



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

“LUBRICANTES EN SISTEMAS HIDRÁULICOS “

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

JOSE JUAN FERNANDEZ ZARCO

ASESOR:

M. EN I. JOSE GUADALUPE ALFONSO RAMOS ANASTASIO

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero de alguna manera expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que de diferentes maneras me han ayudado a transitar este camino que llega a su final y me pone de frente a un nuevo desafío.

A mis padres y hermanos que siempre estuvieron para darme una palabra de aliento y supieron respetar mis decisiones.

A mis compañeros, aquellos con los que compartí mis primeros pasos y los que, con mucho esfuerzo, compartieron conmigo la llegada.

No puedo olvidar a mis amigos con los cuales he compartido incontables horas de estudio, trabajo y convivencia doy gracias por los buenos y malos momentos, por aguantarme y escucharme.

A todo el cuerpo docente y no docente de la Facultad por ayudar a que mi formación profesional y humana fuera lo más completa posible.

A mi asesor de Tesis, M en I José Guadalupe Alfonso Ramos Anastasio, por darme la oportunidad de desempeñarme en un ámbito muy profesional, por confiar en mi, por aconsejarme y por ceder horas de su descanso a mis consultas y estar siempre dispuesto a evacuar mis dudas.

También quiero agradecer a mi Jurado de tesis y de manera especial al Ing. Yolanda Benítez Trejo por la ayuda prestada para la realización y presentación de mi tesis.

De manera especial quiero agradecer a Dios, por haberme dado la oportunidad de compartir tantas experiencias y de concretar uno de mis más preciados sueños.

Muchas Gracias a Todos.

INDICE

INDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1.-Características de los Lubricantes.

	Pag.
➤ Generalidades	11
➤ Características	11
➤ Viscosidad	12
➤ Viscosidad dinámica ó absoluta	12
➤ Viscosidad cinemática	12
➤ Viscosidad relativa	12
➤ Números SAE	12
➤ Índice de viscosidad	12
➤ Untuosidad	13
➤ Punto de inflamación	13
➤ Punto de combustión	13
➤ Porcentaje de coquización	13
➤ Punto de congelación	13
➤ Punto de descongelación	13
➤ Poder anticorrosivo	13
➤ Poder antioxidante	13
➤ Poder antiespumante	14
➤ Poder detergente	14
➤ Poder lubricante a elevadas presiones	14
➤ Clasificación	14
➤ Lubricantes sólidos	14
➤ Tratamiento Lubsec	14
➤ Lubricantes pastoso-grasos	15

	Pag.
➤ Grasas calcicas	15
➤ Grasas sodicas	15
➤ Grasas al aluminio	15
➤ Grasas al litio	15
➤ Grasas al bario	15
➤ Lubricantes líquidos	15
➤ Aceites minerales	15
➤ Aceites de origen vegetal y animal	15
➤ Aceites compuestos	16
➤ Aceites sintéticos	16
➤ Selección de lubricantes	16
➤ Lubricantes para cojinetes a fricción	16
➤ Lubricantes para rodamientos	17
➤ Lubricantes para enganajes	17
➤ Fluidos para mandos hidráulicos	17
➤ Lubricantes para automóviles	18
➤ Aceites para motores	18
➤ Aceite regular	18
➤ Aceite Premium	18
➤ Aceite heavy duty	18
➤ Aceite para las cajas de cambio y el diferencial	18
➤ Grasas para lubricación de elementos del chasis	19
➤ Fluidos de corte	19
➤ Aceites puros	19
➤ Aceites solubles ó taladrinas	19
➤ Fluidos de corte sintético	19
➤ Aceites orgánicos	20
➤ Aceites inorgánicos	20
➤ Aceites compuestos	20
➤ Clases de lubricantes (Regular, Premium, Heavy Duty, y Multigrado)	21

	Pag.
➤ Propiedad de un lubricante (Alcalinidad, Dispersión, Detergencia, Índice de viscosidad)	22
➤ Inhibidores de oxidación	23
➤ Inhibidores de corrosión	23
➤ Agentes anti-desgaste	23
➤ Inhibidores de herrumbre	24
➤ Depresores del punto de congelación	24
➤ Inhibidores de espuma	24

CAPITULO 2.- Origen de los Aceites Lubricantes.

➤ Procedencia de los lubricantes	25
➤ Origen del petróleo	25
➤ Composición	25
➤ Tipos de hidrocarburos (Parafínicos, Nafténicos, Aromáticos)	26
➤ Clasificación y características	26
➤ Petróleos de de naturaleza parafínica	26
➤ Petróleos por naturaleza nafténica	27
➤ Petróleos por naturaleza aromática	27

CAPITULO 3.- Fundamentos de Lubricación.

➤ Lubricantes	28
➤ Lubricación hidrodinámica	28
➤ Lubricación Elasto-hidrodinámica	29
➤ Lubricación por capa límite	29
➤ Propiedades físicas	29
➤ Índice de viscosidad	32
➤ Viscosidad Saybolt	33

	Pag.
➤ Viscosímetros capilares	33
➤ Viscosímetros de capilar de vidrio	33
➤ Viscosímetros capilares de alta presión	33
➤ Viscosímetros rotatorios	34
➤ Simulador de cigüeñal	34
➤ Mini-viscosímetro Rotatorio	34
➤ Viscosímetro Brookfield	34
➤ Simulador de cojinete cónico	35
➤ Viscosidad cinemática	35
➤ Índice de viscosidad	35
➤ Rigidez dieléctrica	36
➤ Punta de gota	36
➤ Propiedades superficiales(Tensión superficial, Formación de espuma Demulsibilidad)	36

CAPITULO 4. Aceites Lubricantes para Motores de Combustión Interna.

➤ Aspectos generales	38
➤ Ciclos genéricos	38
➤ Lubricación de motores diesel	42
➤ Movimientos de vaivén y de rotación	44
➤ Compresión de la mezcla de aire-combustible	44
➤ Ciclos de Motor de dos ó cuatro tiempos	45
➤ Ciclos de operación del motor a diesel	45
➤ Motor de dos tiempos	45
➤ Motor de cuatro tiempos	46
➤ Diferencia entre el motor de dos tiempos y motor de cuatro tiempos	49
➤ Motores a diesel vs motores de gasolina	49
➤ Método de suministro y encendido del combustible	49
➤ El mayor rango de compresión en el diesel	50

	Pag.
➤ El diseño de las partes de las partes del motor	50
➤ El grado y tipo de combustible usado	50
➤ Consideraciones sobre el tren de válvulas	51
➤ Combustible y azufre	61
➤ Emisiones	61
➤ Clasificaciones de los aceites	62
➤ Funciones que deben satisfacer los aceites de motor	62
➤ Características del lubricante	65
➤ Aceites monogrados y multigrados	68
➤ Grado SAE	70
➤ Clasificación API	70

CAPITULO 5.- Fluidos hidráulicos

➤ Definición de Hidráulica	71
➤ Clasificación	71
➤ Propiedades físicas de los fluidos	73
➤ Fuerza y Masa	74
➤ La densidad de los cuerpos	74
➤ Densidad y peso específico	76
➤ El fundamento del densímetro	76
➤ Presión	77
➤ La presión de los fluidos	77
➤ Unidades de presión	78
➤ Hidrostática	78
➤ Variación de la presión con la profundidad	78
➤ El principio de Pascal y sus aplicaciones	79
➤ Empuje Hidrostático: Principio de Arquímedes	81
➤ Hidrodinámica	84
➤ Fluidos Newtonianos y No newtonianos	85
➤ Viscosidad	85

	Pag.
➤ Viscosidad Dinámica	85
➤ Flujos viscosos y no viscosos	87
➤ Flujos laminares y turbulentos	90
➤ Flujo compresible e incompresible	91
➤ Ecuación de continuidad	91
➤ Teorema de Bernoulli	92
➤ Ley de Torricelli	94
➤ Ecuación General de la Energia	94
➤ Fricción de fluido	94
➤ Válvulas y conectores	94
➤ Nomenclatura de pérdidas y adiciones de energía	95
➤ Potencia requerida por bombas	96
➤ Eficiencia mecánica de las bombas	96
➤ Potencia suministrada a motores de fluido	96
➤ Eficiencia de los motores de fluido	97
➤ Potencia en un sistema Hidráulico	97
➤ Potencia y Par	98
➤ Diseño de un sistema Hidráulico sencillo	98
➤ Como de mide el caudal	99
➤ Causa de las fugas	100
➤ Almacenamiento y manejo	101
➤ Precauciones	101
➤ Contaminación	102

CAPITULO 6.- Fluidos para corte de metales.

➤ Descripción y tipos de Maquinado	103
➤ Teoría de la formación de viruta en el maquinado	106
➤ Fluidos de corte-Refrigerantes	108
➤ Objetivos de los fluidos de corte	108
➤ Tipos de líquidos de corte	109

	Pag.
➤ Aceites emulsionables	109
➤ Elección del fluido de corte	109
➤ Lubricante de silicona para hilos Quick-Stitch	110
➤ Aceite totalmente incoloro Cristal Clear para máquinas de coser	110
➤ Rocio de silicona Glide EZ	110
➤ Lubricantes Glide-Lube para rieles y Masas	110
➤ Aceites y lubricantes para aplicaciones especiales	111

CAPITULO 7.-Fluidos para transmisiones automáticas.

➤ Introducción	112
➤ Convertidores de par	114
➤ Embrague hidráulico	115
➤ Convertidor de par	116
➤ Palanca de mando	117
➤ Trenes epicicloidales	119
➤ Elementos mecánicos de mando (Embragues, frenos, Rueda libre de aparcamiento)	122
➤ Elementos hidráulicos de mando	124
➤ Funcionamiento del sistema hidráulico	127
➤ Caja de cambios semiautomática	130
➤ Cambio automático por variador continuo	131
➤ Análisis de cajas de cambio comerciales	134
➤ Clasificación de las cajas de cambio comerciales	135
➤ Audi Multitronic	136
➤ Alfa Romeo Selespeed	137

CAPITULO 8.-Aceites lubricantes para engranajes industriales.

➤ Control de calidad y pruebas que se realizan a las grasas	139
➤ Aditivos empleados en las grasas	141
➤ Aceites y grasas con lubricantes sólidos	142
➤ Lubricación industrial	142
➤ Rodamientos cojinetes planos	143
➤ Rodamientos ó cojinetes antifricción	144

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCIÓN

En este trabajo presento las características y tipos de lubricantes que tienen como función reducir la fricción entre dos cuerpos en movimiento ya sea hidráulico, mecánico, etc. En el caso de los aceites minerales que se obtienen de la refinación del petróleo tiene como aplicación directa en motores de combustión interna (motores de 2 y 4 tiempos diesel y gasolina ó gas), sistemas hidráulicos, transmisiones, transejes, rodamientos, etc., conforme a este tipo de lubricantes que se van enriqueciendo con aditivos, los aceites comienzan a ser de mejor calidad y tienen mayor rendimiento, esto hace que su periodo de cambio se prolongue y perfectamente bien realice su función principal que es proteger los componentes críticos de la herrumbe y la corrosión además de servir como un refrigerante para disipar el calor generado durante la operación del sistema.

Los aceites lubricantes tienen ciertas características de acuerdo a su propiedades físicas y químicas, esto es que tienen un cierto rango de operación, que quiero decir con esto, que los aceites solo pueden trabajar en un cierto límite de temperatura, con la cantidad específica de aditivos y la viscosidad permitida, conforme el aceite es sometido al trabajo de operación sus características físicas y químicas se van perdiendo y esto hace que los lubricantes se degraden y tengan que ser sustituidos en un cierto periodo de tiempo, por ello es mi sugerencia de realizar los mantenimientos de los sistemas de acuerdo a la tabla del fabricante, aunado a esto tener en cuenta las condiciones extremas del medio ambiente para así mantener los sistemas en perfectas condiciones, ya que de no hacerlo comenzaremos a dañar el sistema y reducir su vida útil.

CAPITULO 1

CARACTERISTICAS DE LOS LUBRICANTES

Generalidades

En los distintos órganos en movimiento de las máquinas, existen rozamientos en las superficies de contacto que disminuyen su rendimiento. Este fenómeno se debe a diversos factores, el más característico de los cuales es el *coeficiente de rozamiento*, cuya causa principal reside en las irregularidades de las superficies de las piezas en contacto.

Se llama *lubricante* la sustancia capaz de disminuir el rozamiento entre dos superficies en movimiento. Sus fines son, principalmente dos:

- 1) Disminuir el coeficiente de rozamiento.
- 2) Actuar como medio dispersor del calor producido.

Además, con el se consiguen los siguientes objetivos secundarios:

- a) Reducir desgastes por frotamiento.
- b) Disminuir o evitar la corrosión.
- c) Aumentar la estanqueidad en ciertos órganos (cilindros, segmentos, juntas, etc.).
- d) Eliminar o trasladar sedimentos y partículas perjudiciales.

Características

Para cada lubricante, dentro de su gran variedad de aplicaciones, hay unas características que, en mayor o menor grado, deben cumplir. Las principales son: viscosidad, untuosidad, punto de combustión, punto de inflamación, porcentaje de coquización, punto de congelación y punto de descongelación. Las secundarias son: poder anticorrosivo, poder antioxidante, poder antiespumante, poder detergente y resistencia a elevadas presiones. Por lo anterior, es importante definir los conceptos que nos ubicarán en éste para una mejor comprensión

Viscosidad

Es la característica más importante para la elección de los aceites y se define como la resistencia de un líquido a fluir. Es la inversa de la fluidez y se debe a la fricción de las partículas del líquido. La viscosidad se valora según los métodos usados para su determinación, y las unidades, en orden decreciente a su exactitud, son:

Viscosidad dinámica o absoluta. La unidad de viscosidad absoluta es el *poise*, que se define como la viscosidad de un fluido que opone determinada fuerza al deslizamiento de una superficie sobre otra a velocidad y distancia determinadas.

Corrientemente se emplea el *centipoise*, que es la centésima parte del poise y equivale a la viscosidad absoluta del agua.

Viscosidad cinemática. Es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido. La unidad es el *stoke* (St), aunque prácticamente se emplea el *centistoke*, que equivale a la centésima parte de aquel y es aproximadamente la viscosidad cinemática del agua a 20 °C.

Viscosidad relativa. En la práctica, la medición de la viscosidad se hace en aparatos denominados *viscosímetros*, en los cuales se determina el tiempo que tarda en vaciarse un volumen fijo de aceite a determinada temperatura y por un tubo de diámetro conocido. Los más empleados son los Engler, Redwood y Saybolt.

Los grados de viscosidad así determinados deben acompañarse siempre de la inicial del viscosímetro y de la temperatura de ensayo; por ejemplo: 5 °E a 50 °C, 25 S.S.U. a 210 °F, etc.

Números SAE. Establecidos por la *Society of Automotive Engineers* para especificar gamas de viscosidades de aceites para automóviles. Los números de invierno (SAE-5W, 10W, 20W) se determinan a temperaturas bajo cero, y los de verano (SAE-20, 30, 40, 50, 60) a 100 °C.

Índice de viscosidad. La viscosidad de los lubricantes disminuye al elevarse la temperatura. Y es necesario conocer los grados de variación, principalmente cuando los lubricantes se han de emplear en máquinas o motores que trabajan a altas temperaturas.

La escala de los índices de viscosidad fue establecida tomando aceites de diferentes procedencias y clasificándolos desde 0 (mucho variación) hasta 100 (muy poca variación). En la práctica, se consideran:

Bajo: menos de 40

Medio: de 40 a 80

Alto: más de 80

Untuosidad

Es la capacidad que tienen los aceites de adherirse a la superficie de los órganos lubricados. No se valora porque no existe una unidad de medida ni aparatos normalizados que permitan su medición.

Punto de inflamación

Es la temperatura a la cual, bajo ciertas condiciones, hay que calentar un lubricante para que los vapores emitidos se inflamen al aproximar una llama.

Punto de combustión

Es la temperatura que debe alcanzar un lubricante para que empiece a arder interrrupidamente. Se considerara llegado al punto de combustión cuando el lubricante arda durante cinco segundos por lo menos.

Porcentaje de coquización

Los aceites que son sometidos a temperaturas demasiado elevadas y que no disponen del aire suficiente para arder debidamente se carbonizan, produciendo una especie de coque que perjudica la superficie lubricada. Para determinar la tendencia a la coquización, se calcula el porcentaje de coque producido en una atmósfera limitada.

Punto de congelación

Es la temperatura a la cual los aceites dejan de fluir, solidificándose. Se determina enfriando progresivamente el lubricante en un tubo de ensayo hasta que este se pueda poner horizontal sin que el aceite se derrame.

Punto de descongelación

Es la temperatura a la cual, en el calentamiento, deja de estar bloqueada una pieza que había quedado sujeta por el lubricante al congelarse este.

Poder anticorrosivo

Es la propiedad de un lubricante de proteger a los órganos mecánicos contra la corrosión. Puede mejorarse añadiendo agentes anticorrosivos

Poder antioxidante

Es la propiedad de mantenerse estable a altas temperaturas, con la cual, al no oxidarse el lubricante, tampoco aumenta su acidez, y no se forman en su seno partes insolubles que con el tiempo originarían lodos.

Poder antiespumante

Es la propiedad de impedir la retención de burbujas de aire en el aceite. Se mejora añadiendo agentes que reducen la tendencia a formar espuma.

Poder detergente

En los motores de explosión se producen residuos en el proceso de la combustión y de la descomposición del lubricante que contribuyen al rápido desgaste de sus distintos órganos. Por esta razón se añaden al lubricante productos detergentes que arrastran los posibles sedimentos y los mantienen en suspensión en el aceite.

Poder lubricante a elevadas presiones

Es la capacidad de mantener la película lubricante entre las superficies de las piezas aun en el caso de someterlas a elevadas presiones unitarias.

Clasificación

Según su consistencia, los lubricantes se pueden clasificar en:

Sólidos.

Pastosos.

Líquidos.

Dentro de cada clase, pueden ser de origen mineral, vegetal y animal.

Lubricantes sólidos

Los lubricantes sólidos se emplean cuando las piezas han de funcionar a temperaturas muy extremadas y cuando intervienen elevadas presiones unitarias.

Los más empleados son el grafito y el bisulfuro de molibdeno, que sirven para fabricar cojinetes auto lubricados y como aditivos de aceites y grasas. También se emplean para el mismo fin materiales tan variados como talco, mica, azufre, parafinas, etc.

Tratamiento Lubsec

Es un tratamiento que tiene por objeto recubrir con una capa de lubricante seco las superficies de fricción de las piezas. Se realiza dando a la pieza un fosfatado al magnesio o al zinc y aplicando encima una capa de polvo impalpable de molibdeno disperse en una resina termo-estable.

Lubricantes pastosos – grasas.- Las grasas son dispersiones de aceite en jabón. Se emplean para lubricar zonas imposibles de engrasar con aceite, bien por falta de condiciones para su retención, bien porque la atmósfera de polvo y suciedad en que se encuentra la maquina aconseja la utilización de un lubricante pastoso.

Una de las características mas importantes de las grasas es el *punto de goteo*, es decir, la temperatura mínima a la cual la grasa contenida en un aparato especial empieza a gotear por un orificio situado en la parte inferior. Es muy importante, ya que permite conocer la temperatura máxima de empleo.

Según el jabón que las forma, las grasas pueden ser calcicas, sodicas, al aluminio, al litio, al bario, etc. Y sus características y aplicaciones son las siguientes:

Grasas calcicas. Tienen un aspecto mantecoso, son insolubles en agua, resisten 80 °C y son muy económicas. Se emplean para lubricar rodamientos situados en los chasis de los automóviles y rodamientos de maquinas que trabajen a poca velocidad y a menos de 70 °C.

Grasas sodicas. Tienen un aspecto fibroso, son emulsionables en agua, resisten 120 °C y son poco fusibles. Se emplean para rodamientos en que no haya peligro de contacto con el agua.

Grasas al aluminio. Son de aspecto fibroso y transparente, insoluble en el agua, muy adhesivo y muy estable. Resisten hasta 100 °C. Se emplean en juntas de cardan, cadenas, engranajes y cables, y en sistemas de engrase centralizado.

Grasas al litio. Son fibrosas, resisten bastante bien el agua y pueden utilizarse desde —20 hasta 120°C. Se emplean para aplicaciones generales (rodamientos, pivotes de mangueta en automóviles), conteniendo, si es necesario, bisulfuro de molibdeno.

Grasas al bario. Son fibrosas y mas resistentes al agua que las de litio, y su máxima temperatura de empleo es de 180°C. Se emplean para usos generales.

Lubricantes líquidos

Llamados en general aceites lubricantes, se dividen en cuatro subgrupos:

Aceites minerales. Obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo, y también de ciertos carbones y pizarras.

Aceites de origen vegetal y animal. Son denominados también aceites grasos y entre ellos se encuentran: aceite de lino, de algodón, de colza, de oliva, de tocino, de pezuria de buey, glicerina, etc.

Aceites compuestos. Formados por mezclas de los dos primeros, con la adición de ciertas sustancias para mejorar sus propiedades.

Aceites sintéticos. Constituidos por sustancias líquidas lubricantes obtenidas por procedimientos químicos. Tienen la ventaja sobre los demás de que su formación de carbonillas es prácticamente nula; su inconveniente consiste en ser más caros.

Entre los subgrupos mencionados, merecen especial atención los aceites minerales, por ser los lubricantes líquidos más empleados. Se obtienen por la destilación del petróleo bruto, de la cual se originan también otros productos (éter, gasolina, petróleo, gas oil, fuel-oil, etc.). Una vez destilados, son convenientemente tratados para purificarlos y mejorar sus propiedades básicas con aditivos.

Selección de lubricantes:

Actualmente están desapareciendo en la industria los llamados lubricantes para *uso general*, que han sido desplazados por los adecuados a cada aplicación específica. Según sea esta, se pueden citar los siguientes:

- Para cojinetes a fricción.
- Para rodamientos a bolas y rodillos.
- Para engranajes.
- Para automóviles.
- Para compresores frigoríficos.
- Para compresores de aire.
- Para la industria textil.
- Para turbinas hidráulicas.
- Para máquinas de vapor.
- Para mandos hidráulicos.
- Para mecanizado de metales.
- Para transformadores eléctricos.

Lubricantes para cojinetes a fricción

Para esta aplicación interesa fundamentalmente la viscosidad del aceite, la cual deberá elegirse de acuerdo con las condiciones de trabajo, carga que actúe sobre el eje, velocidad de giro y temperatura de funcionamiento, con objeto de poder mantener un espesor mínimo de película. Todos los lubricantes tienen su nivel de viscosidad, medido siempre en grados Engler a 50° de temperatura, que indican su aplicación.

Lubricantes para rodamientos

En general, los rodamientos se lubrican con grasa que los protege de la oxidación y la corrosión, así como contra la penetración de polvo. Debido a que las grasas son menos fluidas que los aceites, permanecen durante mucho tiempo sin tener que reponerse. Las más utilizadas son las sódicas.

Lubricantes para engranajes

Al seleccionar lubricantes para engranajes, deben considerarse los siguientes factores:

- Tipo de engranaje (cilíndrico, cónico, etc.).
- Velocidad de funcionamiento.
- Potencia transmitida.
- Temperatura de trabajo.
- Régimen de funcionamiento (con o sin choques).
- Procedimiento de engrase (inmersión, chorro).

La viscosidad de estos aceites debe estar en proporción directa con la potencia, temperatura y régimen de funcionamiento, y en proporción inversa con la velocidad.

Fluidos para mandos hidráulicos

Las características que deben reunir los fluidos para mandos hidráulicos son las siguientes:

- Propiedades antiespumantes, emulsionantes, antioxidantes y anticorrosivas.
- Punto de inflamación elevado.
- Estabilidad al batido al cual se los somete.
- No atacar al caucho o a los materiales de las juntas.
- Viscosidad apropiada.

Para los circuitos hidráulicos, suelen adaptarse y emplearse dos tipos de fluidos: aceites de petróleo y fluidos sintéticos, siempre con los aditivos necesarios para que cumplan las especificaciones.

En los circuitos hidráulicos es muy importante que una de las especificaciones, como es la anti-espuma se verifique, ya que si formase espuma, esta contendría aire y habría que purgar continuamente los circuitos, con las consiguientes repercusiones en el trabajo.

Lubricantes para automóviles

Debido al gran consume de lubricantes originado por el automóvil, se ha desarrollado una gama completa de ellos que cubre todas las necesidades determinadas por las condiciones especiales a que son sometidos.

Aceites para motores

Son aceites con aditivos contra la corrosión y oxidación, por las altas temperaturas a que deben funcionar. Respecto de sus propiedades, estos aceites se dividen, según la SAE, en tres categorías principales:

Aceite Regular (normal o ML). Mineral, sin aditivos y para trabajos ligeros y moderados corrientes.

Aceite Premium (de primera o MM). Con aditivos antioxidantes y anticorrosivos y con un ligero poder detergente.

Aceite Heavy Duty (detergente, HD o servicio pesado MS). El cual además de antioxidante y anticorrosivo, es detergente. Se emplea para motores destinados a trabajos fuertes. A esta categoría pertenecen también los aceites especiales para motores Diesel, de gran poder detergente. (Servicio DG), para esfuerzos y temperaturas normales.

(Servicio DS), para esfuerzos muy duros y temperaturas muy elevadas. La viscosidad de los aceites para motores se indica mediante el número SAE, siendo más alta cuanto más lo es el número:

- SAE-5W, SAE-10W, SAE-20W (para frío riguroso)
- SAE-20W, SAE-30, SAE-40, SAE-50

Aceites para las cajas de cambio y el diferencial.- Contienen aditivos (cloro, azufre, fósforo) para mantener la película de aceite mínima a las elevadas presiones de trabajo de los engranajes de cambio y del diferencial. La clasificación SAE de las viscosidades es la siguiente: SAE-75, SAE-80, SAE-90, SAE-140, SAE-240

No deben emplearse para motores, ya que los aditivos que contienen son adecuados única y exclusivamente para las aplicaciones específicas del aceite, y podrían originar graves averías.

Grasas para lubricación de elementos del chasis

El engrase de los rodamientos del chasis, rotulas de dirección, pivotes de mangueta. etc., se realiza con grasas en general sólidas o de litio, con bisulfuro de molibdeno y otros aditivos que protegen a dichos elementos del polvo y el agua.

Fluidos de corte

Los aceites empleados para el mecanizado de los metales ofrecen las siguientes ventajas:

- Lubrican el corte, aumentando la duración de la herramienta.
- Refrigeran la herramienta, prolongando la duración del filo.
- Protegen las piezas contra la corrosión y la oxidación.
- Limpian las piezas de partículas y virutas, arrastrándolas.

Actualmente se emplean tres clases de fluidos de corte: aceites puros, aceites solubles y fluidos de corte sintéticos.

Aceites puros. Son aceites minerales o grasos, o bien mezclas de los dos. Poseen un elevado poder lubricante, pero no refrigeran tanto como los líquidos acuosos.

Aceites solubles o taladrinas. Emulsiones de aceites minerales a base de agua, que adquieren un color blanco lechoso. Según sea la proporción aceite-agua (1:5 a 1:150), predomina el poder lubricante o el refrigerante.

Fluidos de corte sintético. Líquidos a base de agua que no incluyen derivados del petróleo. Contienen jabones para la lubricación convencional, aditivos sintéticos lubricantes, nitratos, fosfatos, etc.

Los lubricantes son sustancias que gracias a sus propiedades viscosas se interponen entre las superficies que por varias razones están en continuo trabajo de rodadura o deslizamiento. Por ello los lubricantes se utilizan a fin de ayudar a combatir el desgaste y la toma de calor de estas delicadas piezas eso comporta claramente reducir el rozamiento.

Los aceites pueden provenir de distinta fuente y desde ese punto de vista podemos clasificarlos en:

- a) Aceites Orgánicos**
- b) Aceites inorgánicos**
- c) Aceites compuestos**

a) Aceites Orgánicos

Estos aceites son de base vegetal o animal, siendo tratados debidamente y fueron los pioneros en el arte de la lubricación, entre ellos tenemos el aceite de Ballena, este ya extinguido por razones obvias, después tenemos el aceite de Girasol que actualmente se ha utilizado incluso para hacer combustibles (de no mucha calidad). Tenemos otros como el de colza, oliva, ricino, etc. Estos resisten bien la presión y el calor pero la temperatura máxima que pueden alcanzar es de 300C° y se congelan a temperaturas no muy bajas.

Hagamos un alto en el aceite de ricino es un aceite muy viscoso, de una viscosidad 140 veces superior a la del agua, y tiene un poder adhesivo muy considerable.

b) Aceites Inorgánicos

Son los mas empleados en la actualidad para la lubricación de los motores, pertenecen al grupo de los aceites minerales procedentes de la destilación del petróleo, prácticamente ya se han abandonado casi por completo el uso de los aceites de origen vegetal o animal, aunque la innovación técnica de los últimos tiempos a creado motores que pueden funcionar con esta clase de lubricantes pero sin obtener grandes resultados.

c) Aceites Compuestos

Nuevos lubricantes trabajan bajo el principio de la película seca, siendo su activo principal bisulfuro de Molibdeno (MoS₂), que es dispersado por una combinación de aditivos y líquidos que facilitan su aplicación, y les permite trabajar en grandes presiones y temperaturas.

Su funcionamiento se puede resumir de la siguiente manera:

El lubricante sólido (MoS₂) se encuentra disperso en un líquido de baja viscosidad que contiene agentes limpiadores, desoxidantes y humectantes.

Al aplicarse el agente limpiador elimina el polvo y la suciedad adherida a la parte a lubricar. El desoxidante elimina la corrosión y el humectante prepara la superficie para la adhesión del bisulfuro de molibdeno a la superficie y así lograr su objetivo: formar una película seca de 1 a 2 micrones que elimina la fricción entre las partes en movimiento.

Una vez que actúan los agentes, el líquido se evapora totalmente evitando que se tenga un medio al cual se le adhiera el polvo o partículas suspendidas en el ambiente o bien se tenga el goteo de un material que pueda llegar a contaminar el proceso.

Estos lubricantes tienen la característica de que en altas temperaturas y cargas de trabajo el bisulfuro de molibdeno se difunde en el metal y forma carburos que incrementan las propiedades de resistencia y dureza propias del material sobre el que se aplicó.

Clases de Lubricantes

La lubricación, se basa en evitar daños o roces entre los mecanismos mecánicos del motor y así evitar costosas reparaciones o subidas importantes de temperatura del motor o desgastes por fricción.

Los lubricantes usados actualmente se clasifican atendiendo a su viscosidad y sistema de Sociedad de Ingenieros Automotrices en seis grupos: S.A.E. estos son numéricos y corresponden al grado de viscosidad de estos, siendo él mas fluido los del numero más bajo y los mas viscosos los de mayor viscosidad: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50.

Estos lubricantes clasificados con arreglo al correspondiente número de S.A.E. son luego reagrupados en cuatro clases diferentes:

1.- Regular

2.-Premium

3.-Heavy Duty

4.-Multigrado

Regular

Son los aceites mas utilizados en motores de moderadas condiciones de servicio en la que la velocidad del motor y la carga son reducidas la mayor parte del tiempo.

Premium

Estos ya se emplean en los motores con un rendimiento superior. Estos lubricantes ya contienen anticorrosivos y aditivos para impedir el envejecimiento del motor, así como para aumentar la adherencia de la película de aceite.

Heavy Duty

Es ideal para motores que están sometidos a grandes trabajos y condiciones muy severas de funcionamiento, incluyendo con frecuencia paradas y arrancadas donde la formación de sedimentos y el desgaste corrosivo producen problemas de funcionamiento

Multigrado

Son aceites que poseen la propiedad de aumentar la viscosidad de los aceites cuando el motor funciona a elevadas temperaturas que no cuando lo hace a bajas; con ello se disminuye el efecto que causa la temperatura en la viscosidad de los aceites normales.

Propiedades de un lubricante

La extraordinaria evolución que ha experimentado los actuales aceites lubricantes es el resultado de la combinación adecuada de crudos cuidadosamente seleccionados, a los que se les adicionan muchos tipos de compuestos químicos especialmente elaborados conocidos con el nombre de aditivos.

Cuando no se dispone de engrase separado para el cilindro, la alcalinidad necesaria debe ser requerida en el aceite del sistema general de engrase, para cubrir esta necesidad fueron desarrollados los llamados aceites alcalinos de doble propósito, los cuales combinan las propiedades alcalinas y detergentes necesarias para la lubricación del cilindro, las principales son las siguientes:

Alcalinidad: Suficiente alcalinidad como para neutralizar por completo los productos ácidos de la combustión y así impedir durante un periodo considerable la corrosión y oxidación de las paredes internas del cilindro y émbolo. Prácticamente todos los modernos motores de alta y media velocidad requieren aceites de alcalinidad suficiente para combatir el mayor contenido de azufre que tienen los combustibles residuales.

