



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN:**

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

**ADAPTACIÓN DE UN MOTOR NEUMÁTICO A UN
COCHE DE GOLF**

Alumno: Ismael Gorrindo Osés
Tutor: José Ramón Alfaro López
Tudela, 24 de junio de 2010

Agradecimientos:

Gracias a mi tutor José Ramón Alfaro, por su colaboración y ayuda con los problemas surgidos durante todo el proyecto, así como a Mitxelko del Servicio Informático.

Gracias también a todos los profesores en general, de los que he recibido una ayuda incondicional durante los años de carrera.

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
1.1- Objetivo.	10
1.2- Introducción.....	11
1.3- Estructura del Proyecto.	12
2. TECNOLOGÍA RELACIONADA CON EL PFC.....	13
2.1- Neumática en automoción.....	14
2.2- Tecnología motores neumáticos.	18
2.2.1- Características comunes a los motores neumáticos:.....	18
2.2.2- Tipos de motores neumáticos:	19
2.2.3- Características técnicas de los motores neumáticos:	23
2.2.4- Instalación de un motor neumático:	28
2.3- Tecnología depósitos aire comprimido.	30
2.4- Tecnología del bastidor.	33
3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	35
3.1- Introducción.....	36
3.2- Cálculo del motor.....	38
3.3- Cálculo del reductor	41
3.4- Cálculo del depósito.....	43
3.5- Sistema neumático	48
3.6- Diseño del coche.....	52
4. LEGISLACIÓN RELACIONADA.....	59
5. CÁLCULOS	63
5.1- Cálculo del depósito.....	64
5.2- Cálculo del reductor.....	70
5.3- Cálculo esfuerzo y deformación del bastidor:.....	72
6. ESTUDIO ECONÓMICO	75
7. CONCLUSIÓN	77
8. BIBLIOGRAFÍA	79
9. ANEXO	81
9.1- Selección del motor:.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1.1: Locomotora neumática	14
Figura 2.1.2: Automóvil híbrido de Lee Barton Williams	15
Figura 2.1.3: Coche de aire comprimido de Armando Regusci.....	16
Figura 2.1.4: Motor de Ángelo Di Pietro	16
Figura 2.1.5: Vehículo neumático de Guy Negre	17
Figura 2.2.1: Motor neumático de aletas	19
Figura 2.2.2: Funcionamiento motor neumático aletas	20
Figura 2.2.3: Motor de aletas reversible	21
Figura 2.2.4: Motor LZL.	22
Figura 2.2.5: Motor neumático de pistones	22
Figura 2.2.6: Curva de potencia de un motor neumático.....	23
Figura 2.2.7: Curva de potencia de un motor neumático con regulador	24
Figura 2.2.8: Puntos de par de ahogo y par de arranque en curva de potencia	25
Figura 2.2.9: Válvulas de control direccional.....	28
Figura 2.2.10: Motor Guy Negre y funcionamiento del mismo	29
Figura 2.3.1: Deposito de liner termoplástico envuelto en fibra de carbono.....	32
Figura 3.1.1: Características coches de golf	36
Figura 3.2.1: Características motor LZL25.....	40
Figura 3.3.1: Diferencial.....	41
Figura 3.4.1: Vista disposición bombona horizontal	44
Figura 3.4.2: Vista disposición bombonas verticales	45
Figura 3.5.1: Válvula reguladora de presión con manómetro	47
Figura 3.5.2: Regulador de presión modelo 925D-15	48
Figura 3.5.3: Válvula reguladora de caudal regulable a pedal.....	48
Figura 3.5.4: Válvula de dirección 5/2 accionada por botón	49
Figura 3.5.6: Esquema neumático	50
Figura 3.6.1: Bastidor coche de golf.....	52
Figura 3.6.2: Vista de los soportes de las bombonas.....	53
Figura 3.6.3: Vista colocación de las bombonas y centro de masas	54
Figura 3.6.4: Explosionado piezas del chasis.....	55
Figura 3.6.5: Vista de la disposición del chasis.....	56
Figura 3.6.6: Imagen del coche totalmente completado	57
Figura 5.1.1: Depósito aire comprimido	65
Figura 5.1.2: Forma de las bombonas	66
Figura 5.1.3: Dimensiones de la bombona	69
Figura 5.3.1: Ansys esfuerzo en el bastidor	73
Figura 5.3.2: Ansys deformación en el bastidor.....	73
Figura 9.1.1: Dimensiones y características del motor 5CR-30.....	82
Figura 9.1.2: Dimensiones y características del motor 6NR-15.....	83
Figura 9.1.3: Dimensiones y características del modelo LZL25 de Atlas Copco	84

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1- Objetivo.

El objeto fin de carrera es plasmar y poner en practica gran parte de los conocimientos adquiridos durante los estudios de ingeniería técnica industrial mecánica y concretando estos en un proyecto completo como los que nos podemos encontrar en el ejercicio de la profesión.

En concreto, el proyecto que se propone consiste en adaptar un motor neumático a un coche de golf con la misma autonomía y prestaciones que los actuales coches eléctricos o de gasolina utilizados para esta actividad, esto nos permitirá plasmar nuestros conocimientos en diseño, calculo, experimentación, adquiridos en la carrera.

Este proyecto consiste en realizar un estudio para determinar la viabilidad en la adaptación o diseño de un coche de golf para su equipaje con un sistema neumático, es decir que funcione con aire comprimido y que le permita cumplir las funciones requeridas que lo hagan compatible para el objetivo que a sido diseñado pero con vistas a un potencial desarrollo que podría desarrollar una línea de vehículos competentes con los actuales vehículos de golf o con otras miras en cuanto a otro tipo de vehículos o usos.

1.2- Introducción.

Con la intención de plasmar los conocimientos adquiridos durante la carrera y con la idea de encauzar estos en un tema mecánico se nos ocurrió la idea de desarrollar una rama en cuanto a vehículos ecológicos diferente a las que actualmente están en desarrollo, para proporcionar otra alternativa de vehículos no contaminantes. Así pues debido a los estudios de neumática de fluidos realizados durante la carrera nos decantamos por la vía del aire comprimido y el estudio sobre la viabilidad de que los coches funcionen con un sistema neumático de aire comprimido.

Para delimitar y concretar el proyecto y debido a la dificultad de realizar un estudio sobre todos los diferentes vehículos nos decantamos en desarrollar nuestro producto centrado en un tipo de vehículos muy limitados y que no requieran grandes cualidades, decidimos pues desarrollar el proyecto sobre el coche de golf, que además de ser muy simples circularan en un circuito cerrado que no exige un gran rendimiento y que además exime de otras restricciones.

Definitivamente nuestro proyecto consiste pues en conseguir la viabilidad de adaptar un sistema neumático a un coche de golf para que funcione con aire comprimido y ser el punto de partida para un posible desarrollo con vistas tanto para una evolución marcada dentro del ámbito de los vehículos de golf como del resto de los vehículos.

En la actualidad nos encontramos con dos variantes en cuanto a los coches de golf, que son por un lado los que funcionan con motor eléctrico y por el otro los que lo hacen con motor a gasolina, nosotros proponemos la variante de la opción neumática (aire comprimido) con la intención de ser competente con ellas y de dar solución a las desventajas principales de las que actualmente disponen, que son por una parte el alto tiempo de recarga de las baterías una vez consumidas del coche eléctrico y por el otro la contaminación en su uso tanto por los gases de escape del coche de gasolina como también respecto a las baterías eléctricas ya gastadas que son altamente contaminantes y requieren un correcto reciclado. También la dependencia de la gasolina es un factor importante debido al encarecimiento continuo de esta forma de energía.

Es por esto por lo que planteamos este proyecto con el objetivo de seleccionar un sistema neumático completo que será el encargado de propulsar el vehículo con unos requisitos, restricciones y características concretos y adaptar dicho sistema a un coche de golf mediante el diseño y modificaciones necesarias en él sin desviarnos demasiado de los actuales cánones estéticos de estos coches. Con ello pretendemos conseguir un funcionamiento requerido sin marcarnos una alta meta en cuanto a la compatibilidad con los actuales coches de golf pero asentando las bases para un posible desarrollo de la tecnología.

1.3- Estructura del Proyecto.

En primer lugar realizaremos una investigación sobre los antecedentes y actuales vehículos neumáticos para obtener información sobre las características generales de las que deben disponer.

Posteriormente realizaremos un informe sobre los actuales coches de golf y las características requeridas en un coche de golf estándar de dos plazas de los ya existentes en el mercado para poder definir que requisitos o restricciones deberá tener nuestro coche aun sabiendo que no vamos a competir actualmente con ellos.

Una vez planteadas las características escogidas para el coche de golf definiremos el sistema neumático encargado de proporcionarle al coche esas características. Empezaremos por seleccionar un motor, este no lo diseñaremos, simplemente le delimitaremos unas características que deberá disponer y escogeremos para este proyecto uno del mercado actual, sabiendo que en un posterior desarrollo de este proyecto sería conveniente el diseño de un motor más específico y eficiente para el objetivo de su uso. Posteriormente con el motor neumático ya escogido nos encargaremos de concretar el depósito de aire necesario, este dependerá de varios factores como el consumo del motor, tiempo de autonomía requerido, presión del aire etc.

Una vez definidos los dos elementos más importantes del sistema neumático, lo siguiente es definir el resto del circuito neumático, para ello determinaremos un circuito completo concretando todos y cada uno de los demás elementos neumáticos necesarios que dependerán de las funciones que deba cumplir el coche.

También fuera del ámbito neumático hay que concretar elementos mecánicos como por ejemplo el reductor de velocidad que acoplado al motor reduce el número de r.p.m. en la salida del eje que va directo a las ruedas y también aumenta el par de salida todo ello en la misma proporción deseada.

Por último se realizará el diseño del coche de golf en cuanto a la forma, combinando la estética con la funcionalidad y consiguiendo la integración de todo el sistema neumático en el mismo ofreciendo un resultado válido y compatible con las formas actuales de dichos coches de golf.

2. TECNOLOGÍA RELACIONADA CON EL PFC

2.1- 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 diesel 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.

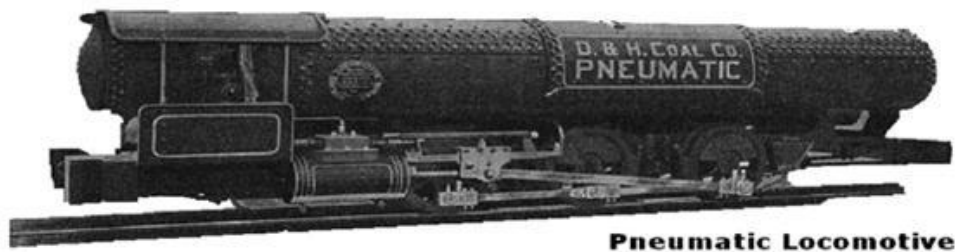


Figura 2.1.1: Locomotora neumática.

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).

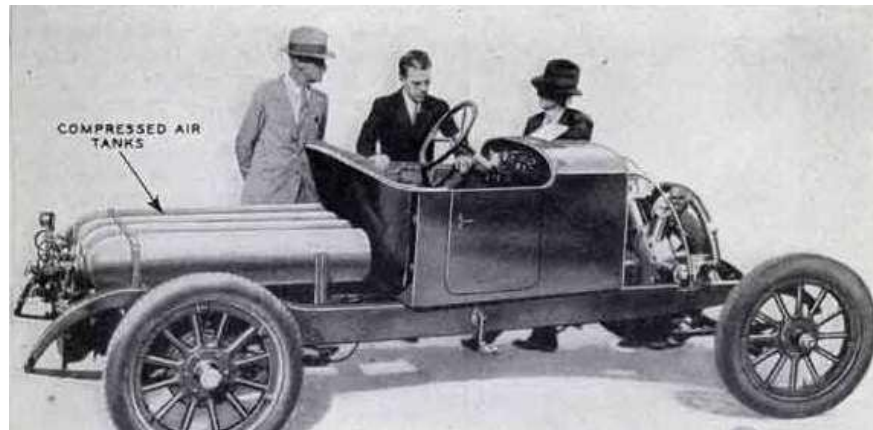


Figura 2.1.2: Automóvil híbrido de Lee Barton Williams.

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.

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 Regusci Air 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.



Figura 2.1.3: 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 aplicaciones. Este motor está destinado a utilizarse en barcos, coches u otros vehículos de transporte.



Figura 2.1.4: Motor de Ángel 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 esta 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.



Figura 2.1.5: Guy Negre con uno de sus vehículos neumáticos.

2.2- Tecnología motores neumáticos.

2.2.1- Características comunes a los motores neumáticos:

Diseño compacto y ligero: Los motores neumáticos pesan menos y tienen un menor volumen que otros tipos de motores de la misma potencia, es decir desarrollan mucha más potencia con relación a su tamaño y peso que la mayoría de los otros tipos de motor.

El par del motor neumático aumenta con la carga. La potencia de un motor neumático es relativamente constante dentro de una amplia gama de velocidad y cuando la velocidad se reduce debido a un incremento de la carga, el par aumenta.

El arranque, el paro y el cambio de sentido de giro son instantáneos, funcionan eficazmente en cualquier dirección y se invierten fácilmente usando una válvula direccional, incluso cuando el motor esté trabajando a plena carga.

Control de velocidad infinitamente variable. Simplemente con una válvula montada a la entrada del motor.

Par y potencia regulables. Variando la presión de trabajo. Además, la velocidad también se puede ajustar progresivamente en toda su gama variando el caudal de aire.

Cuando el motor gira, el aire expandido enfría el motor. Por esto, los motores pueden usarse en ambientes con temperaturas altas.

Mantenimiento mínimo. El aire comprimido debe estar limpio y bien lubricado, lo que reduce desgastes en el motor y elimina tiempos de parada al alargar la vida del motor.

2.2.2- Tipos de motores neumáticos:

La mayoría de los motores neumáticos son de dos tipos: de aletas y de pistones. Hay también de engranajes.

Motores neumáticos de aletas:

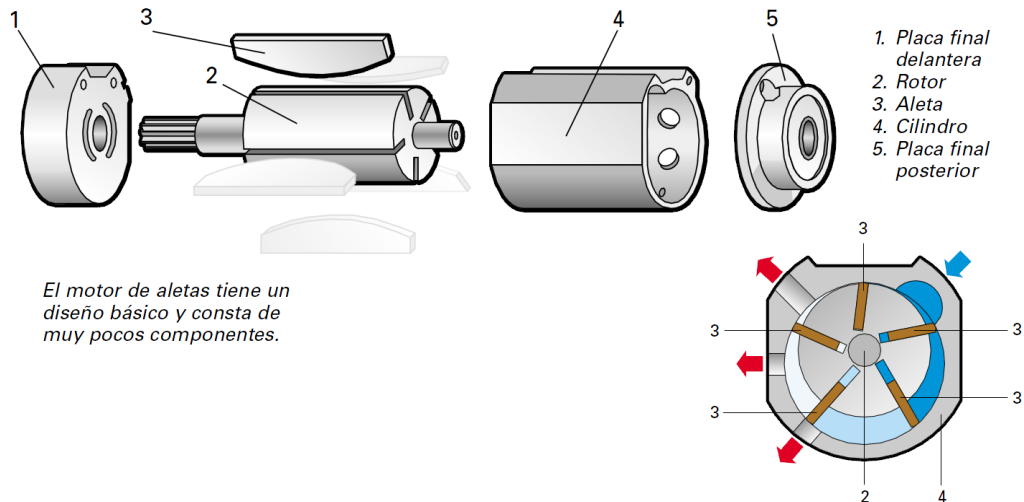


Figura 2.2.1: Motor neumático de aletas.

Estos motores tienen un rotor montado excéntricamente en un cilindro, con aletas longitudinales alojadas en ranuras a lo largo del rotor.

El par se origina cuando el aire a presión actúa sobre las aletas. El número de aletas suele ser de 4 a 8. Normalmente cuatro o cinco aletas son suficientes para la mayoría de las aplicaciones. Se utilizan mayor número de aletas cuando se necesita mejorar la fiabilidad de la máquina y su par de arranque pero esto supone un aumento en las pérdidas por rozamiento.

Los motores de aletas giran desde 3000 a 25000 r.p.m. en vacío.

La vida de las aletas se prolongará a varios cientos de horas trabajando el motor a velocidades moderadas y metiendo aire al motor debidamente limpio y lubricado con aceite en suspensión.

Los motores de aletas giran a velocidades más altas y desarrollan mas potencia en relación con su peso que los motores de pistones, sin embargo tienen un par de arranque menos efectivo.

Los motores de aletas son más ligeros y más baratos que los motores de pistones de potencia similar.

Son los motores de uso más frecuente.

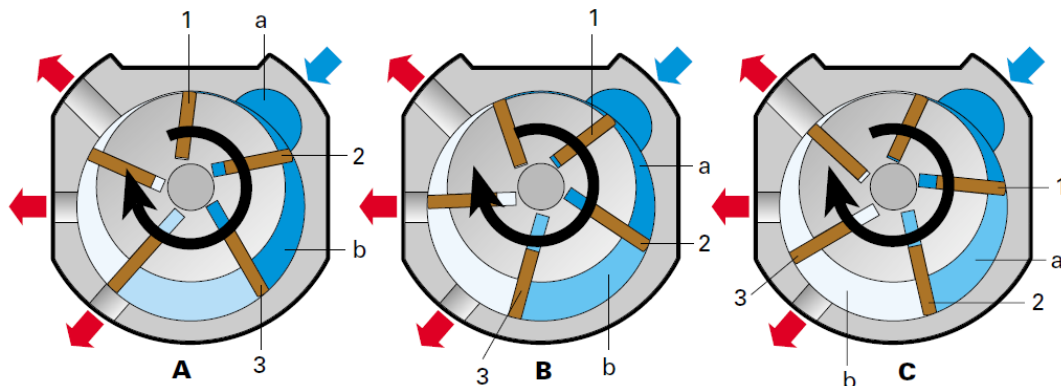
Funcionamiento:

Figura 2.2.2: Funcionamiento motor neumático aletas.

