850
	Aceite	830 - 860

Propiedades mecánicas	
	Laminado en caliente
Resistencia a la tracción	63 - 73 kgf/mm ²
Límite de fluencia	40 kgf/mm ²
Elongación	16%
Reducción de área	40%
Maquinabilidad	55%
Dureza (HB)	163

Formas: Redonda, cuadrada y hexagonal



ANEXO L

KIT DE MANTENIMIENTO

Contiene:

- Una llave perica
- Un destornillador plano
- Una llave boca-corona de 10 mm
- Una llave boca-corona de 11 mm
- Una llave boca-corona de 12 mm
- Una llave boca-corona de 13 mm
- Una llave boca-corona de 14 mm
- Un martillo
- Un alicate de presión