Dispersión: La excesiva formación de sedimentos puede originar la obstrucción de los conductos de aceite, las rejillas de la bomba de lubricación, los filtros de aceite, etc., resultando imposible impedir que entren los productos que forman estos depósitos en el cárter, lo mas aconsejable es evitar que se formen estos depósitos en el motor, esto se consigue con el uso de dispersantes. Su función básica del aditivo es la de mantener separadas las partículas insolubles en el aceite evitando que se aglomeren y depositen en el cárter, hasta que puedan ser eliminadas durante el perdido regular de cambio de aceite, además de controlar la formación de depósitos tanto en condiciones de alta como de baja temperatura y arrastrar tales contaminaciones del aceite hasta que pueda ser llevado al medio filtrante

Detergencia: Se le dice al lubricante tiene la suficiente para asegurar la limpieza del embolo y eliminar el atascamiento de los aros, así como evitar que las lumbreras de los motores de dos tiempos se obstruyan. La detergencia implica que los aditivos limpiaran o eliminarán los sedimentos y depósitos de barniz que se hayan formado en el motor además de mantener el material insoluble en suspensión.

Índice de viscosidad: La viscosidad de los aceites lubricantes cambia con respecto a la temperatura y este grado de cambio varía con los distintos aceites, designándose con el nombre de <<índice de viscosidad>> a esta característica.

La viscosidad de aceites de alto índice de viscosidad es menos sensible a los cambios que la viscosidad de los aceites de bajo índice.

No hay que confundir la viscosidad con la untuosidad. La viscosidad es rozamiento entre moléculas del lubricante. Untuosidad es adherencia en las moléculas del lubricante a las superficies metálicas. Debido a su untuosidad, el aceite permanece sobre las superficies de la maquinaria, después de que esta deje de funcionar y la protege en los primeros momentos de arranque siguiente.

Inhibidores de oxidación Los aceites deben poseer una cierta resistencia a la oxidación como para que permita su uso prolongado en el sistema de circulación de engrase.

La oxidación es la reacción química que se produce entre el lubricante y el oxígeno del aire, favorecido por las altas temperaturas del aceite y por el contacto con los metales catalizadores como el cobre, hierro y plomo. El resultado de esta oxidación es el espesamiento del aceite y la formación de barniz, laca, sedimentos y materiales corrosivos que pueden atacar los cojinetes y otros órganos del motor.

Inhibidores de corrosión Estos presentan la propiedad de actuar como agentes protectores contra los contaminantes corrosivos del aceite, impidiendo el ataque corrosivo de cualquiera de las piezas del motor. Estos inhibidores pueden ser usados en combinación con otros aditivos para proporcionar una mayor protección contra los ácidos orgánicos corrosivos del aceite. Presentan la propiedad de neutralizar los materiales ácidos y forman una película química sobre las superficies de metal

Agentes Anti-desgaste Esta función es una de las principales del aceite aparte, claro esta, de la de refrigeración y así conseguir un menor desgaste y mayor rendimiento del motor. Es desgaste puede ser causado por factores tales, como la corrosión, por el roce del metal con otro metal o por la acción abrasiva causada por el polvo u otras partículas que puedan originar desgaste.

El desgaste se puede comprobar por la pérdida gradual del metal por la acción de pulimentación de las piezas con desprendimientos o rotura de este.

Inhibidores de herrumbre La herrumbre es la corrosión que sufren las piezas ferrosas por la acción química del oxígeno o el agua del aire y los productos de la combustión procedentes del combustible. Esta se forma se puede producir en las paredes internas del cilindro u otras piezas del motor durante el tiempo que esta trabajando a poca carga. Esta también se manifiesta en varillas de empuje, levanta válvulas y válvulas de la bomba de aceite durante el funcionamiento del motor.

Depresores del punto de congelación La función de este aceite es la de bajar el punto de congelación de este y su fluidez a temperaturas determinadas. Esta falta de fluidez se debe al excesivo espesamiento o a la formación de cristales de cera. Aunque la cera en los aceites no es perjudicial, su formación a bajas temperaturas pueda alterar las propiedades de fluidez de los aceites, afectando así a la circulación del aceite en el sistema general de engrase.

Inhibidores de espuma Este tipo presenta una gran resistencia a la emulsión de agua, su utilización se debe a que cuando un líquido tan complejo como es el aceite se mezcla con el aire en el interior de una bomba de aceite, o simplemente salpicado contra el cárter por el cigüeñal, lo más probable es que se forme espuma. La espuma puede convertirse en una gran molestia para la adecuada lubricación del motor

CAPITULO 2

ORIGEN DE LOS ACEITES LUBRICANTES

- **Procedencia de los lubricantes**

- Origen del petróleo

La palabra del petróleo proviene del latín **Petros** = piedra y **Oleum** = aceite, por su origen etimológico, se le conoce como "Aceite de Piedra".

El petróleo tiene su origen hace entre 10 y 40 millones de años es el resultado de la descomposición y transformación química de la materia orgánica procedente de los animales y vegetales a lo largo de las distintas eras geológicas. Algunas condiciones físicas como temperatura, presión y enterramiento favorecieron la transformación de la materia orgánica en petróleo.

Por sus características físicas, un yacimiento petrolífero se encuentra cerrado en rocas porosas y limitado por estratos impermeables. En el fondo habrá aguas subterráneas y en la parte superior se acumularán los gases.

- **Composición**

El petróleo, también llamado "**Hidrocarburo**" está constituido por átomos de hidrógeno y carbono en un 95 al 98% y contiene aparte átomos de azufre, oxígeno, nitrógeno y metales.

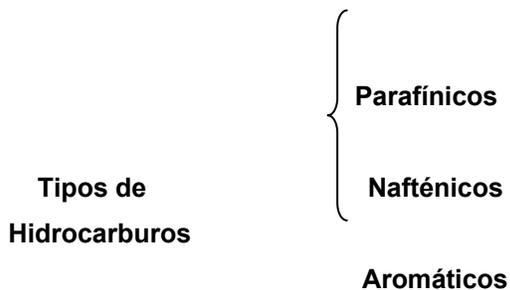
Los hidrocarburos tienen grandes ventajas con respecto a otros productos:

- Máxima densidad energética. El carbón de alta calidad proporciona 7,500 Kcal/Kg. mientras que el petróleo sobrepasa las 10,000 Kcal/Kg.

- Su manejo es más sencillo por tratarse de líquidos.
- Su combustión no deja residuos.
- Su costo de extracción es muy bajo.

- **Tipos de hidrocarburos**

Debido a la gran cantidad de compuestos del petróleo, se han dividido por sus características en:



a. Hidrocarburos Parafínicos.-

Estos hidrocarburos poseen gran estabilidad, propiedades excelentes a la combustión y un elevado índice de cetano.

b. Hidrocarburos Nafténicos.-

Son compuestos cíclicos saturados que poseen bajo punto de congelación.

c. Hidrocarburos aromáticos.-

Son muy susceptibles a la oxidación, poseen cualidades antidetonantes, producen humo en su combustión y tiene bajo índice de cetano.

- Clasificación y Características

Los hidrocarburos se clasifican según la naturaleza predominante en su constitución en:

a) Petróleos de naturaleza parafínica.-

Están compuestos por un 70 a 80% de hidrocarburos parafínicos, saturados de cadena lineal o ramificada, 10 a 20% de nafténicos y 5 a 10% de aromáticos.

Las parafinas de cadena lineal y alto peso molecular deben ser eliminadas ya que son las que aumentan el punto de congelación.

Características de los básicos parafínicos:

- Baja densidad
- Elevado índice de viscosidad (80-90)
- Baja volatilidad, o sea punto de inflamabilidad alto
- Bajo poder disolvente (punto de anilina alto, 90-100)

b) Petróleos de naturaleza nafténica.-

Poseen del 35 a 50% de hidrocarburos nafténicos o sea saturados por cadenas cíclicas y policíclicas muy complejas, 40 a 50 % de parafínicos y 10 a 15% de aromáticos.

Características de los básicos nafténicos:

- Densidad relativamente elevada
- Bajo índice de viscosidad (sobre 40)
- Mayor volatilidad que los parafínicos (punto de inflamabilidad bajo)
- Poder disolvente elevado (buena miscibilidad con crudos parafínicos)
- Poder disolvente elevado (buena miscibilidad con crudos parafínicos)
- Bajo punto de congelación natural

c) Petróleos por naturaleza aromática.-

Tiene más del 40% de hidrocarburos aromáticos no saturados con una o varias cadenas laterales, 30 a 40% de parafínicos y 10 a 20% de nafténicos.

Características de los básicos aromáticos:

- Densidad muy elevada
- Muy bajo índice de viscosidad
- Muy fácilmente oxidables
- Provocan formación de productos resinosos
- Emulsión con el agua
- Punto de anilina muy bajo

CAPITULO 3

FUNDAMENTOS DE LUBRICACIÓN

Lubricantes

Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que se utiliza para reducir el rozamiento piezas o mecanismos en movimiento.

Características de un aceite:

- **Lubricación:** Es la primera y más importante de las tareas para hacerlo, el aceite forma una película fina en las superficies de las partes en movimiento.
- **Refrigerante:** Es la propiedad que permite al aceite circular o fluir capturando el calor generado por las partes en movimiento para minimizar la oxidación y la formación de depósitos.
- **Capacidad de dispersión de contaminantes:** Es alcanzado por la calidad de los aditivos los cuales se mantienen mezclados entre el aceite. Estos aditivos capturan partículas que nos son transportadas y capturadas por los filtros dejando el aceite mas puro. Estas partículas dispersantes previenen la formación de depósitos sobre las superficies metálicas del motor dando mas vida util al mismo.
- **Resistencia a la oxidación:** La vida útil del aceite depende de este factor el aceite reacciona con el oxígeno a las altas temperaturas formando goma y barniz los cuales se depositan en aceite cambiando las propiedades de viscosidad del aceite. Los inhibidores de oxidación lo que hacen es, reducir la formación de lodos dando mayor vida útil al aceite.
- **Protección a la corrosión:** Para combatir el ataque químico de los aceites al motor, se adicionan detergentes y neutralizadores de ácido para limpiar los motores de depósitos peligroso y contrarrestar la formación de ácidos muy fuertes que se forman durante la combustión del motor.

Existen tres regímenes principales de lubricación:

- Hidrodinámica ó Elasto-hidrodinámica.
- Límite
- Hidrostática

Lubricación hidrodinámica

Un sistema de lubricación en el cual la forma el movimiento relativo de las superficies que se deslizan una sobre otra, causa la formación de una película fluida que tiene la suficiente presión para separar las superficies.

Lubricación Elasto-hidrodinámica

En rodamientos de rodillos, la deformación elástica del rodamiento (el aplanado) cuando rueda, bajo carga, en el anillo de rodadura. Esta deformación momentánea mejora las propiedades de la lubricación hidrodinámica convirtiendo un punto ó línea de contacto a un contacto superficie-a superficie.

Lubricación por Capa Límite

Forma, o régimen, de lubricación entre dos superficies en contacto o frotamiento sin el desarrollo de un película lubricante elasto-hidrodinámica o hidrodinámica. La lubricación por capa límite se puede hacer más eficaz si se incluyen aditivos en el aceite lubricante que proporcionen una película más fuerte que el aceite, o fluido básico, y así previenen contra una fricción excesiva y un posible desgaste. Existen varios grados de lubricación por capa límite, dependiendo de la severidad del servicio. Para las condiciones ligeras, los agentes oleaginosos, o modificadores de fricción, pueden ser utilizados; adhiriéndose en las superficies del metal, forman una película delgada pero durable, los modificadores de fricción evitan el desgaste adhesivo bajo algunas condiciones que pueden ser demasiado severas para un aceite mineral puro. Los aceites lubricantes compuestos, que se formulan con ácidos grasos polares, se utilizan a veces para este propósito. Los aditivos anti-desgaste se utilizan comúnmente en aplicaciones mas severas de lubricación por capa limite. Los casos más severos de lubricación por capa límite se definen como condiciones de extrema presión, y estos se resuelven por lubricantes que contienen aditivos de extrema presión, o EP, que evitan que las superficies en contacto se fundan a las altas temperaturas y o presiones generadas en discretas áreas de las superficies.

Propiedades Físicas

a) Color y fluorescencia.-

- Estas características no son muy representativas para la identificación o evaluación de los aceites, ya que pueden ser modificadas por los aditivos.
- En los aceites en servicio, un cambio de color o de la fluorescencia del aceite puede alertar sobre una posible alteración de su integridad, deterioro, contaminación, etc.

b) Densidad.-

- La densidad, llamada también peso específico, es la relación entre los pesos de un volumen dado de aceite y un volumen igual de agua, a una temperatura de 60°F(15.6°C)
- En ocasiones, la densidad se expresa en grados API (American Petroleum Institute), la cual se obtiene con las siguientes fórmula:

O viceversa:

$$\text{Grados API} = \frac{141.5}{\text{Densidad Relativa}} - 131.5 \quad \dots\dots\dots 3.1$$

$$\text{Densidad Relativa} = \frac{141.5}{\text{Grados API} - 131.5} \quad \dots\dots\dots 3.2$$

Viscosidad:

- Es la resistencia de un líquido a fluir, originada por el rozamiento interno de sus moléculas.

La viscosidad es una de las propiedades más importantes de un aceite lubricante. Es uno de los factores responsables de la formación de la capa de lubricación, bajo distintas condiciones de espesor de esta capa. La viscosidad afecta la generación de calor en rodamientos, cilindros y engranajes debido a la fricción interna del aceite. Esto afecta las propiedades sellantes del aceite y la velocidad de su consumo. Determina la facilidad con la que las máquinas se pueden poner en funcionamiento a varias temperaturas, especialmente a las bajas. La operación satisfactoria de una dada pieza de un equipo depende fundamentalmente del uso de un aceite con la viscosidad adecuada a las condiciones de operación esperadas.

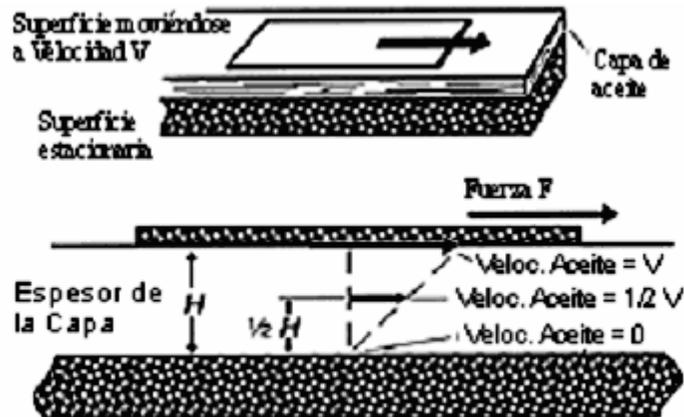


FIG. 3.1 Concepto de Viscosidad Dinámica

El concepto básico de la viscosidad se muestra en la figura 3.1 donde una placa se mueve a una velocidad constante V sobre una capa de aceite. El aceite se adhiere a ambas caras de las placas, la móvil y la estacionaria. El aceite en contacto con la cara de la placa móvil viaja a la misma velocidad que ésta, mientras que el aceite en contacto con la placa estacionaria tiene velocidad nula. Entre ambas placas, se puede visualizar al aceite como si estuviera compuesto por muchas capas, cada una de ellas siendo arrastrada por la superior a una fracción de la velocidad V, proporcional a su distancia de la placa estacionaria. Una fuerza F debe ser aplicada a la placa móvil para vencer a la fricción entre las capas fluidas. Dado que esta fricción esta relacionada con la viscosidad, la fuerza necesaria para mover la placa es proporcional a la viscosidad. La viscosidad se puede determinar midiendo la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la fricción del fluido en una capa de dimensiones conocidas. La viscosidad determinada de esta manera se llama dinámica o absoluta.

La viscosidad interna de un fluido es una de las propiedades que controla la cantidad de fluido que puede transportarse por una tubería durante un periodo específico, y explica las pérdidas de energía asociadas al transporte de fluidos en ductos, canales y tubos. Además, la viscosidad desempeña un papel preponderante en la generación de turbulencia. Huelga decir que la viscosidad es una propiedad de los fluidos extremadamente importante en el estudio de los flujos de fluidos.

La razón de deformación de un fluido esta ligada directamente a la viscosidad del mismo. Para un esfuerzo dado, un fluido muy viscoso se deforma más lentamente que uno de baja viscosidad

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots\dots\dots 3.3$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante N / m² ó Pa (lb/ft²)

μ = Viscosidad N*s / m² (lb-s/ft²)

du/dy = gradiente de velocidad ó **razón de deformación**

La viscosidad dinámica normalmente se expresa en **poise (P) o centipoise (cP, donde 1 cP = 0,01 P), o en unidades del Sistema Internacional como pascales-segundo (Pa-s, donde 1 Pa-s = 10 P)**. La viscosidad dinámica, la cual es función sólo de la fricción interna del fluido, es la cantidad usada más frecuentemente en el diseño de cojinetes y el cálculo de flujo de aceites. Debido a que es más conveniente medir la viscosidad de manera tal que tenga en cuenta la densidad del aceite, para caracterizar a los lubricantes normalmente se utiliza la viscosidad cinemática.

La viscosidad cinemática de un fluido es su viscosidad dinámica dividida por su densidad, ambos medidos a la misma temperatura, y expresada en unidades consistentes. Las unidades más comunes que se utilizan para expresar la viscosidad cinemática son: **stokes (St) o centistokes (cSt, donde 1 cSt = 0,01 St), o en unidades del SI como milímetros cuadrados por segundo (mm^2/s , donde 1 $\text{mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$).**

La viscosidad dinámica en centipoise se puede convertir en viscosidad cinemática en centistokes dividiéndola por la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) a la misma temperatura. La viscosidad cinemática en milímetros cuadrados por segundo se puede convertir en viscosidad dinámica en pascal-segundos multiplicando por la densidad en gramos por centímetro cúbico y dividiendo el resultado por 1000. Resumiendo:

- La clasificación de las viscosidades más usual es la ISO (International Standards Organization), que considera la viscosidad en centistokes, a una temperatura de 40°C, y se muestra en la siguiente tabla:

. La viscosidad de cualquier fluido cambia con la temperatura, incrementándose a medida que baja la temperatura, y disminuyendo a medida que ésta aumenta. La viscosidad también puede cambiar con un cambio en el esfuerzo o velocidad de corte.

Para comparar los aceites con base de petróleo con respecto a variaciones de viscosidad con la temperatura, el método ASTM D 2270 proporciona una manera de calcular el índice de viscosidad (IV). Este es un número arbitrario utilizado para caracterizar la variación de la viscosidad cinemática de un producto de petróleo con la temperatura. El cálculo se basa en mediciones de la viscosidad cinemática a 40 y 100 °C. Para aceites de viscosidad cinemática similar, a índices de viscosidad más grandes, más pequeño el efecto de la temperatura.

Los beneficios de un IV (Índice de Viscosidad) más alto son:

- Viscosidad más alta a mayor temperatura, lo cual resulta en un menor consumo de aceite y desgaste del motor.
- Menor viscosidad a bajas temperaturas, lo cual permite un mejor arranque en frío del motor y menor consumo de combustible durante el calentamiento.

La medición de viscosidades absolutas bajo condiciones reales ha reemplazado al concepto de índice de viscosidad convencional para evaluar lubricantes bajo condiciones de operación.

Otro factor en la medición de viscosidades es el efecto del esfuerzo de corte o velocidad de corte. Para ciertos fluidos, llamados Newtonianos, la viscosidad es independiente del esfuerzo o la velocidad de corte. Cuando esta condición no se cumple, los fluidos son llamados no-newtonianos.

Las mediciones de viscosidad cinemática se realizan a velocidades de corte bajas (100 s^{-1}). Se dispone de otros métodos para medir la viscosidad a velocidades de corte que simulan las condiciones de operación del lubricante. Dentro de los diferentes instrumentos disponibles marca la medición de la viscosidad cinemática, se pueden mencionar:

- **Viscosidad Saybolt.**-

- Se obtiene por medición directa en el viscosímetro Saybolt, mediante los parámetros de prueba determinados en el método ASMT D-88.
- El viscosímetro Saybolt consiste en un recipiente con un orificio inferior de 1.77 mm. De diámetro. Este recipiente se encuentra sumergido en un contenedor con aceite que se calienta para transmitir temperatura al aceite que se va a ensayar.
- La viscosidad es el tiempo en segundos que tarda en salir 60 c.c. de aceite y se expresa como SSU, (Segundos Saybolt Universal) ó SUS, de sus siglas en inglés, y siempre estará referida a una temperatura.
- Las temperaturas del aceite a que se trabaja esta prueba son a 100°F y 200°F , (37.77°C y 98.88°C respectivamente).
- **Viscosímetros capilares:** que miden la velocidad de flujo de un volumen fijo de fluido a través de un orificio de diámetro pequeño, a una temperatura constante y controlada. La velocidad de corte puede variar entre casi 0 a 10^6 s^{-1} cambiando el diámetro del capilar y la presión aplicada. Los tipos de viscosímetros capilares y sus modos de operación son:
 - **Viscosímetros de capilar de vidrio** - el fluido pasa a través de un orificio de diámetro fijo bajo la influencia de la gravedad. La velocidad de corte es menor de 10 s^{-1} . Todas las viscosidades cinemáticas de lubricantes para automóviles se miden con viscosímetros capilares.
 - **Viscosímetros capilares de alta presión** - aplicando un gas a presión, se fuerza a un volumen determinado del fluido a pasar a través de un capilar de vidrio de pequeño diámetro.

La velocidad de corte se puede variar hasta 10^6 s^{-1} . Esta técnica se utiliza comúnmente para simular la viscosidad de los aceites para motor en las condiciones de operación. Esta viscosidad se llama alta temperatura-alto corte (HTHS por su sigla en inglés) y se mide a 150 °C y 10^6 s^{-1}

- **Viscosímetros rotatorios**, que usan el torque de un eje rotatorio para medir la resistencia al flujo del fluido. El Simulador de Cigüeñal Frío (CCS), el mini-viscosímetro rotatorio (MRV), el viscosímetro Brookfield y el Simulador de Cojinete Cónico (TBS) son viscosímetros rotatorios. La velocidad de corte se puede cambiar modificando las dimensiones del rotor, el espacio entre el rotor y la pared del estator, y la velocidad de rotación.
- **Simulador de Cigüeñal frío:** El CCS mide la viscosidad aparente en el rango de 500 a 200.000 cP. Los rangos de velocidades de corte van entre 10^4 y 10^5 s^{-1} . El rango normal de temperaturas de operación está entre 0 a -40 °C . El CCS ha demostrado una excelente correlación con los datos de cigüeñales de máquinas a bajas temperaturas. La clasificación de viscosidades SAE J300 especifica el comportamiento viscoso de aceites para motor a bajas temperaturas mediante límites del CCS y requisitos del MRV.
- **Mini-viscosímetro Rotatorio**(ASTM D 4684): La prueba con el MRV, que está relacionado con el mecanismo de bombeo, es una medición a baja velocidad de corte. La baja velocidad de enfriamiento es la característica clave del método. Se trata una muestra para que tenga una historia térmica que incluya ciclos de calentamiento, enfriamiento lento y remojado. El MRV mide una aparente tensión admisible, la cual, si es más grande que el valor umbral, indica un posible problema de bombeo por mezcla con aire. Por sobre una cierta viscosidad (normalmente definida como 60.000 cP por la SAE J300), el aceite podría estar sujeto a una falla de bombeo por un mecanismo llamado comportamiento de "flujo límite". Un aceite SAE 10W, por ejemplo, se requiere para tener una viscosidad máxima de 60.000 cP a -30 °C sin tensión admisible. Este método también mide una viscosidad aparente bajo velocidades de corte de 1 a 50 s^{-1}
- **Viscosímetro Brookfield:** Determina un amplio rango de viscosidades (1 a 105 P) bajo una baja velocidad de corte (hasta 10^2 s^{-1}). Se usa principalmente para determinar la viscosidad a baja temperatura de aceites para engranajes, transmisiones automáticas, convertidores de torque y aceites hidráulicos para tractores, automóviles e industriales. La temperatura del ensayo se mantiene constante en el rango de -5 a -40 °C . La técnica de ensayo Brookfield mide la viscosidad Brookfield de una muestra a medida que es enfriada a velocidad constante de 1 °C por hora. Como el MRV, este método intenta correlacionar las características de bombeo de un aceite a baja temperatura.

El ensayo informa el punto de gelificación, definido como la temperatura a la cual la muestra llega a 30.000 cP. El índice de gelificación se define como la relación entre la mayor velocidad de cambio en el incremento de la viscosidad desde -5 °C y la temperatura más baja del ensayo. Este método encuentra aplicación en aceites de motores, y es requerido por la ILSAC GF-2.

- **Simulador de Cojinete Cónico:** Esta técnica también mide viscosidades a altas temperaturas y velocidades de corte (ver Viscosímetro capilar de alta presión). Se obtienen altas velocidades de corte usando distancias extremadamente pequeñas entre las paredes del rotor y estator.

- **Viscosidad Cinemática**

- La viscosidad cinemática se mide con el viscosímetro Connon-Fenske, que es un instrumento capilar, de vidrio.
- Este viscosímetro consta de un depósito de aceite y dos pequeñas burbujas intercomunicadas y en él se hace pasar el aceite a la burbuja superior mediante vacío, para después liberarlo.
- Con la medición del tiempo que tarda el aceite en pasar de una marca a otra, y la constante del viscosímetro, se calcula la viscosidad cinemática.
- La unidad de medida de la viscosidad cinemática es el Centistke o cSt. Y siempre estará referida a la temperatura del aceite.
- Las temperaturas a que se trabaja el aceite para la medición de la viscosidad cinemática son a 40°C y 100°C.

➤ **Índice de Viscosidad.-**

- Al incrementarse la temperatura del aceite, su viscosidad disminuirá, y al disminuir su temperatura, su viscosidad aumentará.
- El índice de viscosidad indica la variación de la viscosidad de un aceite al variar su temperatura.
- Entre menor es el índice de viscosidad, mayor es el cambio de la viscosidad del lubricante con el cambio de la temperatura.

- Cuanto mayor sea el índice de viscosidad, mejor será el aceite, porque su viscosidad cambiará menos con los cambios de temperatura.
- Es muy importante el índice de viscosidad en aceites que trabajarán con gran variación de temperaturas.
- Los aceites multigrado tienen un índice de viscosidad mayor que los aceites monogrado, esto es, la variación de su viscosidad con el cambio de temperaturas es menor que un aceite monogrado.
- El índice de viscosidad no es una propiedad aditiva, es decir, que si se mezclan en partes iguales dos aceites de distinto índice de viscosidad, la mezcla no tiene el índice de viscosidad medio.

➤ **Rigidez dieléctrica.-**

- Es la capacidad de aislamiento térmico de los aceites. Esta capacidad disminuye con la presencia de contaminantes como agua, polvo, etc.

➤ **Punto de gota.-**

- Es el punto de fusión de grasa. Las grasas que se funden sin perder sus propiedades lubricantes a temperaturas elevadas, pueden ser consideradas como aceites.

➤ **Propiedades Superficiales**

a) Tensión Superficial.-

- Es el grado de resistencia que se opone a separarse las moléculas del aceite entre sí.
- La tensión interfacial indica la presencia o ausencia de compuestos polares en el aceite.
- Cuando la tensión interfacial es muy alta (del orden de 45 dinas/ cm), la superficie de separación entre el agua y el aceite es muy clara y hay poca tendencia a la formación de emulsiones.
- Cuando un aceite en servicio envejece, su tensión interfacial disminuye.

b) Formación de Espuma.-

- La espuma se forma al quedarse atrapado aire en el aceite cuando éste es agitado, siendo perjudicial para lubricación.
- En algunas máquinas la formación de espuma en exceso puede provocar derrames de aceite a través de las juntas o de los orificios superiores del depósito que contiene el lubricante.

c) Demulsibilidad.-

- Una emulsión es la integración de dos líquidos que no pueden mezclarse, mediante la separación de uno de ellos en partículas diminutas.
- La demulsibilidad es la capacidad de un aceite a separarse del agua.
- La prueba ASTM (American Society for Testing and Materials) – 1401 mide la demulsibilidad de un aceite:
 - a) Se coloca una probeta de 100c c. de capacidad, 40cc de aceite y 40 cc de agua.
 - b) Se agita a 1500 r.p.m. durante 5 minutos
 - c) Se mide el tiempo requerido para la separación de las dos capas.
- Un aceite muy bueno tiene la emulsibilidad 40-40-0 (5´), es decir que en 5 minutos se ha separado completamente el agua y el aceite y no hay emulsión.
- Si la emulsión persiste al terminar la acción que la originó, se trata de una emulsión estable.
- Los factores que favorecen la estabilidad de las emulsiones son:
 - a) Tensión interfacial baja
 - b) Viscosidad muy elevada
 - c) Densidad aproximada entre ambos líquidos

CAPITULO 4

ACEITES LUBRICANTES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Aspectos generales

En los próximos párrafos abordaremos el estudio del motor de combustión interna. En primer lugar se hará un enfoque general sobre este tipo de motor y como del análisis general se derivan los diferentes ciclos que se usan hoy en día.

Posteriormente los ciclos teóricos asociados a cada tipo de motor en diagrama p-V y T-S.

En páginas consecuentes abordaremos el estudio detallado de cada uno de estos tipos de motores. En ellas podremos ver más detalles acerca del Motor Otto y Motor Diesel.

Ciclos Genéricos:

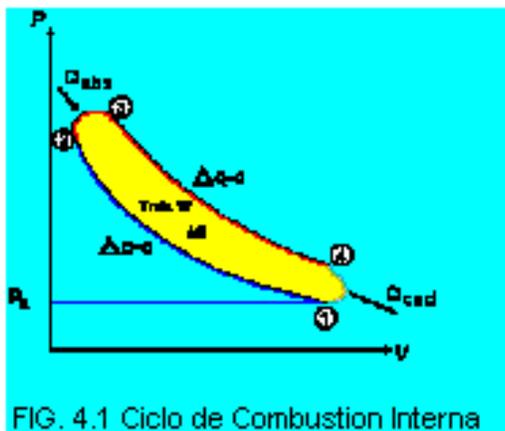
Una característica clave de los motores de combustión interna es que en cada ciclo se aspira aire fresco, luego se adiciona el combustible y se quema en el interior del motor. Luego los gases quemados son expulsados del sistema y se debe aspirar nueva mezcla o aire. Por lo tanto se trata de un ciclo abierto.

En la Figura 4.1 vemos un ciclo genérico de un motor de combustión interna. Este consta de las siguientes partes generales: Existe una presión mínima en el sistema equivalente a p_a . Desde 1 hasta 2 se realiza una compresión, en teoría adiabática sin fricción. Entre 2 y 3 se realiza la combustión, con un aporte de calor Q_{abs} . Entre 3 y 4 se realiza la expansión de los gases calientes. Normalmente es en esta etapa donde se entrega la mayor parte del trabajo. Esta expansión es también, en teoría, adiabática y sin fricción. En 4 se expulsan los gases quemados a la atmósfera. El ciclo es realmente abierto, pero (para efectos de análisis) se supone que se cierra entre 4 y 1, volviéndose el estado inicial. Se introduce, por lo tanto, el concepto de Ciclo de aire equivalente. Esto significa que suponemos que el ciclo lo describe solo aire, al cual lo hacemos pasar por una sucesión de estados tal que se reproduce el ciclo real. Esto implica las siguientes suposiciones y simplificaciones:

- Las propiedades del aire se suponen constantes para todo el ciclo (no varían ni C_p ni C_v , aunque en el caso real sí lo hacen por variación de temperatura y porque en parte del ciclo se trabaja con gases quemados).
- Se supone un sistema cerrado. Es decir, el aire está cerrado dentro del sistema y se somete a las evoluciones equivalentes.

- Entre 2 y 3 se supone que se aporta calor externamente para lograr la evolución equivalente.
- En forma análoga, entre 4 y 1 se supone que se enfría el aire en forma equivalente.

Una evolución clave en este ciclo genérico es la compresión de base 1-2. En efecto, ella es característica de cada ciclo y es (relativamente) constante. En cambio en la operación real, la cantidad de calor Q_{abs} puede variar en forma importante, por lo tanto también varía la evolución 3-4. Pero la compresión de base es relativamente estable.