1: El aire entra en la cámara de aspiración “a”. La aleta 2 ha sellado la cámara “b” entre sí misma y la aleta 3. La presión en la cámara “b” es todavía la presión de aspiración. Esta presión actúa sobre la aleta 3, moviéndola en sentido horario.

2: Las aletas han girado un poco más y ha comenzado el proceso de expansión en la cámara “b”. La presión en esta cámara es por tanto baja, pero todavía hay una fuerza neta que mueve el rotor hacia delante ya que la superficie de la aleta 3 es mayor que la superficie de la aleta 2 en la cámara “b”. Además, la presión de aspiración actúa sobre la aleta 2 en la cámara de aspiración “a”.

3: Las aletas se han movido un poco más. La cámara “b” está siendo vaciada ahora a través de la salida, y ya no existe contribución desde esta cámara. La fuerza que mueve el rotor hacia delante procede ahora de la fuerza de las aletas 1 y 2.

Gracias a este sencillo principio de funcionamiento, la energía del aire comprimido se convierte en movimiento giratorio de cámara a cámara, y el motor gira.

Giro horario, antihorario y reversible:

El motor anteriormente descrito gira en sentido horario, visto desde el extremo posterior. Además de este tipo de motor de aletas también hay otros con giro antihorario y reversibles. Los motores con giro antihorario tienen el mismo diseño que los de giro horario, pero con la sección transversal reflejada al revés.

Para un motor reversible, la lumbrera “a” es la entrada para rotación en sentido horario. La lumbrera “c” es la salida principal y la lumbrera “b” es la salida secundaria. En rotación a izquierdas, la lumbrera “b” se convierte en la entrada, y la lumbrera “a” en la salida secundaria. La lumbrera “c” sigue siendo la salida principal. Los motores LZB están diseñados conforme a lo explicado anteriormente.

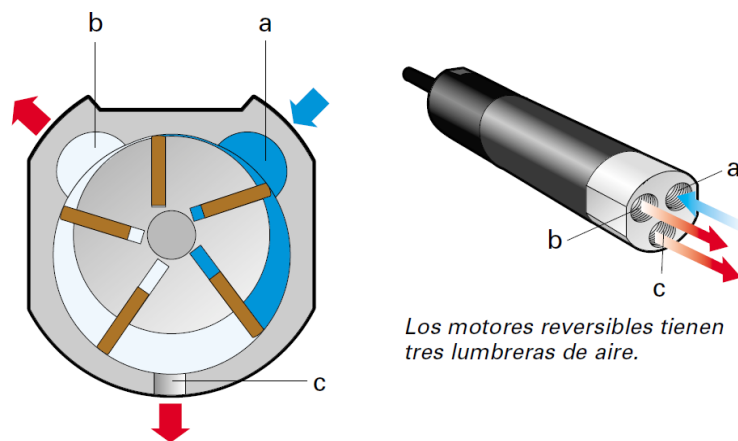
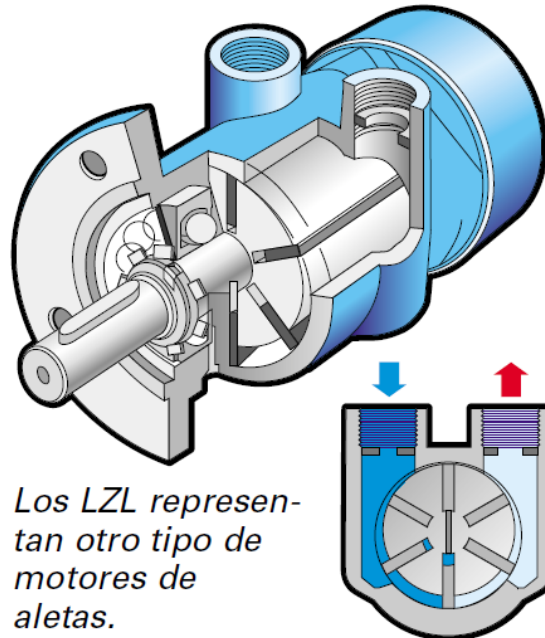


Figura 2.2.3: Motor de aletas reversible.

El otro tipo de motor de aletas es el LZL, estos motores son reversibles pero tienen sólo dos lumbreras de aire. Una es la entrada y la otra, la salida. Los motores LZL están diseñados para obtener unas características excelentes de arranque y funcionamiento a baja velocidad. Esto se consigue mediante 6 aletas que son empujadas contra el interior del cilindro. Como apoyo para esta función, los motores LZL también reciben un suministro de aire comprimido debajo de las aletas.



Los LZL representan otro tipo de motores de aletas.

Figura 2.2.4: Motor LZL.

Motores neumáticos de pistones:

Los motores neumáticos de pistones tienen de 4 a 6 cilindros. La potencia se desarrolla bajo la influencia de la presión encerrada en cada cilindro.

Trabajan a revoluciones más bajas que los motores de paletas. Tienen un par de arranque elevado y buen control de su velocidad. Se emplean para trabajos a baja velocidad con grandes cargas.

Pueden tener los pistones colocados axial o radialmente.

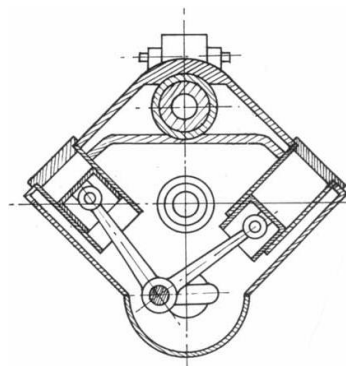


Figura 2.2.5: Motor neumático de pistones

2.2.3- Características técnicas de los motores neumáticos:

Motores neumáticos reversibles o con un solo sentido de giro:

Los motores neumáticos con un solo sentido de giro, tienen ligeramente mayor potencia, par y velocidad que los motores reversibles.

Presión de trabajo:

Los motores neumáticos pueden trabajar entre 3 y 7 bar, aunque la presión normal de trabajo es cercana a 6 bar. Los motores, están diseñados para dar sus mejores características a esta presión.

Aunque pueden trabajar por debajo de 3 bar, a esta presión tan baja, el rendimiento de los motores puede ser insuficiente para el trabajo solicitado.

Por otra parte, también pueden trabajar por encima de 7 bar, pero con riesgo de favorecer el desgaste y aumentar el mantenimiento del motor.

El rendimiento de un motor neumático depende de la presión de entrada. A una presión de entrada constante, los motores neumáticos muestran una relación lineal característica de par/velocidad. Sin embargo, regulando el suministro de aire, a través de las técnicas de estrangulación o regulación de presión, se puede modificar la potencia de un motor neumático.

Potencia:

La velocidad se sitúa sobre el eje horizontal, mientras que la potencia y el par lo hacen en el eje vertical.

En la figura se ve que la potencia es cero para velocidad cero y que va incrementándose cuando se incrementa la velocidad hasta un máximo que corresponde con la mitad de las revoluciones libres del motor. A partir de ese punto si se incrementa la velocidad, la potencia disminuye hasta cero cuando el motor gira a las máximas revoluciones (revoluciones libres).

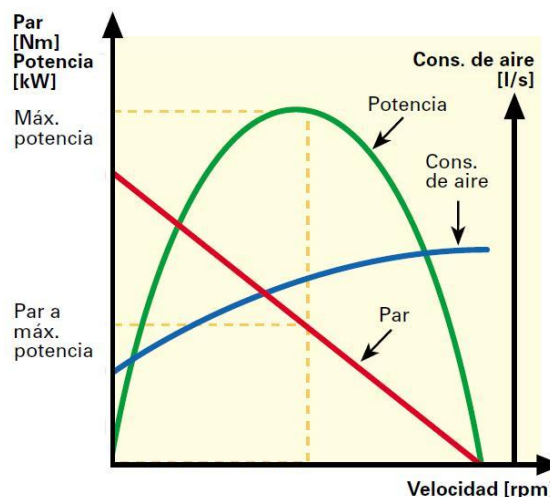


Figura 2.2.6: Curva de potencia de un motor neumático.

Motores con regulador de velocidad:

Para la mayoría de las aplicaciones las velocidades de salida que dan los motores son demasiado elevadas, y el par del rotor también es bastante bajo.

Para convertir una alta velocidad y un bajo par en una menor velocidad y un mayor par se emplean reguladores de velocidad en los motores.

El aumento del par y la reducción de velocidad es proporcional a la relación de engranajes del regulador. La potencia se mantiene constante.

Un motor sin regulador de velocidad y girando a velocidad libre, puede dañarse si se le sobrecarga bruscamente.

Un motor con regulador de velocidad gira a velocidad libre a unas revoluciones cercanas a las de potencia máxima por lo que el motor reacciona mejor cuando se le somete a una carga inesperada.

Los motores con regulador se emplean para accionar máquinas en las que hay que garantizar que el motor no pase de ciertas revoluciones.

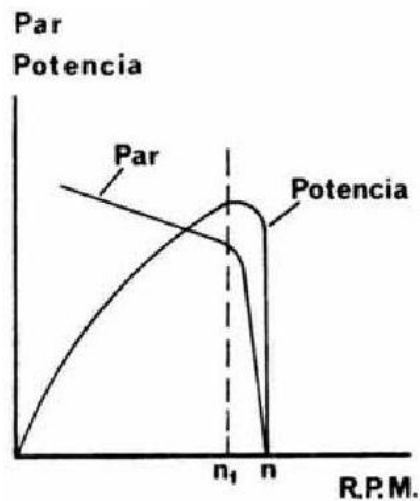


Figura 2.2.7: Curva de potencia de un motor neumático con regulador.

Par motor:

El par alcanza su valor máximo cuando el motor comienza a girar (velocidad cercana a cero) y cae rápidamente (casi linealmente) hasta cero cuando el motor gira a velocidad libre.

Si se va aumentando la carga al motor, la velocidad del motor baja y el par se incrementa hasta que al llegar a velocidad cero, se bloquea el motor. Si por el contrario, la carga disminuye, el motor aumenta su velocidad y el par disminuye hasta ajustarse a la carga aplicada.

El par al cual el motor se atasca, es, aproximadamente, el doble del par que tiene el motor girando a máxima potencia.

El par de arranque de un motor es el que el motor puede desarrollar cuando arranca bajo carga. Dependiendo de la posición de las paletas en el cilindro con respecto a la entrada y la salida de aire, en el momento del arranque, hay que considerar que la fricción estática es mayor que la dinámica por eso cuesta más arrancar el motor que mantenerlo en marcha. El valor del par de arranque está entre dos valores: máximo y mínimo.

El par de arranque mínimo es el que garantiza el arranque suele ser el 75% del par de ahogo del motor que es casi el valor de par máximo de arranque.

El par de ahogo es el que produce un motor al ser forzado a detenerse, suele ser el doble del par a máxima potencia.

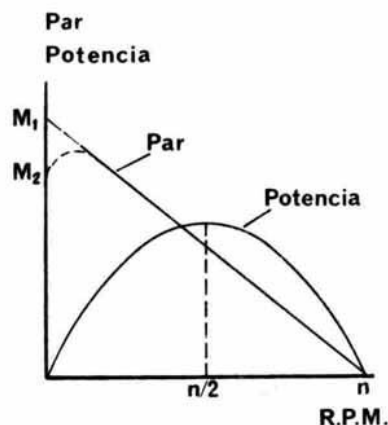


Figura 2.2.8: Muestra de los puntos de par de ahogo (M_1) y par de arranque (M_2)

Selección del motor:

Para seleccionar un motor neumático para una aplicación, el primer paso es establecer el punto de trabajo, para ello lo primero que debe saberse es la velocidad a la que debe trabajar el motor y el par para esa velocidad. La combinación de ambas variables nos indicará la potencia del motor. Entre todos los motores posibles que buscamos hay que elegir el que produzca la potencia máxima lo más cerca posible del punto de trabajo. Este motor ofrecerá también el consumo más bajo de aire para una potencia dada.

También hay que asegurarse de que se ha elegido el valor de par adecuado. (No el par de arranque o bloqueo, sino el del motor girando a la velocidad seleccionada).

En algunos casos además del par y la correspondiente velocidad son necesarios para la elección del motor algunos requisitos adicionales como estos:

- Par de arranque
- Par de ahogo
- Velocidad en vacío
- Vida de servicio
- Consumo de aire
- Carga sobre el eje

Aire comprimido:

Las características de los motores se han definido para la presión de trabajo y el caudal de aire comprimido que figura en las indicaciones del motor.

Esta presión es la del aire que llega al motor, medida en la boca de entrada del mismo y cuando el motor está trabajando.

La instalación de aire debe tener la sección suficiente para que el caudal de aire que necesita el motor le llegue sin pérdidas de presión.

El consumo de aire de un motor neumático aumenta con la velocidad de éste, alcanzando su mayor nivel cuando funciona a velocidad libre.

El consumo de aire se mide en l/s. Sin embargo, éste no es el volumen real que ocupa el aire comprimido en el motor, sino que se mide como el volumen que ocuparía en condiciones normales (1 atm). Es una norma utilizada para todos los equipos neumáticos.

Las características y rendimientos del motor pueden ser modificadas de varias maneras:

- Regulando la presión de entrada del aire al motor lo cual modifica el rendimiento del mismo.
- Reduciendo por estrangulación la cantidad de aire a la entrada del motor, reduciendo con ello el consumo mediante la reducción también de la velocidad pero manteniendo en mayor medida el par. También se puede estrangular el aire a la salida del motor.

Será importante también disponer de silenciadores a la salida de aire del motor para disminuir el ruido ocasionado por el aire de escape. Este nivel sonoro aumenta con la velocidad, el silenciador debe estar correctamente dimensionado según el caudal de escape del motor, de no ser así podría ocasionar pérdidas de potencia.

2.2.4- Instalación de un motor neumático:

Tratamiento del aire:

Para funcionar, un motor neumático necesita una determinada cantidad de aire y una determinada presión. Por consiguiente, las mangueras de suministro y de escape deben tener el tamaño adecuado.

El aire que llega al motor debe estar limpio y engrasado, por ello hay que colocar cerca de la entrada de aire a los motores un filtro de aire y un lubricador salvo para los motores exentos de lubricación, hay que asegurarse de que estos componentes tienen la capacidad necesaria para los motores que se van a usar.

Válvulas de control direccional:

Estas válvulas se usan para arrancar, parar o cambiar el sentido de rotación del motor. Es habitual usar válvulas 5/3 o 5/2 para controlar un motor reversible, y válvulas 3/2 para controlar un motor no reversible.

Las designaciones de la válvula se refieren al número de lumbreras de conexión y al número de posiciones de actuación que tiene la válvula; una válvula 5/3 significa que tiene una lumbrera de 5 conexiones y 3 posiciones.

Al seleccionar cualquier válvula de control es importante asegurarse que tenga una capacidad de flujo suficiente para satisfacer los requisitos del motor.

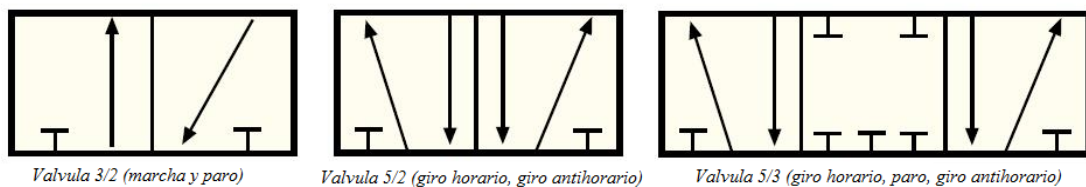


Figura 2.2.9: Válvulas de control direccional.

Pueden ser mandadas manualmente o por accionamiento automático.

En la actualidad en grandes empresas dedicadas al aire comprimido como combustible para vehículos, barcos u otras funciones semejantes se están desarrollando motores muy complejos y competitivos para esa función contando para ello con importantes ingenieros familiarizados con esta tecnología.

Es el caso por ejemplo de la empresa EngineAir Research & Development donde Ángel Di Pietro a desarrollado el antes mencionado motor de pistón rotario que reduce el rozamiento interno y con ello aumenta el rendimiento.

También en la empresa MDI el ingeniero Guy Negre a desarrollado otro innovador motor en el que a incorporado un sistema de bielas articuladas que permiten al pistón inmovilizarse en el punto muerto superior, este sistema patentado por MDI permite una expansión a volumen constante. El motor funciona de la siguiente manera, primeramente el aire se aspira del exterior y en un primer pistón se comprime a 20 bares y 400°C, en ese momento se para el pistón y el aire pasa a una cámara esférica, en dicha cámara se inyecta el aire procedente de las bombonas a presión de 300 bares y temperatura ambiental, esta inyección de aire produce un aumento de presión y expande la mezcla empujando un segundo pistón que entrega la energía al vehículo.