Se puede demostrar fácilmente que el rendimiento de la compresión de base queda expresado por (ecc. 4.1):

$$\eta = 1 - \frac{1}{\alpha^{\gamma-1}}$$

donde η = eficiencia

γ = Coeficiente adiabático

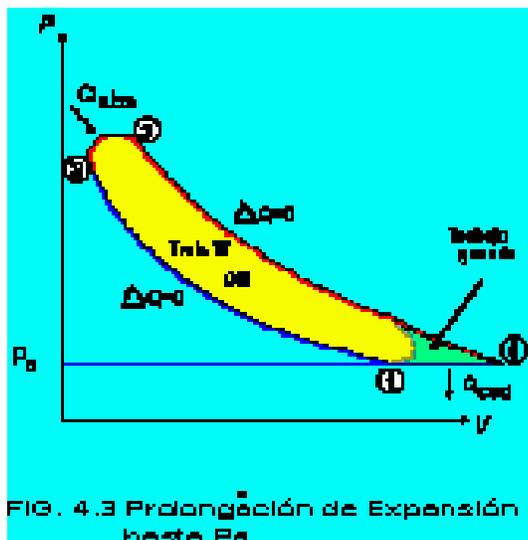
α = Relación de compresión

..... 4.1

$$\alpha = \frac{v_1}{v_2}$$

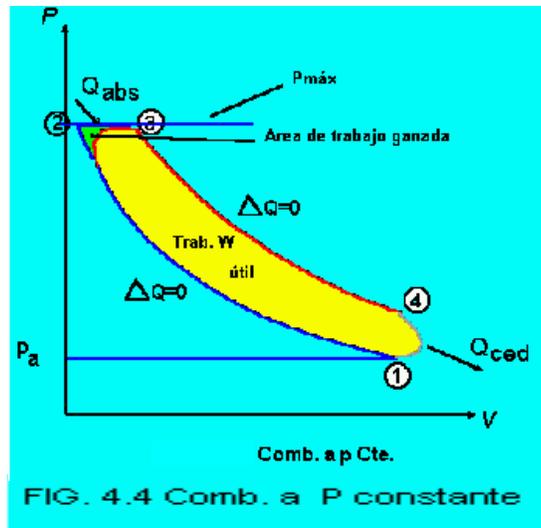
Por lo tanto, para aumentar el rendimiento del ciclo conviene, en lo posible, aumentar lo más que se pueda la compresión de base. Los límites a esta compresión pueden venir de dos fuentes:

- En el caso de que la compresión máxima esté fija (caso motor Otto en que se comprime aire-combustible), conviene que la combustión se realice a volumen constante. Estas tres situaciones las vemos ilustradas en las figuras 4.2 a 4.3. En ellas vemos que siempre se trata de maximizar el área encerrada por el ciclo de trabajo. En el caso de prolongar la expansión hasta p_a , es obvia la ganancia de área. Así que en lo posible conviene hacerlo. Sin embargo esto no es posible en los motores alternativos (cilindro-pistón), siendo solo posible en el caso de las turbinas. Esto por cuanto se trata de agregar más etapas a la turbina hasta alcanzar la presión ambiente.



En el caso de **presión máxima fija** (Figura 4.4), se trata de maximizar p_2 de forma de maximizar el rendimiento. Esto porque así se tiene la máxima compresión de base posible. Sin embargo solo podemos hacer esto en caso de que se comprima aire.

En efecto, si se comprime una mezcla aire-combustible, existirá una razón de compresión máxima, más allá de la cual la mezcla tiende a auto inflamarse. Por lo tanto se maximizará p_2 de forma de llegar al límite tecnológico. En este caso conviene que la combustión **se realice a presión constante**. (Ver figura 4.4). Es obvio que no conviene que la presión disminuya durante la combustión (disminuye el área de trabajo útil), pero tampoco puede **aumentar** la presión durante la combustión (si aumentase, se excedería la presión máxima, lo cual lleva a problemas tecnológicos).



Finalmente tenemos el caso de que la **compresión máxima** esté fija. Esto ocurre cuando se comprime una mezcla **aire-combustible**.

En este caso no se debe exceder una razón de compresión máxima, pues si se hace la mezcla tiende a auto inflamarse. En este caso conviene que la combustión se realice a **volumen constante** de forma de maximizar el área de trabajo (el caso se ilustra en la **figura 4.2**).

Claro que se debe tener presente de que, de partida, se usó una razón de compresión más baja, por lo cual se ha pagado una penalización de rendimiento desde la partida.

Lubricación de Motores Diesel

Principios de diseño y funcionamiento de los motores Diesel

Un motor es un dispositivo que convierte energía calorífica en energía mecánica para realizar un trabajo. Un motor de combustión interna, es aquel en que la energía calorífica se obtiene del quemado de combustible en su interior.

Básicamente el motor es un contenedor en el cual se alimentan aire y combustible y se realiza su combustión, con lo que se genera una fuerza de expansión que empuja a una pieza del motor (pistón), que transmitirá el impulso a la máquina.

Los elementos básicos para un motor son:

1. Aire, combustible y combustión
2. Movimientos de vaivén y de rotación
3. Compresión de la mezcla de aire-combustible
4. Motor de ciclaje, de dos o cuatro tiempos (figura 4.5)

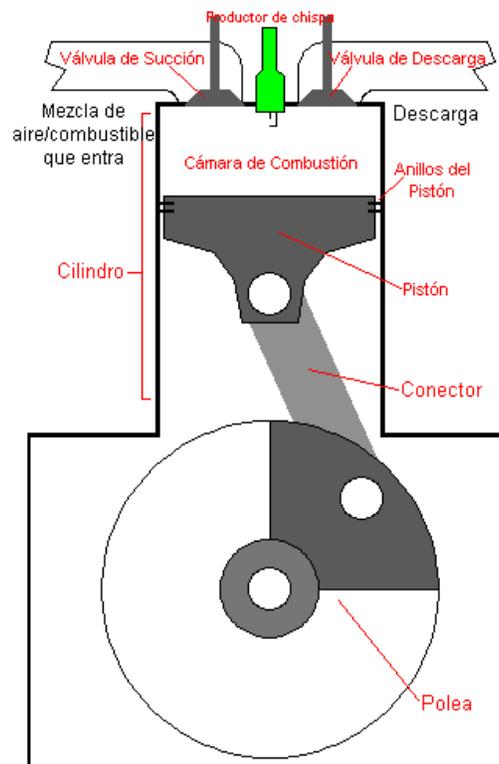


FIG. 4.5 MOTOR CUATRO TIEMPOS

El aire es necesario para combinarse con el combustible y darle el oxígeno requerido para una rápida combustión. Además el aire tiene también otras dos propiedades que actúan en el motor:

El aire es compresible; Un pie cúbico (28.31 lts) de aire puede ser comprimido hasta ocupar una pulgada cúbica (0.01639 lts) o menos.

El aire se calienta cuando es comprimido.

El combustible debe mezclarse rápidamente con el aire, para que se quemé fácilmente. Los tres combustibles más comunes son:

- Gasolina
- Diesel
- Gas L.P

Estos combustibles se queman fácilmente y son rápidamente fraccionados o vaporizados, para que todas sus partículas se mezclen con el aire para su completa combustión.

Es importante la rapidez con que se quema el combustible, ya que su combustión debe de ser "explosiva" para brindar la mayor potencia al motor.

Movimientos de vaivén y de rotación

El motor utiliza dos formas de movimiento para transmitir la energía:

- Movimiento de vaivén (hacia arriba y hacia abajo) o movimiento hacia delante y hacia atrás.
- Movimiento de rotación o movimiento circular alrededor de un punto o un eje.

El motor convierte el movimiento de vaivén en movimiento de rotación a través de cuatro piezas:

- Cilindro
- Pistón
- Biela
- Cigüeñal

Compresión de la mezcla de aire-combustible

Los motores de gasolina requieren una mezcla proporcional de 1 litro de gasolina con aproximadamente 8,500 litros de aire, por lo que es necesario comprimir la mezcla de aire-combustible hasta el rango deseado.

Generalmente el rango de compresión de la mezcla es de 8: 1, esto es, cuando el pistón está en la parte más baja de la carrera, la capacidad de la camisa es de 8 unidades, mientras que en la parte más alta de la carrera, la capacidad es de 1 unidad.

Los motores de diesel, requieren una mezcla de 1 litro de diesel por cada 20,000 litros de aire, y el rango de compresión de esta mezcla es de 20:1

Ciclos del motor de dos o cuatro tiempos.-

Para que un motor funcione, debe ocurrir una secuencia de eventos

1. Llenar el cilindro con la mezcla de aire-combustible
2. Comprimir la mezcla hasta el rango deseado
3. Quemar la mezcla provocando la expansión que producirá la potencia.
4. Remover los gases de la combustión del cilindro.

La secuencia anterior, generalmente es llamada: **Admisión-Compresión-Fuerza-Escape**. Una serie completa de estos eventos en un motor, es llamada un ciclo. Para producir una potencia sostenida, el motor debe repetir esta secuencia una y otra vez.

Ciclos de operación del Motor a Diesel

Existen los siguientes tipos de ciclos en los motores a diesel

- Motor de dos tiempos
- Motor de cuatro tiempos

Motor de dos tiempos.-

En el motor de dos tiempos, hay dos posiciones del pistón, una arriba y otra abajo, durante cada ciclo. Un ciclo completo ocurre durante una vuelta del cigüeñal.

En el motor de dos tiempos, la admisión y el escape tienen lugar durante una parte de los pasos de compresión y de fuerza.

Un soplador es usado para introducir aire en el cilindro, expulsando los gases de escape y suministrando aire limpio para la combustión.

Las paredes del cilindro contienen una fila de puertos (lumbreras) los cuales quedan por encima del pistón cuando éste está en la parte inferior del tiempo.

Las lumbreras admiten aire del soplador dentro del cilindro cuando están descubiertos (durante la admisión).

El flujo de aire limpio desplaza los gases de escape fuera de los cilindros, dejándolos llenos de aire limpio cuando el pistón nuevamente se eleva cubriendo los puertos (durante la compresión)

Al mismo tiempo, las válvulas de escape se cierran y el aire limpio es comprimido en el cilindro cerrado.

Cuando el pistón alcanza la parte superior, finaliza el paso de compresión, entonces el diesel es inyectado pulverizado en la cámara de combustión.

El calor generado por el aire durante su compresión, enciende el combustible (diesel) y la presión resultante impulsa el pistón hacia abajo, es el tiempo de fuerza.

Cuando el pistón alcanza la parte inferior de este tiempo, las válvulas de escape son nuevamente abiertas y los gases de la combustión se escapan.

El pistón entonces descubre los puertos de admisión y el ciclo comienza una vez más.

Este ciclo completo se realiza durante una vuelta del cigüeñal o dos tiempos del pistón -uno hacia arriba y otro hacia abajo -.

Motor de cuatro tiempos.-

En el motor de cuatro tiempos, hay cuatro posiciones del pistón, dos arriba y dos abajo para completar un ciclo. Un ciclo completo ocurre durante dos vueltas del cigüeñal:

El tiempo de admisión inicia cuando el pistón se dirige hacia la parte inferior y la válvula de admisión es abierta, permitiendo que el pistón se mueva hacia abajo para recibir el aire limpio, cuando el pistón alcanza la parte mas baja, la válvula de admisión es entonces cerrada, sellando el cilindro siendo el final de este tiempo. Durante el tiempo de admisión, la válvula de escape permanece cerrada (Fig. 4.6).

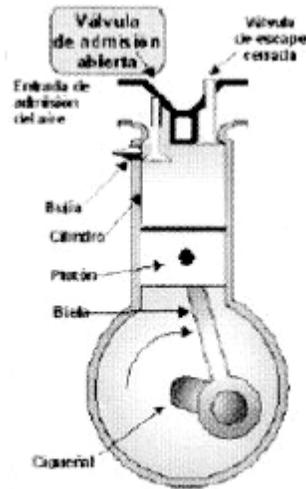


Fig.4.6 Primer Tiempo Admisión

El tiempo de compresión inicia con el pistón en la parte inferior e iniciando el ascenso para comprimir el aire limpio. Como las válvulas de admisión y expulsión permanecen cerradas, no se puede escapar el aire, el cual es comprimido a una fracción de su volumen original (Fig. 4.7).

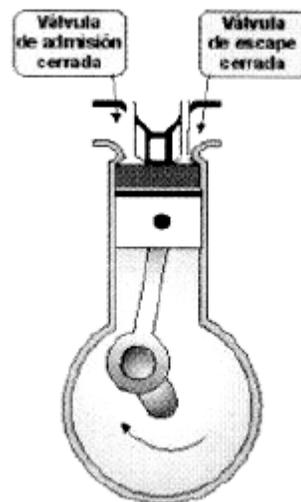


FIG. 4.7 Segundo Tiempo Compresión

El tiempo de fuerza comienza cuando el pistón está cerca de alcanzar la parte superior del cilindro, entonces el combustible es inyectado pulverizado en la cámara de combustión.

El calor generado por el aire durante su compresión, enciende el combustible (diesel) y la expansión generada por la combustión impulsa el pistón hacia abajo, en el tiempo de fuerza.

Las válvulas de admisión y expulsión permanecen cerradas hasta que toda la fuerza es descargada en el pistón (Fig. 4.8).

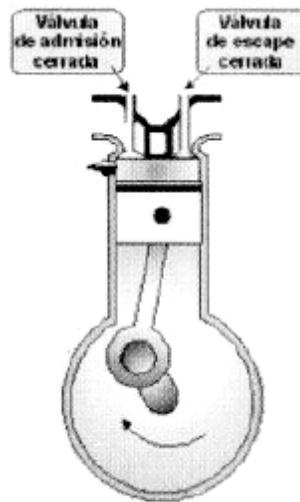


FIG.4.8 Tercer Tiempo Fuerza

El tiempo de escape comienza cuando el pistón se aproxima al final del tiempo de fuerza. Las válvulas de escape son abiertas y el pistón se eleva, expulsando los gases de combustión.

Cuando el pistón alcanza la parte superior, las válvulas de escape se cierran y el pistón está listo para que inicie el siguiente ciclo de cuatro tiempos.

Cuando se ha completado un ciclo, el cigüeñal ha realizado un doble recorrido, girando dos vueltas (Fig. 4.9).

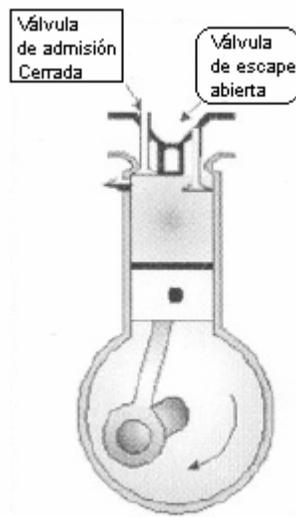


FIG. 4.9 Cuarto Tiempo Escape

Diferencia entre el motor de dos tiempos y el motor de cuatro tiempos.-

Pudiera parecer que el motor de dos tiempos puede producir el doble de fuerza que el motor de cuatro tiempos, pero esto no es cierto, ya que en el motor de dos tiempos, una parte de la fuerza generada es usada para operar el soplador que induce el aire a presión en el cilindro.

Por otra parte, los gases generados durante la combustión no son completamente desalojados del cilindro, dando como resultado una pérdida de potencia en el tiempo de fuerza.

La ganancia real de fuerza con un motor de dos tiempos, es de alrededor del 75% contra un motor de cuatro tiempos de las mismas características.

Motores a diesel VS Motores de gasolina

Las principales diferencias entre los motores de diesel y los motores de gasolina son:

Método de suministro y encendido del combustible

En los motores de gasolina, el aire y el combustible son mezclados fuera del cilindro, en el carburador y en el múltiple y forzados a entrar en el cilindro por el vacío generado en éste en el tiempo de admisión.

En los motores a diesel, no hay premezclado de aire fuera del cilindro. El aire sin mezclar es introducido en el cilindro desde el múltiple de admisión y comprimido en el cilindro. El combustible es entonces pulverizado dentro del cilindro y mezclado con el aire cuando el pistón está próximo a la parte superior en el tiempo de compresión.

Los motores de gasolina utilizan una chispa eléctrica para la ignición de la mezcla de aire-combustible, mientras que los de diesel utilizan el calor generado por el aire durante su compresión para la ignición.

El mayor rango de compresión en el diesel

El grado de compresión compara el volumen de aire en el cilindro antes de la compresión, contra su volumen después de la compresión.

Un grado de compresión de 8: 1 es típico para motores de gasolina, mientras un grado de 20: 1 es común para los de diesel.

El más alto grado de compresión en los motores diesel eleva la temperatura del aire lo suficiente para que se realice la ignición del combustible sin la necesidad de una chispa.

Esto proporciona a los motores diesel una mayor eficiencia, ya que la elevada compresión produce una gran expansión de gases en el cilindro durante la combustión, teniendo como resultado una mayor fuerza en el motor.

El diseño de las partes del motor.-

La más alta eficiencia resultante de la combustión diesel debe ser compensada con la necesidad de piezas más robustas y costosas que resistan las grandes fuerzas de la combustión. Esto generalmente se hace mediante el robustecimiento de los pistones, pernos, bielas y por la adición de más cojinetes para soportar el cigüeñal.

El grado y tipo de combustible usado.

La energía del combustible es medida en unidades estándar de calor o "British Thermal Units" (BTU) o watts-hr, ó kJ y proporciona una comparación de la potencia posible de cada combustible.

El diesel tiene más unidades de calor BTU por galón, por lo tanto proporciona más trabajo por galón de combustible. En resumen, el diesel es normalmente más económico que la gasolina.

Sin embargo, el equipo de inyección de combustible del diesel es más costoso que el equipo para gasolina. Cuando se selecciona el tipo de combustible para un motor, el factor decisivo es la cantidad de combustible que será consumida por año en la operación del motor.

A continuación se muestra una tabla 4.1 comparativa de las principales características de los motores de diesel y de gasolina.

CARACTERISTICAS	GASOLINA	DIESEL
Economía de combustible	Regular	Excelente
Horas de servicio antes de mantenimiento	Regular	Bueno
Carga por caballo de fuerza	Baja	Alta
Arranque a baja temperatura	Bueno	Regular
Aceleración	Buena	Regular
Trabajo continuo	Regular	Bueno
Contaminación del aceite lubricante	Moderada	Baja

Tabla 4.1 COMPARACIÓN DE LOS MOTORES

Consideraciones sobre el tren de válvulas

El motor debe tener la admisión de aire limpio y expulsión de gases de escape a intervalos precisos. Las válvulas hacen este trabajo abriendo y cerrando los puertos del cilindro en los tiempos de admisión y escape.

Al sistema completo de operación de las válvulas se le conoce como tren de válvulas y está integrado por los siguientes elementos principales:

- Válvulas
- Asientos de las válvulas
- Guías de las válvulas
- Rotadores de las válvulas
- Resortes de las válvulas
- Balancín
- Varillas de empuje
- Elevador
- Árbol de levas

Las válvulas pueden ser de dos tipos las de admisión y las de escape. Durante el tiempo de admisión, las válvulas de admisión se abren y las válvulas de escape permanecen cerradas. Durante el tiempo de escape, las válvulas de escape se abren y las válvulas de admisión permanecen cerradas.

Todas las válvulas permanecen cerradas durante los tiempos de compresión y fuerza (Fig. 4.10).



Fig 4.10 Válvulas.

El sellado de las válvulas con la cabeza del cilindro debe ser perfecto para evitar la pérdida de los gases y obtener una mejor combustión.

La válvula está formada por la cabeza y el vástago. La parte lateral de la cabeza, que es la encargada del sellado es denominada cara de la válvula.

El asiento de la válvula es una superficie de la máquina o la cabeza del cilindro o monoblock, en la cual la válvula descansa cuando está cerrada.

Este asiento normalmente tiene un ángulo de 20°, 30° o 45°, conforme sea el ángulo de la cabeza de la válvula.

El asiento de las válvulas normalmente es del mismo material del monoblock o del cilindro, y está lo suficientemente pulido para proporcionar un sello hermético con la cara de la válvula (Fig.4.11).



Fig.4.11 Asiento de Válvulas.

En algunos motores se usa solamente en la válvula de escape un injerto de otro material para el asiento de las válvulas, para reducir desgaste, prevenir agrietamiento, y reducir la frecuencia de pulido de las válvulas, también permite que el injerto, en forma de anillo, sea reemplazado.

La guía de la válvula mantiene la alineación de la válvula para que asiente perfectamente y también sirve para transmitir calor del vástago de la válvula para enfriarla.

La guía puede ser un barreno perforado en el monoblock o puede ser un inserto de otro material. La guía de la válvula debe ser tan larga como el espacio lo permita para reducir el martilleo de la válvula por el balancín (Fig. 4.12).



Fig. 4.12 Guías de Válvulas.

La guía de la válvula debe ser lubricada lo suficientemente para prevenir el rayado del vástago de la válvula. Pero demasiada lubricación permitirá la formación de depósitos duros en la parte caliente del vástago de la válvula. En algunos motores, un sello para aceite es usado en el vástago de la válvula de admisión para prevenir esto.

Los rotadores de las válvulas son dispositivos para hacer que la válvula gire durante la operación, para remover los depósitos que se forman en el vástago y cara de la válvula.

Otras aportaciones de los rotadores de las válvulas son: Un mejor sellado del gas, enfriamiento de las válvulas, menor erosión en las válvulas.

Los resortes de las válvulas tienen la función de cerrar la válvula y mantenerla cerrada y sentada perfectamente hasta que sea abierta por el árbol de levas (Fig. 4.13).



Fig. 4.13 Resortes de Válvulas.

Los balancines son las piezas que transmiten el movimiento del árbol de levas a las válvulas. Los balancines están montados en un eje que se localiza en la parte superior del motor.

La función de los balancines es cambiar el movimiento de empuje proveniente del árbol de levas en un movimiento hacia abajo de la válvula para abrirla (Fig.4.14).



Fig. 4.14 Balancines.

Cuando las válvulas están adecuadamente ajustadas, debe haber un pequeño espacio entre el vástago de la válvula y el punto de contacto del balancín, para permitir la dilatación de las piezas por el calor, sin que entren en contacto estas dos piezas, eliminando el riesgo de que las válvulas estén parcialmente abiertas durante la operación.

La varilla de empuje es un tubo de acero con partes sólidas en los extremos, que se encarga de transmitir el movimiento del árbol de levas al balancín.

El extremo inferior de la varilla tiene forma semiesférica para sentar suavemente en la superficie del elevador. El extremo superior tiene una superficie ligeramente cóncava, en la cual se soportará el tornillo de ajuste del balancín.

El elevador o buzo trabaja mediante la acción de las levas, transmitiendo el empuje a las varillas que operarán las válvulas. El elevador es una especie de pistón que trabaja en una guía vertical y es impulsado por el lóbulo de la leva.

La superficie inferior del elevador, está lo suficientemente pulida y endurecida para tener una superficie con resistencia al desgaste que es provocado por el lóbulo de la leva.

Algunos elevadores tienen una articulación rotatoria en la parte inferior que estará en contacto contra los lóbulos de las levas, con lo cual se reduce significativamente la fricción y el desgaste.

El árbol de levas en motores pequeños y medianos está hecho de una sola pieza fundida o forjada. Una leva de admisión y otra de escape son necesarias para cada cilindro

El movimiento del árbol de levas es a través de un engranaje que lo conecta con el cigüeñal.

La posición de las levas en el eje, determina el orden de encendido del motor, el perímetro de cada leva determina el tiempo y grado de abertura de cada válvula (Fig. 4.15).



Fig. 4.15 Árbol de Levas.

En un motor de cuatro tiempos, el árbol de levas gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal, con el fin de cada válvula sea abierta sólo una vez cada dos vueltas del cigüeñal.

El tiempo del árbol de levas debe ajustarse de manera que la válvula de escape abra inmediatamente antes de que el tiempo de fuerza termine, debido a que la presión en el cilindro en este momento ayudará a que el efecto en el giro del cigüeñal sea mínimo, además esta válvula debe cerrarse después de terminado el tiempo de escape, para permitir la mejor expulsión de los gases debido a la inercia del flujo hacia afuera de los gases en el múltiple del escape.

La válvula de admisión debe abrir antes de que termine el tiempo de escape para aprovechar la ventaja de la inercia de la salida de los gases de escape. Esta válvula debe cerrar después de terminado el tiempo de admisión, para aprovechar el efecto de rebote debido a la inercia del ingreso de aire, logrando un mejor llenado del cilindro.

Diseño de pistón y anillo

El pistón es la parte del motor que se mueve hacia arriba y hacia abajo en el interior del cilindro, impulsado por la fuerza de la combustión.

Las funciones del pistón son las siguientes

- Recibir la fuerza generada en la combustión
- Transmitir esta fuerza al cigüeñal
- .Alojar los anillos, que son los encargados de sellar y limpiar el cilindro.

Los pistones deben cumplir con las siguientes características:

- Estar hecho con precisión, para ajustarse perfectamente en el interior del cilindro, pero deslizarse libremente hacia arriba y abajo.
- Estar construido robustamente, para resistir las fuerzas de la combustión y los paros y arranques al final de cada tiempo.
- Estar cuidadosamente balanceado y pesado, para vencer la inercia y momentos a altas velocidades.

Para ser fuertes pero ligeros, los pistones están contruidos de hierro fundido o aleaciones de aluminio. Están provistos de costillas reforzadas para conservar al pistón lo más ligero posible.

Las partes principales del pistón son:

- a) La cabeza o superficie superior, que donde los gases de la combustión ejercen la presión. La cabeza del pistón puede ser plana, cóncava, convexa o irregular, permitiendo una mayor o menor combustión de acuerdo al tipo de combustible usado (Fig. 4.16).



Fig. 4.16 Cabeza.

- b) El cuerpo del pistón, es la parte exterior por debajo de las ranuras de los anillos entre otras, la función de mantener alineado el pistón. En el cuerpo del pistón, es donde se conecta la biela (Fig. 4.17).



Fig. 4.17 Pistones.

El ajuste entre el pistón y el cilindro es crítico, debido a:

- Los metales se dilatan con el calor
 - Debe suministrar el espacio para los lubricantes entre el pistón y las paredes del cilindro.
- c) Las ranuras para los anillos, están forjadas en el interior del pistón para alojar a los anillos y permiten el buen control del aceite para la lubricación del pistón.
- d) La ranura inferior tiene perforaciones para regresar al cárter el aceite recolectado por el anillo de control del lubricante.

- e) Las crestas del pistón, son las áreas entre las ranuras de los anillos y tienen la función de contener y soportar los anillos en sus respectivas ranuras.

Los anillos aíslan la compresión en la cámara de combustión, ayudan a enfriar el pistón por transferencia de calor y controlan la lubricación entre las paredes del cilindro y el pistón.

Los anillos del pistón pueden ser de dos tipos, los anillos de compresión y los anillos para control de aceite.

Los anillos de compresión previenen la pérdida de los gases contenidos por el pistón durante los tiempos de compresión y fuerza. Los anillos realizan el sellado expandiéndose contra las paredes del cilindro.

Los anillos de compresión son abiertos, para poder ser ensamblados fácilmente en el pistón. Esta abertura no permite el sellado perfecto, por eso son usados varios anillos.

El anillo para control de aceite, es el que está situado más bajo en el pistón y su función es limpiar el exceso de aceite de las paredes del cilindro. Este aceite es captado a través de unas ranuras que tiene el anillo, hacia las perforaciones existentes en la ranura del pistón, para ser regresado al cárter.

Para un mejor control del aceite, a menudo se utilizan resortes de expansión bajo el anillo de control de aceite (Fig. 4.18).



Fig. 4.18 Anillos de Control de Aceite.

En algunos motores se utilizan dos anillos de control de aceite, situados uno arriba y otro debajo del pasador del pistón-biela.

Los anillos del pistón, están hechos de acero muy resistente, y frecuentemente recubiertos con cromo o algún otro metal en sus caras de contacto, para reducir su desgaste.

Existen diferentes formas de los anillos de compresión y en muchos pistones se utilizan combinaciones de ellos:

- Anillos rectangulares.- Son los más comunes, recargan uniformemente contra la pared del cilindro a lo largo de toda su cara.
- Anillos biselados.- Aseguran un mejor contacto con el cilindro debido a su cara afilada. Proporcionan un sellado ligero y son buenos para limpiar el aceite en su paso hacia abajo.
- Anillos con cara abarrilada.- Son usados como el anillo superior en algunos pistones para el mejor control de los gases de compresión.
- Anillo con ángulo interior.- La sección de este anillo le permite adaptarse a la ranura del pistón, formando un sello hermético durante la combustión. Es usado a menudo como un anillo intermedio.
- Anillos enclavados.- Ayudan previniendo el hundimiento del anillo, reduciendo los depósitos que se acumulan en la ranura del pistón, y enfrían los anillos. Un injerto metálico puede ser usado en la ranura del pistón para asentar el anillo. Es usado generalmente en motores diesel de trabajo pesado y motores de aviones. Estos anillos pueden ser rectangulares, biselados o abarrilados.

El pistón y los anillos deben estar diseñados para prevenir dos cosas

1. El paso del aceite hacia la cámara de combustión.
2. El paso de los gases de compresión hacia el cárter

El consumo de aceite es el principal problema. Los anillos del pistón deben permitir una película de aceite en las paredes del cilindro para evitar el desgaste rápido de las piezas. Sin embargo, si los anillos dejan pasar demasiado aceite, el motor lo consumirá.

Una pequeña cantidad de consumo de aceite debe ser esperada. Los anillos deben dejar pasar una pequeña parte de aceite para la lubricación del pistón cuando está trabajando.

La pérdida de compresión ocurre cuando los gases de la combustión logran pasar por los anillos y se introducen en el cárter.

Una despreciable cantidad de pérdida de compresión debe ser esperada, es por esto que los cárteres tienen usualmente ventilación.

Sin embargo una fuerte pérdida de compresión puede causar problemas

- Los pistones se han sobrecalentado y dilatado, rayando el pistón y las paredes del cilindro.
- Se pierde compresión, reduciéndose la potencia
- Contaminación del aceite del cárter, causando desgaste

Las principales causas de consumo de aceite y pérdida de compresión son:

- Mala instalación de los anillos en el pistón
 - Están pegados los anillos o taponado el anillo de aceite
 - El anillo superior está roto o la ranura del pistón está gastada
 - Desgaste general en pistón, anillos y cilindro
- a) Desgaste abrasivo
 - b) Marcado y rayado
 - c) Desgaste corrosivo
- Daño físico a los pistones

Combustible y azufre

Uno de los mayores problemas con los motores de diesel es el contenido de azufre en el combustible. El azufre está presente en el diesel en una concentración mucho más alta que en la gasolina. Cuando se realiza la combustión, se forma dióxido sulfúrico, parte del cual puede ser posteriormente oxidado a trióxido sulfúrico. En combinación con agua, estos óxidos sulfúricos forman ácidos fuertes que no son solamente corrosivos por sí mismos, sino que también tienen un fuerte efecto catalítico en la degradación del aceite.

Si además las temperaturas del pistón son altas, se puede tener como resultado la formación de fuertes depósitos de carbón y laca en los pistones y en las ranuras de los anillos.

Bajo condiciones severas, los depósitos pueden extenderse en las ranuras de los anillos hasta el punto de que los anillos no puedan funcionar adecuadamente resultando un excesivo desgaste, pérdida de compresión y pérdida de fuerza.

Los constructores de motores para camiones de pasajeros, son particularmente conscientes acerca de los depósitos de hollín y recomiendan un cambio de aceite más frecuente.

Muchos grandes motores de diesel de servicio industrial y marino son operados con combustibles de tipo residual, con contenido de azufre con un rango del 2 al 4 %. Los fuertes ácidos formados de la combustión de estos combustibles con alto índice de azufre pueden ser extremadamente corrosivos para los pistones, anillos y cilindros, provocando un rápido ataque a los metales y un grado de desgaste excesivo.

Emisiones

Las emisiones son los gases de escape producidos por la combustión, y son en general tóxicos, por lo cual su control debe ser muy estricto y para ello se han dictado normas para el control de emisiones de los motores.

A continuación se muestra una tabla 4.2 con las normas de emisiones federales estadounidenses para vehículos diesel de servicio pesado en la ruta.

AÑO DEL MODELO	Límite superior en (g/bHp-h)				
	1990	1991	1993	1994	1998
Monóxido de carbón (CO)	15.5	15.5	15.5	15.5	15.5
Hidrocarburos (HC)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Óxidos de nitrógenos (NOx)	6.0	5.0	5.0	5.0	4.0
Partículas	0.6	0.25	0.25	0.1	0.1

Tabla 4.2 Emisiones provenientes del sistema de escape, en gramos/caballos de fuerza al freno-hora.

Clasificación de los aceites

Condiciones a las que está sometido un aceite de motor.

1. Temperaturas extremas
2. Grandes velocidades de fricción (0-500 m/min).
3. Tolerancias mínimas
4. Ambientes nocivos --Gases nocivos
5. Poca capacidad de cárter

Funciones que deben satisfacer los aceites de motor

Reducir el desgaste.- El mayor desgaste de un motor se presenta en los cilindros, anillos y pistones, y es causado principalmente por:

1. Abrasión
2. Contacto metal-metal
3. Corrosión

El aire que se alimenta al cilindro para la combustión, puede contener polvo y suciedad, que son altamente abrasivos. Algunos combustibles diesel pueden también contener materiales abrasivos. Las partículas abrasivas que acarrea el aceite pueden quedar atrapadas en las paredes del cilindro y otras áreas, causando desgaste a los anillos y al cilindro.

El desgaste por abrasivos se puede controlar hasta ser casi despreciable usando los filtros adecuados de aire, combustible y aceite. El adecuado mantenimiento de estos filtros es importante para evitar el paso de abrasivos al sistema.

Como resultado de las condiciones de lubricación escasa que existe en la parte superior de las paredes del cilindro, el contacto metal-metal, no puede ser evitado completamente. El grado de desgaste por esta causa depende en gran parte del uso de un adecuado aceite lubricante.

Cuando el aceite tiene la correcta viscosidad y las adecuadas características antidesgaste, el desgaste debido al contacto metal-metal se mantiene en un rango muy bajo. Sin embargo, índices reducidos de flujo de lubricante y pobre distribución causada por depósitos puede incrementar el grado de desgaste metálico.

La corrosión y el desgaste corrosivo resultan del agua o de la combinación de agua y residuos corrosivos de la combustión. Cuando las temperaturas de operación son bajas, durante el periodo de calentamiento, como resultado de una baja carga, o en las operaciones de paro y arranque, la condensación se incrementa y el desgaste corrosivo puede ser rápido. El uso de diesel con alto contenido de azufre, también promueve el desgaste corrosivo. El uso de aditivos alcalinos en el aceite lubricante, actúa como retardante para este tipo de desgaste.

Refrigerar.- El enfriamiento del motor es necesario para prevenir daños a motor y fallas por sobrecalentamiento y distorsión térmica. Aunque ésta es la función principal del sistema de enfriamiento, el aceite del motor también juega un papel importante en el enfriamiento. El calor recolectado por el aceite es disipado por radiación natural de las paredes del cárter mediante un enfriador de aceite.

Es de importancia la estabilidad química y la habilidad para resistir la formación de depósitos que puedan interferir la transmisión de calor de las partes del motor al aceite o del aceite a su medio de enfriamiento. Baja las severas condiciones que se presentan en los grandes motores diesel, la estabilidad térmica es muy importante, esto es, la habilidad para resistir el rompimiento del aceite y la formación de depósitos a altas temperaturas.

Sellado.- Un efectivo sellado en el cilindro es necesario para evitar la pérdida de gases y mantener la potencia y economía del motor. La pérdida de gases, no puede ser completamente prevenida y está en función del diseño del motor y el aceite. La mayor responsabilidad recae en los anillos y su habilidad para ajustarse al contorno del cilindro, pero el aceite tiene un importante papel complementario. En lo que corresponde al aceite, hará su mejor contribución si las ranuras de los anillos están limpias y sin obstrucciones para permitir el libre movimiento que requieren los anillos y si no hay excesiva recolección de aceite de las paredes del cilindro por el anillo de control de aceite. Demasiado poco aceite en las paredes del cilindro, no sólo proporcionará un menor sellado, sino que contribuirá también a un mayor desgaste.

En contraste, demasiado aceite en las paredes del cilindro, ocasionará que una mayor cantidad del lubricante sea expuesto a las condiciones de combustión, provocando consumo de aceite y que se eleve el grado de contaminantes en el aceite.

Reducir la acumulación de depósitos.- Esto es fundamental para tener un mejor funcionamiento del motor. La formación de depósitos se ve afectada por el diseño del motor, las condiciones de operación, mantenimiento, combustible y el funcionamiento del lubricante.

Los depósitos afectan la potencia del motor, ruido, humo, economía, duración y costo de mantenimiento.

Las dos principales causas de formación de depósitos en el motor son la entrada de polvo en el combustible y el aire, y el proceso de combustión en sí. El polvo en el aire y el combustible causa desgaste abrasivo, como ya se mencionó, pero además se deposita en la corona del pistón, las ranuras de los anillos y en las válvulas. Los depósitos en estas áreas son a menudo identificadas como "carbón", pero los análisis indican que estos depósitos consisten en polvo; residuos sólidos de la combustión, tales como sales y hollín; aceite lubricante en diferentes estados de descomposición; y residuos de los aditivos del aceite lubricante.

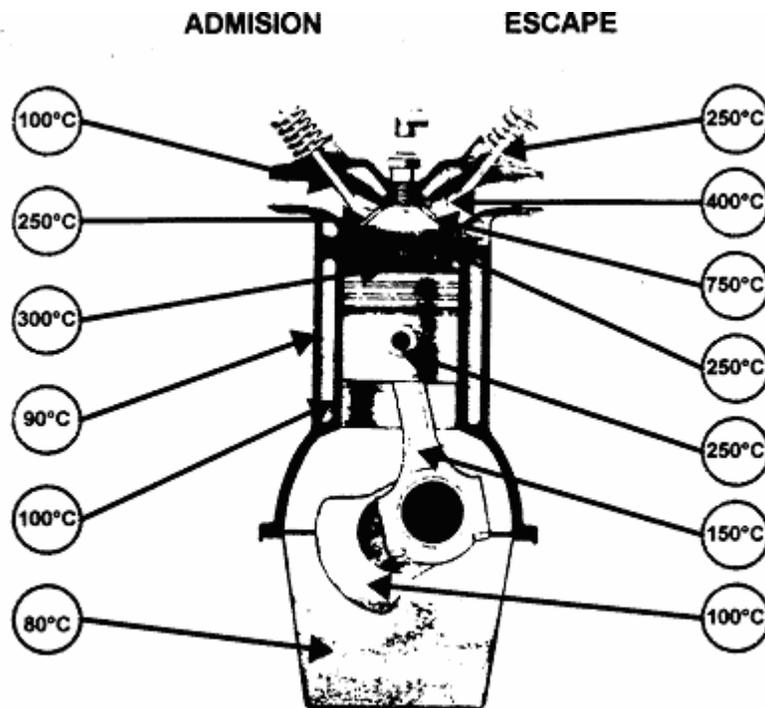
Como las temperaturas en la zona de combustión son elevadas, la continua exposición del aceite en esta área le causa oxidación, rompimiento y polimerización en hidrocarburos pesados. Grandes cantidades de depósitos en la zona de combustión pueden ser causados por una excesiva cantidad de aceite en la parte alta del cilindro. Otra posible causa puede ser un mal ajuste del sistema de inyección de combustible, o un combustible inadecuado que produzca una combustión con mucho humo.

Características del lubricante

Viscosidad e índice de viscosidad.- La viscosidad del aceite de un motor es la característica más importante. Influye en la prevención del desgaste de cojinetes, sellado, economía del lubricante, pérdidas de potencia por fricción y formación de depósitos y es también un factor para el fácil encendido.

Una viscosidad demasiado alta puede causar excesivo arrastre viscoso, reducción en la velocidad del cigüeñal e incremento en el consumo de combustible después del arranque.

El índice de viscosidad es importante en motores que deben ser arrancados y operados en un amplio rango de temperaturas. Los aceites con altos índices de viscosidad tendrán menor arrastre viscoso al arranque y formarán películas de aceite más gruesas para un mejor sellado y prevención de desgaste y bajo consumo de aceite para las temperaturas de operación. El índice de viscosidad es de menor importancia para los aceites usados en motores que no están sujetos a frecuentes arranques en frío. Sin embargo, el problema principal es asegurar la suficiente viscosidad a las temperaturas normales de operación para proporcionar una adecuada película lubricante (Fig. 4.20).



1 FIG 4.20 TEMPERATURAS DE OPERACIÓN EN UN MOTOR

Fluidez a bajas temperaturas.- Para lubricantes de motores que operan a bajas temperaturas ambientales, se deberá tener adecuada fluidez a bajas temperaturas, para facilitar el suministro del aceite al motor y proporcionar un flujo inmediato a la bomba de succión cuando el motor es arrancado.

Estabilidad a la oxidación.- Una alta resistencia a la oxidación es requerida para un buen aceite de motor, en vista de las altas temperaturas a que el motor es expuesto, junto con la agitación del aceite en el cárter en presencia de aire.

La degradación del aceite por oxidación tiende a incrementar la viscosidad, creando la formación de depósitos y promoviendo el ataque corrosivo en cojinetes. Donde el suministro de aceite es relativamente pequeño, el grado de degradación tiende a ser más elevado.

La estabilidad natural de oxidación de un aceite está determinada en parte por el origen del aceite básico utilizado y el proceso de refinación a que fue sometido.

Cuando el diseño del motor o las condiciones de operación requieren un elevado grado de estabilidad a la oxidación, se deben utilizar inhibidores de oxidación. Como regla general, se requiere una mayor estabilidad a la oxidación conforme se incrementen las temperaturas de servicio del aceite.

Estabilidad térmica.- La estabilidad térmica o resistencia al rompimiento bajo altas temperaturas es una característica fundamental de los aceites lubricantes que no puede ser mejorada por medio de aditivos. Sin embargo, una cuidadosa selección de aditivos es importante en la formulación de aceites térmicamente estables, puesto que la descomposición de los aditivos puede contribuir a la formación de depósitos bajo condiciones de operación donde se presenta el rompimiento térmico del aceite.

Detergencia y dispersancia.- Las propiedades naturales detergentes y dispersantes de la mayoría de los aceites son mínimas, y donde estas características son importantes, se obtienen mediante el uso de aditivos.

En los motores de combustión interna, los mejoradores detergentes y dispersantes son necesarios para controlar los depósitos del motor y mantener su rendimiento. El nivel de detergencia y dispersancia requerido depende de varios factores, como la temperatura de operación, tipo de combustible, continuidad de operación, y exposición a bajas temperaturas ambientales.

En general, las condiciones que tienden a promover la oxidación del aceite tales como los súper cargadores o el uso de combustibles con alto contenido de azufre, determinan el uso de aceites con elevados niveles de detergencia.

Las condiciones que promueven condensación de agua y el no quemado o quemado parcial del combustible en el motor, requieren el uso de aceites con alta dispersancia.

Una de las principales funciones de los dispersantes y detergentes es mantener en suspensión en el aceite los materiales que potencialmente pueden formar depósitos, de esta forma, estos materiales pueden ser fácilmente removidos por los filtros de aceite y por el drenado del mismo.

Alcalinidad.- La mayoría de los detergentes y en un menor grado muchos dispersantes tienen cierta habilidad para neutralizar los productos ácidos de la combustión y oxidación del aceite. Sin embargo, cuando se requiere una considerable habilidad para neutralizar ácidos, como en motores diesel con alto contenido de azufre, se utilizan detergentes con compuestos altamente alcalinos.

La concentración de estos materiales en el aceite, y un indicativo de la habilidad del aceite para neutralizar ácidos, es el TBN (número base total), también llamado valor alcalino.

Antidesgaste.- Adicionalmente al desgaste corrosivo causado por los productos ácidos de la combustión, el desgaste metálico puede ocurrir en áreas donde debido a las cargas o condiciones de operación, no se puede mantener una efectiva película de lubricante.

Las principales áreas donde esto se presenta son en las paredes del cilindro y en los anillos. En estos casos es necesario utilizar aceites con aditivos que contengan mejoradores contra el desgaste y el rayado bajo condiciones de lubricación escasa.

Protección contra herrumbre y corrosión.- Todos los aceites derivados del petróleo tienen algunas propiedades contra la herrumbre y corrosión sin embargo en la mayoría de los casos no son suficientes para:

- Proteger a los cojinetes de la corrosión causada por aceites altamente ácidos.
- Prevenir herrumbre y corrosión debido a la condensación de agua y productos de la combustión en bajas temperaturas o de operación con continuo paro y arranque.
- Controlar el desgaste corrosivo causado por los residuos ácidos de la combustión.

Como una o más de estas condiciones, que pueden causar problemas de corrosión, se presentan en casi todos los motores de combustión interna, la mayoría de los aceites para estos motores están formulados para proveer de protección adicional contra corrosión.

Resistencia a la formación de espuma.- Todos los aceites formarán espuma hasta cierto punto cuando sean agitados. Si hay excesiva espuma, se pueden presentar algunos problemas.

El desbordamiento y derrame de aceite es uno de los más obvios, pero la espuma puede también ocasionar carencia de aceite en la bomba de entrada, o introducirse en la bomba, lo cual puede causar fallo de la película lubricante, ruido y mala operación de las válvulas hidráulicas.

Para reducir la espuma en motores donde se presenta agitación severa del lubricante, se deben incluir aditivos antiespumantes.

El sobrellenado del cárter también puede causar espuma, aún en aceites con aditivos antiespumantes.

Aceites monogrados y multigrados

Los primeros aceites que existieron para coches fueron los MONOGRADOS, si analizamos la palabra MONO = 1, GRADOS = Temperatura. Por lo que se desprende del análisis de la palabra, que estos aceites tenían una sola temperatura ideal de trabajo. Hablamos de temperatura de trabajo, a la cual el aceite circula bien y posee todas sus características de lubricación.

Si uno usaba un aceite monogrado en una zona cálida, en poco tiempo el aceite tomaba su temperatura de trabajo, o sea que el motor no sufría prácticamente. Pero si lo tenía que usar en una zona fría, la cosa se complicaba un poco. Ni que hablar si la temperatura estaba bajo de los 0°C. Los motores sufrían muchísimo, ya que costaba que mucho que el aceite tomara su temperatura, por lo que los primeros segundos después del arranque, dentro del motor era fierro con fierro (en el sur cuando existían solamente los aceites monogrados, se les hacía fueguito debajo del motor).

Entonces aparecen los aceites MULTIGRADOS, MULTI = Varios, GRADOS = Temperatura. Se le realiza tratamiento térmico al aceite y se agregan aditivos (antioxidantes, antiespumantes, para mantener en estado líquido el hollín, etc., etc.), de esta manera pueden trabajar en diferentes temperaturas. Con los aceites MULTIGRADOS quedan solucionadas las variaciones de temperatura que podemos tener en el día y así, no sufre tanto el motor.

Todos los aceites cuando se enfrían, aumentan en viscosidad y cuando se calientan su viscosidad disminuye. El índice de viscosidad mide la sensibilidad a la variación de la viscosidad de un aceite cuando su temperatura cambia.

Cuanto mayor sea el índice de viscosidad, mejor será el aceite, porque su viscosidad variará menos con el cambio de temperatura.

Los aceites monogrados son todos aquellos que tienen su índice de viscosidad natural, o sea que no ha sido modificado por la inclusión de aditivos.

En los motores de combustión interna se requieren de aceites que permitan trabajar al motor en condiciones de ambiente muy diferentes y sobre todo, arrancar fácilmente a baja temperatura, sin que por eso se alteren las características del aceite a las temperaturas normales de trabajo del motor, es decir que sirvan para todo el año en condiciones de temperatura muy diferentes. A estos aceites se les denomina aceites multigrados.

Las características multigrado se refieren únicamente a la viscosidad, sin que esto quiera decir que no puedan prepararse aceites de este tipo con diferentes niveles de detergencia.

La inclusión de un aditivo mejorado del índice de viscosidad, confiere al aceite las características del grado múltiple. Este tipo de aceite se está utilizando cada vez más; una de sus ventajas adicionales, es el ahorro de combustible que produce por su poca viscosidad.

Para fabricar un aceite multigrado se parte de un aceite ligero y se le añade una dosis fija de una sustancia sintética llamada polímero mejorado del índice de viscosidad. Estas sustancias tienen la propiedad de modificar la viscosidad del lubricante, de manera que a 100°C se eleva más su viscosidad en proporción que a 40°C (por lo que el índice de viscosidad aumenta), ya -18°C apenas actúan, por lo que el aceite base ligero proporciona un buen arranque a bajas temperaturas, ya altas temperaturas actúa el polímero, espesando el aceite.

La función principal de un lubricante es evitar el rozamiento entre superficies metálicas en movimiento. Para facilitar el arranque en frío, enfriar las piezas del motor, mantener el motor limpio, para prevenir la herrumbre.

Existen distintos tipos de aceite, según su viscosidad. No cualquier aceite puede ser usado en cualquier motor y condición de trabajo. La viscosidad tiene que ver con la capacidad de fluir. Los líquidos espesos escurren con mucho más dificultad que los delgados. Así, mientras más viscoso sea un aceite, menor será su tendencia a escurrir sobre las superficies a lubricar.

Los cambios de temperatura afectan la viscosidad. Cuando el motor está detenido, con sus piezas frías, la viscosidad del aceite es mucho mayor que cuando está en marcha y la combustión ha calentado las piezas.

Grado SAE

Los grados SAE únicamente representan un nivel de viscosidad o resistencia a fluir, medidas a determinadas temperaturas. En general, cuanto más alta sea la viscosidad, más alto es el grado SAE.

Hay once grados SAE. Seis de ellos incluyen la designación W (por "Winter": invierno en idioma inglés), que indica que la viscosidad fue también medida a baja temperatura. Para los grados que no tienen esta denominación, la viscosidad se especifica a 100°C. Ellos son: 0W, 5W, 10W, 15W, 20W y 25W (GRADOS DE INVIERNO) 20, 30, 40, 50 y 60 (GRADOS DE VERANO)

La norma SAE J 300 va incorporando los requerimientos de los fabricantes de motores, acompañando así el progreso tecnológico. Por ejemplo a partir de junio del 2001, se cambiaron las mediciones de Viscosidad a baja temperatura, y se agregaron tests en las condiciones del cojinete de cigüeñal (ensayo CCS "Cold Cranking Simulator", es decir, Simulador de arranque en frío) haciendo a sus requerimientos más severos.

Clasificación API

Con el paso del tiempo los motores fueron cambiando (materiales, diseño, régimen de trabajo, etc., etc.) por lo que los lubricantes también tuvieron que ir cambiando sus características. Como no podía ser de otra manera, los muchachos del país del tío SAM, el API (Instituto Americano de Petróleo de U.S.A.), crearon un código con letras, para que a medida que fueran variando la tecnología de los motores, también lo hicieron los aceites.

Para los motores a nafta el código comienza con la letra **S**, para los motores diesel con la letra **C**. A la **S - C** (nafta y diesel respectivamente) se le han ido agregando letras, las letras comenzaron con la **A** y con el paso del tiempo se han ido incrementado, inclusive hay con números también. Todos los aceites cumplen mínimamente con las normas API, obviamente, siempre existen diferentes calidades, como en toda las cosas.

Para que quede mas claro mas abajo hay un ejemplo de comparación por clasificar API, estos aceites son para motores nafta - diesel y del tipo SERVICIO NO PESADO, es decir coches o vehículos que no están sometidos a trabajos fuertes o medio ambientes agresivos (Equipos viales, off road, etc.).

CAPITULO 5

LUBRICACIÓN DE SISTEMAS HIDRÁULICOS

Definición: de acuerdo con su significado etimológico, que viene del griego hydros (agua), aulos (conducción) e icos (relativo), quiere decir relativo a la conducción del agua.

En física se puede definir como la parte que estudia las leyes naturales, que gobiernan los fenómenos mecánicos de los líquidos.

Los fenómenos mecánicos más importantes son: los fenómenos de equilibrio y los fenómenos de movimiento.

La hidráulica tiene dos finalidades: científicas y prácticas.

La finalidad científica es la investigación de fenómenos y dispositivos relacionados con la mecánica de fluidos.

La finalidad práctica es la planeación, construcción, operación y mantenimiento de obras y estructuras de ingeniería.

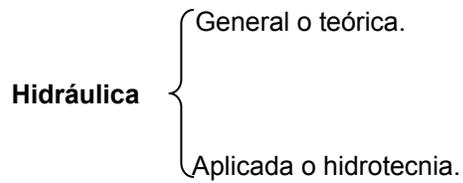
La hidráulica se denomina también como hidráulica elemental o clásica, basa su estudio en un líquido ideal o perfecto cuyas características son: homogéneo, incompresible, continuo, antiviscoso e isotrópico.

Líquido homogéneo, es aquel que carece de partículas ajenas a él, esto es que no tiene impurezas; líquido incompresible, es aquel que soporta grandes presiones sin modificar su volumen; continuo, que al tener movimiento, su masa no varía; antiviscoso, que no ofrece resistencia a la acción de una fuerza, esto es que no presenta ninguna deformación al aplicarla; isotrópico, que posee las mismas propiedades en todas direcciones y sentidos.

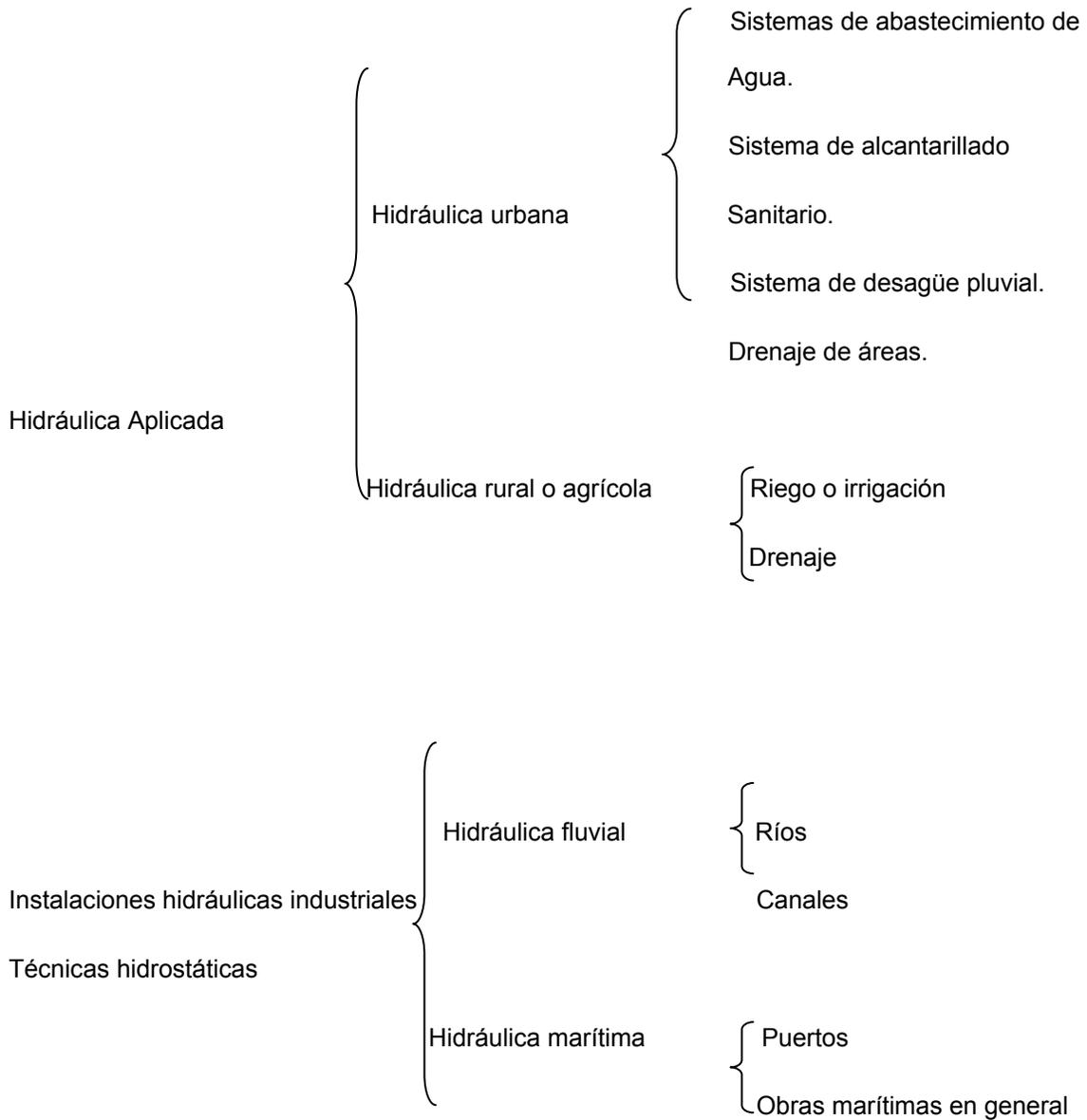
Clasificación:

La hidráulica se puede dividir en:

- **Hidrostática**
- **Hidrodinámica**



La **hidrostática** estudia las propiedades de los fluidos en reposo y la hidrodinámica tiene por objetivo el estudio de los líquidos en movimiento.



Propiedades físicas de los fluidos:

La materia ordinaria se presenta en alguno de los tres estados siguientes: sólido, líquido o gaseoso. Existe un cuarto estado de la materia denominado plasma que es esencialmente un gas ionizado con igual número de cargas positivas que negativas. A los líquidos y gaseosos se les denomina fluidos. Característica peculiar de un fluido es que no tienen forma propia, adquiriendo la del recipiente que lo contiene.

Líquido:

- Toma la forma del recipiente
- Ocupa el máximo volumen permitido
- Incompresible

Gases:

- Se expanden hasta ocupar el volumen máximo
- Adoptan la forma del recipiente cerrado
- Compresible

La estática de fluidos estudia el equilibrio de gases y líquidos. A partir de los conceptos de densidad y de presión se obtiene la ecuación fundamental de la hidrostática, de la cual el principio de Pascal y el de Arquímedes pueden considerarse consecuencias. El hecho de que los gases, a diferencia de los líquidos, puedan comprimirse hace que el estudio de ambos tipos de fluidos tengan algunas características diferentes. En la atmósfera se dan los fenómenos de presión y de empuje que pueden ser estudiados de acuerdo con los principios de la estática de gases.

Se entiende por fluido un estado de la materia en el que la forma de los cuerpos no es constante, sino que se adapta a la del recipiente que los contiene. La materia fluida puede ser traspasada de un recipiente a otro, es decir, tiene la capacidad de fluir. Los líquidos y los gases corresponden a dos tipos diferentes de fluidos. Los primeros tienen un volumen constante que no puede mortificarse apreciablemente por compresión. Se dice por ello que son fluidos incompresibles. Los segundos no tienen un volumen propio, sino que ocupan el del recipiente que los contiene; son fluidos compresibles porque, a diferencia de los líquidos, sí pueden ser comprimidos.

El estudio de los fluidos en equilibrio constituye el objeto de la estática de fluidos, una parte de la física que comprende la hidrostática o estudio de los líquidos en equilibrio, y la aerostática o estudio de los gases en equilibrio y en particular del aire.

Fuerza y Masa

La comprensión de las propiedades de los fluidos requiere una cuidadosa diferenciación entre "masa y peso", por lo que se aplican las siguientes definiciones:

MASA es la propiedad de un cuerpo de fluido que se mide por su inercia o resistencia a un cambio de movimiento, también es una medida de la cantidad de fluido. Se utiliza el símbolo "m" para la masa.

PESO es la cantidad que pesa un cuerpo, es decir, la fuerza con que el cuerpo es atraído hacia la tierra por la acción de la gravedad. Se utiliza el símbolo "w" para peso.

El peso está relacionado con la masa y la aceleración debida a la gravedad, "g", por la ley de gravitación de Newton .

$$w = mg \quad \dots\dots\dots 5.1$$

Aquí se utilizará $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (aceleración gravitacional) en el sistema SI y $g = 32,2 \text{ pies/s}^2$ en el sistema británico de unidades.

La densidad de los cuerpos

Los cuerpos difieren por lo general en su masa y en su volumen. Estos dos atributos físicos varían de un cuerpo a otro, de modo que si consideramos cuerpos de la misma naturaleza, cuanto mayor es el volumen, mayor es la masa del cuerpo considerado. No obstante, existe algo característico del tipo de materia que compone al cuerpo en cuestión y que explica el porqué dos cuerpos de sustancias diferentes que ocupan el mismo volumen no tienen la misma masa o viceversa.

Aun cuando para cualquier sustancia la masa y el volumen son directamente proporcionales, la relación de proporcionalidad es diferente para cada sustancia. Es precisamente la constante de proporcionalidad de esa relación la que se conoce por densidad y se representa por la letra griega "ρ".

$$\rho = m/v \quad \dots\dots\dots 5.2$$

"V " es el volumen de la sustancia cuya masa es m. Las unidades son kilogramos por metros cúbicos en el sistema internacional (SI).

Sustancia	Densidad (g/cm ³)	Sustancia	Densidad (g/cm ³)
Acero	7,7-7,9	Oro	19,31
Aluminio	2,7	Plata	10,5
Cinc	7,15	Platino	31,46
Cobre	8,93	Plomo	11,35
Cromo	7,15	Silicio	2,3
Estaño	7,29	Sodio	0,975
Hierro	7,88	Titanio	4,5
Magnesio	1,76	Vanadio	6,02
Níquel	8,9	Volframio	19,34

Tabla 5.2. Densidad de sólidos y líquidos a (20°C)

La DENSIDAD (ρ) de una sustancia es la masa que corresponde a un volumen unidad de dicha sustancia. Su unidad en el SI es el cociente entre la unidad de masa y la del volumen, es decir kg/m³; g/cm³, etc.

A diferencia de la masa o el volumen, que dependen de cada objeto, su cociente depende solamente del tipo de material de que está constituido y no de la forma ni del tamaño de aquél. Se dice por ello que la densidad es una propiedad o atributo característico de cada sustancia. En los sólidos la densidad es aproximadamente constante, pero en los líquidos, y particularmente en los gases, varía con las condiciones de medida. Así en el caso de los líquidos se suele especificar la temperatura a la que se refiere el valor dado para la densidad y en el caso de los gases se ha de indicar, junto con dicho valor, la presión.

Densidad y peso específico

La densidad está relacionada con el grado de acumulación de materia (un cuerpo compacto es, por lo general, más denso que otro más disperso), pero también lo está con el peso. Así, un cuerpo pequeño que es mucho más pesado que otro más grande es también mucho más denso. Esto es debido a la relación $w = m \cdot g$ existente entre masa y peso.

No obstante, para referirse al peso por unidad de volumen la física ha introducido el concepto de PESO ESPECÍFICO que se define como la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. Utilizando la letra griega " γ " (gamma) para denotar peso específico, se tiene

$$\gamma = w/v \dots\dots\dots 5.3$$

"V" es el volumen de una sustancia que tiene el peso "W". Las unidades del peso específico son lo newton por metro cúbico ($N \cdot m^3$) en el SI y libras por pie cúbico (lb_f / pie^3) en el sistema británico de unidades.

A menudo resulta conveniente indicar el peso específico o densidad de un fluido en términos de su relación con el peso específico o densidad de un fluido común. Cuando se utiliza el término "gravedad específica", el fluido de referencia es el agua pura a 4°C. A tal temperatura, el agua posee su densidad más grande. Entonces, la GRAVEDAD ESPECÍFICA (sg) se puede definir de dos maneras:

- a) la gravedad específica es el cociente de la densidad de una sustancia ente la densidad del agua a 4° C.
- b) la gravedad específica es el cociente del peso específico de una sustancia ente el peso específico del agua a 4° C.

El fundamento del densímetro

La determinación de densidades de líquidos tiene importancia no sólo en la física, sino también en el mundo de la agricultura y de la industria. Por el hecho de ser la densidad una propiedad característica (cada sustancia tiene una densidad diferente) su valor puede emplearse para efectuar una primera comprobación del grado de pureza de una sustancia líquida.

El densímetro es un sencillo aparato que se basa en el principio de Arquímedes. Es, en esencia, un flotador de vidrio con un lastre de mercurio en su parte inferior (que le hace sumergirse parcialmente en el líquido) y un extremo graduado directamente en unidades en densidad. El nivel del líquido marca sobre la escala el valor de su densidad.

En el equilibrio, el peso "w" del densímetro será igual al empuje "E", y esta dado por la ecuación:

$$w = E = \rho_f g V \dots\dots\dots 5.4$$

El peso de la porción de fluido es igual al producto de la densidad del fluido ρ_f por la aceleración de la gravedad g y por el volumen de dicha porción V .

Presión

Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo deformable, los efectos que provoca dependen no sólo de su intensidad, sino también de cómo esté repartida sobre la superficie del cuerpo. Así, un golpe de martillo sobre un clavo bien afilado hace que penetre más en la pared de lo que lo haría otro clavo sin punta que recibiera el mismo impacto. Un individuo situado de puntillas sobre una capa de nieve blanda se hunde, en tanto que otro de igual peso que calce raquetas, al repartir la fuerza sobre una mayor superficie, puede caminar sin dificultad.

El cociente entre la intensidad "F" de la fuerza aplicada perpendicularmente sobre una superficie dada y el área "A" de dicha superficie se denomina presión.

$$P = F/A \dots\dots\dots 5.5$$

La presión representa la intensidad de la fuerza que se ejerce sobre cada unidad de área de la superficie considerada. Cuanto mayor sea la fuerza que actúa sobre una superficie dada, mayor será la presión, y cuanto menor sea la superficie para una fuerza dada, mayor será entonces la presión resultante.

La presión en los fluidos

El concepto de presión es muy general y por ello puede emplearse siempre que exista una fuerza actuando sobre una superficie. Sin embargo, su empleo resulta especialmente útil cuando el cuerpo o sistema sobre el que se ejercen las fuerzas es deformable. Los fluidos no tienen forma propia y constituyen el principal ejemplo de aquellos casos en los que es más adecuado utilizar el concepto de presión que el de fuerza.