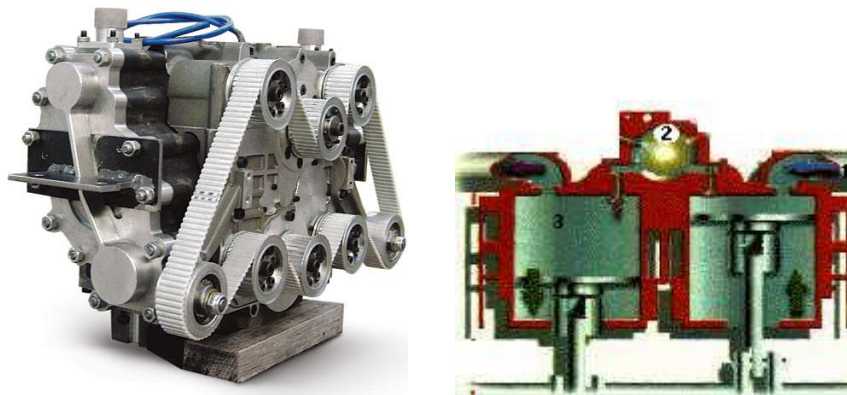


Figura 2.2.10: Motor Guy Negre y funcionamiento del mismo.

Estos motores se salen del comportamiento común de los motores de aire comprimido puesto que han sido diseñados para un uso específico y complejo.

2.3- Tecnología depósitos aire comprimido.

La tecnología actual en cuanto a depósitos de aire comprimido es bastante diversa según el uso al que están destinados. En este capítulo nos vamos a centrar en los depósitos que almacenan aire comprimido pero a alta presión, es decir para usos bastante específicos.

En cuanto al diseño formal de los depósitos de aire comprimido a alta presión hay que destacar el uso de formas redondeadas, dichas formas derivan de la esfera debido a que es el cuerpo geométrico con menos superficie para su volumen y con ello estos depósitos soportan menos esfuerzos superficiales que además están distribuidos equitativamente, un diseño esquinado o con formas irregulares serviría de concentradores de presión y de puntos críticos, de ahí la forma cilíndrica de los mismos.

Los depósitos que primero nos encontramos para uso industrial son los de acero, estos tienen capacidades muy altas en cuanto a volumen, pero en cuanto a presión no se suelen diseñar para soportar presiones mayores de 50 bares.

Los primeros depósitos de aire comprimido de alta presión que nos encontramos son las botellas de buceo. Estos depósitos si que soportan altas presiones, de hasta 300 bares, pero no tienen una gran capacidad volumétrica, generalmente no pasan de almacenar más de 20 litros.

Hasta ahora este tipo de botellas eran de acero, y sigue siendo lo más utilizado, pero últimamente están apareciendo nuevas aleaciones para evitar el peso del acero, aluminio u otras aleaciones ligeras son las soluciones que se están dando actualmente, pero siguen teniendo el inconveniente de ser muy pesadas y peligrosas por la corrosión del metal.

Los depósitos que se necesitan en los vehículos propulsados por aire comprimido requieren almacenar gran cantidad de aire a alta presión y todo ello sin ocupar mucho espacio ni añadir un excesivo peso al vehículo, esto implica el descarte del acero, del aluminio y casi de cualquier aleación metálica en la fabricación de estos depósitos debido al peso que supondrían unos depósitos fabricados en estos materiales por el gran tamaño y espesores que serían requeridos.

Se hace indispensable la búsqueda de otras tecnologías en cuanto a materiales para la fabricación de los depósitos. Surgen entonces la utilización de depósitos fabricados con fibras enrolladas y cruzadas sobre un material termoplástico, comúnmente plásticos reforzados con fibras.

Las fibras utilizadas para crear estos compuestos suelen ser fibras de vidrio, carbono o de kevlar. La utilización de las fibras de carbono es la más extendida principalmente por su relación resistencia/peso con la que se consiguen bombonas mucho más livianas que las de acero. Así pues las bombonas de fibra de carbono enrolladas sobre un liner termoplástico son la más utilizadas para este campo.

La fibra de carbono es la más resistente de las fibras, es la que más fuerza puede soportar en todas sus direcciones sin romperse pero no dispone de gran elasticidad, por ello no tienen zona de comportamiento plástico y el límite elástico coincide con el de tracción (rotura), dispone de poco alargamiento hasta la rotura, es más rígido y difícil de deformar, alto módulo de elasticidad. La fibra de vidrio en cambio es menos resistente y se deforma más, el kevlar por su parte tiende a ser más duro. Esto quiere decir que puede absorber más energía sin romperse, más aún que la fibra de carbono, pero es demasiado elástico y falla en algunas direcciones.

Un termoplástico es un plástico que a temperatura ambiente es plástico, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría, pueden recalentarse para moldear otros objetos. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular.

En los plásticos reforzados con fibra de carbono se combinan las propiedades de la fibra y del plástico, en términos de fuerza, las fibras son las responsables de las propiedades mecánicas y sirven para resistir la tracción, la matriz de liner termoplástico es la responsable de las propiedades físicas y químicas para resistir las deformaciones con ello asegura la estanqueidad.

Esta técnica es el resultado de tener en cuenta parámetros como las características mecánicas, densidad de los materiales y la elección correcta de las fibras. Se ha definido así un tipo de depósitos que responden a la norma ISO 11439. Las propiedades más importantes del compuesto de fibra de carbono sobre una matriz termoplástica con el que se van a fabricar los depósitos son:

Densidad	Resistencia a tracción
1700 kg/m ³	1000 MPa

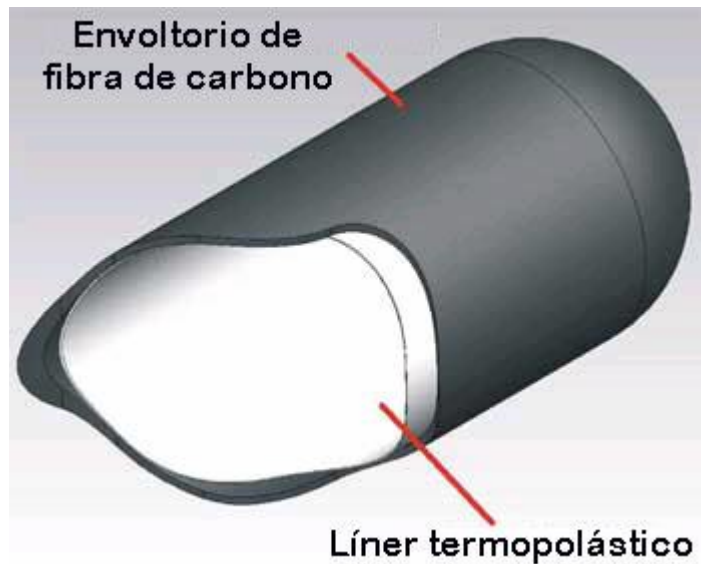


Figura 2.3.1: Depósito de liner termoplástico con envoltorio de fibra de carbono.

Las condiciones de uso son presión efectiva máxima, 300 bares, y temperaturas entre -40 y 60°C.

Los depósitos son sometidos a diversos test y ensayos de homologación: estanqueidad, presión de prueba de 405 bar, presión de ruptura 705 bar, temperatura ambiental y temperatura extrema, prueba con fuego, resistencia a cortes, pruebas de choques y caídas, además se deben realizar periódicas inspecciones.

En caso de accidente, el depósito no se fragmenta, evitando así cualquier proyección de fragmentos sino que se rajaría por ser de fibra y produciría una apertura alargada en la estructura del depósito sin explotar, ya que no son metálicos, y el aire se escaparía produciendo un fuerte zumbido, además este tipo de bombonas disponen de una válvula en medio del depósito para evitar, en caso de ruptura, un efecto de propulsión que pudiera desplazar accidentalmente el vehículo.

Sirven de ejemplo los depósitos de los coches de aire comprimido que están desarrollando las empresas destinadas a esta tecnología, por ejemplo el coche de MDI que dispone de 340 litros de aire comprimido a 300 bares repartidos en cuatro depósitos fabricados con una estructura de liner termoplástico con envoltorio de fibra de carbono o el coche de Armando Regusci que tiene dos tanques a 200 bares de presión y con previsiones de aumento fabricados con fibra de carbono.

2.4- Tecnología del bastidor.

Un bastidor se podría definir como una estructura rígida y poco deformable cuyo propósito es el de ofrecer puntos de amarre para los diferentes sistemas del vehículo, vendría a ser la estructura madre sobre la que se fijan las demás piezas del coche.

La construcción de un bastidor es el compromiso entre la rigidez, el peso y el espacio, de hecho en el diseño de un bastidor se debe tener en cuenta que cuanto menos peso tenga, respetando la rigidez, mejor se aprovechará la potencia del motor, también conviene que el centro de gravedad esté lo más bajo posible para disminuir el balanceo.

En cuanto al material, los bastidores generalmente se fabrican en acero debido a que es un material bastante barato, su soldabilidad es buena, es dúctil y su módulo de elasticidad es superior al de otros materiales con lo que el tamaño de la sección de tubo necesario para tener una misma rigidez es menor.

En cuanto a la forma interesa utilizar barras huecas de pared delgada ya que se comportan mejor a pandeo y a flexión porque el momento de inercia es mayor que para un tubo macizo del mismo peso. El espesor de pared más común en estos casos es de 2 mm sean tubos tanto de sección redonda como cuadrada.

Con todo ello se construye un bastidor rígido, resistente y suficientemente liviano. La estructura del bastidor debe ser comprobada mediante programas que comprueben su resistencia y deformación al aplicársele diversos esfuerzos.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1- Introducción.

En este capítulo se va a detallar el proceso histórico que hemos seguido desde que se constató el tema definitivo del proyecto hasta que lo damos por finalizado.

Cuando certificamos el objetivo del proyecto en sí y tratándose de acoplar un motor neumático a un coche de golf, lo primero que se hizo fue un estudio histórico en cuanto a la neumática en automóviles (tema desarrollado en el apartado 3.1.) para así disponer de claros conocimientos sobre la tecnología usada y con ellos poder disponer de una idea sobre los elementos que serán necesarios para propulsar un coche utilizando aire comprimido. Una vez cerciorados dichos elementos deberemos seleccionar estos conforme a las necesidades de nuestro prototipo, es decir las características que deberá de cumplir el coche de golf, para ello realizaremos una investigación sobre los distintos coches de golf que actualmente existen y seleccionaremos las características y requisitos más comunes de todos ellos y que serán las que en mayor o menor medida haremos que cumpla nuestro coche.

RXV GASOLINA

Marca: E-Z-GO



- Motor : 13 CV, 4 tiempos, dos cilindros, silencioso.
- Peso : 316 kg.
- Capacidad de carga, incluyendo pasajeros: 360 kg. Dimensiones: 2,40m largo x 1,19m ancho x 1,74m alto
- Depósito Gasolina: 23.5L
- Velocidad 21 km/h.
- Selector manual de marcha adelante/atrás. Diferencial automático autoblocante. Transmisión directa. Dirección de piñón y cremallera.
- Chasis de acero con recubrimiento DuraShieldTM.
- Color incorporado en el material de la carrocería.
- Radio de giro: 5,8m.
- Paragolpes delanteros y traseros capaces de resistir un impacto de hasta 8 km/h.
- Cristal delantero Plegable, soporte 2 bolsas de Golf, techo doble capa con asas

RXV ELECTRICO

Marca: E-Z-GO



- Motor: 48v. 4 baterías. Corriente alterna -3CV para 30 minutos. Cargador PowerWiseTM de alta frecuencia.
- Peso sin baterías: 259 kg.
- Capacidad de carga, incluyendo pasajeros: 360 kg. Dimensiones: 2,40 m largo x 1,19 m ancho x 1,74m alto.
- Freno ELECTRO-MECÁNICO automático de estacionamiento. Velocidad programable de 12,2 a 24,1 km/h.
- Diferencial automático autoblocante. Transmisión A y directa. Dirección de piñón y cremallera.
- Chasis de acero con recubrimiento DuraShieldTM.
- Color incorporado en el material de la carrocería.
- Radio de giro de 5,8 m.
- Paragolpes delanteros y traseros capaces de resistir un impacto de hasta 8 km/h.
- Cristal delantero Plegable, soporte para 2 bolsas de Golf, techo doble capa con asas.

Figura 3.1.1: Características coches de golf.

De las comparativas anteriores se extrajeron ciertos requisitos aplicables a nuestro coche, teniendo en mente el objetivo real del proyecto y que no es competir en cuanto a rendimiento o autonomía con esos vehículos, así pues nos centramos en tres requisitos fundamentales que nuestro vehículo deberá cumplir:

- Autonomía para un recorrido de 15 kilómetros (de sobra para cubrir campos de 18 hoyos).
- Velocidad máxima 30 Km/h. Velocidad máxima recomendada para vehículos de estas características, la velocidad marcha atrás es un 65 % menor.
- Potencia entre 3 y 5 Kw. Considerando el gasto energético es la potencia adecuada para poder realizar el recorrido en media hora sin parar.
- Pendiente máxima 30% de inclinación.

Todas las características descritas anteriormente nos conducen a un elemento principal para llevarlas a cabo, este elemento es el motor, que se encargará del movimiento del vehículo con una potencia y velocidad deseada y con un consumo específico que nos marcará la autonomía, con todo esto se hace necesario concretar en este punto el motor como base del trabajo.

3.2- Cálculo del motor.

El elemento fundamental en cuanto a la motriz del coche es el motor. Se va a definir un motor neumático posteriormente de concretar las características que debe disponer.

El motor neumático con respecto al eléctrico tiene la ventaja de necesitar un menor peso y volumen para tener la misma potencia, normalmente trabajan entre 3 y 7 bares de presión, a más presión más desgaste y consumo pero también más potencia, par y velocidad.

Actualmente se están desarrollando motores neumáticos muy competitivos en empresas dedicadas a esta tecnología como la empresa EngineAir Research & Development o la empresa automovilística MDI donde se diseñan motores neumáticos para utilizar en vehículos ecológicos, pero el objeto de este proyecto no es el de diseñar un motor, sino acoplar este a un coche de golf sin que este sea una competencia clara con los actuales coches de golf del mercado, por ello haremos la selección del motor entre los que se comercializan en el mercado actual de motores neumáticos.

Comienza ahora el trabajo de selección del motor para lo cual investigamos sobre la tecnología de los motores neumáticos (capítulo 3.2.) y concluimos que lo primero a saber para seleccionar un motor neumático es la velocidad a la que a de trabajar el motor y el par a esa velocidad, esto nos dará la potencia. Lo más eficaz es que el motor funcione a la velocidad de máxima potencia, elegiremos un motor cuyo punto de trabajo este lo más cerca del de potencia máxima con ello obtenemos un menor consumo.

Por supuesto es fundamental escoger un motor reversible para que disponga así de dos sentidos de giro puesto que lo que queremos de él es que mueva un coche que dispondrá como es obvio de marcha atrás.

Analizamos también las características que disponen los motores tanto eléctricos como de gasolina de los actuales coches de golf y que nos servirán de referencia para seleccionar un motor de aire comprimido capaz de realizar una labor semejante. Las características medias obtenidas son en cuanto a potencia 3 kW, velocidad 2800 r.p.m. y par 10 Nm, estas serán las características medias con las que buscar un motor trabajando a máxima potencia.

Posteriormente consultamos en diversos catálogos y empresas hasta encontrar el más eficaz posible y que se aproxime más a las características buscadas.

En la imagen 2.2.6 se muestra la curva de potencia característica de los motores neumáticos, en ella se observa que la potencia máxima se genera en torno al 50% de la velocidad en vacío.

Para la utilización que vamos a darle como accionamiento de un coche deberemos colocarle un regulador de velocidad por engranajes que impiden que el motor se acerque a la velocidad de vacío ni pase de ciertas revoluciones y se mantenga trabajando cerca del punto de máxima potencia. Imagen 2.2.7

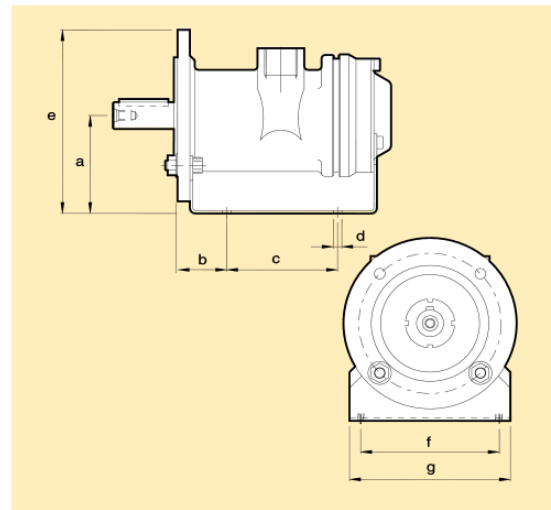
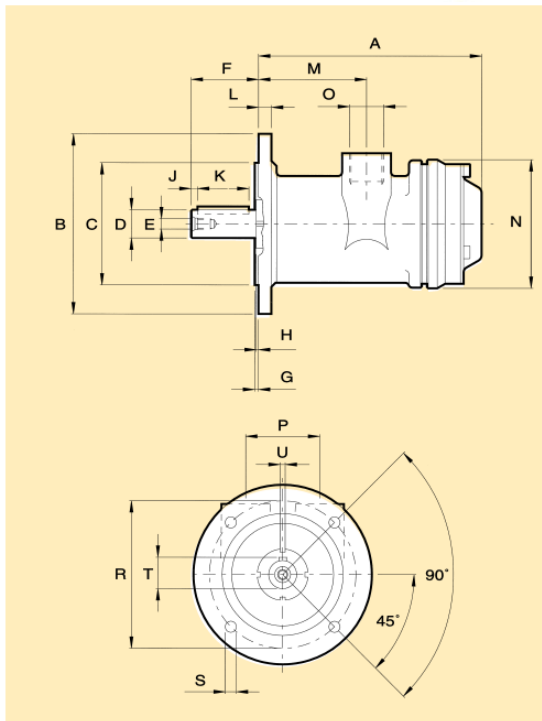
La velocidad en carga para un motor con regulador es aproximadamente el 80% de la velocidad libre del motor.