Cuando un fluido está contenido en un recipiente, ejerce una fuerza sobre sus paredes y, por tanto, puede hablarse también de presión. Si el fluido está en equilibrio las fuerzas sobre las paredes son perpendiculares a cada porción de superficie del recipiente, ya que de no serlo existirían componentes paralelas que provocarían el desplazamiento de la masa de fluido en contra de la hipótesis de equilibrio. La orientación de la superficie determina la dirección de la fuerza de presión, por lo que el cociente de ambas, que es precisamente la presión, resulta independiente de la dirección; se trata entonces de una magnitud escalar.

Unidades de presión

En el Sistema Internacional (SI) la unidad de presión es el pascal, se representa por Pa y se define como la presión correspondiente a una fuerza de un newton de intensidad actuando perpendicularmente sobre una superficie plana de un metro cuadrado. 1 Pa equivale, por tanto, a 1 N/m².

Existen, no obstante, otras unidades de presión que sin corresponder a ningún sistema de unidades en particular han sido consagradas por el uso y se siguen usando en la actualidad junto con el pascal. Entre ellas se encuentran la atmósfera y el bar.

La atmósfera (atm) se define como la presión que a 0 °C ejercería el peso de una columna de mercurio de 76 cm de altura y 1 cm² de sección sobre su base.

Es posible calcular su equivalencia en N/m² sabiendo que la densidad del mercurio es igual a 13,6x10³ kg/m³ y recurriendo a las siguientes relaciones entre magnitudes:

$$w \text{ (N)} = \text{masa (kg)} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Masa} = \text{volumen} \cdot \text{densidad}$$

$$\text{es decir: } 1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

El bar es realmente un múltiple del pascal y equivale a 10⁵ N/m². En meteorología se emplea con frecuencia el milibar (mb) o milésima parte del bar 1 mb = 10² Pa ó 1 atm = 1013 mb.

Hidrostática

1. Variación de la presión con la profundidad

Todos los líquidos pesan, por ello cuando están contenidos en un recipiente las capas superiores oprimen a las inferiores, generándose una presión debida al peso. La presión en un punto determinado del líquido deberá depender entonces de la altura de la columna de líquido que tenga por encima de él.

Considérese un líquido de densidad ρ en reposo y abierto a la atmósfera. Seleccionaremos una muestra de líquido contenida por un cilindro imaginario de área de sección transversal A que se extiende desde la superficie del líquido hasta una profundidad " h ". La presión ejercida por el fluido sobre la cara inferior es P , y la presión sobre la cara superior del cilindro es la presión atmosférica, P_o . Por consiguiente, la fuerza hacia arriba ejercida por el líquido sobre el fondo del cilindro es P_a , y la fuerza hacia abajo ejercida por la atmósfera sobre la parte superior es $P_o A$. Debido a que la masa del líquido en el cilindro es $\rho V = \rho Ah$, el peso del fluido en el cilindro es $w = \rho gv = \rho gAh$.

Como el cilindro está en equilibrio, la fuerza hacia abajo en la parte superior de la muestra para soportar su peso es igual a

$$P_a = P_o + \rho gh \dots\dots\dots 5.6$$

(Llamada ecuación fundamental de la hidrostática) ,donde la presión atm es $1,01 \times 10^5$ Pascales. En otras palabras la presión absoluta "Pa" una profundidad "h" debajo de la superficie de un líquido abierto a la atmósfera es mayor que la presión atmosférica en una cantidad ρgh . Ello implica que ni la forma de un recipiente ni la cantidad de líquido que contiene influyen en la presión que se ejerce sobre su fondo, tan sólo la altura de líquido.

En vista del hecho de que la presión en un líquido sólo depende de la profundidad, cualquier incremento de presión en la superficie debe transmitirse a cada punto en el fluido. Esto lo reconoció por primera vez el científico Alemán Blaise Pascal (1623-1662) y se conoce como ley de Pascal.

Ejemplo:

Un buzo se sumerge en el mar hasta alcanzar una profundidad de 100 m. Determinar la presión a la que está sometido y calcular en cuántas veces supera a la que experimentaría en el exterior, sabiendo que la densidad del agua del mar es de 1025 kg/m^3 .

Solución:

De acuerdo con la ecuación fundamental de la hidrostática:

Considerando que la presión P_o en el exterior es de una atmósfera ($1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$), al sustituir los datos en la anterior ecuación resulta:

$$P = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} + 1025 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 100 \text{ m} = 11,058 \times 10^5 \text{ Pa}$$

El número de veces que P es superior a la presión exterior P_o se obtiene hallando el cociente entre ambas lo que indica que es 10,9 veces superior la presión Pa.

El principio de Pascal y sus aplicaciones

La presión aplicada en un punto de un líquido contenido en un recipiente se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo.

Este enunciado, obtenido a partir de observaciones y experimentos por el físico y matemático B. Pascal, se conoce como principio de Pascal.

El principio de Pascal puede ser interpretado como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática y del carácter incompresible de los líquidos. En esta clase de fluidos la densidad es constante, de modo que de acuerdo con la ecuación $P = P_0 + \rho gh$ si se aumenta la presión en la superficie libre, por ejemplo, la presión en el fondo ha de aumentar en la misma medida, ya que ρ y g no varían al no hacerlo h .

La prensa hidráulica constituye la aplicación fundamental del principio de Pascal y también un dispositivo que permite entender mejor su significado. Consiste, en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de un líquido que puede ser agua o aceite. Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, respectivamente, en cada uno de los dos cilindros, de modo que estén en contacto con el líquido. Cuando sobre el émbolo de menor sección A_1 se ejerce una fuerza F_1 la presión P_1 que se origina en el líquido en contacto con él se transmite íntegramente y de forma instantánea a todo el resto del líquido; por tanto, será igual a la presión P_2 que ejerce el líquido sobre el émbolo de mayor sección A_2 , es decir:

$$P_1 = P_2$$

Si la sección A_2 es veinte veces mayor que la A_1 , la fuerza F_1 aplicada sobre el émbolo pequeño se ve multiplicada por veinte en el émbolo grande.

La prensa hidráulica es una máquina simple semejante a la palanca de Arquímedes, que permite amplificar la intensidad de las fuerzas y constituye el fundamento de elevadores, prensas, frenos y muchos otros dispositivos hidráulicos de maquinaria industrial.

Ejemplo:

Con referencia a la figura 5.1 (prensa hidráulica), las áreas del pistón A y del cilindro B, son respectivamente de 40 y 4000 cm² y B pesa 4000 Kg. Los depósitos y las conducciones con conexión están llenas de aceite con una densidad de 750 kg/cm³ ¿Cuál es la Fuerza en A (en la Presión a) necesaria para mantener el equilibrio si se desprecia el peso de A?

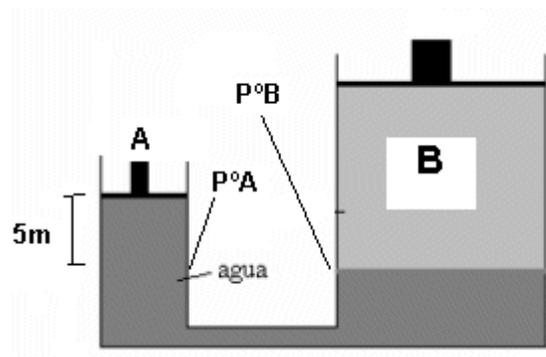


Figura 5.1. Ejercicio Prensa Hidráulica

Solución:

$$P_a + 750 \text{ kg/m}^3 \times 5 \text{ m} = 4000 \text{ Kg/4000 cm}^2$$

$$P_a + 3750 \text{ Kg/100} \times 100 \text{ cm}^2 = 1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P_a = 0,625 \text{ Kg/cm}^2$$

Presión = F x área (40cm²)= F = 25 Kg es la fuerza en A (en la Presión a) necesaria para mantener el equilibrio el sistema.

El principio de los vasos comunicantes

Si se tienen dos recipientes comunicados y se vierte un líquido en uno de ellos en éste se distribuirá entre ambos de tal modo que, independientemente de sus capacidades, el nivel de líquido en uno y otro recipiente sea el mismo. Éste es el llamado principio de los vasos comunicantes, que es una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática.

Si se toman dos puntos A y B situados en el mismo nivel, sus presiones hidrostáticas han de ser las mismas, es decir:

luego si $P_a = P_b$ necesariamente las alturas h_a y h_b de las respectivas superficies libres han de ser idénticas $h_a = h_b$.

Si se emplean dos líquidos de diferentes densidades y no miscibles, entonces las alturas serán inversamente proporcionales a las respectivas densidades. En efecto, se tiene:

$$P_a + \rho g h = P_b + \rho g h \dots\dots\dots 5.7$$

Esta ecuación permite, a partir de la medida de las alturas, la determinación experimental de la densidad relativa de un líquido respecto de otro y constituye, por tanto, un modo de medir densidades de líquidos no miscibles si la de uno de ellos es conocida.

Empuje hidrostático: principio de Arquímedes

Los cuerpos sólidos sumergidos en un líquido experimentan un empuje hacia arriba. Este fenómeno, que es el fundamento de la flotación de los barcos, era conocido desde la más remota antigüedad, pero fue el griego Arquímedes (287-212 a. de C.) quien indicó cuál es la magnitud de dicho empuje. De acuerdo con el principio que lleva su nombre, todo cuerpo sumergido total o parcialmente en un líquido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del volumen de líquido desalojado.

Aun cuando para llegar a esta conclusión Arquímedes se apoyó en la medida y experimentación, su famoso principio puede ser obtenido como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática. Considérese un cuerpo en forma de paralelepípedo, las longitudes de cuyas aristas valen a , b y c metros, siendo c la correspondiente a la arista vertical. Dado que las fuerzas laterales se compensan mutuamente, sólo se considerarán las fuerzas sobre las caras horizontales.

La fuerza F_1 sobre la cara superior estará dirigida hacia abajo y de acuerdo con la ecuación fundamental de la hidrostática su magnitud se podrá escribir como:

Siendo S_1 la superficie de la cara superior y h_1 su altura respecto de la superficie libre del líquido.

La fuerza F_2 sobre la cara inferior estará dirigida hacia arriba y, como en el caso anterior, su magnitud vendrá dada por

La resultante de ambas representará la fuerza de empuje hidrostático E .

Pero, dado que $S_1 = S_2 = S$ y $h_2 = h_1 + c$, resulta:

Que es precisamente el valor del empuje predicho por Arquímedes en su principio, ya que $V = c \cdot S$ es el volumen del cuerpo, la densidad del líquido, $m = \rho \cdot V$ la masa del líquido desalojado y finalmente $m \cdot g$ es el peso de un volumen de líquido igual al del cuerpo sumergido.

Equilibrio de los cuerpos sumergidos

De acuerdo con el principio de Arquímedes, para que un cuerpo sumergido en un líquido esté en equilibrio, la fuerza de empuje E y el peso P han de ser iguales en magnitudes y, además, han de aplicarse en el mismo punto. En tal caso la fuerza resultante R es cero y también lo es el momento M , con lo cual se dan las dos condiciones de equilibrio. La condición $E = P$ equivale de hecho a que las densidades del cuerpo y del líquido sean iguales. En tal caso el equilibrio del cuerpo sumergido es indiferente.

Si el cuerpo no es homogéneo, el centro de gravedad no coincide con el centro geométrico, que es el punto en donde puede considerarse aplicada la fuerza de empuje. Ello significa que las fuerzas E y P forman un par que hará girar el cuerpo hasta que ambas estén alineadas.

Equilibrio de los cuerpos flotantes

Si un cuerpo sumergido sale a flote es porque el empuje predomina sobre el peso ($E > P$). En el equilibrio ambas fuerzas aplicadas sobre puntos diferentes estarán alineadas; tal es el caso de las embarcaciones en aguas tranquilas, por ejemplo. Si por efecto de una fuerza lateral, como la producida por un golpe de mar, el eje vertical del navío se inclinara hacia un lado, aparecerá un par de fuerzas que harán oscilar el barco de un lado a otro. Cuanto mayor sea el momento M del par, mayor será la estabilidad del navío, es decir, la capacidad para recuperar la verticalidad. Ello se

consigue diseñando convenientemente el casco y repartiendo la carga de modo que rebaje la posición del centro de gravedad, con lo que se consigue aumentar el brazo del par.

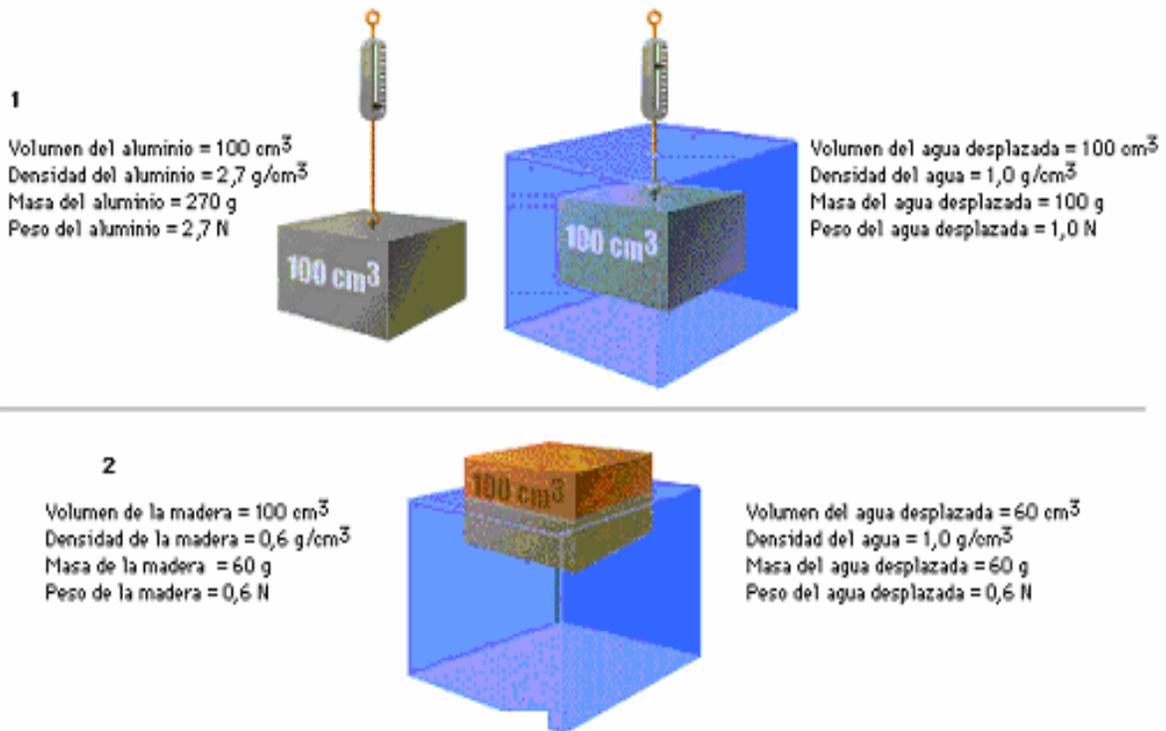


Figura 5.2 Equilibrio de cuerpos flotantes.

Aquí se ilustra el principio en el caso de un bloque de aluminio y uno de madera (parte 1 de la figura 5.2) El peso aparente de un bloque de aluminio sumergido en agua se ve reducido en una cantidad igual al peso del agua desplazada (parte 2 de la figura 5.2) Si un bloque de madera está completamente sumergido en agua, el empuje es mayor que el peso de la madera (esto se debe a que la madera es menos densa que el agua, por lo que el peso de la madera es menor que el peso del mismo volumen de agua). Por tanto, el bloque asciende y emerge del agua parcialmente — desplazando así menos agua— hasta que el empuje iguala exactamente el peso del bloque.

13. Aplicación del principio de Arquímedes (Ejemplo)

Un globo de goma tiene 8 g de masa cuando está vacío. Para conseguir que se eleve se infla con gas ciudad. Sabiendo que la densidad del aire es de $1,29 \text{ kg/m}^3$ y la del gas ciudad $0,53 \text{ kg/m}^3$ determinar el volumen que, como mínimo, ha de alcanzar el globo para que comience a elevarse.

Para que el globo inicie el ascenso, la fuerza del empuje ha de ser superior a la del peso:

$$E > P$$

En virtud del principio de Arquímedes:

Ya que en este caso el fluido desalojado es el aire.

Por otra parte, el peso P será la suma del peso del globo más el peso del gas ciudad que corresponde al volumen V , es decir:

El volumen mínimo será, por tanto, de 10,5 litros.

Hidrodinámica

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente al ser sometida a un esfuerzo cortante (esfuerzo tangencial) no importa cuan pequeño sea.

Todos los fluidos están compuestos de moléculas que se encuentran en movimiento constante. Sin embargo, en la mayor parte de las aplicaciones de ingeniería, nos interesa más conocer el efecto global o promedio (es decir, macroscópico) de las numerosas moléculas que forman el fluido. Son estos efectos macroscópicos los que realmente podemos percibir y medir.

Por lo anterior, consideraremos que el fluido está idealmente compuesto de una sustancia infinitamente divisible (es decir, como un continuo) y no nos preocuparemos por el comportamiento de las moléculas individuales.

El concepto de un continuo es la base de la mecánica de fluidos clásica. La hipótesis de un continuo resulta válida para estudiar el comportamiento de los fluidos en condiciones normales. Sin embargo, dicha hipótesis deja de ser válida cuando la trayectoria media libre de las moléculas (aproximadamente $6,3 \times 10^{-5}$ mm o bien $2,5 \times 10^{-6}$ pulg para aire en condiciones normales de presión y temperatura) resulta del mismo orden de magnitud que la longitud significativa más pequeña, característica del problema en cuestión.

Una de las consecuencias de la hipótesis del continuo es que cada una de las propiedades de un fluido se supone que tenga un valor definido en cada punto del espacio. De esta manera, propiedades como la densidad, temperatura, velocidad, etc., pueden considerarse como funciones continuas de la posición y del tiempo.

Fluidos Newtonianos y No Newtonianos

Hemos definido un fluido como una sustancia que se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo cortante. En ausencia de éste, no existe deformación. Los fluidos se pueden clasificar en forma general, según la relación que existe entre el esfuerzo cortante aplicado y la rapidez de deformación resultante. Aquellos fluidos donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la rapidez de deformación se denominan fluidos newtonianos. La mayor parte de los fluidos comunes como el agua, el aire, y la gasolina son prácticamente newtonianos bajo condiciones normales. El término no newtoniano se utiliza para clasificar todos los fluidos donde el esfuerzo cortante no es directamente proporcional a la rapidez de deformación.

Numerosos fluidos comunes tienen un comportamiento no newtoniano. Dos ejemplos muy claros son la crema dental y la pintura Lucite. Esta última es muy "espesa" cuando se encuentra en su recipiente, pero se "adelgaza" si se extiende con una brocha. De este modo, se toma una gran cantidad de pintura para no repetir la operación muchas veces. La crema dental se comporta como un "fluido" cuando se presiona el tubo contenedor. Sin embargo, no fluye por sí misma cuando se deja abierto el recipiente. Existe un esfuerzo límite, de cedencia, por debajo del cual la crema dental se comporta como un sólido. En rigor, nuestra definición de fluido es válida únicamente para aquellos materiales que tienen un valor cero para este esfuerzo de cedencia. En este texto no se estudiarán los fluidos no newtonianos.

Viscosidad

Si se considera la deformación de dos fluidos newtonianos diferentes, por ejemplo, glicerina y agua, se encontrará que se deforman con diferente rapidez para una misma fuerza cortante. La glicerina ofrece mucha mayor resistencia a la deformación que el agua; se dice entonces que es mucho más viscosa.

La Viscosidad Dinámica, se presenta cuando un fluido se mueve y se desarrolla en el una tensión de corte, denotada con la letra griega (μ), y puede definirse como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra capa de la misma sustancia. En un fluido común, como el agua, el aceite o alcohol encontramos que la magnitud de corte es directamente proporcional al cambio de velocidad entre diferentes posiciones del fluido. En la tabla 5.3 se presentan valores de viscosidad dinámica para distintos fluidos.

Fluido	Temperatura (°C)	μ Dinámica u (Ns/m ²)
Agua	20	1×10^{-3}
Gasolina	20	$3,1 \times 10^{-4}$
Aceite SAE 30	30	$3,5 \times 10^{-1}$
Aceite SAE 30	80	$1,9 \times 10^{-2}$

Tabla 5.3 Valores de viscosidad dinámica para algunos fluidos

En la mecánica de fluidos se emplea muy frecuentemente la VISCOSIDAD CINEMÁTICA

$$\mathbf{v(nu)} = \mu / \rho \dots\dots\dots 5.8$$

donde $\mathbf{v(nu)}$ es la viscosidad cinemática, μ viscosidad dinámica y las dimensiones en el SI que resultan para \mathbf{v} son [m²/s].

La viscosidad es una manifestación del movimiento molecular dentro del fluido. Las moléculas de regiones con alta velocidad global chocan con las moléculas que se mueven con una velocidad global menor, y viceversa. Estos choques permiten transportar cantidad de movimiento de una región de fluido a otra. Ya que los movimientos moleculares aleatorios se ven afectados por la temperatura del medio, la viscosidad resulta ser una función de la temperatura

Descripción y clasificación de los movimientos de un fluido

Antes de proceder con un análisis, intentaremos una clasificación general de la mecánica de fluidos sobre la base de las características físicas observables de los campos de flujo. Dado que existen bastantes coincidencias entre unos y otros tipos de flujos, no existe una clasificación universalmente aceptada. Una posibilidad es la que se muestra en la figura 4.

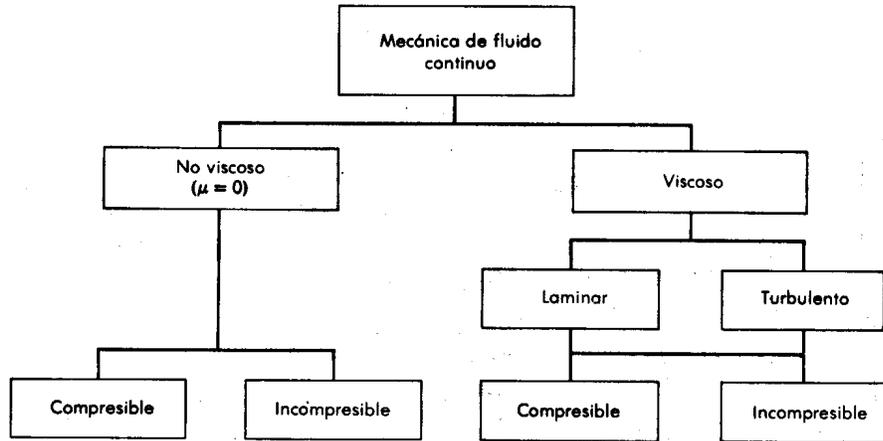


Figura 5.3. Esquema general de Fluidos continuos

Flujos Viscosos y no Viscosos

La subdivisión principal señalada en la figura anterior se tiene entre los flujos viscosos y no viscosos. En un flujo no viscoso se supone que la viscosidad de fluido μ , vale cero. Evidentemente, tales flujos no existen; sin embargo; se tienen numerosos problemas donde esta hipótesis puede simplificar el análisis y al mismo tiempo ofrecer resultados significativos. (Si bien, los análisis simplificados siempre son deseables, los resultados deben ser razonablemente exactos para que tengan algún valor.) Dentro de la subdivisión de flujo viscoso podemos considerar problemas de dos clases principales. Flujos llamados incompresibles, en los cuales las variaciones de densidad son pequeñas y relativamente poco importantes. Flujos conocidos como compresibles donde las variaciones de densidad juegan un papel dominante como es el caso de los gases a velocidades muy altas.

Por otra parte, todos los fluidos poseen viscosidad, por lo que los flujos viscosos resultan de la mayor importancia en el estudio de mecánica de fluidos.

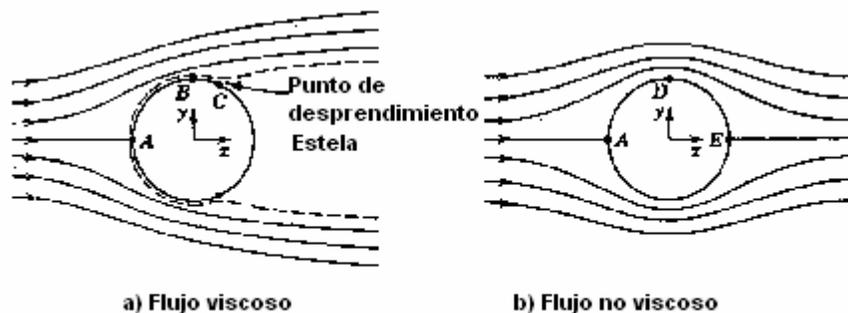


Figura 5.4 Dibujo cualitativo de flujo sobre un cilindro

Podemos observar que las líneas de corriente son simétricas respecto al eje x . El fluido a lo largo de la línea de corriente central se divide y fluye alrededor del cilindro una vez que ha incidido en el punto A. Este punto sobre el cilindro recibe el nombre de punto de estancamiento. Al igual que en el flujo sobre una placa plana, se desarrolla una capa límite en las cercanías de la pared sólida del cilindro. La distribución de velocidades fuera de la capa límite se puede determinar teniendo en cuenta el espaciamiento entre líneas de corriente. Puesto que no puede haber flujo a través de una línea de corriente, es de esperarse que la velocidad del fluido se incremente en aquellas regiones donde el espaciamiento entre líneas de corrientes disminuya. Por el contrario, un incremento en el espaciamiento entre líneas de corriente implica una disminución en la velocidad del fluido.

Considérese momentáneamente el flujo incompresible alrededor del cilindro, suponiendo que se trate de un flujo no viscoso, como el mostrado en la figura 5b, este flujo resulta simétrico respecto tanto al eje x como al eje y . La velocidad alrededor del cilindro crece hasta un valor máximo en el punto D y después disminuye conforme nos movemos alrededor del cilindro. Para un flujo no viscoso, un incremento en la velocidad siempre va acompañado de una disminución en la presión, y viceversa. De esta manera, en el caso que nos ocupa, la presión sobre la superficie del cilindro disminuye conforme nos movemos del punto A al punto D y después se incrementa al pasar del punto D hasta el E. Puesto que el flujo es simétrico respecto a los dos ejes coordenados, es de esperarse que la distribución de presiones resulte también simétrica respecto a estos ejes. Este es, en efecto, el caso.

No existiendo esfuerzos cortantes en un flujo no viscoso, para determinar la fuerza neta que actúa sobre un cilindro solamente se necesita considerar las fuerzas de presión. La simetría en la distribución de presiones conduce a la conclusión de que en un flujo no viscoso no existe una fuerza neta que actúe sobre un cilindro, ya sea en la dirección x o en la dirección y . La fuerza neta en la dirección x recibe el nombre de arrastre. Según lo anterior, se concluye que el arrastre para un cilindro en un flujo no viscoso es cero; esta conclusión evidentemente contradice nuestra experiencia, ya que sabemos que todos los cuerpos sumergidos en un flujo real experimentan algún arrastre. Al examinar el flujo no viscoso alrededor de un cuerpo hemos despreciado la presencia de la capa límite, en virtud de la definición de un flujo no viscoso. Regresemos ahora a examinar el caso real correspondiente.

Para estudiar el caso real de la figura 5a, supondremos que la capa límite es delgada. Si tal es el caso, es razonable suponer además que el campo de presiones es cualitativamente el mismo que en el correspondiente flujo no viscoso. Puesto que la presión disminuye continuamente entre los puntos A y B un elemento de fluido dentro de la capa límite experimenta una fuerza de presión neta en la dirección del flujo. En la región entre A y B, esta fuerza de presión neta es suficiente para superar la fuerza cortante resistente, manteniéndose el movimiento del elemento en la dirección del flujo.

Considérese ahora un elemento de fluido dentro de la capa límite en la parte posterior del cilindro detrás del punto B. Puesto que la presión crece en la dirección del flujo, dicho elemento de fluido experimenta una fuerza de presión neta opuesta a la dirección del movimiento. En algún punto sobre el cilindro, la cantidad de movimiento del fluido dentro de la capa límite resulta insuficiente para empujar al elemento más allá dentro de la región donde crece la presión. Las capas de fluido adyacentes a la superficie del sólido alcanzarán el reposo, y el flujo se separará de la superficie; el punto preciso donde esto ocurre se llama punto de separación o desprendimiento. La separación de la capa límite da como resultado la formación de una región de presión relativamente baja detrás del cuerpo; esta región resulta deficiente también en cantidad de movimiento y se le conoce como estela. Se tiene, pues, que para el flujo separado alrededor de un cuerpo, existe un desbalance neto de las fuerzas de presión, en la dirección del flujo dando como resultado un arrastre debido a la presión sobre el cuerpo. Cuanto mayor sea el tamaño de la estela detrás del cuerpo, tanto mayor resultará el arrastre debido a la presión.

Es lógico preguntarnos cómo se podría reducir el tamaño de la estela y por lo tanto el arrastre debido a la presión. Como una estela grande surge de la separación de la capa límite, y este efecto a su vez se debe a la presencia de un gradiente de presión adverso (es decir, un incremento de presión en la dirección del flujo), la reducción de este gradiente adverso debe retrasar el fenómeno de la separación y, por tanto, reducir el arrastre.

El fuselado de un cuerpo reduce la magnitud del gradiente de presión adverso al distribuirlo sobre una mayor distancia. Por ejemplo, si se añadiese una sección gradualmente afilada (cuña) en la parte posterior del cilindro de

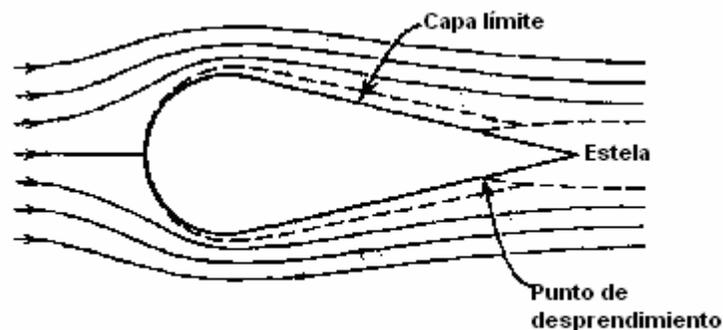


Figura 5.5 Flujo sobre un objeto fusiforme

La figura 6, el flujo cualitativamente sería como se muestra en la figura 6. El fuselaje en la forma del cuerpo efectivamente retrasa el punto de separación, si bien la superficie del cuerpo expuesta al flujo y, por lo tanto, la fuerza cortante total que actúa sobre el cuerpo, se ven incrementadas, el arrastre total se ve reducido de manera significativa.

La separación del flujo se puede presentar también en flujos internos (es decir, flujos a través de ductos) como resultado de cambios bruscos en la geometría del ducto.

Flujos laminares y turbulentos

Los flujos viscosos se pueden clasificar en laminares o turbulentos teniendo en cuenta la estructura interna del flujo. En un régimen laminar, la estructura del flujo se caracteriza por el movimiento de láminas o capas. La estructura del flujo en un régimen turbulento por otro lado, se caracteriza por los movimientos tridimensionales, aleatorios, de las partículas de fluido, superpuestos al movimiento promedio.

En un flujo laminar no existe un estado macroscópico de las capas de fluido adyacentes entre sí. Un filamento delgado de tinta que se inyecte en un flujo laminar aparece como una sola línea; no se presenta dispersión de la tinta a través del flujo, excepto una difusión muy lenta debido al movimiento molecular. Por otra parte, un filamento de tinta inyectado en un flujo turbulento rápidamente se dispersa en todo el campo de flujo; la línea del colorante se descompone en una enredada maraña de hilos de tinta. Este comportamiento del flujo turbulento se debe a las pequeñas fluctuaciones de velocidad superpuestas al flujo medio de un flujo turbulento; el mezclado macroscópico de partículas pertenecientes a capas adyacentes de fluido da como resultado una rápida dispersión del colorante. El filamento rectilíneo de humo que sale de un cigarrillo expuesto a un ambiente tranquilo, ofrece una imagen clara del flujo laminar. Conforme el humo continúa subiendo, se transforma en un movimiento aleatorio, irregular; es un ejemplo de flujo turbulento.

El que un flujo sea laminar o turbulento depende de las propiedades del caso. Así, por ejemplo, la naturaleza del flujo (laminar o turbulento) a través de un tubo se puede establecer teniendo en cuenta el valor de un parámetro adimensional, el número de Reynolds,

$$Re = \rho VD/\mu \text{ ó } Re = VD/\nu \dots\dots\dots 5.9$$

donde ρ es la densidad del fluido, V la velocidad promedio, D el diámetro del tubo, y ν la viscosidad cinemática ó μ la viscosidad absoluta .

El flujo dentro de una capa límite puede ser también laminar o turbulento; las definiciones de flujo laminar y flujo turbulento dadas anteriormente se aplican también en este caso. Las características de un flujo pueden ser significativamente diferentes dependiendo de que la capa límite sea laminar o turbulenta. Los métodos de análisis también son diferentes para un flujo laminar que para un flujo turbulento. Por lo tanto, al iniciar el análisis de un flujo dado es necesario determinar primero si se trata de un flujo laminar o de un flujo turbulento.

Flujo compresible e incompresible

Aquellos flujos donde las variaciones en densidad son insignificantes se denominan incompresibles; cuando las variaciones en densidad dentro de un flujo no se pueden despreciar, se llaman compresibles. Si se consideran los dos estados de la materia incluidos en la definición de fluido, líquido y gas, se podría caer en el error de generalizar diciendo que todos los flujos líquidos son flujos incompresibles y que todos los flujos de gases son flujos compresibles.

La primera parte de esta generalización es correcta para la mayor parte de los casos prácticos, es decir, casi todos los flujos líquidos son esencialmente incompresibles. Por otra parte, los flujos de gases se pueden también considerar como incompresibles si las velocidades son pequeñas respecto a la velocidad del sonido en el fluido; la razón de la velocidad del flujo, V , a la velocidad del sonido, c , en el medio fluido recibe el nombre de número de Mach, M_a , es decir,

$$M_a = V/c \dots\dots\dots 5.10$$

Los cambios en densidad son solamente del orden del 2% de valor medio, para valores de $M_a < 0,3$. Así, los gases que fluyen con $M < 0,3$ se pueden considerar como incompresibles; un valor de $M_a = 0,3$ en el aire bajo condiciones normales corresponde a una velocidad de aproximadamente 100 m/s.

Los flujos compresibles se presentan con frecuencia en las aplicaciones de ingeniería. Entre los ejemplos más comunes se pueden contar los sistemas de aire comprimido utilizados en la operación de herramienta de taller y de equipos dentales, las tuberías de alta presión para transportar gases, y los sistemas sensores y de control neumático o fluídico.

Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad o conservación de masa es una herramienta muy útil para el análisis de fluidos que fluyen a través de tubos o ductos con diámetro variable. En estos casos, la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del ducto a otra.

Si se considera un fluido con un flujo estable a través de un volumen fijo como un tanque con una entrada y una salida, la razón con la cual el fluido entra en el volumen debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del volumen para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa.

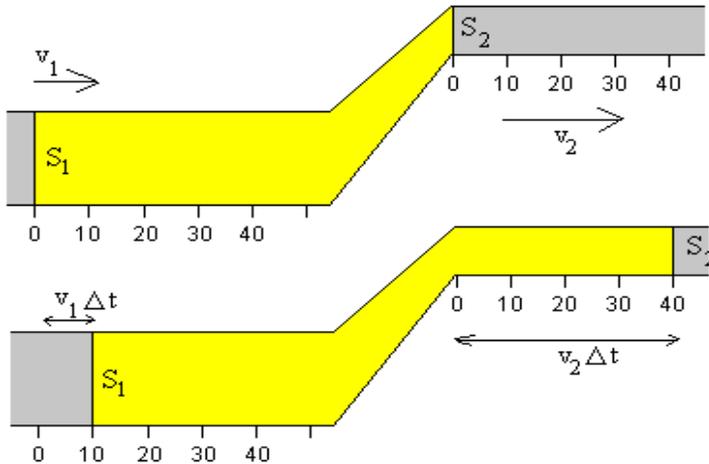


Figura 5.6. Flujo en tuberías de distinto diámetro

Debido a que el flujo es estacionario entra al dispositivo por un ducto con área transversal A_1 , y velocidad V_1 , y sale de este por un segundo ducto, con área transversal A_2 a una velocidad V_2 . Luego se cumple que

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots\dots 5.11$$

Caudal (Q) es VA, por lo tanto siguiendo los principios de la ley de conservación de carga se tiene

$$Q = AV \dots\dots\dots 5.12$$

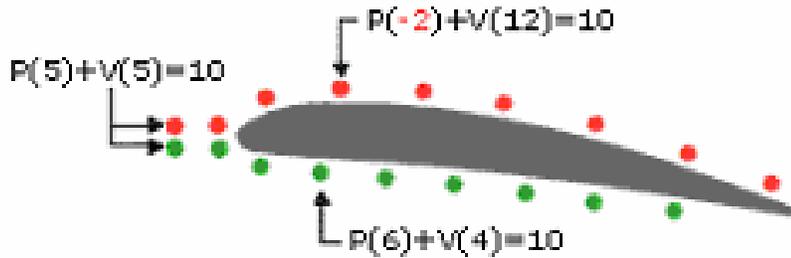
donde las unidades son l/s; cm³/min; m³/h, etc.

Esta relación se denomina ecuación de continuidad.

Teorema de Benoulli

Daniel Bernoulli fue un físico y matemático Suizo que hizo importantes descubrimientos en hidrodinámica. Daniel Bernoulli comprobó experimentalmente que "la presión interna de un fluido (líquido o gas) decrece en la medida que la velocidad del fluido se incrementa", o dicho de otra forma "en un fluido en movimiento, la suma de la presión y la velocidad en un punto cualquiera permanece constante", es decir que $P + v = k$.

Para que se mantenga esta constante k , si una partícula aumenta su velocidad v será a costa de disminuir su presión P , y a la inversa.



Teorema de Bernoulli.

El teorema de Bernoulli se suele expresar en la forma $P + 1/2 \rho v^2 = constante$, denominándose al factor P presión estática y al factor $1/2 \rho v^2$ presión dinámica.

$$P + 1/2 \rho v^2 = K ; \quad 1/2 \rho v^2 = P_d \dots\dots\dots 5.13$$

P = presión en un punto dado. ρ =densidad del fluido. **v**= velocidad en dicho punto.

P_d= presión dinámica.

Se puede considerar el teorema de Bernoulli como una derivación de la ley de conservación de la energía. El aire está dotado de presión **P**, y este aire con una densidad ρ fluyendo a una velocidad **v** contiene energía cinética lo mismo que cualquier otro objeto en movimiento ($1/2 \rho v^2$ =energía cinética). Según la ley de la conservación de la energía, la suma de ambas es una constante: **P + (1/2 ρv^2) = constante**. A la vista de esta ecuación, para una misma densidad (asumimos que las partículas de aire alrededor del avión tienen igual densidad) si aumenta la velocidad **v** disminuirá la presión **P** y viceversa.

Enfocando este teorema desde otro punto de vista, se puede afirmar que en un fluido en movimiento la suma de la presión estática **P_e** más la presión dinámica **P_d**, denominada presión total **P_t** es constante: **P_t=P_e+P_d=k**; de donde se infiere que si la presión dinámica (velocidad del fluido) se incrementa, la presión estática disminuye.

En resumen, que si las partículas de aire aumentan su velocidad será a costa de disminuir su presión y a la inversa, o lo que es lo mismo: para cualquier parcela de aire, alta velocidad implica, baja presión, y baja velocidad supone alta presión.

Esto ocurre a velocidades inferiores a la del sonido pues a partir de esta ocurren otros fenómenos que afectan de forma importante a esta relación.

Ley de Torricelli (velocidad de emisión)

Es una aplicación de Bernuilli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad.

A partir del teorema de Torricelli se puede calcular el caudal de salida e un liquido por un orificio. “la velocidad de un líquido en una vasija abierta, por un orificio, es la que tendría un cuerpo cualquiera, cayendo libremente en el vacío desde el nivel del líquido hasta el centro de gravedad del orificio”:

$$v = 2gh \dots\dots\dots 5.14$$

Ecuación general de la energía

Con respecto a su efecto sobre un sistema de flujo, los dispositivos mecánicos, se pueden clasificar de acuerdo con la característica de si este entrega energía al fluido o si el fluido entrega energía al dispositivo.

Una bomba es un ejemplo común de un dispositivo mecánico que añade energía a un fluido. Un motor eléctrico o algún otro dispositivo principal de potencia hace funcionar un eje de la bomba. Esta entonces toma su energía cinética y la entrega al fluido, lo cual trae como resultado un aumento en la presión de fluido y este empieza a fluir.

Fricción de fluido

Un fluido en movimiento ofrece una resistencia de fricción al flujo. Parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica (calor), el cual se disipa a través de las paredes del conducto en el que el fluido se desplaza. La magnitud de la pérdida energía depende de las propiedades del flujo, la velocidad de flujo, el tamaño del conducto, la rugosidad de la pared del conducto y la longitud del tubo.

Válvulas y conectores

Los elementos que controlan la dirección o la rapidez de flujo de un fluido en un sistema, típicamente establecen turbulencias locales en el fluido, coaccionando que la energía se disipe en forma de calor. Estas pérdidas de energía se presentan siempre que haya una restricción, un cambio de velocidad de flujo o un cambio de dirección. En un sistema grande, las pérdidas debidas a la presencia de válvulas y conectores son por lo general pequeñas en comparación con las pérdidas por fricción en los conductos. Por consiguiente, a tales pérdidas se conoce como pérdidas menores.

Nomenclatura de pérdidas y adiciones de energía

Explicaremos las pérdidas y las adiciones de energía en un sistema en términos de energía por unidad de peso o de fluido que fluye en el sistema. Como símbolo utilizaremos la letra h, cuando se hable de pérdidas y adiciones de energía.

h_A = energía añadidas o agregada al fluido mediante un dispositivos mecánico

h_R = energía removida o retirada del fluido mediante un dispositivo mecánico, como podría ser un motor de fluido.

h_L = pérdida de energía por parte del sistema, debida a la fricción en los conductos o pérdidas menores debidas a la presencia de válvulas y conectores.

La magnitud de las pérdidas de energía producidas por muchos tipos de válvulas y de conectores es directamente proporcional a la velocidad del fluido. Lo anterior puede expresarse de manera matemática como:

$$h_L = K(V^2/2g) \dots\dots\dots 5.15$$

Donde K es el coeficiente de resistencia, que por lo general se le encuentra experimentalmente. V es velocidad y g es gravedad.

La ecuación general de la energía

$$P_1/\gamma + Z_1 + \frac{1}{2}V_1^2 / (2g) + h_A - h_R - h_L = P_2/\gamma + Z_2 + \frac{1}{2}V_2^2 / (2g) \dots\dots\dots 5.16$$

Es de suma importancia que la ecuación general de la energía este escrita en la dirección de flujo, es decir, desde el punto de referencia, en la parte izquierda de la ecuación al punto correspondiente en el lado derecho. Los signos algebraicos juegan un papel crítico, debido a que el lado izquierdo de la ecuación 21 establece que un elemento de fluido que tenga una cierta cantidad de energía por unidad de peso en la sección 1, puede tener una adición de energía (+ h_A), una remoción de energía (- h_R) o una pérdida de energía (- h_L), antes de que alcance la sección 2. En tal punto contiene diferente energía por unidad de peso según lo indican los términos de la parte derecha de la ecuación.

En un problema particular, es posible que no todos los términos de la ecuación general de la energía se requieran. Por ejemplo si no hay un dispositivo mecánico entre las secciones de interés, los términos h_A y h_R serán cero, y puede sacarse de la ecuación.

Potencia requeridas por bombas

La potencias se define como la rapidez con que se realiza un trabajo. En mecánica de fluidos podemos modificar este enunciado y considerar que potencia es la rapidez con que la energía está siendo transferida. La unidad de potencia en el SI es el watt (W), que es equivalente a 1 Nm/s.

Con el fin de calcular la potencia transferida, debemos determinar cuantos newtons de aceite están fluyendo a determinado intervalo de tiempo dado por la bomba. A esto se le conoce como rapidez de flujo de peso, W , se expresa en unidades de N/s. La potencia se calcula multiplicando la energía transferida por newton de fluido por la rapidez de flujo de peso. Es decir $PA = hA W$, donde $W = \rho Q$, por lo tanto la potencia agregada (PA) a un fluido por una bomba es:

$$PA = hA \rho Q \dots\dots\dots 5.17$$

Eficiencia mecánica de las bombas

El término eficiencia se utiliza para denotar el cociente de la potencia transmitida por la bomba de fluido entre la potencia suministrada a la bomba.

Debido a las pérdidas de energía ocasionadas por la fricción mecánica en los componente de la bomba, la fricción del fluido de la misma y la excesiva turbulencia del fluido que se forma en ella, no toda la potencia suministrada a la bomba es transmitida al fluido, entonces, utilizando el símbolo e_M para representa la eficiencia, tenemos:

$$e_M = \text{Potencia agregada}(PA) / \text{Potencia puesta en la bomba } (P_1) \dots\dots\dots 5.18$$

Las eficiencias de las bombas no solo depende del diseño sino que también de las condiciones en la cuales está funcionando.

Potencia suministrada a motores de fluido

La energía transmitida por el fluido a un dispositivo mecánico, como a un motor de fluido a una turbina, esta representada en la ecuación general de la energía por el término hR , que es una medida de la energía transmitida por cada unidad de peso de fluido al tiempo que pasa por el dispositivo. Encontramos la potencia transmitida multiplicando hR por la rapidez de flujo peso, W . Por lo que la potencia removida de un fluido por un motor es:

$$PR = hR \rho Q \dots\dots\dots 5.19$$

Eficiencia mecánica de los motores de fluido

Des mismo modo en que lo describimos para las bombas, las pérdidas de un motor de fluido se producen por fricción mecánica y de fluido. Por consiguiente, no toda la potencia transmitida al motor es convertida a potencia de salida del dispositivo. La eficiencia mecánica se define como:

$$e_{Ms} = P_R / P_1 \dots\dots\dots 5.20$$

Aquí, de nuevo, el valor de e_{Ms} es siempre menor a 1,0.

Potencia en un sistema hidráulico

En un sistema hidráulico la velocidad queda indicada por el caudal, en litros por minuto, y la fuerza, por la presión. De esta forma podemos expresar la potencia hidráulica como sigue:

$$Potencia = \frac{fuerza * distancia}{tiempo} = \frac{presión * superficie * distancia}{tiempo} = \frac{presión * volumen}{tiempo} = presión * caudal \dots\dots\dots 5.21$$

Para expresar esta relación en unidades, hacemos lo siguiente:

$$Presión [kPa / cm^2] * caudal [l / m] \dots\dots\dots 5.22$$

Así:

$$potenciahidráulica [CV] = \frac{Presión [kgf / cm^2] X caudal [l / min]}{450} \dots\dots\dots 5.23$$

Esta fórmula corresponde a la potencia hidráulica a la salida de la bomba. La potencia requerida para accionarla ser algo mayor puesto que el rendimiento del sistema no es del 100 %

Si suponemos un rendimiento medio del 80%, la potencia mecánica para el accionamiento de la bomba será:

$$potenciahidráulica [CV] = \frac{Presión [kgf / cm^2] X caudal [l / min]}{360} \dots\dots\dots 5.24$$

Potencia y par

De forma equivalente podríamos deducir que:

$$\text{Potenciahidráulica} = \frac{\text{RPM} \times \text{par (m / Kgf)}}{717} \dots\dots\dots 5.25$$

Diseño de un sistema hidráulico sencillo

A partir de la información dada es posible diseñar un circuito hidráulico sencillo. Se indica a continuación la forma en que se debe proceder para hacerlo:

Para diseñar un circuito, la primera consideración es sobre el trabajo que se debe realizar. Este trabajo puede ser levantar un peso, girar una herramienta o bloquear algún elemento. El trabajo determina el tipo de actuador que hay que utilizar.

Probablemente el primer paso será la selección del actuador.

Si los requerimientos fuesen simplemente de levantar una carga, un cilindro hidráulico colocado bajo ella haría el trabajo. La longitud de carrera del cilindro sería, por lo menos, igual a la distancia de desplazamiento de la carga. Su superficie se determinaría mediante la fuerza requerida para elevar la carga y la presión de funcionamiento deseada. Supongamos que un peso de 4000 Kgf ha de elevarse a una altura de 1 metro y que la presión máxima de funcionamiento debe limitarse a 50 Kgf/cm². El cilindro seleccionado tendría una longitud de carrera de, por lo menos, 1 metro, y con una superficie de pistón de 80 cm² proporcionaría una fuerza máxima de 4000 Kgf. Esto, sin embargo, no prevé ningún margen de error. Una mejor selección sería un cilindro de 100 cm² que permitiría levantar la carga a 50 Kp/cm² proporcionando una capacidad de elevación de hasta 5000 Kgf.

El desplazamiento hacia arriba y hacia abajo del cilindro sería controlado mediante una válvula direccional. Si la carga debe detenerse en puntos intermedios de su trayecto, la válvula direccional deber tener una posición neutral en la cual el caudal de aceite del lado inferior del pistón quede bloqueado, para soportar el peso sobre el cilindro. La velocidad a la cual debe desplazarse la carga determina el tamaño de la bomba. El pistón de 100 cm² desplaza 100 cm³ por cada cm que se levanta. El mover el cilindro 10 cm requerirá 1000 cm³ de aceite. Si hay que moverlo a razón de 10 cm por segundo, requerirá 1000 cm³ de aceite por segundo o 60 l / min. Como las bombas generalmente se dimensionan en galones por minuto, será necesario dividir 60/3,785 para obtener el valor en galones por minuto; 60/3,785 = 16 gpm.

La potencia necesaria para accionar la bomba depende de su caudal y de la presión a la cual funciona. La fórmula siguiente determina el tamaño del motor eléctrico requerido, suponiendo un rendimiento medio del 80 %

$$Potencia(CV) = \frac{60 \times 50}{450 \times 0,8} = 8,3CV \dots\dots\dots 5.26$$

Para impedir la sobrecarga del motor eléctrico y para proteger .la bomba y otros componentes contra una presión excesiva, debida a sobrecargas o bloqueo, se monta una válvula de seguridad para limitar la presión máxima del sistema, en la línea, entre la salida de la bomba y la entrada de la válvula direccional. Un depósito dimensionado para contener aproximadamente de 2 a 3 veces la capacidad de la bomba en galones por minuto y tuberías de interconexión adecuadas completarán el sistema.

Como se mide el caudal

Existen dos maneras de medir el caudal de un líquido:

Velocidad.- Es la velocidad media de las partículas del liquido en un punto determinado a la distancia media que las partículas recorren por unidad de tiempo. Se mide en metros por segundo o en metros por minuto.

Caudal.-Es la cantidad de liquido que pasa por un punto, por unidad de tiempo. Los caudales grandes se miden en litros por minuto. Los caudales pequeños pueden expresarse en cm³/minuto.

Caudal y velocidad

La velocidad de un actuador hidráulico, depende siempre del tamaño del actuador y del caudal que actúa sobre él.

Como el volumen de un actuador se expresa generalmente en litros, hay que tener en cuenta que:

$$1 \text{ l / min} = 1 \text{ dm}^3 / \text{min} = 1000 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

El reacondicionamiento de fluidos es una excelente opción para disminuir costos por desecho de los aceites hidráulicos con contaminación. Cuando un aceite hidráulico no puede seguir siendo utilizado en el sistema hidráulico debido a sus niveles de contaminación por sólidos o agua, pero su oxidación es mínima, o sea que el aceite se ha degradado en forma tal que todavía tiene un buen porcentaje de vida útil, este aceite se puede reacondicionar para volver a ser utilizado por algún tiempo más.

El reacondicionamiento de fluidos es en forma simple un sistema de filtración adicional al que pueda estar integrado en el sistema.

Los fluidos pueden ser reacondicionados de dos maneras, dependiendo del equipo y niveles de contaminación:

a) Reacondicionamiento con salida y retorno inmediato al sistema

b) Reacondicionamiento fuera del sistema

El reacondicionamiento con salida y retorno inmediato al sistema, se hace generalmente con un equipo de reacondicionamiento y filtración portátil que se conecta a través de un puerto al depósito o una línea del sistema a través de un By-pass, haciendo circular el fluido a través del sistema de filtración para ser reincorporado al sistema original nuevamente.

El reacondicionamiento fuera del sistema generalmente es utilizado en sistemas que presentan niveles importantes de contaminación por agua o sólidos y en los que se requiere tratar mas detenidamente el aceite.

Estos sistemas pueden estar diseñados de acuerdo a la contaminación que se presenta generalmente en el aceite, pudiendo ser:

- Celdas decantadoras para precipitación de sólidos
- Compartimientos para separación del agua por demulsión
- Bombas centrífugas para separación de agua
- Cedazos o coladeras para separación de sólidos mayores
- Filtración en uno o varios niveles de tamaños y eficiencias.

Estas contaminaciones o degradaciones del fluido, suelen causar problemas en el sistema si éste no está bien protegido por filtros o se utilizan aceites de baja calidad.

La incorporación de filtros adecuados, su limpieza y reposición regular y oportuna forman una parte esencial del mantenimiento preventivo y son determinantes en la vida del equipo.

Causas de las Fugas

- Mal diseño del equipo
- Inadecuada instalación o reemplazo de los componentes
- Contaminación del Fluido
- Vibración
- Picos de Alta Presión

Almacenamiento y Manejo

- .Almacenar bajo techo, en lugar seco
- .Antes de abrir un tambor, limpie la tapa perfectamente
- .Utilice únicamente contenedores, mangueras, etc.
- . Transferir el fluido
- .Use un filtro de malla 200 en el llenado

Precauciones.

- Las fugas de aceite a presión pueden penetrar la piel, causando serias lesiones.
- No trate de revisar fugas con la mano, utilice un cartón, o madera.
- Establecer programas regulares de muestreo y análisis
- Mantener el tanque lleno, para evitar la condensación, salpique y conservar la disipación de calor
- Reparar las fugas de inmediato.

¿Cual sería el precio que tenemos que pagar por una fuga?

Fugas = dinero

1 gota 1 min.	280 lts / año.
1 gota / Seg.	1,680 lts / 1 año
Goteo continuo	16,000 lts. / 1 año
Chorro 1 / 16"	120,000 lts./ año

Origen de las Fugas

- Cuerdas de las tuberías o de las juntas
- Uniones de los Tubos
- Mangueras
- Sellos

Contaminación

Además se debe de considerar que los sistemas "respiran", y que por algún sitio donde se fugue el aceite, en algún momento durante la operación o con el equipo parado, entrará aire y por lo tanto los contaminantes que se encuentran en suspensión en el aire.

El aceite durante su servicio también se puede llegar a contaminar por materias extrañas en suspensión, tales como polvo, humedad, suciedad, herrumbre y las mismas partículas de desgaste de los equipos del sistema, y productos solubles e insolubles resultantes de la propia oxidación del aceite.

CAPITULO 6

FLUIDOS PARA CORTE DE METALES.

Descripción y tipos de maquinado

El maquinado es un proceso de manufactura en el cual se usa una herramienta de corte para remover el exceso de material de una parte de trabajo, de tal manera que el remanente sea la forma deseada. La acción predominante involucra la deformación en cortante del material de trabajo, lo que produce la viruta, la cual al ser removida queda expuesta la nueva superficie. Así como se muestra en la figura 6.1 siguiente:

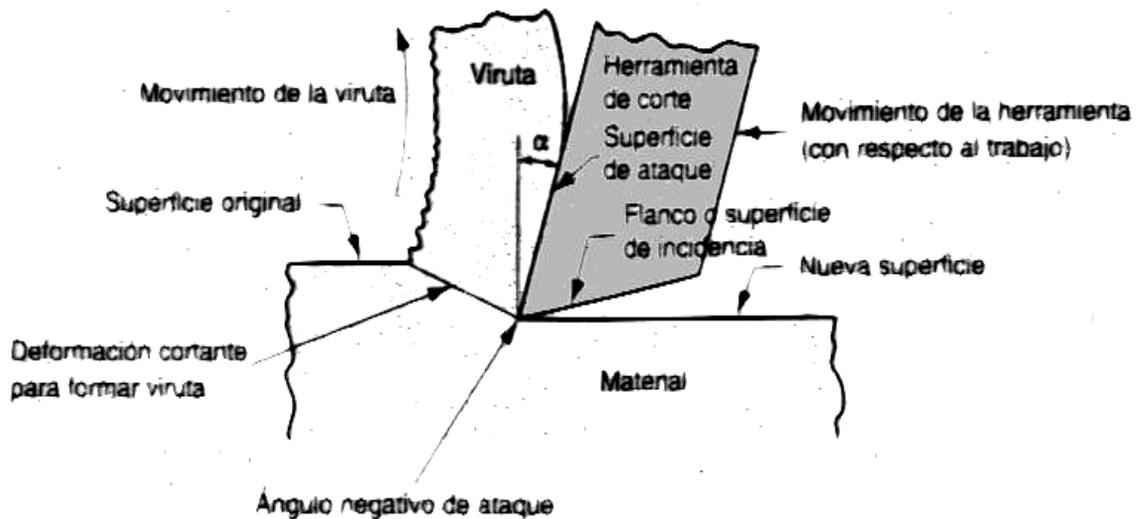


Fig. 6.1 Deformación en cortante del material de trabajo

El maquinado no es solamente un proceso, sino una familia de procesos. La característica común es el uso de la herramienta de corte que forma una viruta, la cual se remueve de la parte del trabajo. Para realizar la operación, se requiere del movimiento relativo, que se logra en la mayoría de los casos por medio de un movimiento primario, llamado VELOCIDAD y un movimiento secundario, denominado el AVANCE.

Hay muchas operaciones de maquinado, cada una de las cuales es capaz de generar una cierta geometría y textura superficial. Los tres tipos más comunes de maquinado son los siguientes Figuras 6.2, 6.3 y 6.4:



 Fig. 6.2 **TORNEADO**



 Fig. 6.3 **FRESADO**



 Fig. 6.4 **TALADRADO**

Para realizar una operación de maquinado es necesario que se de un movimiento relativo de la herramienta y la pieza de trabajo. El movimiento primario se realiza a una cierta VELOCIDAD DE CORTE; además, la herramienta debe moverse lateralmente a través del trabajo. Este es un movimiento mucho mas lento, llamado AVANCE, la dimensión restante del corte es la penetración de la herramienta de corte dentro de la superficie original de trabajo, llamada PROFUNDIDAD DE CORTE. Al conjunto de velocidad, avance y profundidad de corte son llamadas: condiciones de corte.

Para herramientas de punta simple, podemos obtener la velocidad de remoción del material con la siguiente fórmula:

$$Q = v_L f_R d \dots\dots\dots 6.1$$

Donde Q = velocidad de remoción de material (mm³/seg); v_L = velocidad de corte (mm/seg); f_R = avance (mm) y d = profundidad de corte (mm).

Las unidades pueden cambiar dependiendo del tipo de operación, por ejemplo en el proceso de TALADRO , la profundidad viene dada por la profundidad del agujero, además la profundidad va medida en la misma dirección que el avance, al igual que el proceso de TRONZADO Fig. 6.5

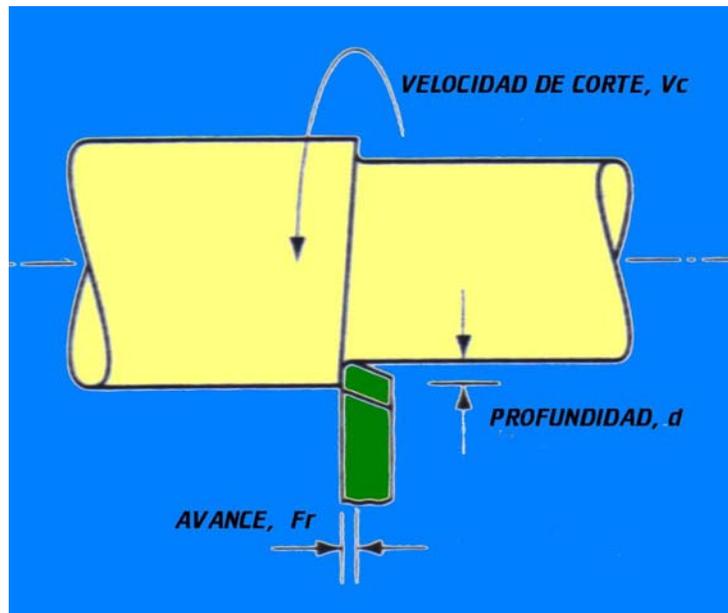


Fig. 6.5 Proceso de Tronzado

Teoría de la formación de viruta en el maquinado

Para poder explicar el proceso de la formación de la viruta en el maquinado de metales, se hace uso del modelo de CORTE ORTOGONAL. Aunque el proceso de maquinado es tridimensional, este modelo solo considera dos dimensiones para su análisis.

El modelo de corte ortogonal asume que la herramienta de corte tiene forma de cuña, y el borde cortante es perpendicular a la velocidad de corte, cuando esta herramienta se presiona contra la pieza de trabajo se forma por deformación cortante la viruta a lo largo del plano de corte (ver figura) y es así como se desprende la viruta de la pieza. La herramienta para corte ortogonal tiene dos elementos geométricos, el ángulo de ataque (α) y el ángulo del claro o de incidencia que es el que provee un claro entre la herramienta y la superficie recién generada.

La distancia a la que la herramienta se coloca por debajo de la superficie original de trabajo es t_0 . Y luego que la viruta sale con un espesor mayor t_c ; y la relación de t_0 a t_c se llama: relación del grueso de la viruta. $r = t_0 / t_c$.

La geometría del modelo de corte nos permite establecer una relación importante entre el espesor de la viruta, el ángulo de ataque y el ángulo del plano de corte, siendo L_s la longitud del plano de corte. así:

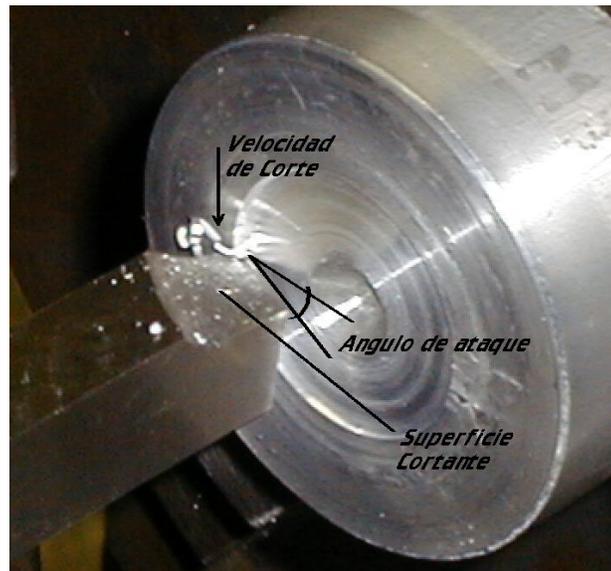


Fig 6.6 Corte Ortogonal

$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \dots\dots\dots 6.2$$

En el caso del torneado (a excepción del tronzado) la herramienta se encuentra en un plano perpendicular a la superficie que se esta cortando, así como se ilustra en la figura 6.4, se puede observar también el sentido de la velocidad de corte, el cual es el mismo que el de la fuerza de corte. El ángulo de ataque esta medido sobre el plano de la superficie que se esta cortando, es este ángulo el que determina la salida de la viruta.

En el torneado (refrentado y cilindrado) t_o viene dado por el avance, mientras que el ancho w , es la profundidad de corte. En el caso del tronzado, se cumple los mismos valores que los asumidos por la teoría de formación de viruta.

Relaciones entre potencia y energía en el maquinado

En una operación de producción de maquinado se requiere potencia. Las fuerzas de corte que se encuentran en la practica de esta operación pueden ser de varios cientos de libras. El producto de la fuerza cortante y la velocidad dan la potencia requerida para ejecutar la operación de maquinado:

$$P = F_c \times v \dots\dots\dots 6.3$$

Donde P = potencia de corte, pie-lb/min (W); F_c = Fuerza de corte, lb (N); y v = velocidad de corte pie/min (m/s). La potencia bruta requerida por la máquina es mas grande que la potencia usada en el proceso de corte, ya que se dan perdidas mecánicas en el motor y transmisión de la máquina. La potencia en unidades inglesas viene dada en hp:

$$hp = \frac{F_c \times v}{33000} \dots\dots\dots 6.4$$

La potencia se puede convertir a potencia unitaria, mediante la siguiente fórmula:

$$hp_u = \frac{hp_c}{MRR} \dots\dots\dots 6.5$$

Donde MRR es la velocidad de remoción de material, pulg³/min. La velocidad de remoción se puede calcular como v toW.

Fluido de Corte-Refrigerantes

Los fluidos de corte se utilizan en la mayoría de las operaciones de mecanizado por arranque de viruta, Para mejorar las condiciones durante el proceso de maquinado-mecanizado. Estos fluidos se aplican sobre la zona de formación de la viruta, para lo que se utilizan aceites, emulsiones y soluciones. La mayoría de ellos se encuentran formulados en base a un aceite de base mineral, vegetal o sintético, siendo el primero el más utilizado, pudiendo llevar varios aditivos que mejoren su eficacia: antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, biocidas, solubilizadores, inhibidores de corrosión, etc.