Con todos los datos cerciorados realizamos una labor de búsqueda del motor consultando catálogos de diferentes empresas como Neumac o Atlas Copco donde los motores tipo CR, NR o LZL se ajustan bastante a lo exigido.

Finalmente seleccionamos el motor LZL25 de Atlas Copco (tema desarrollado en el apartado Selección del motor) que consta de las siguientes características:

Datos sobre el producto a 6,3 bar LZL 25

Désignación	8411 1005 25	
Modelo	LZL 25	
Salida max	3.4	kW
	4.6	hp
Velocidad max	2800	r/min
Para max	11.6	Nm
	8.5	lbf. ft
Par mínimo al arranque	18	Nm
	13.2	lbf.ft
Velocidad libre	5800	r/min
Consumo de aire a potencia máxima	86	l/s
	182	cfm
Peso	11.3	kg
	24.9	lb



Foot bracket	LZL 05	LZL 15	LZL 25
Ordering No.	4430 0304 80	4430 0305 80	4430 0306 80

Type	a	b	c	d	e	f	g
LZL 05	56	32	71	5,8	109	90	104
LZL 15	80	40	90	7	150	112	130
LZL 25	90	53	100	10	170	125	146

Type	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U
LZL 05	141	105	70j6	18j6	M5	44	2.5	2.5	5	30	8	69	83	BSP 1/2"	44	85	6.7	20.5	6h9
LZL 15	174	140	95j6	22j6	M8	52.5	3	0	5	40	10	84	100	BSP 3/4"	58	115	8.8	24.5	6h9
LZL 25	206	160	110j6	28j6	M10	62.5	3.5	1.8	5	50	12	103	120	BSP 1"	70	130	8.8	31	8h7
LZL 35	238	200	130j6	28j6	M10	62,5	3,5	1,8	5	50	14	119	134	BSP 1 1/4"	70	165	12	31	8h7

Motores neumáticos a medida

Cualesquiera que sean los requisitos, Atlas Copco estará siempre encantado de ayudar a sus clientes a encontrar soluciones para sus necesidades especiales. Para OEMs, por ejemplo, un motor neumático fabricado a medida puede ser la solución más eficaz para su inclusión en una máquina o herramienta.

Para una información detallada, vea el catálogo de motores neumáticos 9833 8998 01.

Figura 3.2.1: Características motor LZL25.

Este motor será la base del sistema neumático que se encargará de mover el coche, el motor es el elemento base sobre el que dependen y se generan los demás elementos que necesitamos tanto en el ámbito neumático como en temas mecánicos.

3.3- Cálculo del reductor

Antes de seguir con el sistema neumático nos vamos a centrar en un elemento necesario para el motor, el antes mencionado regulador que se debe acoplar al motor para reducir las altas revoluciones de salida del motor y llevar al eje una velocidad acorde con la necesaria además de aumentar por medio de engranajes el par de salida en el eje y así transmitir a las ruedas motrices la fuerza necesaria para mover el coche. A este elemento también se le conoce como reductor de velocidad, y dispone también de diferencial, sistema fundamental para que las ruedas puedan tomar correctamente las curvas sin dañar el propio eje.

El reductor-diferencial va acoplado al eje, en cada extremo de este se coloca el plato donde están las zapatas y el tambor, elementos del freno mecánico autoajutable del vehículo, y sobre ellos se colocan las ruedas motrices mediante tuercas.

Las bases de nuestro reductor son tales que transmitan un par suficiente al vehículo para moverse por el terreno irregular de los campos de golf, que además nos permita llegar a una velocidad máxima de 30 Km/h.

Con los cálculos pertinentes (mostrados en el capítulo 5.4.) definimos las necesidades que deberá disponer el reductor-diferencial y tras un largo proceso de selección debido a los diferentes modelos y características de reductores que existen seleccionamos el siguiente:

Diferencial Graziano de 10 dientes que dispone de las siguientes características:

- Ratio: 1:7
- Potencia de salida: hasta 7kW
- Par de salida (Pot. máx.): 91 Nm
- Eficiencia del eje de transmisión: 94%
- Ruido del eje de transmisión: 24 dB
- Peso del producto: 14 Kg



Figura 3.3.1: Diferencial Graziano.

3.4- 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.

El motor del vehículo seleccionado tiene un consumo de 86l/s en condiciones normales (273K, 1atm) y deseamos que el coche disponga de una autonomía aproximada de 30 minutos que es el tiempo aproximado en que se cubre el recorrido de los 18 hoyos, con esas condiciones necesitaremos un depósito capaz de almacenar 154800 litros en condiciones normales, evidentemente esta cantidad es muy elevada y no es viable con lo que hay que presurizarlo de forma que reduzcamos su volumen. Cuanta más presión tenga el aire menos volumen ocupará en el depósito, tras los cálculos (mostrados en el capítulo 5) determinamos que hay que utilizar una alta presión y determinamos almacenarlo con una presión de 300 bares, que es bastante común en estos casos, para así necesitar almacenar solo 516 litros de aire. Esto nos va a imponer la necesidad de utilizar bombonas lo suficientemente resistentes para que aguanten esa presión y puedan albergar ese volumen de aire.

La necesidad de almacenar un volumen de 523 litros a una presión de 300 bares nos va a hacer recurrir a materiales de alta resistencia pero que a la vez no sean demasiado pesados, además debemos realizar un diseño del depósito acorde para su correcta instalación en el coche de golf, investigando sobre tema de depósitos para contener gases de alta presión se llegó a la conclusión que 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 está homogéneamente distribuida sobre las paredes con lo que sufre menos esfuerzos, con este diseño y si utilizáramos solamente una bombona esta debería tener las siguientes medidas para poder almacenar los 523 litros: medida total del depósito 1300mm con una longitud de 500mm para el tubo cilíndrico y con un radio aproximadamente de 400mm en los extremos y cilindro. Ver figura 5.1.1

Este depósito es absolutamente inviable por el elevado tamaño difícil de acoplar a un vehículo. Concluimos pues que la utilización de un único depósito no es factible, así pues nos decantamos por dividir el almacenamiento en varios depósitos o bombonas.

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 los 300 bares de presión y ser lo suficientemente liviano para no añadir un excesivo peso al coche con lo que nos dificultaría en gran medida la movilidad sobre todo en cuanto a subir pendientes.

Primeramente se pensó en el acero como primera propuesta debido al gran número de depósitos existentes de este material en la actualidad pero rápidamente nos topamos con el problema del elevado peso por el excesivo grosor necesario para resistir la elevada presión de 300 bares y descartamos el acero para nuestro trabajo.

Se necesitaban materiales resistentes y livianos que nos permitan fabricar con ellos unos depósitos capaces de almacenar gran cantidad de aire a alta presión sin ocupar mucho espacio ni añadir un excesivo peso al vehículo. Así pues se buscaron otros materiales como el kevlar o las fibras.

La fibra de carbono es la más resistente de las fibras, es la que más fuerza puede soportar en todas sus direcciones sin romperse, la fibra de vidrio es menos resistente y se deforma más y el kevlar por su parte tiende a ser más duro, pero es demasiado elástico y falla en algunas direcciones.

Finalmente se concluyó en la utilización de la fibra de carbono, concretamente se tomó de ejemplo un diseño de nuevas bombonas como las que se utilizan en los autobuses de gas constituidas por una estructura interna de liner termoplástico reforzada por enrollamiento fibras de carbono, material que tiene unas fantásticas propiedades mecánicas entre las que destacan la gran capacidad de aislamiento térmico, densidad de $1,7 \text{ g/cm}^3$ y una resistencia a la tracción de 1000 MPa con lo que tenemos un material mucho más ligero y resistente que el acero lo que confiere a las bombonas una gran resistencia a la presión sin un elevado espesor de pared con lo que son suficientemente livianas como para no aumentar en exceso el peso del vehículo.

En cuanto a la disposición y número de bombonas con los cálculos mostrados en el capítulo 5 se concluye que hay que dividir la cantidad de aire almacenado en varios depósitos. Dichos cálculos concluyen en el diseño de cuatro bombonas iguales con una capacidad de 130,8 litros a 300 bares de presión que cuentan con una longitud total de 1212,3 mm, con 786 mm de longitud del tubo cilíndrico y un redondeo en cada extremo de 208,3 mm que corresponde también con el radio del cilindro. Estas bombonas tienen un espesor de 9,3 mm y su peso estando vacías es de 24 kilos.

La disposición adoptada para las bombonas en el vehículo es la de colocar una de ellas debajo del asiento del coche, aprovechando así el hueco que queda libre donde están las baterías en el coche de golf eléctrico o el depósito de gasolina en el coche de gasolina.

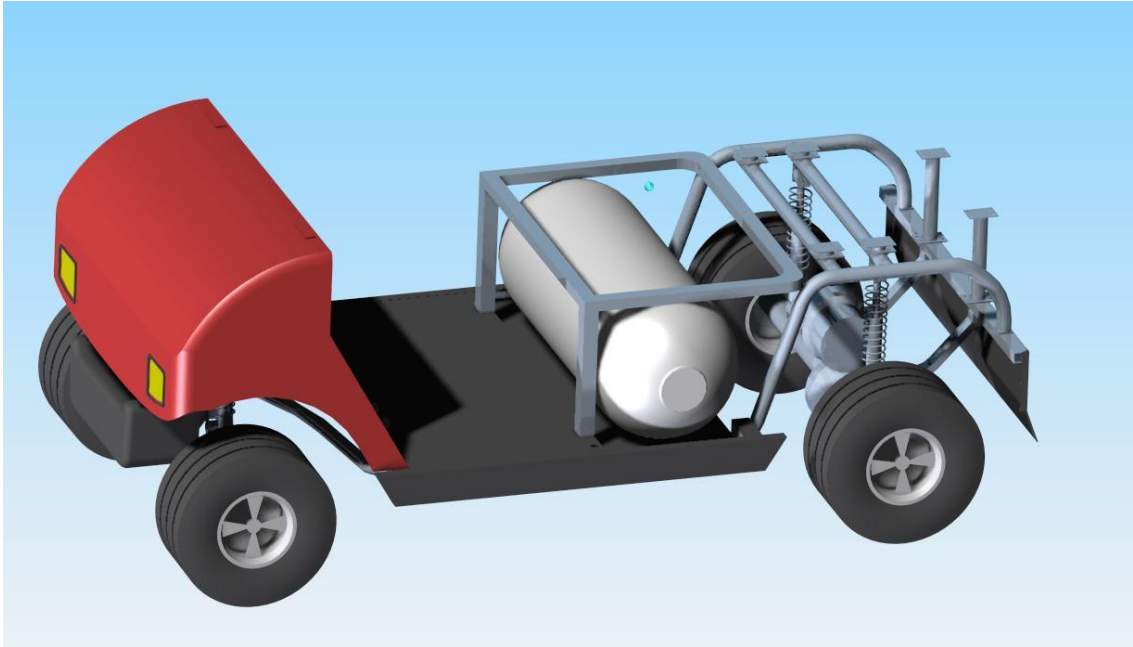


Figura 3.4.1: Vista disposición bombona horizontal.

Las otras tres bombonas irán colocadas en el exterior del vehículo en la parte detrás de los asientos en una especie de almacén, para la segura colocación de estos depósitos diseñaremos como soporte una plancha de acero que tendrá de ancho 1260mm y sobre esta estará el almacén de las tres bombonas.

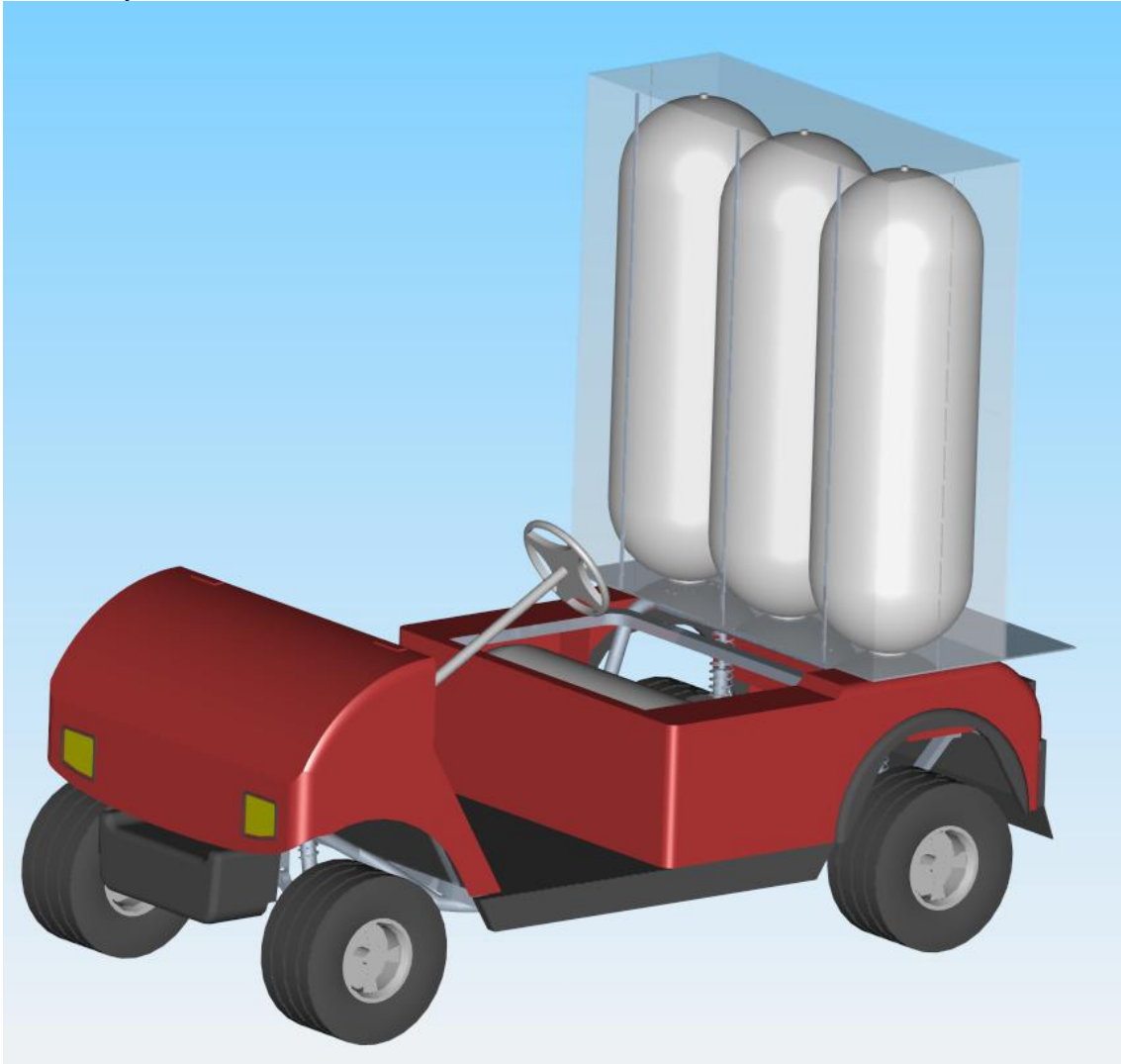


Figura 3.4.2: Vista disposición bombonas verticales.

El peso total añadido al coche es de 96 kilos estando las cuatro bombonas vacías, durante su uso considerando el peso del aire que es de 1,3 gramos por litro en c.n. y teniendo 154800 litros en dichas condiciones, el total del peso del aire contenido en las cuatro bombonas es de 201,24 kilos con lo que en total hemos añadido al vehículo 297,24 kilos, aquí se observa la importancia de escoger materiales poco pesados para las bombonas.

Con estos datos se deberá comprobar la movilidad correcta del vehículo sobre todo para detallar la inclinación del terreno que será capaz de subir el coche.

En cuanto a la seguridad sobre el temido riesgo de explosiones hay que destacar que es inexistente debido a que en caso de un accidente violento con ruptura de las bombonas estas simplemente se rajarían al ser de fibra de carbono dejando escapar el aire que no es inflamable ni explosivo. Se produciría una apertura alargada en la estructura del depósito, sin explosión, y el aire, sencillamente, se escaparía, produciendo un fuerte zumbido sin peligro. Queda claro que si estas bombonas están homologadas para transportar un gas inflamable y explosivo como el gas natural, también pueden servir para llevar aire inofensivo y no inflamable.

Las bombonas deberán seguir los pasos establecidos en el código de diseño elegido referente a materiales, espesores de las mismas, ensayos no destructivos etc.

3.5- Sistema neumático

El sistema neumático va a ser el encargado de darle la movilidad y las características de dicho movimiento al coche, 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.

En este apartado se van a ir seleccionando elementos conforme nos aparezcan las necesidades en cuanto al tratamiento del aire, no haremos la selección de un producto real como si hemos hecho con el motor sino que delimitaremos las características dentro de unos márgenes que deberán cumplir esos aparatos que conformarán el sistema neumático. Así pues en primer lugar debemos observar que como hemos contemplado en apartados anteriores en las bombonas tenemos el aire almacenado a 300 bares de presión y el motor trabaja con una presión de 6.3 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, concretamente cuatro, uno por cada bombona de aire debido a que estos reguladores se colocarán a la salida del aire de las bombonas para reducir la presión de los 300 bares a los 6,3 con los que trabajaremos en el circuito neumático. En la practica el regulador dará una presión de salida de 7 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 6,3 bares.