Las propiedades esenciales que los líquidos de corte deben poseer son los siguientes:

1. Poder refrigerante. Para ser bueno el líquido debe poseer una baja viscosidad, la capacidad de bañar bien el metal (para obtener el máximo contacto térmico); un alto calor específico y una elevada conductibilidad térmica.
2. Poder lubricante. Tiene la función de reducir el coeficiente de rozamiento en una medida tal que permita el fácil deslizamiento de la viruta sobre la cara anterior de la herramienta.

Objetivos de los Fluidos de Corte

1. Ayudar a la disipación del calor generado durante la creación de la viruta.
2. Lubricar los elementos que intervienen, en el corte para evitar la rotura o desafilado de la herramienta.
3. Reducir la energía necesaria para efectuar el corte.
4. Proteger a la pieza, herramienta y máquina contra la oxidación y corrosión.
5. Arrastrar las partículas del material, virutas, de la zona de corte.
6. Mejorar el acabado superficial.

Tipos de Líquidos de Corte

Los principales tipos de fluidos de corte para mecanizado son:

1. - Los aceite íntegros(Aceites minerales, vegetales, o mixtos)
2. - Las emulsiones oleosas.
3. - Las "soluciones" semi-sintéticas.
4. - Las soluciones sintéticas.

Aceites Emulsionables

Se obtienen mezclando el aceite mineral con agua, en las siguientes proporciones:

- a) De 3 a 8% para emulsiones diluidas. Tienen un escaso poder lubricante; se emplean para trabajos ligeros.
- b) De 8 a 15/0 para emulsione medias. Poseen un discreto poder lubricante; se emplean para el mecanizado de metales de mediana dureza, con velocidades medianamente elevadas.
- c) De 15 a 30% para emulsiones densas. Presentan un buen poder lubricante; son adecuados para trabajar los metales duros de la elevada tenacidad. Protegen eficazmente contra las oxidaciones las superficies de las piezas maquinadas.

Elección de Fluido de Corte

Esta elección debe basarse en criterios que dependen de los factores:

1. Del material de la pieza en fabricar. Para las aleaciones ligeras se utiliza petróleo; para la fundición, en seco. Para el latón, bronce y cobre, el trabajo se realiza en seco o con cualquier tipo de aceite que este exento de azufre; para el níquel y sus aleaciones se emplean las emulsiones. Para los aceros al carbono se emplea cualquier aceite; para los aceros inoxidable auténticos emplean los lubricadores al bisulfuro de molibdeno.
2. Del material que constituye la herramienta. Para los aceros al carbono dado que interesa esencialmente el enfriamiento, se emplean las emulsiones; para los aceros rápidos se orienta la elección de acuerdo con el material a trabajar. Para las aleaciones duras, se trabaja en seco o se emplean las emulsiones.

3. Según el método de trabajo. Para los tornos automáticos se usan los aceites puros exentos de sustancias nocivas, dado que el operario se impregna las manos durante la puesta a punto de la máquina; para las operaciones de rectificado se emplean las emulsiones. Para el taladrado se utilizan los 'afeites puros de baja viscosidad; para el fresado se emplean las emulsiones y para el brochado los aceites para altas presiones de corte o emulsiones

Todas las mezclas lubricantes de Albatros son cristalinas, con poco olor y mínima toxicidad. Están diseñadas para el uso en aplicaciones donde el lubricante puede entrar en contacto con la tela.

Lubricante de silicona para hilos Quick-Stitch

Quick-Stitch reduce el traqueteo y el calentamiento al eliminar la fricción y la electricidad estática. Evita el deshilachado y reduce la rotura de las fibras. Quick-Stitch tiene una fórmula con base de solvente lubricante inodoro que se puede aplicar sumergiendo las bobinas directamente en el lubricante o mediante una caja lubricadora de hilos. Los hilos se mantienen húmedos durante la manipulación y luego el lubricante se evapora sin dejar residuo alguno.

Aceite totalmente incoloro Cristal Clear para máquinas de coser

Crystal Clear es un aceite mineral altamente refinado y de fracción estrecha. Su color cristalino reduce al mínimo el manchado. Es ideal para la lubricación de máquinas de coser, maquinarias textiles y máquinas de tejer. Se utiliza comúnmente para lubricar piezas de máquinas de coser, anillos de torcederos, máquinas para tejer medias de nylon circulares, y máquinas de tejer de doble punto.

Rocío de silicona Glide E Z

Glide E-Z es un rocío de silicona muy concentrado y de secado rápido. Este lubricante de uso múltiple ha sido especialmente formulado para las industrias textiles y del vestido. Glide E-Z no mancha las telas ni las superficies expuestas. Glide E-Z reduce la fricción en las mesas de cortado, marcado y examinación. Evita la acumulación de electricidad estática, y aumenta el deslizamiento del acero y la eficiencia.

Lubricantes–Glide-Lube para rieles y masas

Glide Lube es una micro-emulsión hidrosoluble de dos ceras y un lubricante de silicona. Brinda una cobertura cerosa de larga duración que reduce la fricción y el arrastre en las mesas de corte, los rieles de velocidad y almacenamiento y en todas las superficies duras. Glide Lube limpia, recubre, lubrica y protege con una sola aplicación. Viene en envases con rociador a gatillo para facilitar la aplicación, y en recipientes de un galón para mayor economía.

Aceites y lubricantes para aplicaciones especiales

Albatros ofrece otros aceites y lubricantes para todos los tipos de aplicaciones especiales. Entre ellos se incluyen: aceite de alta temperatura para máquinas de coser, aceite de limón, aceite Merrow, aceite para máquinas cortadoras y fluidos de silicona. Albatros también puede mezclar aceites y lubricantes para cubrir los requerimientos específicos de sus clientes, en la siguiente tabla 6.1 se muestran algunos ejemplos de productos y sus presentaciones.

Artículo No.	Producto	Tamaño de Arriesgado Contenedor para embarque	
3009	Quick-Stitch	1-Galón	No
3010	Quick-Stitch	5-Galones	No
3012	Quick-Stitch	55-Galones	No
<hr/>			
3020	Aceite Crystal Clear	1-Galón	No
3021	Aceite Crystal Clear	5-Galones	No
3023	Aceite Crystal Clear	55-Galones	No
<hr/>			
3003	Silicona Glide E-Z	16 oz.	Si - Aerosoles
<hr/>			
3024	Glide Lube	16 oz.	No
3025	Glide Lube	1-Galón	No

Tabla 6.1 Lubricantes Albatros

CAPITULO 7

FLUIDOS PARA TRANSMISIONES AUTOMATICAS

- Introducción

¿Por qué los automóviles necesitan una caja de cambio de velocidades?

La potencia y el par desarrollados por los motores térmicos varían en función del régimen de giro. Normalmente el mayor par motor se obtiene a un régimen inferior al de la mayor potencia. La potencia de un motor varía fundamentalmente con el régimen (figura 7.1).

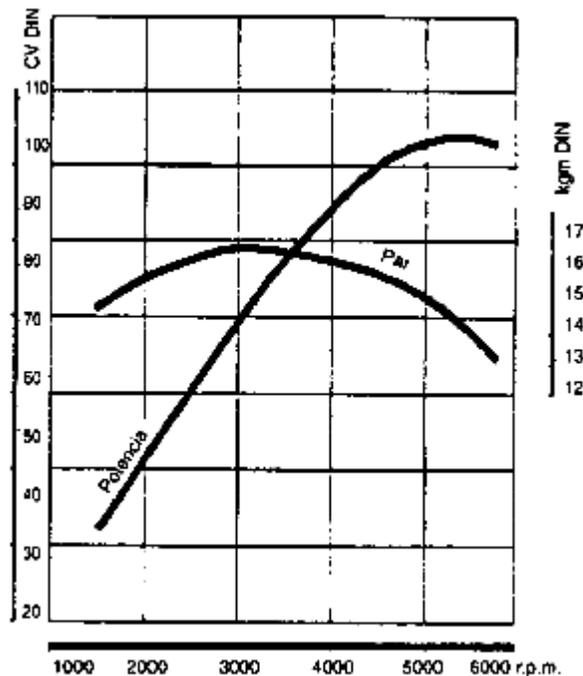


Figura 7.1 Curvas características de potencia y par motor

En la figura 7.1 se representan las curvas características de potencia y par motor en función del régimen de giro. Se observa que el par motor máximo se obtiene a 3000 rpm, mientras que la potencia máxima a 5400 rpm. Si el motor está trabajando el intervalo fijado por esas dos velocidades de giro y aumenta la resistencia a vencer en la marcha del vehículo (ejemplo: subir una cuesta), se provoca una disminución de la velocidad de régimen, pero también un aumento del par motor desarrollado.

Esto lleva a una nueva condición de equilibrio a un régimen más bajo, por lo que se dice que el funcionamiento del motor es estable en el intervalo 3000-5400 rpm.

La velocidad de 3000 rpm es el límite inferior de estabilidad de este motor. Si el motor está trabajando a un régimen inferior y aumenta la resistencia a vencer en la marcha del vehículo, el régimen del motor cae, esto hará disminuir el par y la potencia desarrollados. Por ello el motor se irá decelerando poco a poco hasta calarse.

Resulta evidente que hay que conseguir que el motor trabaje en el intervalo de velocidades estable independientemente de la resistencia encontrada por el vehículo durante la marcha. La caja de velocidades es el medio para conseguir dicho funcionamiento: es un transformador de velocidad y par motor que altera par motor y velocidad de régimen, pero respetando el producto de ambas (la potencia se conserva si despreciamos las pérdidas).

$$P = T_1 \times \omega_1 = T_2 \times \omega_2 \quad \dots\dots 7.1$$

$$\omega_2 = \frac{T_1 \times \omega_1}{T_2} = \omega_1 \times \frac{R_1}{R_2} \quad \dots\dots 7.2$$

El par queda multiplicado por la relación de radios R2/R1 y la velocidad de giro por la inversa de dicha relación. Si la relación de radios fuese 3 el dibujo sería el de la derecha (figura 7.2).

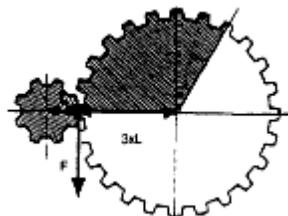


Fig. 7.2 Par Motor

Esta posibilidad se aprovecha para transformar el par proporcionado por el motor, que es prácticamente constante en el intervalo de funcionamiento estable, en otro par mayor capaz de vencer la resistencia que se oponga a la marcha del vehículo.

Para ello se montan entre el árbol motor y el eje de las ruedas, parejas de engranajes con distintas relaciones de transmisión, de manera que quedan acopladas las parejas de piñones más apropiadas a cada una de las condiciones de marcha del vehículo.

La relación más corta de una caja de velocidades ha de ser tal, que el par motor resulte multiplicado lo suficiente para que el vehículo:

1. Supere una pendiente determinada, de un 25% generalmente.
2. Sea capaz de arrancar en una rampa del 15% con una aceleración de 0.5 m/s^2 (figura 7.3).

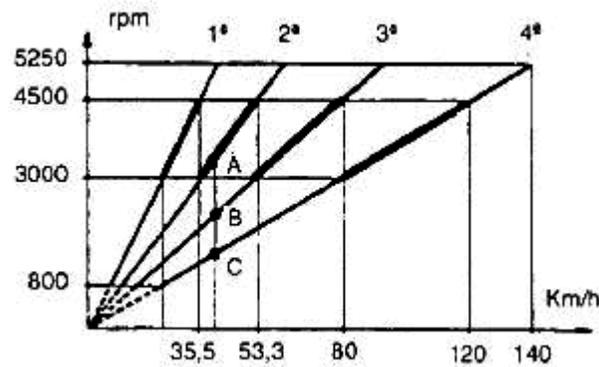


Figura 7.3 Relación entre Velocidad y par motor

Convertidores de par

Como se ha comentado en la introducción, los motores térmicos empleados en los automóviles tienen un rango de velocidades de giro en los que pueden funcionar. Por ello, para poder arrancar desde el reposo es necesario independizar el giro del eje motor del giro del eje que proporciona movimiento a las ruedas del vehículo. El elemento que hace esto posible es el Embrague.

En los coches con caja de cambios manual el embrague es mecánico y se acciona mediante un pedal que hace que los ejes del motor y tractor se desconecten. En los automóviles dotados de transmisión automática la operación de embrague es hidráulica.

Embrague hidráulico.

El embrague hidráulico basa su funcionamiento en la transformación de energía mecánica en energía hidráulica y viceversa. Se emplea por lo tanto un fluido para transmitir la potencia (figura 7.4).

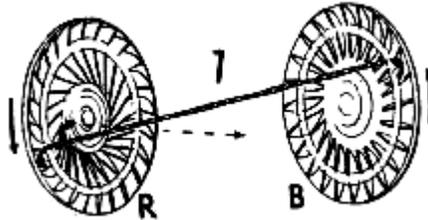


Fig. 7.4 Embrague Hidráulico

Estos embragues están formados por una bomba centrífuga o impulsor y una turbina. El motor hace girar a la bomba con lo que la energía mecánica de giro del eje motor se transforma en la bomba en energía hidráulica. El fluido impulsado en la bomba incide en los alabes de la turbina que va fijada al eje de la caja de cambios. En la turbina el fluido transmite su energía hidráulica al eje haciéndolo girar y convirtiéndose por tanto de nuevo en energía mecánica. El fluido una vez atravesada la turbina es redireccionando a la bomba completando el ciclo. El camino que recorre el fluido se denomina torbellino tórico.

Cuando el vehículo se encuentra en reposo el motor gira lentamente. La energía que el impulsor transmite a la turbina es insuficiente para vencer el par resistente opuesto por el peso del coche. La turbina permanece sin girar y hay un resbalamiento total entre bomba y turbina por lo que la eficiencia es nula. A medida que las revoluciones del motor van subiendo, la energía suministrada a la turbina aumenta progresivamente hasta que se consigue vencer el par resistente y comienza a girar. En este proceso la eficiencia va subiendo puesto que el resbalamiento es cada vez menor. Siempre existe un resbalamiento entre el impulsor y la turbina, que cuando el motor gira muy rápido es aproximadamente del 2%.

Sea cual sea el resbalamiento el par motor se transmite íntegro a la transmisión. Así aunque se acelere el motor muy rápido el coche se mueve progresivamente ya que gracias al resbalamiento no hay resistencia y el motor alcanza una velocidad suficientemente elevada, transmitiendo el par máximo.

De forma análoga, al subir una pendiente pronunciada aumenta el par resistente bajando así la velocidad del automóvil. A pesar de todo, un aumento del resbalamiento hace posible que se transmita el par máximo pudiendo subir la cuesta en directa, aunque sea a costa de una eficiencia menor.

Este tipo de embragues no pueden ser empleados en transmisión manual puesto que, por poco que sea, siempre se está transmitiendo un par de un eje al otro y eso hace imposible la maniobra de cambio de marcha. Además, presentan la ventaja de que no hay desgaste y el inconveniente de que, debido al resbalamiento entre impulsor y turbina, se produce un calentamiento y eso reduce el rendimiento.

Convertidor de par

El convertidor de par es un embrague hidráulico con las siguientes variaciones:

Se intercala un reactor (ó estator), ver "S" en la figura 7.5, entre la bomba y la turbina. El reactor está montado sobre el cárter de la caja de cambios a través de una rueda libre.

Los alabes de turbina y bomba ya no son planos, sino que tienen unos ángulos de entrada y de salida.

El reactor recoge el aceite a la salida de la turbina y le da una orientación adecuada para que incida convenientemente en los alabes de la bomba. De esta forma se reutiliza una energía no transmitida a la turbina requiriendo así la bomba menor par del motor.

La suma del par cedido por el motor a la bomba y el transmitido por el reactor a la misma es el par que se transmite a la turbina. Por lo tanto la principal ventaja del convertidor frente al embrague es que cuando hay resbalamiento el par saliente es aumentado con relación al de entrada gracias a que el reactor reorienta el fluido a una dirección más favorable. Así en el arranque la relación entre el par saliente y el entrante es aproximadamente 3:1. Esto permite iniciar la marcha incluso con una relación de cambio alta, suavemente y sin tirones.

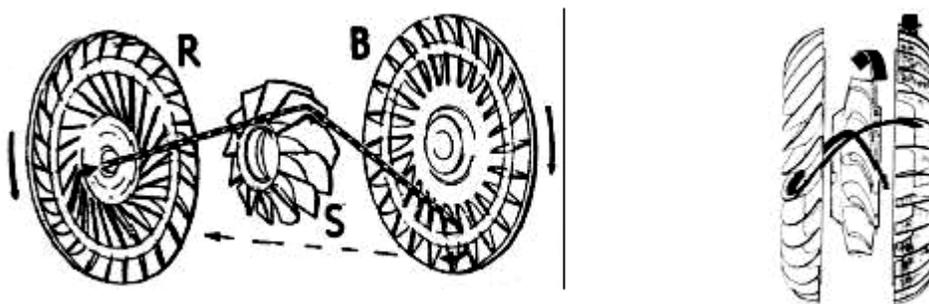


Fig.7.5 Convertidor de Par

Si no existe resbalamiento el reactor no tiene utilidad, por lo que la conversión de par es la unidad. Este punto de servicio se denomina punto de embrague. Por encima de este punto el convertidor funciona como el embrague alcanzando un rendimiento máximo del 98%.

Cuando existe resbalamiento entre el impulsor y la turbina, el fluido que sale de la turbina, incide sobre el reactor con un sentido de giro contrario al que llevan la bomba y la turbina. La rueda libre impide el giro del reactor en este sentido, de modo que, apoyándose en el cárter, el reactor redirecciona el fluido hacia la bomba.

No obstante, si no se produce el fenómeno del resbalamiento, el fluido a la salida de la turbina lleva el mismo sentido de giro que la bomba y la turbina. Por ello la rueda libre permite el giro del reactor, por lo que éste no realiza ninguna función. En algunos diseños de convertidores de par existe un mecanismo de embrague con enclavamiento que permite la unión (embragado) de la bomba y la turbina para velocidades altas. De esta forma se mejora la eficiencia ya que se evitan las pérdidas hidráulicas como se ve en la figura 7.6:

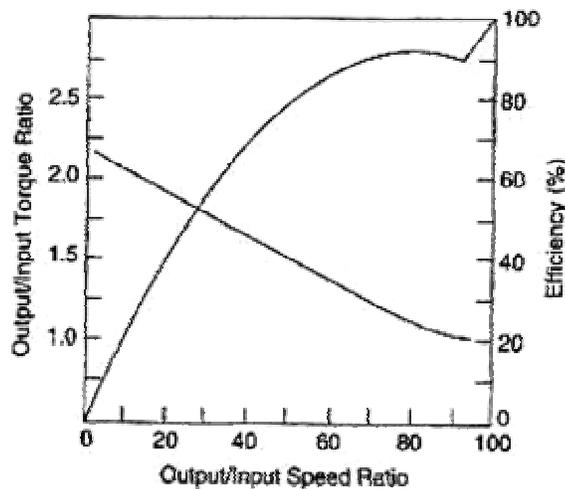


Fig. 7.6 Eficiencia entre Par motor y Velocidad

La palanca de mando

Una transmisión automática es aquella que libera al conductor de la tarea de actuar sobre la palanca de cambios para seleccionar la marcha que le proporcione las prestaciones de par y velocidad que va a necesitar en un momento dado. Estas transmisiones suponen la desaparición del pedal del embrague, pero no de la palanca de cambio, si bien ésta tendrá otro tipo de función. Las posiciones que puede ocupar la palanca son:

- P (aparcamiento y posición de arranque): En esta posición, la rueda de aparcamiento (ver apartado 5.4) se encarga de enclavar el eje de salida del movimiento. Es equivalente al freno de mano de las transmisiones manuales: sólo se emplea con el vehículo totalmente parado, para evitar que se desplace, y permite accionar el motor de arranque.
- R (marcha atrás): En cuanto se accione el acelerador el coche empezará a desplazarse hacia atrás, por lo que esta posición está bloqueada para velocidades superiores a los 10 km/h hacia adelante.
- N (punto muerto y posición de arranque): El posible movimiento del motor no se transmite a las ruedas.
- D (directa): En cuanto se selecciona esta posición la caja de velocidades queda en posición de primera velocidad. Al accionar el acelerador y comenzar la marcha es la propia caja la que gestiona los cambios necesarios en la relación de marchas. Puede ser seleccionada tanto a vehículo parado como en marcha.
- 2 ó S (segunda impuesta): En esta posición el cambio es también automático, pero nunca se pasa de segunda, por lo que resulta útil en circulación por montaña. Puede seleccionarse tanto en marcha (si se circula en posición D y con la tercera engranada el cambio a la posición 2 sólo será posible por debajo de cierta velocidad del motor) como en parado (se engrana la primera velocidad).
- 1 ó L (primera impuesta): En esta posición sólo está disponible la primera velocidad, y no está disponible a velocidades superiores a los 50 km/h.

Las posiciones P, R y 1 requieren el desbloqueo de un seguro que evita que sean seleccionadas durante la marcha accidentalmente.

Cuando la palanca de mando está en alguna de las posiciones automáticas, los cambios de velocidad se producen con arreglo a tres factores: la velocidad del vehículo, la posición de la palanca selectora y la sollicitación del acelerador (régimen del motor). De este modo, el conductor puede obtener del cambio una conducción flexible y económica, o bien deportiva, según cómo solicite el pedal del acelerador.

Al pisar a fondo el acelerador se consigue mayor rendimiento de cada velocidad, mientras que si se acelera parcialmente, el cambio de relación se produce a un régimen del motor bastante más bajo. También existe un dispositivo automático que funciona al pisar bruscamente a fondo el acelerador y que cambia a una velocidad más corta si no supone un incremento inadmisibles de las revoluciones del motor (figura 7.7).

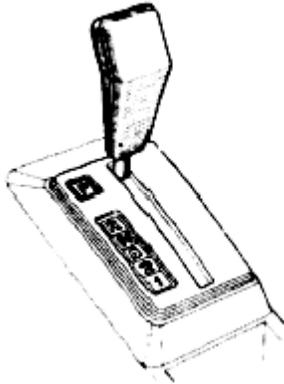


Fig. 7.7 Palanca de Mando

Trenes epicicloidales

En las cajas manuales el cambio de marcha implica la desconexión de una combinación de ruedas dentadas para realizar la transmisión a través de otro juego de engranajes más o menos reductor. Todos los engranajes de que dispone la caja, incluso los que no están participando en la transmisión, están girando y por eso son necesarios los sincronizadores en el momento de cambiar a una nueva marcha. La filosofía del cambio en cajas automáticas es opuesta: todas las ruedas están engranadas, pero no siempre giran. Esto es posible gracias a trenes epicicloidales como el de la siguiente figura 7.8:

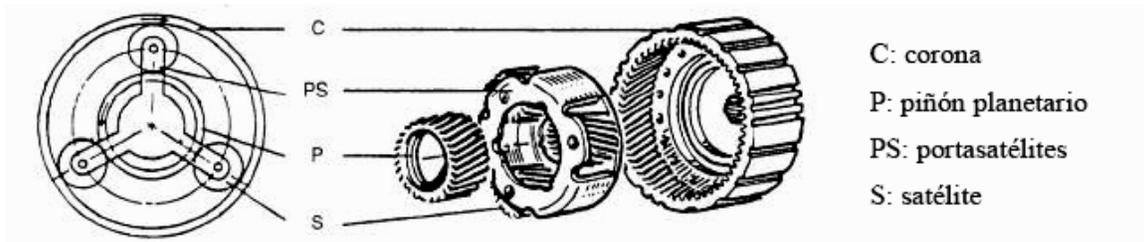


Fig.7.8 Trenes epicicloidales

1 En esta columna se muestra la relación de las velocidades de salida y entrada conseguida. Utilizamos “r” para denotar una desmultiplicación o reducción. Naturalmente, cambiando las salidas por las entradas se obtendrá el efecto de multiplicación.

En esta caja de velocidades la salida es el eje del porta satélites PS1 (C2), el cual es hueco y permite alojar en su interior el eje de entrada. Éste termina en un tambor que puede ser embragado al tambor del piñón planetario común o bien al de la corona C1. La figura muestra también los embragues y frenos disponibles para obtener las distintas relaciones de marcha.

Analicemos éstas para la arquitectura de la caja de la siguiente tabla 7.1

Velocidad	Elemento fijo ²	Entrada ³	Salida ⁴	Transmisión del movimiento
Marcha atrás	PS2 (F1)	P (E2)	C2(-)	P → S2 → C2 P y PS1 → C1 (en vacío)
Primera	PS2 (F1)	C1 (E1)	C2(+)	C1 → S1 → (PS1-C2)
Segunda	P (F2)	C1 (E1)	C2(+)	C1 → S1 → (PS1-C2) C2 → S2 → PS2 (en vacío)
Tercera	Ninguno	C1 (E1) P (E2)	C2(+)	C1 y P → (PS1-C2), Bloqueo del tren 1. Transmisión directa.

Tabla 7.1 Transmisión de Movimiento.

Quizá la primera velocidad merece algún comentario adicional. Si el elemento embragado al motor es C1, es obvio que los satélites S1 girarán, pero no es tan inmediato que PS1 también gire. De hecho, si el piñón planetario adquiriera una velocidad suficiente los S1 podrían girar sin mover PS1. De ser así, ni PS1 ni C2 girarían. Pero si C2 no gira, PS2 está frenado y P2 está girando los S2 se romperían, por lo que es necesario que, en efecto, exista un giro en la salida C2-PS1.

La construcción aquí presentada para las cajas de velocidades automáticas no es la única. También podemos encontrarnos con soluciones como las cajas con tren planetario Ravigneaux. En ellas los dos trenes comparten corona, tienen piñones planetarios independientes y los satélites engranan directamente (figura 7.11)

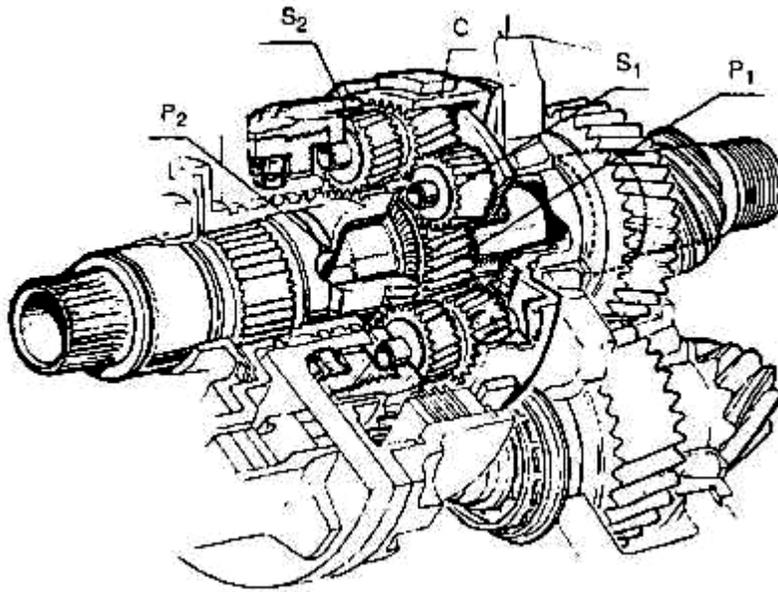


Fig.7.11 Caja Automatica

Elementos mecánicos de mando

Ya ha quedado clara la necesidad de sistemas de embrague y frenado para la explotación de las posibilidades de relación de velocidades que ofrece el mecanismo de una caja automática. Sin embargo, no son los únicos elementos mecánicos de mando.

Embragues

Se emplean embragues multidisco en baño de aceite como el de la figura 7.12, accionados por un circuito hidráulico del que más adelante hablaremos.

El embrague dispone de dos tipos de discos: los guarnecidos (3), unidos al elemento que recibe el giro desde la turbina del convertidor de par, y los de acero (4), solidarios al elemento a arrastrar. Cuando se requiere embragar ambos elementos, el circuito hidráulico proporciona la presión necesaria para desplazar el pistón (6) y con ello oprimir las parejas de discos hasta que por rozamiento los guarnecidos arrastren a los de acero sin deslizamiento relativo. Cuando no actúa la presión, un muelle antagonista retira el pistón y elimina el empuje de éste.

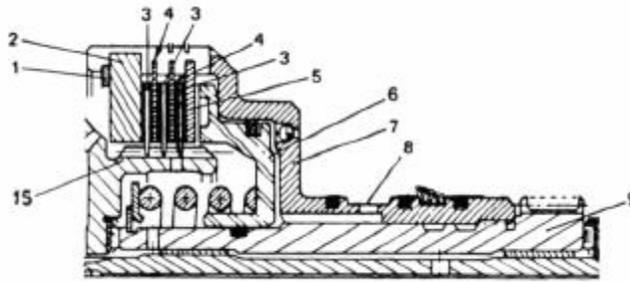


Figura 7.12 Embrague

Frenos

La única diferencia entre frenos y embragues es que unos de los discos no giran con el eje de entrada a la caja, sino que está fijados a la carcasa. Por lo demás la tecnología y el concepto de funcionamiento son los mismos. También pueden encontrarse frenos que emplean para detener el elemento giratorio la fricción de una cinta que lo rodea.

Rueda libre

Se trata de un dispositivo que actúa sobre algún elemento del tren impidiendo su giro en uno de los sentidos.

La figura muestra este mecanismo aplicado al porta satélites del tren. El elemento fijo A es una corona solidaria a la carcasa del cambio, mientras que la corona D está vinculada al porta satélites. La rotación anti-horaria comprime los muelles al arrastrar los rodillos B. La rotación horaria arrastra los rodillos hacia el otro lado, en el cual quedan acuñados y sin posibilidad de giro. Por tanto, la corona D tampoco puede girar y la transmisión no gira (figura 7.13).

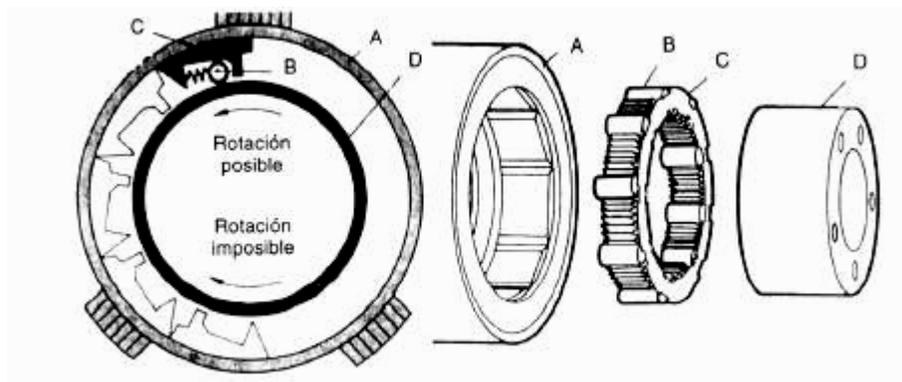


Fig. 7.13 Rueda Libre

Rueda de aparcamiento

Se trata de un mecanismo de enclavamiento que se emplea para estacionar el vehículo impidiendo cualquier movimiento de éste.

Al colocar la palanca de mando en la posición "P" actúa el dispositivo de la figura.

La rueda de aparcamiento es una corona dentada instalada en el árbol de salida, entre cuyos dientes puede encajarse el dedo de aparcamiento. Si al seleccionar la posición "P" el dedo no consigue encajar en algún hueco de la rueda de aparcamiento el coche no estará bloqueado y podrá desplazarse. Sin embargo, en cuanto lo haga, la rueda de aparcamiento girará y un muelle que actúa sobre el dedo hará efectivo el bloqueo (figura 7.14).

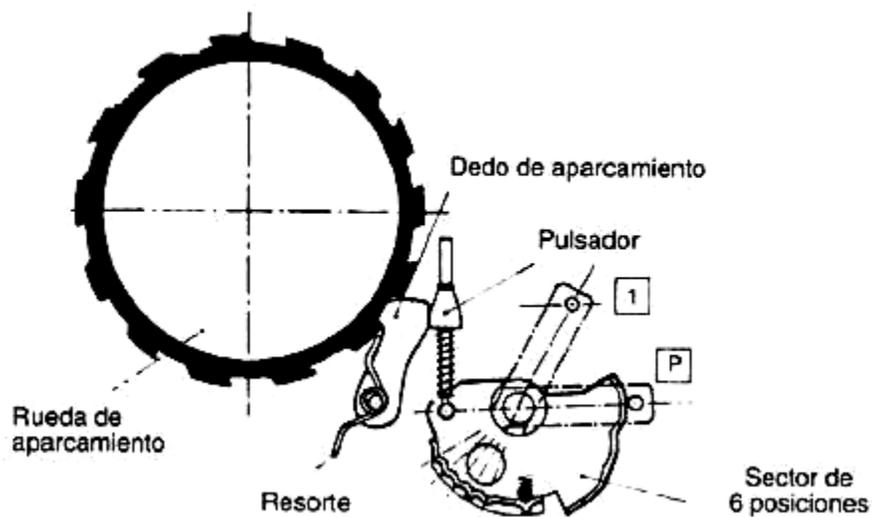


Fig. 7.14 Rueda de aparcamiento

Sistema hidráulico

Elementos hidráulicos de mando

La selección automática de las distintas relaciones de marcha en los cambios automáticos se realiza mediante circuitos hidráulicos comandados por elementos electrónicos. La siguiente figura muestra la estrecha relación entre las dos tecnologías (figura 7.15).