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

- Presión de entrada: 300 bares.
- Presión de salida: 7 bares.
- Caudal de aire: al motor le deben llegar 86 l/s al tener cuatro vías cada una de ellas deberá transportar un caudal mínimo de 22,5 l/s o lo que es lo mismo 81 m³/h (c.n.).

Símbolo neumático del regulador de presión:

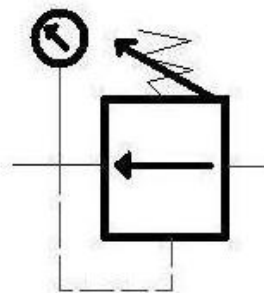


Figura 3.5.1: Válvula reguladora de presión con manómetro.

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

Modelo 996DS -Regulador de dos etapas con diafragma de acero inoxidable en ambas etapas



Aplicaciones:

- Usado cuando la presión de salida se debe mantener dentro de límites estrictos
- Ideal para aplicaciones de corte de calidad, sistemas de laboratorio o corte con máquina de precisión.
- También ideal para corte con máquina pesada, corte manual y ranurado

Características:

- Cuerpo de latón forjado
- Presión máxima de entrada 300 bar
- Diafragma de acero inoxidable en las dos etapas - sin contaminación interior
- Asiento de la óspula de alta presión con superficie de sellado Kel-F (CTFE)
- La primera etapa reduce la presión total de la botella de gas en aproximadamente 90%
- Diafragma grande de \varnothing 70 mm en la segunda etapa que controla con precisión la presión de descarga
- Entrada lateral (vertical opcional)

Nro Modelo	Gas	Presión Máx. Entrada (bar)	Presión de Descarga (bar)	Caudal Máx. Aire (m ³ /h)	Manóm. Presión Descarga (bar)	Manóm. Presión Suminis. (bar)
996DS-25*	Argón, CO ₂ , Nitrógeno, Aire, Helio, Hidrógeno, Metano	300	0-25	150	0-40	0-400

(*) El regulador está disponible para todos los gases indicados

Figura 3.5.2: Regulador de presión modelo 925D-15.

Posteriormente los cuatro conductos se unirán a la salida de los reguladores de presión y de ellos partirá un único conducto en el que se colocará una sola unidad del resto de los elementos neumáticos hasta llegar al motor.

El siguiente elemento que vamos a seleccionar es el encargado de regular el caudal de entrada de aire al motor, es decir el que se encargará de la puesta en marcha, el paro y el consumo de aire del motor, este elemento vendría a ser en un símil con un coche de gasolina el acelerador, que conforme la posición del mismo enviará más o menos gasolina al motor, pues bien, este elemento se llama regulador de caudal y queremos que trabaje mediante estrangulación regulado por un pedal, la presión que deberá circular por la válvula será la que recorre el circuito 6,3-7 bares y el caudal será regulado en un intervalo de 0 a 90 l/s (c.n.), 0 válvula cerrada totalmente y motor parado y 90 para tener asegurados los 86 l/s que consume a potencia máxima el motor.

Símbolo neumático de la válvula reguladora de caudal:

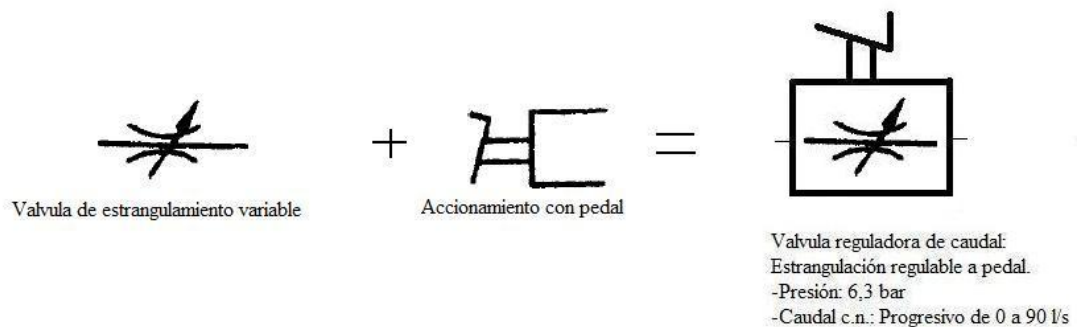


Figura 3.5.3: Válvula reguladora de caudal con estrangulación regulable a pedal.

Dicha válvula irá colocada en el lugar habitual del pedal del acelerador, con ello el pie accionará el pedal de la válvula y este regulará el caudal que pasará por el conducto que tendrá su cauce por debajo del coche y se dirigirá al motor.

En este punto se va a dar solución al cambio de marcha hacia delante o hacia atrás, en los coches de golf que se usan actualmente hay un botón situado al lado del volante que dispone de dos posiciones controladas manualmente y que se encarga de mandar la señal al motor para establecer la marcha del vehículo.

Así pues vamos a contemplar un método semejante para nuestro vehículo en cuanto al sistema que permitirá la permutación en la marcha. Queremos pues que con la pulsación de un botón el motor cambie el sentido de giro.

Disponemos de un motor reversible con dos entradas de aire según el sentido de giro que queramos en cada momento y este se invierte fácilmente usando una válvula direccional que será pues el siguiente objeto neumático a seleccionar.

Nos fijamos pues en los tipos de válvulas direccionales que se disponen en estos casos, normalmente en los motores reversibles se usan válvulas 5/3 que controlan el paro, y el sentido de giro del motor, en nuestro caso como el paro y puesta en marcha se regula mediante la válvula reguladora de caudal será necesaria una válvula que se encargue simplemente de invertir la dirección de giro del motor y que lo pueda hacer de forma instantánea.

Estas válvulas son las 5/2 ya que disponen de dos posiciones de salida del aire las cuales enviarán el mismo a cada una de las entradas de aire al motor según el sentido de marcha deseado, el cambio se realiza mediante un pulsador de botón que irá colocado en el lugar habitual en que lo hacen en los coches actualmente disponibles, al lado del volante.

Esta válvula estará aguas abajo de la válvula reguladora de caudal encargada de la marcha, velocidad y paro del motor con lo que los caudales de aire que circularán por la misma serán variables pero deberá estar capacitada para que circule por ella un caudal máximo de 90 l/s (c.n.) y una presión de 6,3 bares, (14,475 l/s a 6,3 bares); el aire de esta válvula pasa directamente ya al motor.

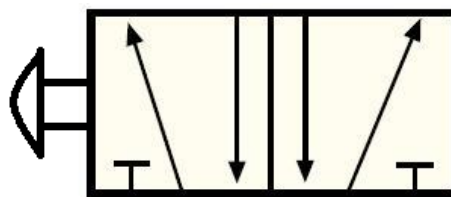


Figura 3.5.4: Válvula de dirección 5/2 accionada por botón.

Los motores necesitan para su correcto funcionamiento estar lubricados, para ello se le añade al aire una pequeña cantidad de aceite mediante un lubricador.

Para lograr la vida de servicio y el rendimiento óptimos, un motor neumático debe recibir 50 mm³ de aceite por cada metro cúbico (1000 litros) de aire consumido.

Una lubricación insuficiente dará como resultado un desgaste acelerado de las aletas y una merma del rendimiento.

Dispondremos de un lubricador en el circuito neumático antes de la válvula reguladora de caudal, de la direccional y del motor, con ello nos aseguraremos que a los elementos más importantes del sistema neumático le llega el aire con un nivel de lubricación correcto para asegurar el perfecto comportamiento.

También es necesario colocar a la salida del motor unos silenciadores para disminuir el ruido ocasionado por el aire de escape. El nivel sonoro aumenta con la velocidad. Montando una manguera entre el motor y el silenciador, el nivel sonoro puede reducirse incluso más. Un silenciador puede ocasionar pérdidas de potencia si está incorrectamente dimensionado.

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

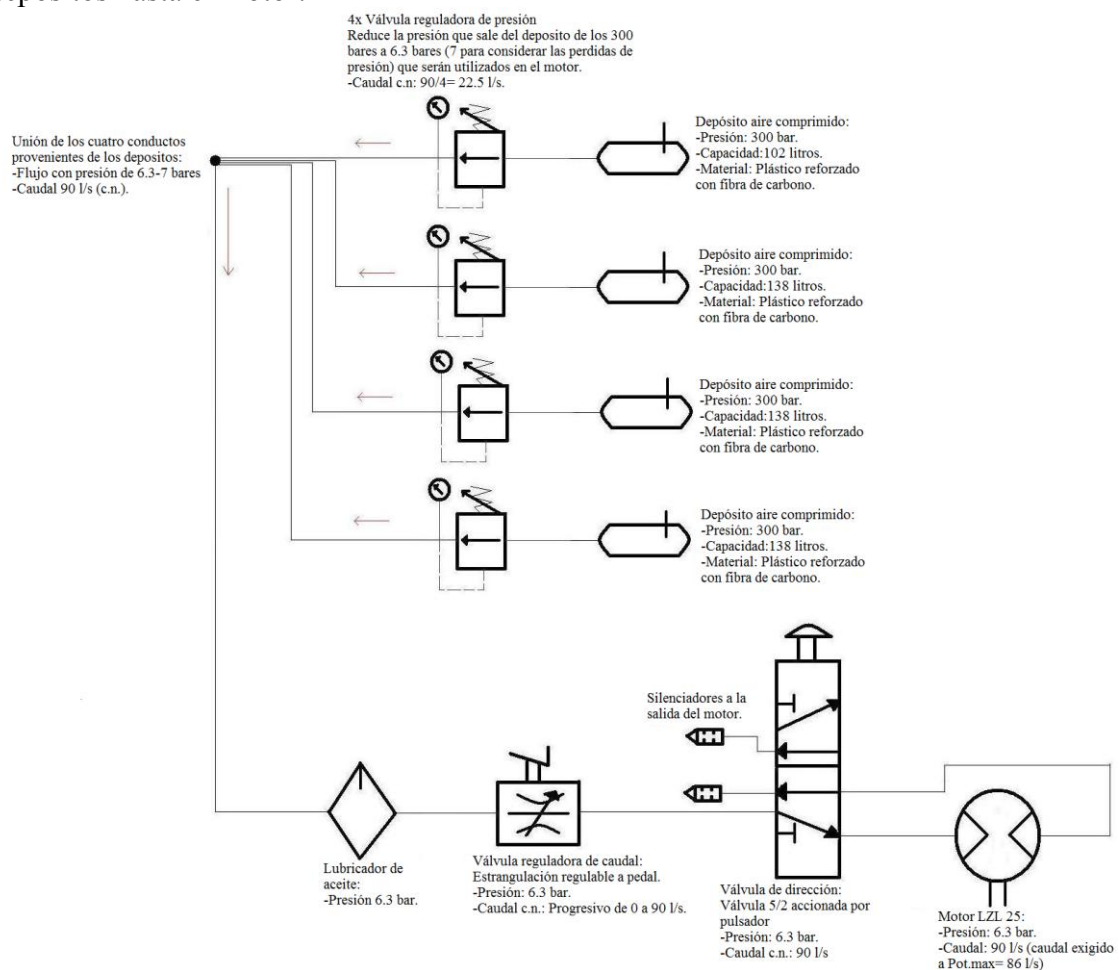


Figura 3.5.6: Esquema neumático.

Hay que destacar que el aire comprimido que se introduce en las bombonas del coche esta en estado optimo, debido al tratado previo que se le a dado anteriormente. En los puntos de repostaje hay un compresor que comprime el aire, posteriormente se libera el agua condensada que se haya podido formar y por ultimo pasa por un filtro donde se eliminan las posibles impurezas, ese aire esta ya preparado para ser introducido en los depósitos del vehículo con la seguridad de que no dañara ningún elemento del sistema neumático.

3.6- Diseño del coche.

Una vez dispuesto todo el sistema neumático, lo que viene a continuación es realizar el diseño del coche dándole una buena solución al acople de todos los elementos requeridos sin dejar de lado la estética del modelo.

Se va a realizar un diseño formal tomando como referencia los actuales coches de golf pero realizando las modificaciones requeridas para integrar de la mejor manera los elementos neumáticos necesarios.

Comenzamos el diseño tomando como ejemplo los coches de golf que se comercializan actualmente y tomamos de ellos las medidas para disponer de una referencia en cuanto a largura, anchura y altura de dichos vehículos.

Las medidas medias de estos coches con capacidad para dos personas son: longitud: 2500 mm, anchura: 1200 mm y altura: 1800 mm. Probablemente nuestro vehículo deba ser más grande por el motivo de la disposición de las bombonas.

Nos centramos primeramente en dar solución al acople de las bombonas para a partir de ellas tener una idea de que medidas deberá tener el vehículo. Disponemos del diseño de las bombonas descrito en apartados anteriores, ahora debemos buscarles el lugar adecuado en el que irán colocadas. Como tomamos de ejemplo los actuales coches de golf que funcionan con gasolina o electricidad, en ellos se observa que en el hueco debajo de los asientos están o el deposito de gasolina o las baterías eléctricas, en nuestro caso todavía no hemos ocupado ese espacio, así pues en ese lugar concretamos que debería ir un deposito, se coloca horizontalmente y sostenido por una plancha una de las bombonas que tienen un largo total de 1212,3 mm.

Diseñaremos pues el bastidor con una medida superior a la longitud de la bombona para encajarla correctamente y con un margen, así pues en cuanto a anchura estamos ligeramente fuera de los márgenes.

Toca ahora concretar la colocación de los otros tres depósitos, se adopta como mejor solución la de disponerlos de forma vertical tratando de no elevar en exceso la altura total del vehículo, en cuanto a la anchura el diámetro exterior de cada uno de ellos es de 416,6 mm lo que da un ancho total de unos 1250 mm.

La solución adoptada es la de colocarlos sobre una plancha metálica y resistente justo detrás de los asientos, en el lugar que ocupan las bolsas y demás soportes para el equipamiento del golf. Estarán encerradas en una especie de armario que servirá de almacén de las mismas para evitar que estén al descubierto con los inconvenientes estéticos y de seguridad que eso supondría y además sirve de soporte para las bolsas y soportes antes mencionados.

Esta disposición de las bombonas obliga a hacer una estructura interna del coche bastante resistente que soporte sus pesos, comienza ahora sí la construcción del modelo del coche.

Empezamos por la estructura interna o bastidor que se encargará de soportar todas las cargas y servirá de acople para el resto del chasis. Con las dimensiones de los estándares más las que nos van a obligar las bombonas y elementos a incluir este bastidor lo realizamos con unas dimensiones de 2211 mm de largo y 1250 mm de ancho.

El bastidor debe ser rígido para deformarse poco además de no ofrecer un elevado peso, por ello el material en el que esta construido es acero como el de la mayoría de estructuras tubulares para bastidores de coche, ya que es muy resistente para esta utilidad y no requiere una gran área de sección, por ello los tubos son huecos con un espesor de 2 mm. Las características del acero son:

Densidad	Modulo elástico	Límite elástico	Límite a tracción
7,833 g/ cm ³	210 GPa	275 MPa	360 MPa

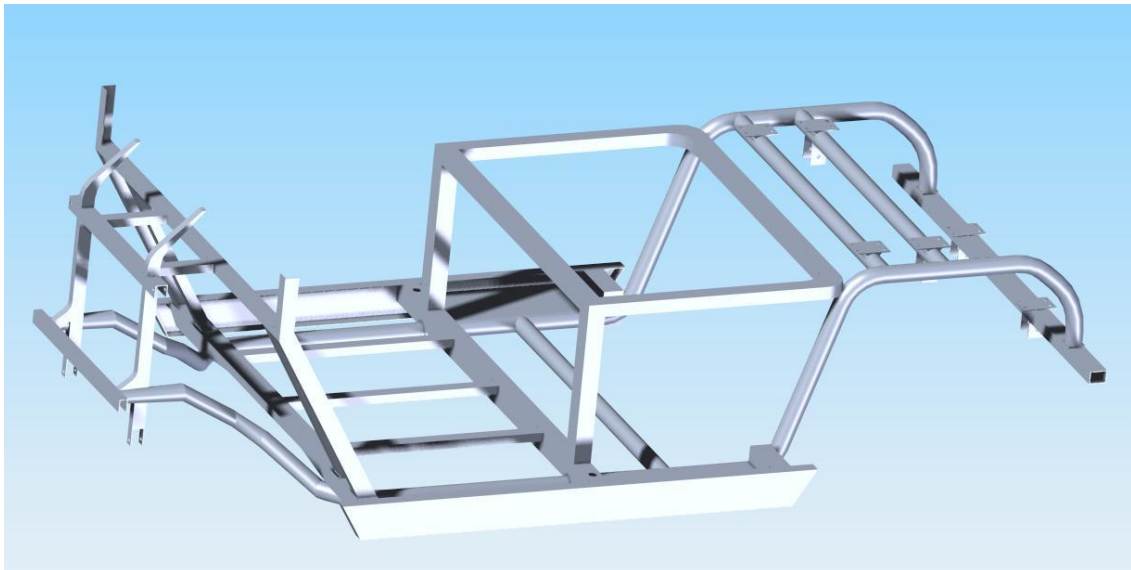


Figura 3.6.1: Bastidor coche de golf.

Una vez realizada la base del coche lo siguiente es diseñar el soporte de las bombonas, la bombona horizontal estará soportada debajo del asiento sobre una plancha de plástico sostenida por el bastidor, las bombonas verticales irán colocadas sobre una plancha de acero detrás de los asientos que servirá para soportar el peso de estas y también otras cargas como los utensilios de golf.

Este soporte será una plancha metálica dispuesta sobre seis pilares de acero huecos con los que se unirá al bastidor y tendrá unas medidas de 1260 mm de ancho, 650 mm de largo y un espesor de 5 mm, las bombonas ocuparán el ancho de la plancha. La carga que deberá soportar esta camilla es de 235 kg con las bombonas llenas.

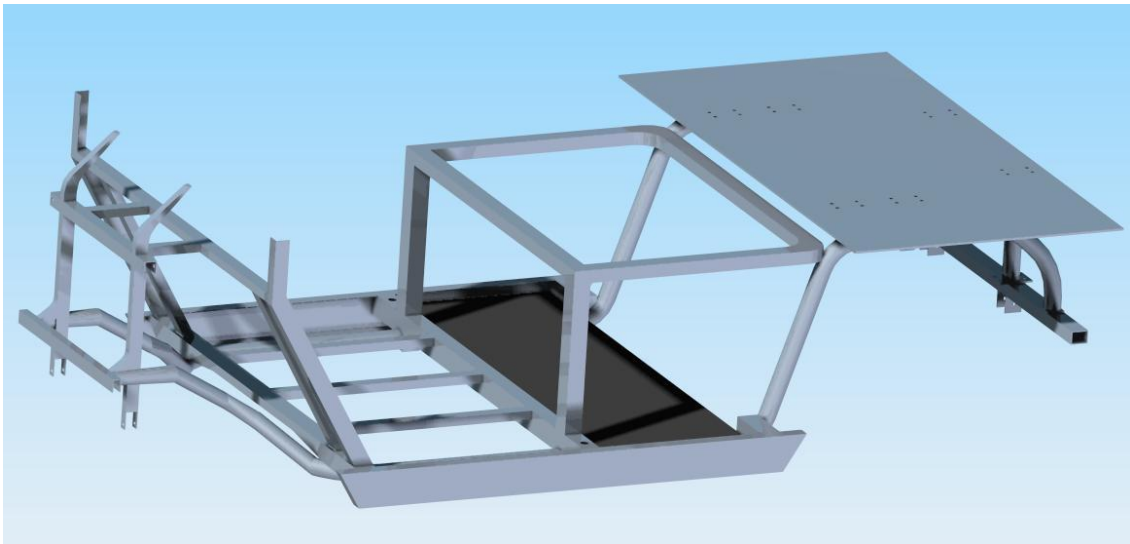


Figura 3.6.2: Vista de los soportes de las bombonas.

Queda definido pues el lugar exacto donde irán colocados los depósitos de aire, parte fundamental del proyecto y que nos marca gran parte del diseño del vehículo.

Vamos a colocar las cuatro bombonas para observar su disposición y comprobar que se garantiza la total movilidad del vehículo y la posibilidad de subir pendientes comprobando la situación del centro de masa del vehículo. Para ello vamos a añadir también el eje trasero al que irá acoplado el motor mediante el reductor y que se unirá al bastidor mediante la suspensión trasera y unos tirantes, también los ejes delanteros con la suspensión delantera y las cuatro ruedas.

El resultado es que en este punto el peso del vehículo es de 300 kg (antes de colocar el chasis) y el centro de masas esta correctamente situado lo que permite que el coche suba por pendientes incluso de más de 30°.

La altura máxima del coche en este momento del diseño es de 2050 mm y la marca la parte superior del cajón de almacenaje de las bombonas, el posterior techo deberá ir colocado sobre él y elevara unos centímetros más la altura total del coche.

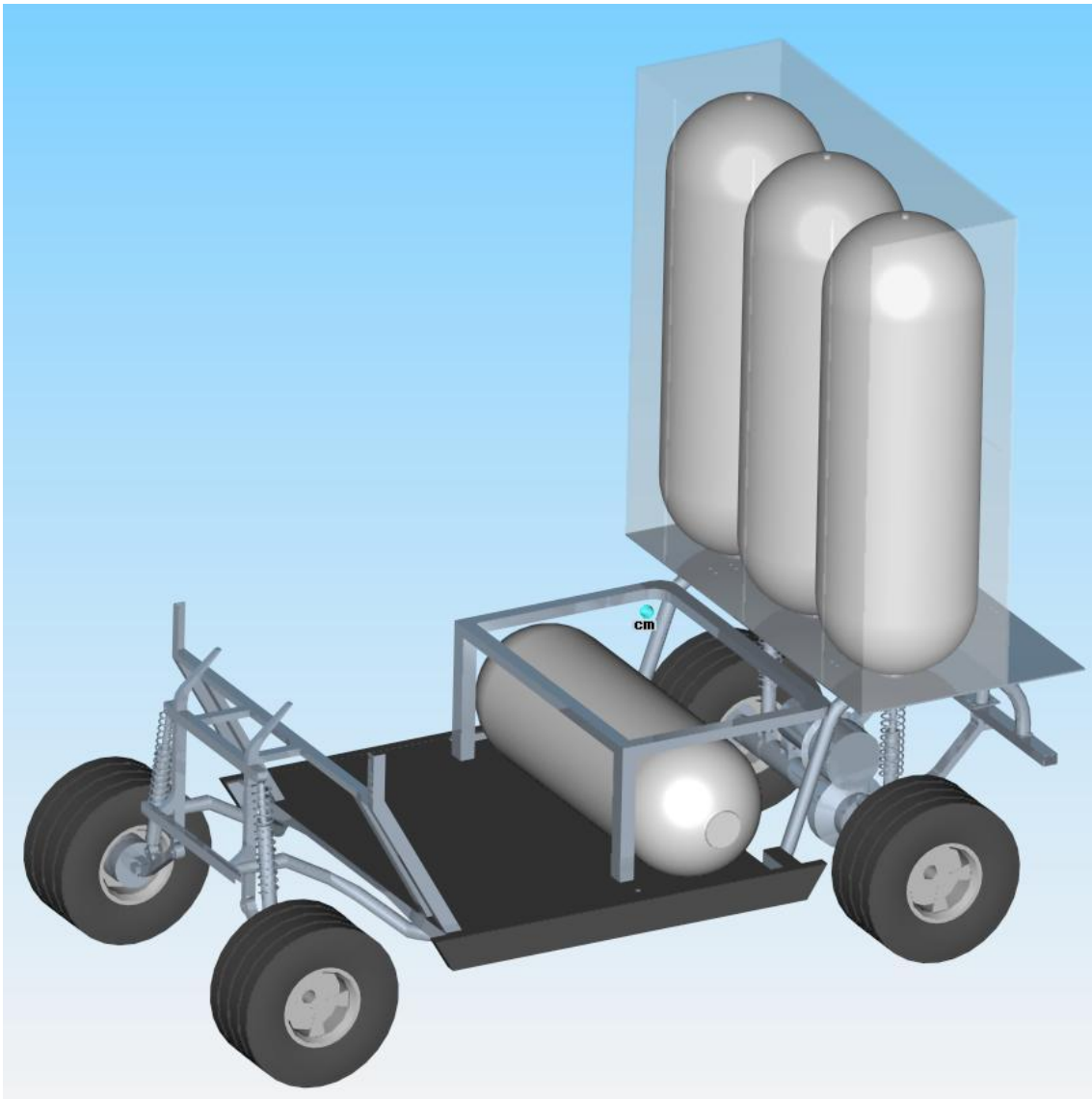


Figura 3.6.3: Vista colocación de las bombonas y centro de masas.

En este momento ya se puede proceder al diseño y colocación del chasis, este estará fabricado de plástico inyectado como es común y nos guiaremos en la estética de los coches de golf actuales que combinaremos con las modificaciones necesarias para que encajen perfectamente los elementos necesarios que hacen el coche funcione con aire comprimido.

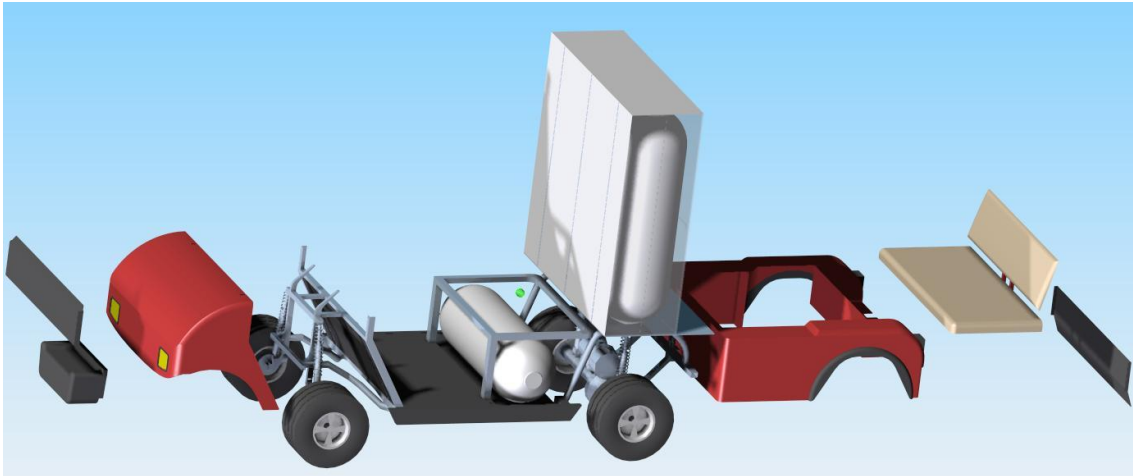


Figura 3.6.4: Explosionado de algunas piezas del chasis.

Quedan colocados los plásticos delantero y trasero de color rojo marfil aplicado con poliuretano que le dan una estética al vehículo específica para el golf, en ellos se acoplan los focos.

Sobre el chasis trasero se coloca el asiento, que es de espuma virgen recubierta con una funda de vinilo reforzado sin costuras con base de plástico resistente a la humedad y antideformable, que está diseñado para dar gran confort y también para resistir lavados de alta presión.

En la parte anterior y posterior se incorporan los parachoques delantero y trasero que absorben los golpes hasta una velocidad máxima de 8 km/h teniendo estos la altura adecuada para reducir los daños sobre la carrocería y el bastidor en caso de colisión.

Se colocan también el volante conectado a la dirección de cremallera del coche, y en la parte trasera del almacén de las bombonas el portabolsas donde llevar los palos de golf, se observa esa disposición en la siguiente imagen:

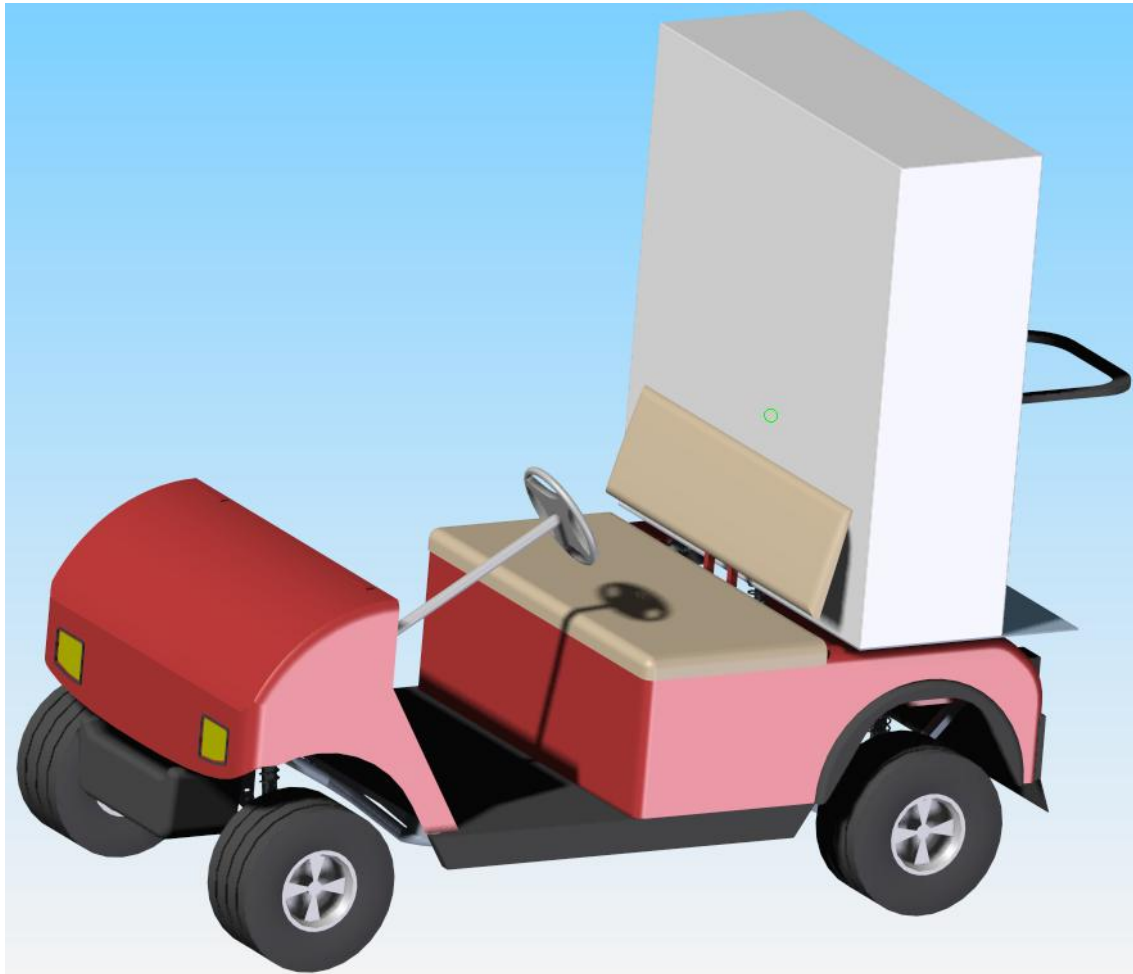


Figura 3.6.5: Vista de la disposición del chasis.

Para finalizar el diseño del vehículo queda solamente colocar un techo y el parabrisas. El parabrisas estará anclado en el chasis delantero y el techo estará soportado por las barras del parabrisas y por el almacén de las bombonas verticales sobre el que estará apoyado.

Era bastante obvio que la necesidad y el handicap de colocar los depósitos iban a modificar en cierto modo las medidas del vehículo con respecto a los coches de golf del mercado actual, para ello se han contemplado diversas formas y posiciones en las que ubicar los depósitos optando por la que permite un diseño formal del coche que menos se sale del modelo estándar de estos vehículos. Con todo ellos hemos conseguido acoplar el sistema neumático a un coche de golf 100% ecológico.

Las medidas finales del coche son:

Largo	Ancho	Alto	Peso (Bombonas vacías)	Peso (Bombonas llenas)
2600 mm	1280 mm	2080 mm	358 kg	560 kg



Figura 3.6.6: Imagen del coche totalmente completado.

Concluimos pues que se ha conseguido dar viabilidad al objetivo de diseñar un vehículo ecológico que funcione con aire comprimido para ser utilizado en campos de golf. Se ha conseguido un diseño muy semejante al modelo de los actuales coches en cuanto a la forma, simplemente con el diseño efectuado el coche es unos 25 cm más alto y algo más pesado que los coches de golf eléctricos o de gasolina, la principal culpa de ello es de las bombonas y el peso de la gran cantidad de aire que hay que acumular.

Este es el principio de un objetivo de vehículo no contaminante, se deberá desarrollar esta tecnología y se deberán pulir estos inconvenientes actuales conforme se avance en la tecnología del aire comprimido para propulsar vehículos.

4. LEGISLACIÓN RELACIONADA

En cuanto a la legislación del coche no disponemos de datos para tener una constancia clara de ella. Si se conoce que uno de los puntos fundamentales sobre los campos de golf es que deben constituir ejemplo del uso racional de energía y recursos naturales. Para ello, la ley prima la utilización de fuentes de energía renovables y dedica una atención especial al uso sostenible de los recursos estableciendo diseños que favorezcan la eficiencia energética.

Esto incluye todo el equipamiento y la maquinaria del campo por ello el vehículo ecológico de polución cero dedicado en este proyecto cumple con dichas condiciones exigidas por la nueva normativa de los campos de golf.

En cuanto al resto de normativas exigidas en los vehículos, recalando nuevamente que no disponemos de datos sobre la legislación de estos vehículos, hay que destacar que la conducción de estos vehículos debe ser exclusiva en el circuito cerrado del campo de golf, que para ello el conductor no necesita ningún permiso de circulación, simplemente debe recibir unas instrucciones de uso por parte del equipo de trabajo del recinto.

En lo que se refiere exclusivamente al coche, estos no necesitan ningún tipo de matriculación, tampoco requieren exámenes técnicos tipo I.T.V., aunque deben recibir una inspección temporal por parte de los operarios del campo.

En cuanto a la legislación de las bombonas, estas han sido definidas conforme a la 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 esta 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.

5. CÁLCULOS

5.1- Cálculo del depósito.

Vamos a desarrollar el cálculo del depósito de aire comprimido. Tenemos previamente seleccionado el motor de aire, el LZL25 de Atlas Copco y sus características nos indican que tiene un consumo de 86 l/s (c.n.) trabajando a máxima potencia, punto de trabajo en el que debe funcionar el coche en su mayor medida, por ello este consumo es el que tomamos como referencia para calcular el volumen de aire que es necesario almacenar en los depósitos para obtener la autonomía requerida.

El coche de golf tiene que recorrer un circuito de 15 Km, que es el recorrido de los 18 hoyos con vuelta al garaje y el tiempo en el que lo realice dependerá de la velocidad que lleve, una de las características del vehículo es que su velocidad máxima es de 30 Km/h, esa velocidad es tomada a máxima potencia y es con la que más consume el motor, por ello es la que utilizaremos para el cálculo de la autonomía.

Tenemos pues:

Recorrido total	Velocidad	Consumo
15 Km	30 Km/h	86 l/s

De ellos se concluye que el tiempo requerido para recorrer el circuito es de 30 minutos, con un consumo de 86 litros por segundo a potencia máxima continuada, el volumen de aire necesario para que el coche tenga una autonomía de 30 minutos es:

Volumen de aire necesario	$86 \cdot 60 \cdot 30 = 154800$ litros (273K°, 1 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. Las opciones que encontramos como posibles es la de presurizar el aire a 200 o 300 bares, a menos presión el volumen de aire necesario seguiría siendo muy elevado y más presión es prácticamente inviable por el hecho de encontrar depósitos capaces de resistirla.

Con la fórmula $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{constante}$ se calcula el volumen de aire necesario en cada caso:

Con 200 bares $\Rightarrow 1,01325 \cdot 154800 = 200 \cdot V_2 \rightarrow V_2 = 785$ litros.

Con 300 bares $\Rightarrow 1,01325 \cdot 154800 = 300 \cdot V_2 \rightarrow V_2 = 523$ litros

Los 785 litros a almacenar en caso de utilizar una presión de almacenamiento de 200 bares siguen siendo un volumen bastante elevado que sería difícil incorporar al diseño final del coche. Optamos pues por elegir presurizar el aire a 300 bares.

En cuanto al diseño, los depósitos de alta presión deben tener forma cilíndrica, esta forma deriva de la esfera que es el cuerpo geométrico con menos superficie para su volumen, con ello se reduce el material para fabricarlo y además estos depósitos soportan menos esfuerzos superficiales que estarán distribuidos homogéneamente sobre las paredes.

Entonces vamos a proceder a almacenar los 523 litros con una presión de 300 bares utilizando un depósito cilíndrico. Para contener ese volumen de aire necesitamos un depósito con unas dimensiones de 1300mm medida total del depósito, dispuesta de la siguiente forma, longitud de 500mm para el tubo cilíndrico y un radio aproximadamente de 400mm en los extremos y cilindro.

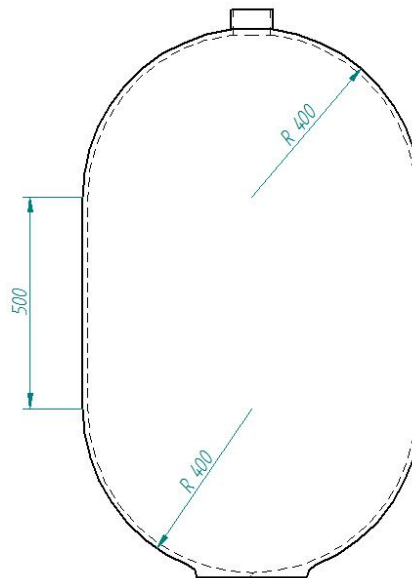


Figura 5.1.1: Depósito aire comprimido.

Este depósito cuenta con varios inconvenientes, principalmente un excesivo tamaño y peso que dificulta su colocación en el coche. Se concluye pues la necesidad de dividir el almacenamiento del aire en varios depósitos.

Tras considerar varias opciones optamos por utilizar cuatro depósitos iguales para mayor comodidad en los que almacenar los 523 litros de aire a 300 bares de presión. Utilizando cuatro depósitos cada uno con capacidad de 130,75 litros se facilita su disposición en el vehículo y el diseño de cada bombona es bastante más sencillo.

Vamos a proceder al cálculo de las dimensiones de las bombonas, estas vendrán en parte marcadas por la disposición en que estarán colocadas en el vehículo. Primeramente se van tomar unas medidas base para a partir de ellas realizar los cálculos pertinentes que concreten las medidas definitivas. Teniendo en cuenta la forma que deben tener estas bombonas, estas medidas son, 200 mm de radio, tanto del cilindro como de los redondeos, y 780 mm de longitud del cilindro.

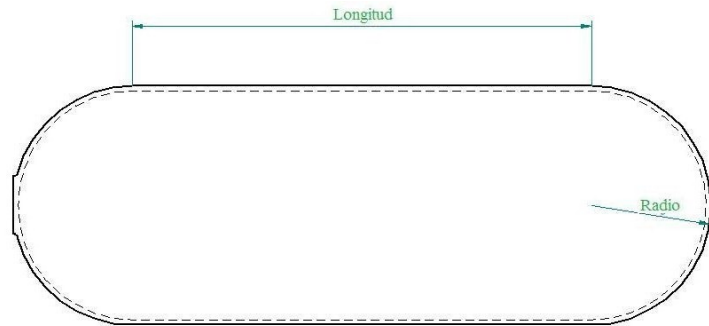


Figura 5.1.2: Forma de las bombonas.

Estas medidas nos dan una capacidad volumétrica en cada bombona de 131,5 litros, calculada de la siguiente manera:

$$(\pi \cdot r^2 \cdot Long) + \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$$

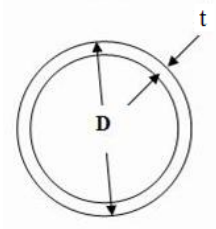
Cálculo de esfuerzos / grosores en las bombonas:

Tomando como base las medidas antes descritas vamos a proceder al cálculo de los esfuerzos y espesores necesarios en las bombonas para poder dimensionarlas definitivamente y sobre todo para poder seleccionar el material adecuado que soporte dichos esfuerzos.

Primeramente consideramos como así debe ser que las bombonas son **cilindros de pared delgada**, lo comprobamos con la siguiente fórmula:

$$\text{-Pared delgada: } \frac{D}{t} \leq 10$$

$$\text{-Pared gruesa: } \frac{D}{t} > 10$$



Si estimamos un espesor de pared base de 1 cm verificamos que cumple la fórmula de pared delgada, $400/10 = 40 > 10$.

En los cilindros de pared delgada la distribución del esfuerzo en el espesor de las paredes es uniforme, y el esfuerzo máximo que soportan estos cilindros es a tracción y viene dado por la siguiente formula:

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

P: presión del fluido interno

r: radio del cilindro

t: espesor del cilindro

Aplicamos la formula para las dimensiones de la bombona que hemos tomado:

P: 300 bar ($300 \cdot 10^5$)

r: 0,2 m

t: 0,01 m

$$\sigma_{\max} = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{0,01} = 600 \text{ MPa}$$

El acero tiene un limite elástico σ_e entre 275 y 355 MPa, con lo cual no es el material adecuado para estos depósitos, ya que si escogemos uno con 355 MPa la bombona debería tener un espesor de pared de:

$$t = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{355 \cdot 10^6} = 0,016 \text{ m (16 mm)}$$

Este espesor es muy elevado y haría muy pesada la bombona, lo cual nos obliga a buscar otros materiales en que fabricar la bombona.

De la tecnología de depósitos (capítulo 3) concluimos finalmente que los depósitos más adecuados para este caso son de fibra de carbono enrollado sobre un material termoplástico.

Entre las características que tiene este material compuesto están su densidad 1700 kg/m^3 y su resistencia a tracción de 1000 MPa que prácticamente coincide con el limite elástico debido a que no sufre deformaciones plásticas, esto hace a este material más resistente y liviano que el acero lo cual nos permite realizar bombonas mucho más livianas y que necesiten un espesor de pared menor.

Vamos a comprobar que espesor de pared es necesario que disponga una bombona de 200 mm de radio fabricada en este material compuesto de fibra de carbono y un material termoplástico:

$$t = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{1000 \cdot 10^6} = 0,006 \text{ m (6 mm)}$$

Se le va a imponer a las bombonas un factor de seguridad $n=1,5$ con ello el límite a rotura con el que se van a realizar los cálculos es de $1000 \text{ MPa}/1,5= 666,7 \text{ MPa}$ y el espesor de pared requerido:

$$t = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{666,7 \cdot 10^6} = 0,009 \text{ m (9 mm)}$$

Con estas medidas la bombona va a tener un radio de 191 mm en la parte interior con lo que hay que comprobar su nueva capacidad para modificar sus medidas:

$$(\pi \cdot 191^2 \cdot 780) + \frac{4}{3} \pi \cdot 191^3 = 119 \text{ litros}$$

La reducción de volumen es considerable y deja claro que hay que modificar las dimensiones de la bombona. El máximo diámetro exterior que pueden tener las bombonas es de 420 mm que es el tamaño del hueco de debajo del asiento del coche donde se va a colocar una bombona en posición horizontal. Para asegurarnos su correcta colocación hay que reducir ligeramente esa medida.

Finalmente consideramos oportuno que el diámetro exterior de las bombonas sea de 416,6 mm para disponer de un margen oportuno en su colocación bajo el asiento, y también porque con esta medida las tres bombonas verticales pueden ser colocadas en un cajón de 1260 mm a lo ancho del coche dejando un margen para su correcto anclaje.

Se va a comprobar nuevamente que espesor es necesario con la nueva medida del depósito, 208,3 mm de radio:

$$t = \frac{300 \cdot 10^5 \cdot 0,2083}{666,7 \cdot 10^6} = 0,0093 \text{ m (9,3 mm)}$$

Con lo cual se va a tener un radio interno de 199 mm, con esta medida fijada ya solo queda concretar la longitud del cilindro para que el total nos de los 130,75 litros necesarios por bombona. Se calcula de la siguiente forma:

$$130,75 = (\pi \cdot 199^2 \cdot X) + \frac{4}{3} \pi \cdot 199^3 \rightarrow X \approx 786 \text{ mm}$$

Definimos finalmente las medidas de las bombonas:

Diámetro exterior	Diámetro interior	Longitud del cilindro	Longitud total exterior	Capacidad volumétrica
416,6 mm	398 mm	786 mm	1212,3 mm	130,8 litros

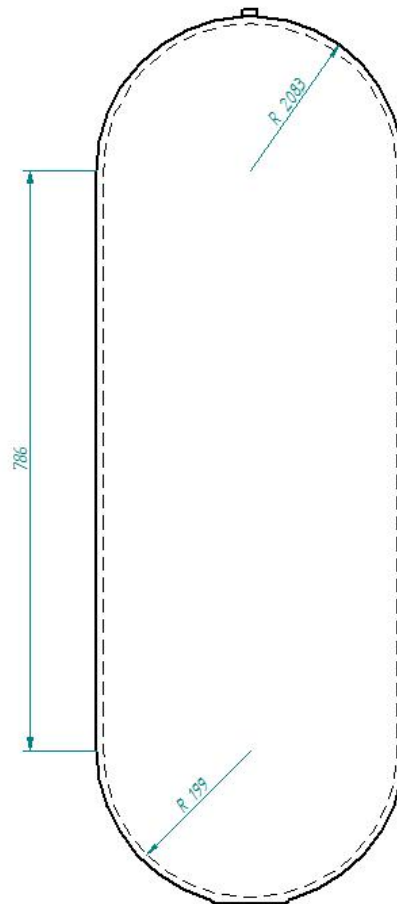


Figura 5.1.3: Dimensiones de la bombona.

Con estas dimensiones las bombonas van a tener un peso de 24 kg cada una, que en total son 96 kg, pero además de ello hay que considerar el peso del propio aire contenido en ellas. Cada litro de aire en condiciones normales pesa 1,3 g/l con lo que el peso añadido al vehículo es de:

Peso total del aire	Peso total de las bombonas	Peso total añadido
$154800 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 201,24 \text{ kg}$	$24 \cdot 4 = 96 \text{ kg}$	$201,24 + 96 = 297,24 \text{ kg}$

Estos 297,24 kg es el peso total extra que se añade al vehículo para poder equiparlo con un sistema de aire comprimido. Se demuestra que es el aire el que eleva el peso de la carga en una medida muy superior.

5.2- Cálculo del reductor.

El reductor es un elemento necesario para adaptar la velocidad y fuerza del motor a la aplicación real a la que está destinado.

Para la mayoría de las aplicaciones la velocidad de salida que dan los motores es demasiado elevada, y el par por su parte es bastante bajo, el reductor se encarga de convertir en la misma proporción mediante engranajes una alta velocidad y un bajo par en una menor velocidad y un mayor par. La potencia por su parte se mantiene constante.

En el caso de los motores neumáticos el reductor también cumple la función de impedir que el motor se acerque a la velocidad de vacío y pase de ciertas revoluciones para que así se mantenga trabajando cerca del punto de máxima potencia.

La característica que va a definir el cálculo y la búsqueda del reductor es la velocidad. El motor LZL25 de Atlas Copco trabaja a una velocidad de revolución de 2800 r.p.m. a máxima potencia, y se desea que el coche alcance una velocidad máxima de 30 Km/h cuando el motor actúa en ese punto de trabajo.

En este cálculo juega un papel fundamental el diámetro de las ruedas ya que nos va a marcar las revoluciones que se necesitan a la salida del eje. Las ruedas del coche de golf son de 440 mm de diámetro.

Cálculo de la velocidad necesaria a la salida del reductor:

30 Km/h → 500 m/min
Diámetro rueda 440 mm (0,22 m de radio)
Avance de la rueda por vuelta (longitud circunferencia) $2 \cdot \pi \cdot r \rightarrow 2 \cdot \pi \cdot 0,22 = 1,38$ metros

Revoluciones necesarias a la salida del eje para alcanzar una velocidad de 30 Km/h:

$$\frac{500 \text{ m/min}}{1,38} = 361,7 \text{ r.p.m.}$$

A la salida del reductor en el eje se necesitan 361,7 r.p.m. y a la salida del motor se tienen 2800 r.p.m. con lo que la relación de reducción debe ser de $2800/361,7 = 7,7$ específicamente 1:7,7.

Otro dato a considerar en la búsqueda del reductor es la potencia de salida del mismo que tiene que ser igual o mayor que la que proporciona el motor para no tener ninguna pérdida en este sentido, el motor LZL25 tiene una potencia de 3,4 kW, este dato marca otra característica a cumplir en el motor.

Así pues buscamos un reductor que tenga como principales características:

- Ratio: 1:7,7
- Potencia de salida: mínima de 3,4 kW

Para finalizar el calculo se va a calcular la resistencia a torsión que deben soportar los ejes.

Para este calculo se necesita saber el par máximo de salida al que estará sometido el eje, este viene dado por el par máximo que proporciona el reductor que a su vez se calcula como el par máximo en el motor multiplicado por la relación de reducción del reductor.

El par máximo en el motor es el par de ahogo, es aquél que se produce en el motor al ser forzado a detenerse estando en funcionamiento. En el LZL25 este par es de 23,2 Nm, con un reductor de velocidad con una relación de 1:7,7 el par máximo pasa a ser de $23,2 \cdot 7,7 = 178,6$ Nm y este es el que llega a los ejes.

La resistencia máxima a torsión en el eje, teniendo un eje hueco, se calcula mediante la siguiente formula:

$$\tau_{\max} = \frac{T \cdot r}{I_p}$$

T= Par torsor

r = Radio exterior del eje

I_p = Momento polar de inercia.

$$\text{Para una sección tubular: } I_p = \frac{\pi \cdot (d_2^4 - d_1^4)}{32}$$

Aplicamos las formulas para un eje hueco de diámetro 50 mm y 2 mm de espesor:

$$I_p = \frac{\pi \cdot (0,05^4 - 0,002^4)}{32} = 1,74 \cdot 10^{-7} m^4 \rightarrow \tau_{\max} = \frac{178,6 \cdot 0,025}{1,74 \cdot 10^{-7}} = 25,6 \text{ MPa}$$

Esta es la máxima resistencia a torsión que deberá soportar el eje.

Con los cálculos realizados se han definido las características más importantes que deberá disponer el reductor y con las que realizar la búsqueda del mismo.

5.3- Cálculo esfuerzo y deformación del bastidor:

Mediante el programa Ansys se van a realizar unos escuetos cálculos para medir esfuerzos a los que se somete el bastidor y la deformación que en él se crea cuando se le aplican unas cargas y con ello poder marcar la capacidad de carga del vehículo.

Primeramente se debe tener perfectamente definida la estructura y en ella haber dispuesto los puntos de aplicación de los esfuerzos así como los puntos de fijación de la estructura. Los puntos de aplicación de los esfuerzos del bastidor son:

- Amarres donde se apliquen pesos considerables.
- La estructura en sí

En cuanto a los puntos de amarre se van a contemplar principalmente las seis bases sobre la que se amarra la plancha que soporta las bombonas y el equipaje. De la estructura en sí se van a considerar las fuerzas del peso de los ocupantes aplicadas en las bases del asiento.

Se va a considerar primeramente que el coche está en un estado de carga total referido a que las bombonas están completamente llenas, lo que supone un peso de 297,24 kg, también se contempla que en la parte trasera está colocado el equipamiento de golf dándole un peso de 50 kg a esta carga, y se considera también que el coche va ocupado por dos personas que aportan unos 200 kg en la parte del asiento. Este sería el cálculo base y que la estructura deberá soportar como carga mínima.

A estas cargas permanentes, se les va a añadir un factor de cargas variables en cada punto de aplicación, considerando el incremento de cargas hasta llegar a un valor límite que se deberá marcar según las deformaciones observables a posteriori en el cálculo.

Tomando como referencia la capacidad de carga de los coches de golf del mercado actual que es de unos 300 kg máximo la introducimos en los cálculos como valor de carga extra, repartidos 200 kg más en la parte de los asientos ya que es más fácil que se aplique una carga extra en ese lugar y los otros 100 kg en la parte trasera sujeta por seis puntos de anclaje.

Así pues en el simulador Ansys se va a introducir una fuerza de 4000 N aplicada en la cara superior de las barras sobre las que se colocará el asiento y otra de 4500 N aplicada en los seis puntos que hacen de base de anclaje del soporte de las bombonas y el equipaje, ambas fuerzas dispuestas en la dirección (-z).

Como se ha dicho antes también se deben establecer los puntos de fijación de la estructura. Estas cumplen el objetivo de sostener la estructura y que no se mueva en la dirección de las fuerzas, sirven de ejemplo los puntos donde se ancla la suspensión ya que de ahí se sujeta al suelo a través de las ruedas.

Los resultados obtenidos son:

Esfuerzos:

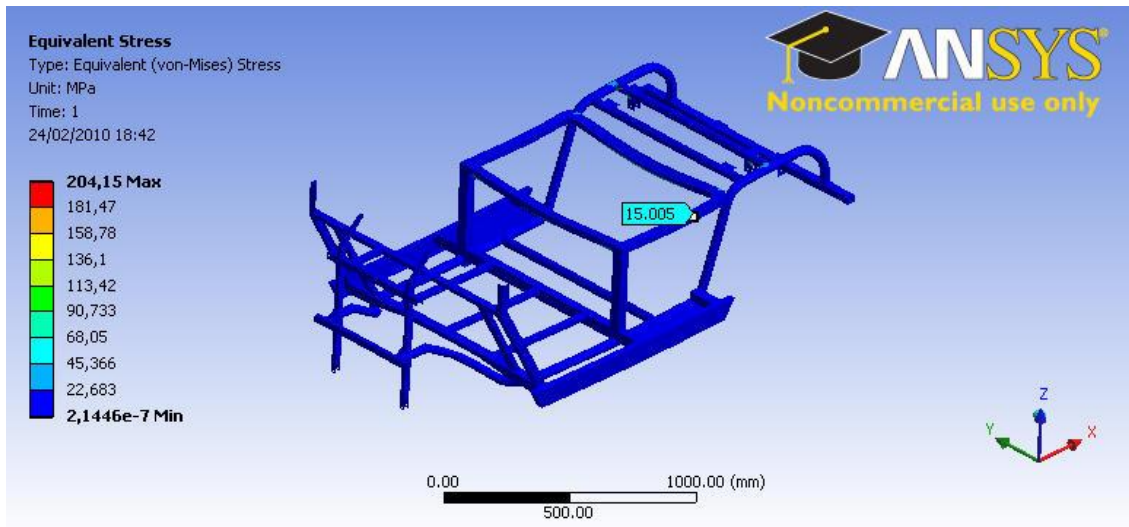


Figura 5.3.1: Ansys esfuerzo en el bastidor.

Se concluye que el esfuerzo que soportan las barras es asumible llegando a un máximo de alrededor de 15 MPa.

Deformación:

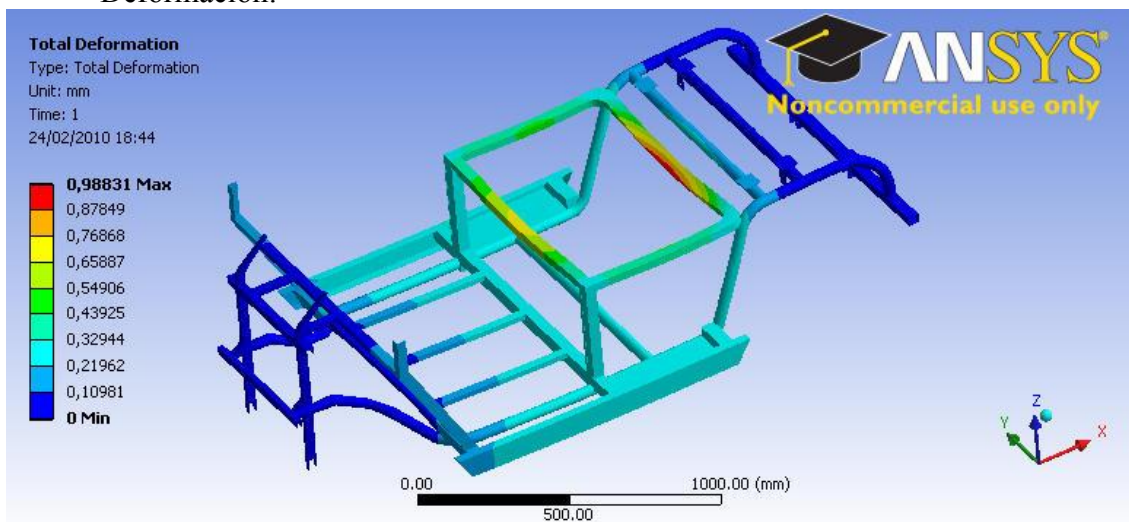


Figura 5.3.2: Ansys deformación en el bastidor.

Se observa que la máxima deformación está en la barra trasera del soporte del asiento, pero que no llega ni siquiera a 1 mm.

Se concluye pues que la estructura realizada es lo suficientemente rígida como para realizar la labor para la que a sido fabricada. Cumple perfectamente con los requisitos de carga a los que debe hacer frente el vehículo.

6. ESTUDIO ECONÓMICO

Para realizar un análisis económico del proyecto, se va a hacer una estimación del coste de los diferentes componentes del mismo, así como del trabajo realizado por los operarios. El valor del producto final completo se toma como si se tratase de producción en serie.

Coste aproximado de cada componente:

Bombonas:

Precio de la mano de obra	50,00 € / h.
Total horas de trabajo por bombona	10 horas
Precio del total de los materiales:	400,00 €
Precio total por bombona	900,00 €
TOTAL (4 bombonas):.....	3.600,00 €

Bastidor y chasis:

Precio de la mano de obra	50,00 € / h.
Total horas de trabajo.....	56 horas
Materiales.....	350,00 €
TOTAL	3.150,00 €

Sistema neumático:

Precio de la mano de obra en el montaje	50 € / h.
Tiempo de montaje	8 horas
Motor	400,00 €
4× Regulador de presión	600,00 €
Válvula reguladora de caudal.....	100,00 €
Válvula de dirección	80,00 €
Lubricador	40,00 €
TOTAL	1.620 €

Precio orientativo de venta del vehículo:

Precio total de los componentes.....	8.370,00 €
Precio aproximado de los ajustes finales	100,00 €
TOTAL PRECIO <u>ORIENTATIVO</u> DEL VEHÍCULO:	8.500,00 €

7. CONCLUSIÓN

Con la realización de este proyecto se ha mostrado la viabilidad de diseñar un vehículo ecológico que funcione con aire comprimido en este caso para ser utilizado en campos de golf. Se ha conseguido un diseño semejante al modelo coches actuales simplemente sustituyendo el anterior sistema motor por uno neumático.

Este es el principio de una vía para el desarrollo de vehículos no contaminantes, se deberá desarrollar esta tecnología y se deberán pulir los inconvenientes actuales conforme se avance en la tecnología del aire comprimido para propulsar vehículos.

La realización de este proyecto a durado unos 6 meses, en este momento contando con los elementos ya diseñados y los informes realizados se puede desarrollar este trabajo y realizar el equipamiento de un vehículo con un sistema neumático semejante en un breve periodo de tiempo.

8. BIBLIOGRAFÍA

Deppert, W. *Aplicaciones de la neumática*. Marcombo, 1977.

Guillén Salvador, Antonio *Introducción a la neumática*. Marcombo, 1988.

Timoshenko, S. y Goodier, J. *Teoría de la elasticidad*. Urmo, 1975.

Pinillos Gordon, Asier. *Manual practico de Solid Edge V18*. DAT S.L., 2009.

PÁGINAS WEB:

<http://www.atlascopco.com>

<http://www.adcmotors.com>

<http://www.teycars.com>

<http://www.neumac.es>

<http://www.regusciair.com>

<http://www.ezgo.com>

<http://www.mdi.lu>

<http://www.engineair.com>

CATÁLOGOS:

Bonfiglioli.

High Tech Line.

Neumac.

AMD.

Atlas Copco.

9. ANEXO

9.1- Selección del motor:

En este capítulo vamos a mostrar las opciones que nos encontramos para finalmente seleccionar el definitivo motor de aire.

Primeramente se concretaron las características que debía cumplir el motor de aire, estas fueron extraídas de la comparación con los motores eléctricos y de gasolina de los actuales coches de golf y son potencia de entre 3 y 5 kW a 2800 r.p.m.

Tras conocer las características se consultaron catálogos de empresas para seleccionar el que más se ajustara a las necesidades exigidas.

Estos son los motores con los que definimos la búsqueda:

Motores de la empresa Neumac, dispone de una gran variedad de motores de aire, pero dentro de ella solo los motores tipo CR y NR se ajustan a nuestra búsqueda.

Los motores tipo CR son motores reversibles con potencias desde 1,8 a 6 kW.

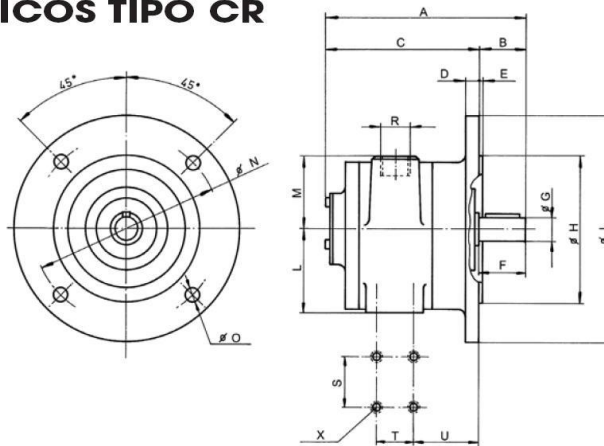
Los motores tipo NR son motores reversibles con potencias desde 1,7 a 4,5 kW.

Dentro de ellos los que más se ajustan a nuestra petición eran estos:

Motor tipo CR, modelo 5CR-30:

MOTORES NEUMÁTICOS TIPO CR

DIMENSIONES



MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	J	L	M	N	O	R	S	T	U	X
5CR-30	210	50	160	13	3,5	50	24	130	200	75	80	165		GAS 1"	67	51	57	M.8

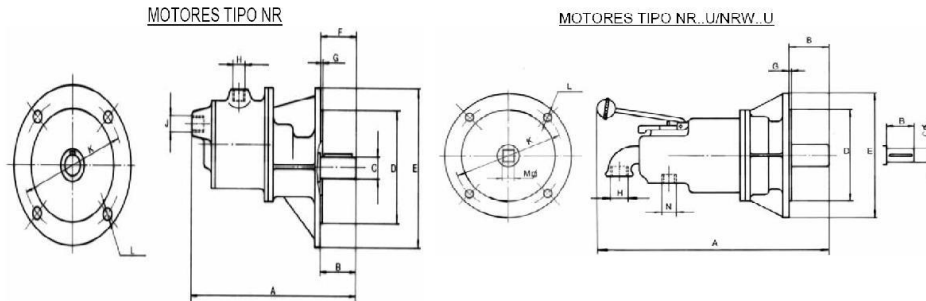
CARACTERÍSTICAS (Presión de aire = 6 bar)

MODELO	Potencia máxima		R.P.M. a máxima potencia	R.P.M. vacío	Para máxima potencia (Nm)	Par de arranque mínimo (Nm)	Peso (Kg)	Consumo de aire a máxima potencia (l/min)
	C.V.	kW						
5CR-30	6,22	4,6	3.000	6.000	14,50	14,10	15,0	6.100

Figura 9.1.1: Dimensiones y características del motor 5CR-30.

Motor tipo NR, modelo 6NR-15:

DIMENSIONES.



MODELO	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
6NR-15	363	60		180	250	60	4,5	1"	1"	215	14		
6NRW-15U	547	58		180	250		4,5	1-1/4"		215	14	27	1"

MOTORES NEUMÁTICOS TIPO NR..U / NRW..U

CARACTERÍSTICAS (P_{aire}=6 bar)

Modelo	Potencia máxima		R.P.M. a máxima potencia	R.P.M. libras	Par a máxima potencia Nm	Par de arranque Nm	Peso Kg	Consumo de aire a máxima potencia l/min
	CV	kW						
6NR-15/6NRW-15U	5,68	4,19	1500	3000	27,2	40,8	19,5/26	5000

Figura 9.1.2: Dimensiones y características del motor 6NR-15.

Motores de la empresa **Atlas Copco**, de los cuales solo los de la gama **LZL** nos sirven.

Los motores LZL son de aletas y tienen potencias de entre 1,3 a 6,5 kW.

Dentro de estos el que mejor se ajusta a las características buscadas es el **modelo LZL25:**

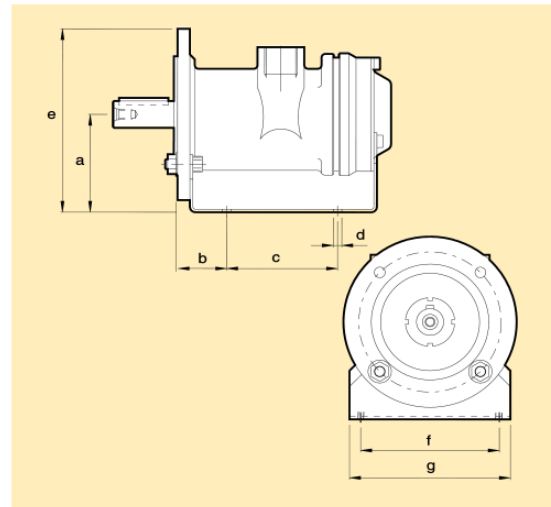
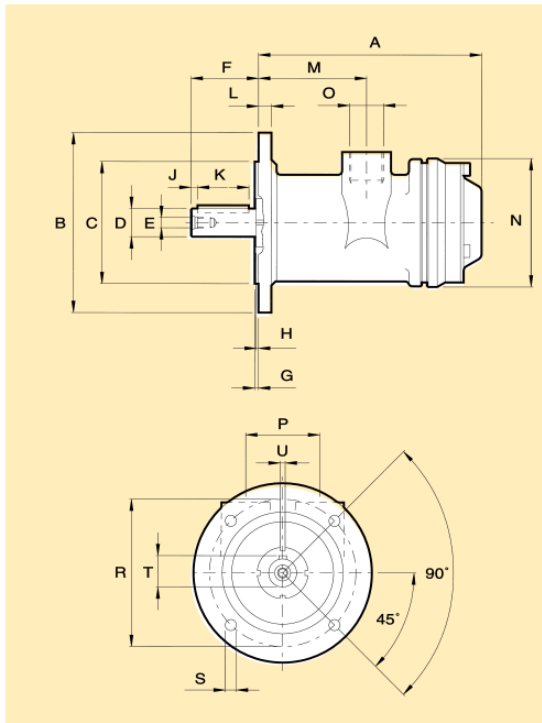
Datos sobre el producto a 6,3 bar LZL 25

Désignación	9411 1005 25
Modelo	LZL 25
Salida max	3,4 kW
	4,6 hp
Velocidad max	2800 r/min
Para max	11,6 Nm
	8,5 lbf. ft
Par mínimo al arranque	18 Nm
	13,2 lbf.ft
Velocidad libre	5800 r/min
Consumo de aire a potencia máxima	86 l/s
	182 cfm
Peso	11,3 kg
	24,9 lb



Motor type	Connection thread (BSP)	NON-REVERSIBLE DUTY		REVERSIBLE DUTY	
		Inlet hose diameter (mm)	Exhaust hose diameter (mm)	Inlet hose diameter (mm)	Exhaust hose diameter (mm)
LZL 05	1/2"	12.5	20.0	20.0	20.0
LZL 15	3/4"	16.0	25.0	25.0	25.0
LZL 25	1"	20.0	32.0	32.0	32.0
LZL 35	1 1/4"	20.0	32.0	32.0	32.0

Longitudes de manguera.



Foot bracket	LZL 05	LZL 15	LZL 25
Ordering No.	4430 0304 80	4430 0305 80	4430 0306 80

Type	a	b	c	d	e	f	g
LZL 05	56	32	71	5.8	109	90	104
LZL 15	80	40	90	7	150	112	130
LZL 25	90	53	100	10	170	125	146

Type	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U
LZL 05	141	105	70j6	18j6	M5	44	2.5	2.5	5	30	8	69	83	BSP 1/2*	44	85	6.7	20.5	6h9
LZL 15	174	140	95j6	22j6	M8	52.5	3	0	5	40	10	84	100	BSP 3/4*	58	115	8.8	24.5	6h9
LZL 25	206	160	110j6	28j6	M10	62.5	3.5	1.8	5	50	12	103	120	BSP 1*	70	130	8.8	31	8h7
LZL 35	238	200	130j6	28j6	M10	62.5	3.5	1.8	5	50	14	119	134	BSP 1 1/4*	70	165	12	31	8h7

Motores neumáticos a medida

Cualesquiera que sean los requisitos, Atlas Copco estará siempre encantado de ayudar a sus clientes a encontrar soluciones para sus necesidades especiales. Para OEMs, por ejemplo, un motor neumático fabricado a medida puede ser la solución más eficaz para su inclusión en una máquina o herramienta.

Para una información detallada, vea el catálogo de motores neumáticos 9833 8998 01.

Figura 9.1.3: Características y dimensiones del modelos LZL25 de Atlas Copco.

Finalmente de estos tres motores que hemos seleccionado, debemos escoger el que mas se aproxime a lo buscado o sobre el que más información dispongamos.

Concluimos pues en seleccionar finalmente el motor LZL25 de Atlas Copco por estos motivos, será este el motor sobre el que se centrará el sistema neumático que dará movilidad al coche.