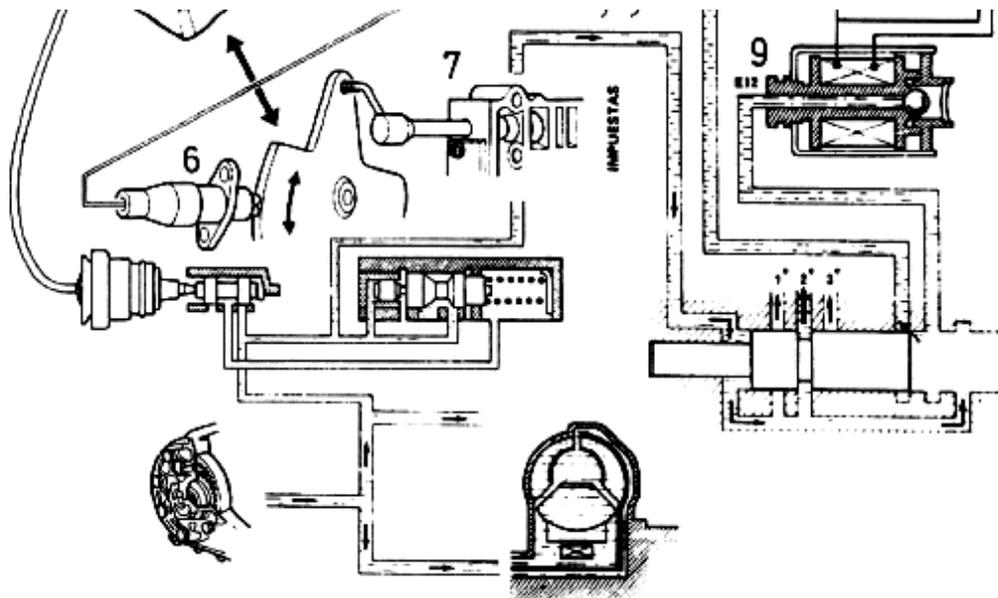
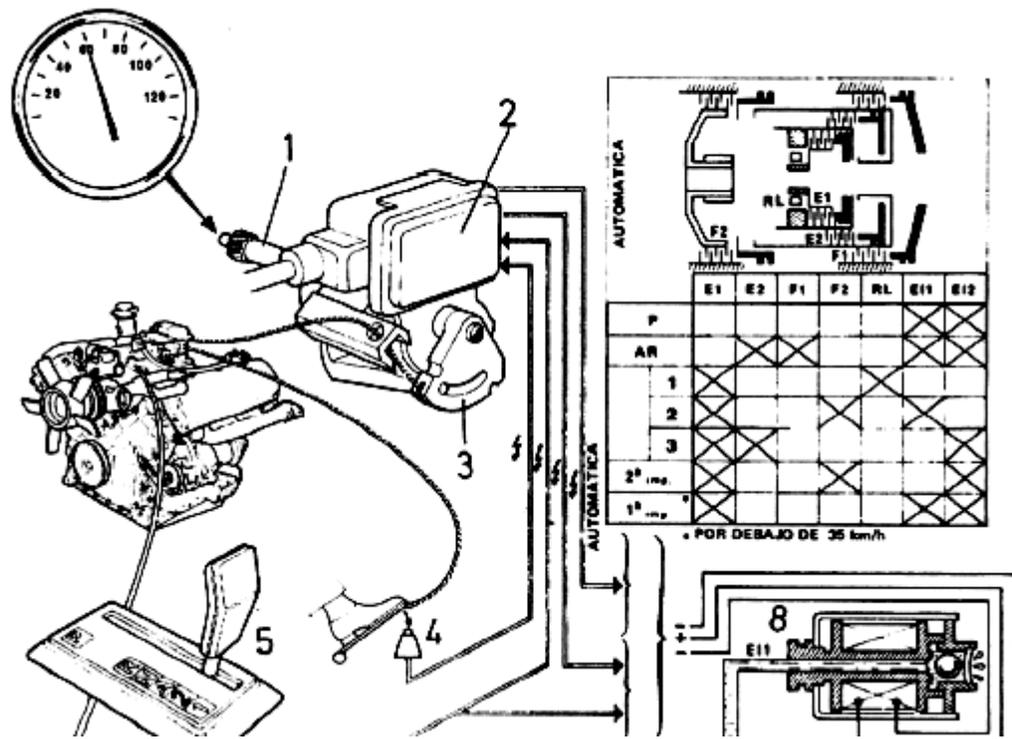


Fig. 7.15 Elementos hidráulicos de mando

Los elementos de captación o sensorización de la figura 7.16 son los siguientes:

- 1: captador de la velocidad del vehículo.
- 3: captador de la posición del acelerador.
- 4: interruptor de fin de recorrido del acelerador.
- 6: interruptor general de la posición de la palanca de cambio.

Toda esta información le llega al computador electrónico (2) que gobierna las electro válvulas (8) para comandar los embragues y frenos necesarios para activar las velocidades que procedan (ver tabla de la figura en la página anterior). Por tanto, los circuitos electrónicos gobiernan a los hidráulicos, que son los que hacen efectivos los cambios de relación de marcha.

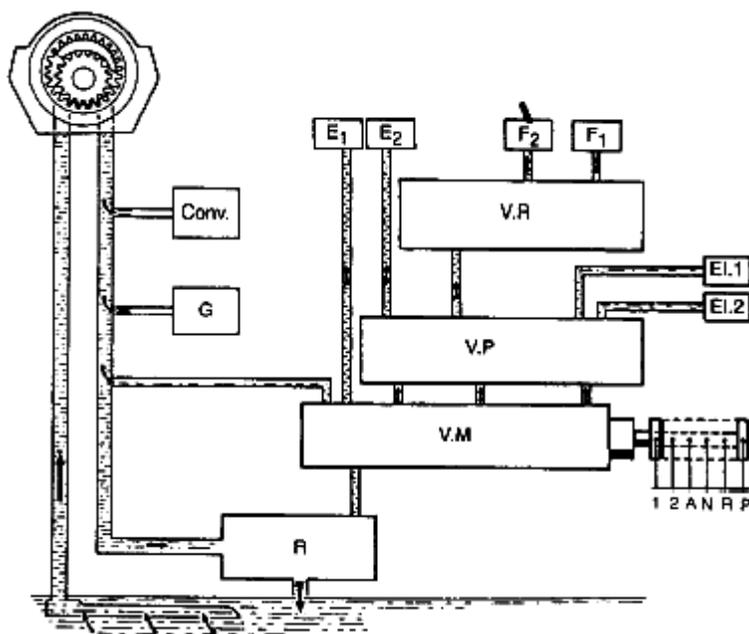


Fig. 7.16 Elementos de captación o sensorización

El circuito hidráulico cuenta con una bomba de aceite que habitualmente es de engranajes de dentado interior (ver figura sobre estas líneas) y que suministra un caudal de aceite proporcional a la velocidad del motor. La bomba toma ese aceite del cárter inferior, lo filtra y envía ese caudal a los diferentes circuitos de accionamiento y engrase. Por tanto, la bomba sólo impone el caudal, pero no la presión, que viene dada por la carga del motor y regulada por una válvula específica (R). La presión de alimentación suele variar entre 3 y 5 bares y es aplicada por el distribuidor hidráulico a la válvula manual (VM) y a través de ella a la de paso (VP), la de secuencias (VR), los frenos (F1,F2), embragues (E1 y E2) y electropilotos (EI1 y EI2).

La válvula manual (VM) informa al distribuidor hidráulico de las posiciones de punto muerto, marcha adelante y marcha atrás. Así, abre o cierra los circuitos correspondientes para alimentar los componentes que en cada caso corresponda. La válvula reguladora de presión (R) actúa desplazando una corredera que permite desahogar el exceso de presión derivando aceite al cárter. La presión de trabajo vendrá impuesta como se ha dicho, por la carga del motor. Así, con el motor en ralentí la presión de trabajo es baja por ser el par a transmitir bajo también, mientras que cuando el motor funciona a plenos gases la presión de trabajo será mucho mayor. Por tanto, en cada caso la presión debe regularse a un valor distinto.

Funcionamiento del sistema hidráulico

El funcionamiento de las cajas de cambio automáticas está regulado por el circuito hidráulico esbozado anteriormente, que es el que implementa la relación apropiada en función de las condiciones de funcionamiento del motor y la marcha del vehículo entre otras. En este funcionamiento intervienen la válvula manual y las válvulas de paso, junto con los electropilotos incorporados a ellas que reciben las señales eléctricas de una central electrónica.

A continuación se explica el funcionamiento del sistema hidráulico para las cajas con tren planetario Ravigneaux. Cuando la palanca selectora se coloca en la posición A para obtener una conducción enteramente automática, la válvula manual (VM) es llevada a la posición que se aprecia en el dibujo, al tiempo que el contactor (A) del calculador electrónico establece el circuito eléctrico correspondiente vea figura 7.17.

Que se desplaza en este mismo sentido hasta obturar el canal de comunicación con (E1) para encontrar una nueva posición de equilibrio, en la cual, quedan comunicados los canales 1 y 2 de esta válvula de paso, permitiendo la llegada de presión hasta la válvula de secuencias (VR), desde donde es alimentado el freno (F2) a través del conducto (6).

Así pues, en esta nueva posición quedan alimentados el embrague (E1) y el freno (F2), lo que corresponde a la segunda velocidad automática.

Si el vehículo continúa aumentando de velocidad, la tensión eléctrica del generador sigue creciendo hasta un valor tal, que activa el electro piloto (E12) permitiendo el escape de presión a su través. Con ello, la corredera de la válvula (VP) se desplaza un poco más a la derecha, hasta obturar el canal de comunicación con (E12), encontrando allí su nueva posición de equilibrio, en la cual permite la alimentación de ambos extremos de la válvula de secuencias (VR), a través de los conductos (2) y (3), al tiempo que el segundo de ellos alimenta directamente al embrague (E2). En esta nueva posición de la válvula de secuencias, queda cortada la comunicación con el freno (F2) que estaba establecida anteriormente y, ahora, son alimentados los embragues (E1) y (E2), lo que supone la selección de la tercera velocidad automática.

En los descensos de velocidad del vehículo, la selección de velocidades se produce con un funcionamiento inverso al descrito.

A continuación se presenta en un cuadro los elementos del circuito hidráulico que están activado o desactivados para cada una de las restantes marchas (figura 7.18).

	Elementos activados	Elementos desactivados
N: Punto muerto	ninguno	E11, E12
2: Segunda impuesta	E11, F2,E1	E12
1: Primera impuesta	E1	E11, E12
R: Marcha atrás	E2, F1	EL1, EL2
P: Aparcamiento	ninguno	E11, E12

Figura 7.18 Elementos del circuito hidráulico.

Caja de cambios semiautomática

Se trata de un sistema en el que la función del embrague es encomendado a un sistema electrónico de gestión, que a su vez comanda un sistema hidráulico de mando de la palanca de desembrague. En el dibujo se aprecia la disposición en la que el mecanismo de embrague convencional, la palanca de desembrague (conventional clutch and manual gearbox), es accionada por un cilindro hidráulico (clutch release cylinder and travel sensor), que recibe la presión del grupo hidráulico gobernado por una electroválvula de control (hydraulic power unit and control valve), que recibe los impulsos de mando del calculador electrónico (electronic control module), el cual, a su vez, toma señales de referencia de la posición de la palanca de cambios y del pedal del acelerador, así como del régimen motor y velocidad del vehículo vea Fig. 7.19.

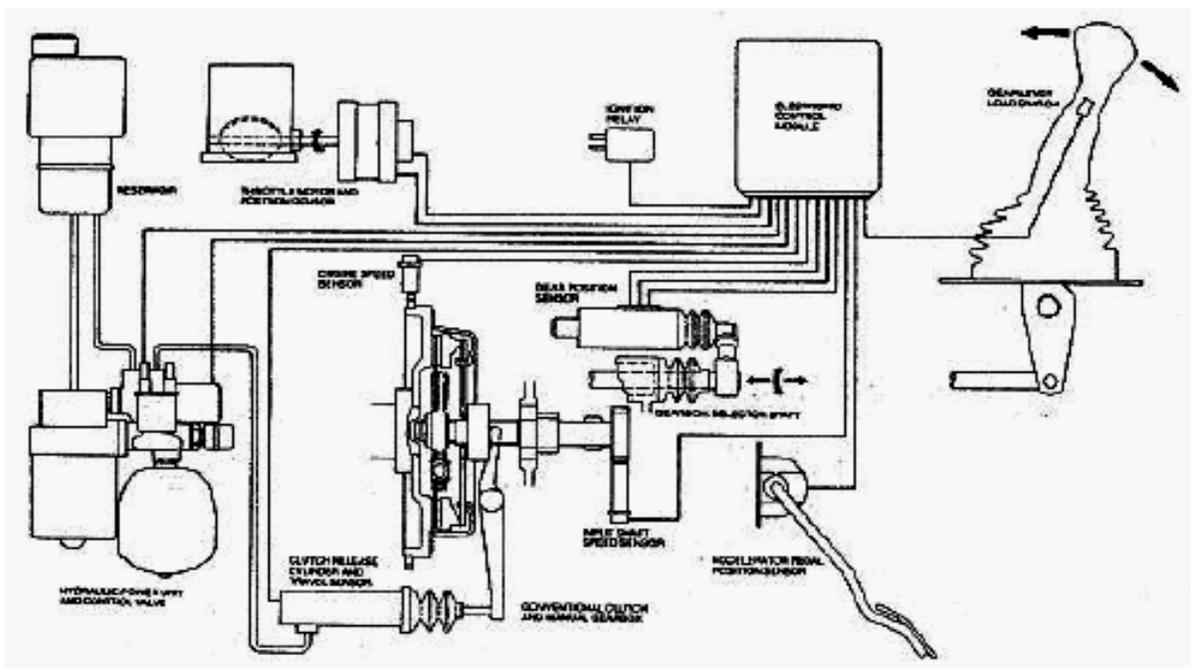


Fig. 7.19.- Caja de cambios semiautomática

Cuando el vehículo está parado y el interruptor de encendido desconectado, el embrague se encuentra siempre en la posición de embragado, independientemente de si el cambio se encuentra con una velocidad metida o en punto muerto. Con una velocidad metida no es posible el arranque del motor. Si se acciona la palanca de cambio para llevarla a la posición de punto muerto, un captador de esfuerzo situado sobre la palanca envía una señal al calculador que acciona el embrague permitiendo sacar la velocidad para poder arrancar el motor.

Cuando se activa el interruptor de encendido, el sistema se inicializa y advierte al conductor mediante una señal sonora si está metida alguna velocidad. Al mismo tiempo, pone en funcionamiento el grupo generador de presión hidráulica para alcanzar el valor conveniente de la presión de mando.

Con el vehículo en marcha, cuando el conductor acciona la palanca del cambio para seleccionar la primera velocidad, el captador de esfuerzo de la palanca envía al módulo electrónico la correspondiente señal y es activado el embrague permitiendo la selección de esta marcha. En esta situación, el arranque del vehículo se produce automáticamente al acelerar, realizándose la operación de embragado progresivamente en función de la posición del acelerador y de la respuesta del motor (subida de régimen). Si el conductor selecciona una marcha inadecuada para el arranque, se produce un pitido de advertencia.

Con el vehículo en marcha, cuando el conductor inicia la maniobra de cambio de relación, ejerciendo un leve esfuerzo sobre la palanca del cambio y levantando el pie del acelerador, el calculador recibe ambas señales que producen el desembrague. Una vez introducida la nueva relación, el captador de posición del selector de marcha envía una señal al calculador que autoriza el embragado al acelerar. Esta acción de embragado se produce a una velocidad que depende de las velocidades del motor y del vehículo, de manera que en los cambios ascendentes se realiza rápidamente, mientras que en los descendentes la maniobra es más lenta.

En el momento de detener el vehículo, el sistema desembraga al descender la velocidad por debajo del régimen correspondiente al ralentí, permaneciendo el motor desembragado, con independencia de la posición de la palanca de cambio, hasta que sea accionado el acelerador.

La gestión electrónica de este tipo de embrague mejora considerablemente las prestaciones y manejo del cambio con respecto al sistema convencional, disminuyendo el desgaste normal del disco de embrague que se produce en las maniobras de embragado, y evitando el uso abusivo de algunos conductores sobre el sistema de embrague.

Cambio automático por variador continuo (CVT)

Las cajas de cambios explicadas anteriormente tienen un número finito de relaciones de cambio. Mientras más relaciones de cambio se tenga, mejor se aprovechan las prestaciones del motor térmico. El cambio automático por variador continuo tiene una variación continua de la relación de cambio, es decir, infinitas relaciones de cambio.

Sean dos discos cuyos ejes son perpendiculares y que ruedan uno sobre otro (ver figura). Si se varía el radio del disco grande sobre el que el disco pequeño gira, se consigue variar la relación entre

sus velocidades angulares. Si se conecta el disco pequeño al motor y el grande a las ruedas ya se tiene una caja de cambios cuya relación de cambio puede variar de manera continua. Al llevar a la práctica esta idea surgen dos problemas: las grandes cargas que deben soportar ambos discos que les da una eficacia menor del 50% y el desgaste no uniforme que sufre el disco grande. Sin embargo, la técnica actual permite solucionar dichos problemas y fruto de ello es la transmisión Taurotrak (figura7.20).

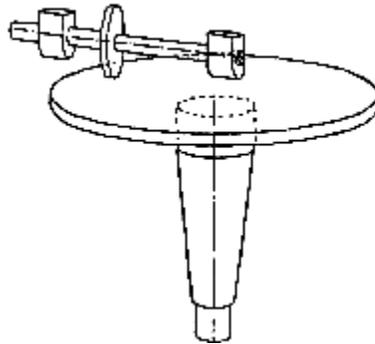


Fig. 7.20 Variador continuo

Aunque la idea anterior consigue una transmisión que varía continuamente la relación de marcha, cuando se habla de CVT suele ser más habitual referirse a un sistema formado por dos poleas de diámetro variable unidas mediante una correa metálica. En función de las condiciones de marcha del vehículo y de los requerimientos de la conducción, el diámetro de las poleas varía y con ello se logra un número de marchas infinito, es decir, una variación continua en la relación de marcha (figura7.21).

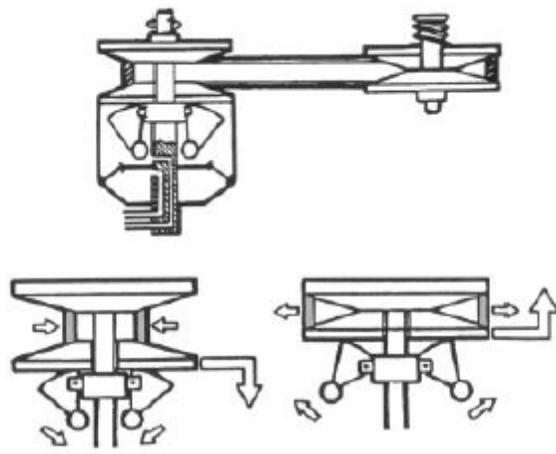


Fig. 7.21 Juego de Poleas

El giro del motor es transmitido a las ruedas a través de dos poleas llamadas primaria, la del motor, y secundaria, la del eje de las ruedas. Cada polea está formada por dos troncos de cono cuya separación puede variarse. En la primaria unas masas de inercia controlan la separación de los discos por la fuerza centrífuga y en la secundaria un muelle los mantiene unidos una distancia que depende del diámetro que tengamos en la polea primaria.

Cuando el eje primario gira las masas tienden a separarse del eje debido a la fuerza centrífuga, esto hace que se junten los discos de la polea primaria y el diámetro que describe la correa aumenta (ver figura 7.16). Como la longitud de la correa es constante, al aumentar el recorrido por la polea primaria, la polea secundaria disminuye su diámetro separándose los discos y comprimiendo el muelle. A medida que el eje gira más rápido, las masas tienden a separarse más del eje y comprimir más los discos del primario, aumentando su diámetro y disminuyendo el del secundario. Así se consiguen infinitas relaciones de marcha, minimizando las variaciones de régimen del motor.

Cuando el vehículo está parado el resorte mantiene juntos los discos de la polea secundaria con lo que se consigue que el diámetro de la polea sea el máximo y, por consiguiente, que el diámetro de la primaria sea mínimo, con esta relación de diámetros se consigue mucho par en el eje secundario. Una vez que está en marcha el vehículo, las masas de inercia de la polea primaria empujan a los discos obligando a estos a cerrarse con lo que el diámetro de la polea aumenta y el del secundario disminuye. Con esta nueva relación de diámetros se consigue una mayor velocidad de giro en el secundario. Con esto se consigue una relación adecuada de par velocidad en el eje secundario, el de las ruedas, esto es, a velocidades pequeñas se le suministra el máximo par para esa velocidad, y en los demás casos se trata de ofrecer capacidad de alcanzar la máxima velocidad posible.

Si la fuerza centrífuga tuviera que superar continuamente la fuerza del resorte por sí misma, se requeriría un régimen demasiado elevado del motor y potencia, o más combustible. Para economizar combustible la fuerza centrífuga es asistida por el vacío del motor. Así, la influencia de los contrapesos centrífugos puede ser asistida o contrarrestada.

Cuando el vacío de motor favorece la fuerza centrífuga de las masas se consigue que los discos de la polea primaria se junten más de lo que se juntarían sin este efecto o lo que es lo mismo, un mayor diámetro; se obtiene una relación de supermarcha que permite mantener la misma velocidad con un menor par motor.

Cuando se pisa el freno, el vacío del motor se opone a la fuerza centrífuga de las masas y se consigue que los discos de la polea primaria se junten menos de lo que lo harían sin este efecto (menor diámetro). Se consigue una relación más baja de diámetros y así el motor contribuye a la acción de frenado (freno motor). Otra opción para desplazar la polea primaria es mediante actuadores oleo hidráulicos en vez de mediante la fuerza centrífuga. Aunque las poleas sean la clave

de estas cajas de cambio, no hay que olvidar que también tienen otros elementos. Antes de la caja se necesita un embrague hidráulico o magnético. Además, la caja puede disponer de un tren de engranajes paralelos con sincronizador para conseguir dos desmultiplicaciones en el eje de salida (el desarrollo más corto se utilizará para recorridos de montaña y retenciones del motor). Para conseguir la marcha atrás hay que acoplar un tren adicional que invierta el sentido de giro.

Este tipo de cambios no ha avanzado mucho en los últimos años por su limitación para transmitir grandes pares. Esto los ha relegado a coches de poca potencia y destinados principalmente al uso urbano, como el Nissan Micra y el Lancia Y.

Análisis de cajas de cambio comerciales

Tendencias actuales en cajas de cambio automáticas

Actualmente el 80% de las transmisiones europeas son manuales, mientras que en América y Japón prácticamente el 100% son automáticas. ¿A qué razones responde esta discrepancia? Fundamentalmente son tres las desventajas de las transmisiones automáticas:

Son un 80% más cara.

Su funcionamiento es menos eficiente desde el punto de vista del rendimiento y del consumo.

El conductor no tiene pleno control sobre el vehículo.

Así y todo, en unos diez años se prevé que el 36% de los coches funcionen con transmisiones automáticas, ya que facilitan la conducción (aunque también le restan encanto) y además se está mejorando el aspecto del consumo.

En la línea del consumo o la eficiencia, puede decirse que las CVT consiguen rendimientos mecánicos cercanos al 90%. Es un valor menor que el de las manuales, pero la conducción es más sencilla. Quizá la solución más conveniente desde el doble punto de vista de la facilidad de manejo y el rendimiento es el de las transmisiones semiautomáticas. Además, las diferencias de construcción entre las cajas semiautomáticas y las manuales son mínimas y por tanto las fábricas de coches pueden conseguir esta evolución con una baja inversión inicial. De hecho, un ejemplo de ello lo tenemos con uno de los Twingos de la Renault.

En otro orden de cosas, debe señalarse que la vida para la que se diseñan las transmisiones de los automóviles ha crecido de 200.000 a 300.000 km en los últimos 25 años. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de materiales y lubricantes que mejoran significativamente los desgastes y los calentamientos.

También han contribuido a ello las potentes técnicas de diseño y cálculo actuales, que permiten cuidar ya desde las etapas de diseño aspectos como el ángulo de presión y la geometría del diente para mejorar la relación de contacto entre dientes.

Una alta relación de contacto reduce las vibraciones y el ruido y proporciona un mejor reparto de carga entre los diferentes dientes.

Clasificación de las cajas de cambio comerciales

La variedad de la oferta de cambios no manuales es tal, que conviene hacer una pequeña clasificación:

- Cambio semiautomático: no hay convertidor de par, sino un embrague y una palanca convencionales, aunque no hay pedal de embrague. Un sensor en la propia palanca de cambios y otro en el acelerador detectan la intención del conductor de cambiar de marcha, y mandan una señal que controla el embrague. Ejemplos: en la Clase A de Mercedes, Twingo Easy y Sensonic de Saab.

- Cambio automático por variador continuo (CVT):
 - Cambios automáticos: con convertidor de par y trenes epicicloidales. Hay de tres tipos:
 - Sencillos: sólo hay que seleccionar la posición D en la palanca y conforme a una ley preestablecida el cambio selecciona una marcha superior al subir de un régimen determinado, y una inferior al bajar de otro régimen.

- Con control electrónico y varios programas de funcionamiento: uno deportivo en el que se estiran las marchas, uno económico en el que se busca siempre la relación más larga y otro llamado "invierno" que selecciona la segunda para arrancar evitando las pérdidas de tracción. Ejemplo: en la clase A de Mercedes.

- Inteligentes o adaptativos. En vez de programas fijos, un ordenador analiza las condiciones de la carretera y el estilo del conductor en base a los datos recogidos por distintos sensores. Una vez procesados, el ordenador memoriza estos datos y selecciona la secuencia de cambios más lógica en función de lo que va almacenando. Ejemplos: INVECS-II de los Mitsubishi Carisma y Galant, cambio DSP del Volkswagen Passat.

- Además hay cambios que combinan varios de los antes mencionados dependiendo si se usan en su modo manual o automático:
- Automático secuenciales: pueden ser como el Tiptronic de Audi o el Steptronic de BMW que pueden funcionar como automáticos adaptativos o secuenciales⁵ o como el Autostick de Chrysler que combina un cambio automático electrónico con uno secuencial. El Tiptronic también lo usan: Porsche en sus modelos 911 y Boxster, y el Honda Prelude.
- Softip del Smart: tiene un embrague automático. Puede funcionar metiendo manualmente las marchas como en uno secuencial o en modo automático con tres programas.

Audi Multitronic

Audi ha desarrollado un tipo de transmisión “sin pasos” que elimina todos los inconvenientes que tiene la caja de cambios manual, mejorando las estrategias de cambio de velocidad. Se trata de la transmisión multitronic. Según las pruebas realizadas el multitronic, a diferencia de la caja de cambios manual de 5 velocidades:

- . Se obtiene una mejor aceleración
- . Consume menos gasolina
- . Conducción más cómoda

El Audi multitronic deriva del CVT (continuously variable transmission), sistema actualmente en el mercado, desarrollando numerosas modificaciones y mejoras. Emplea un embrague multidisco que elimina las típicas pérdidas en la transmisión, ofreciendo variedad en el comienzo de estrategias. Estas son seleccionadas por el circuito electrónico de control de acuerdo con las preferencias del conductor, detectadas mediante el modo de utilización del pedal del acelerador. El embrague multidisco de control electrónico tiene también la ventaja de tener una conducta constante de velocidad.

También se ha conseguido eliminar el “rubber band effect” muy criticado en el sistema CVT. Esto se ha conseguido mediante un doble pistón principal en el variador y la separación del flujo de aceite de alta presión y los circuitos de refrigeración, con lo que se obtiene que la bomba de salida del circuito hidráulico sea más suave que una convencional.

⁵ En un cambio secuencial se sube o baja de marcha con un toque en la palanca hacia adelante o hacia atrás.

Alfa Romeo Selespeed

Alfa Romeo ha desarrollado un sistema de cambio basado en la caja de cambios secuencial empleada en la Fórmula 1 por Ferrari. Se trata de la caja de cambios Selespeed, similar a la caja de cambios Tiptronic empleada por otros fabricantes de coches. La diferencia respecto al cambio de Fórmula 1 está en que la Selespeed también se puede emplear como cambio automático.

El funcionamiento de la caja de cambios Selespeed está prácticamente robotizado. El conductor solamente se encarga de decidir si subir o bajar de marcha pudiendo hacerlo de dos maneras posibles, empleando para ello la palanca de cambios o bien los botones que existen en el volante. Si se emplea la palanca de cambios bastaría con dar un simple toque para adelante o para atrás para subir o bajar marcha, si se emplean los botones del volante bastaría con pulsar uno de los botones para cambiar.

Tres actuadores se encargan de que se produzca el cambio de marcha. Uno se encarga de controlar el embrague, para que en el momento de que se vaya a producir el cambio de marcha este se encuentre desembragado, otro se encarga de que engranen, ajustando automáticamente la velocidad del motor para que sea la adecuada para la nueva relación y el tercero controla la selección de la velocidad, esto es, cual es la relación de marcha que debe meter.

Para empezar a mover el coche simplemente hay que pisar el freno y meter primera o marcha atrás, empleando la palanca de cambios o bien los botones del volante. Con la marcha metida se libera el pie del freno y se pisa el acelerador y el Selespeed comienza a actuar. Una vez el coche va a más de 10 km/h se puede emplear la palanca de cambios para cambiar de marcha. Si los dos controles son empleados a la vez accidentalmente, la palanca de cambios tiene preferencia sobre los botones del volante.

En las maniobras de frenada de emergencia, el sistema Selespeed reduce automáticamente las marchas consiguiendo una fuerza de frenado adicional.

El sistema Selespeed es un sistema hidráulico, controlado por un ordenador que emplea una bomba eléctrica para producir la energía para el sistema para poder operar. El sistema hidráulico se encarga tanto del embrague como de la marcha. La bomba se activa cuando la puerta del conductor es abierta, asegurando la suficiente presión hidráulica para arrancar el motor.

Como ya se ha dicho, Selespeed puede emplearse como caja de cambios automática. Si se emplea esta posibilidad, el conductor ya no tiene ni siquiera que decidir el cambio de marchas. El funcionamiento de esta es similar a la que se ha explicado en este trabajo.

Si el conductor está empleado la posición automática y en un momento dado decide emplear la forma secuencial, no tendría que frenar la marcha, simplemente bastaría con dar un pequeño golpe a la palanca o con pulsar alguno de los botones del volante y directamente pasaría a la forma secuencial.

CAPITULO 8

ACEITES LUBRICANTES PARA ENGRANES INDUSTRIALES

La grasa es un producto que va desde sólido a semilíquido y es producto de la dispersión de un agente espesor y un líquido lubricante que dan las propiedades básicas de la grasa. Las grasas convencionales, generalmente son aceites que contienen jabones como agentes que le dan cuerpo, el tipo de jabón depende de las necesidades que se tengan y de las propiedades que debe tener el producto.

La propiedad más importante que debe tener la grasa es la de ser capaz de formar una película lubricante lo suficientemente resistente como para separar las superficies metálicas y evitar el contacto metálico.

Existen grasas en donde el espesor no es jabón sino productos, como arcillas de bentonita. El espesor o consistencia de una grasa depende del contenido del espesor que posea, puede fluctuar entre un 5% y un 35% por peso según el caso.

El espesor es el que le confiere propiedades tales como resistencia al agua, capacidad de sellar y de resistir altas temperaturas sin variar sus propiedades ni descomponerse.

Control de calidad y pruebas que se realizan a las grasas:

Prueba de extrema presión: Esta prueba se realiza para verificar la capacidad que tienen las grasas y los aceites para soportar carga. Consiste en colocar dos elementos metálicos giratorios en contacto y por el medio de ellos. El lubricante a prueba, aplicándoles una fuerza externa que se va aumentando proporcionalmente hasta que se frene los elementos metálicos. En ese momento se mide cuánta presión hay y el tipo de desgaste que se generó en la pieza.

Una grasa que tenga un aditivo de extrema presión debe superar las 150 lbf/ft presentando el más mínimo desgaste en las piezas.

Prueba de consistencia: La consistencia de las grasas se expresa de acuerdo con la cantidad de espesante y viene dada por la NLGI (National Lubricating Grease Institute) que las clasifica de acuerdo con la penetración trabajada. Para determinar ésta, se llena una vasija especial con grasa y se lleva a una temperatura de + 77oF (25oC). La vasija se coloca debajo de un cono de doble ángulo cuyo peso está normalizado (penetrómetro), la punta del cono toca apenas la superficie de la grasa, se suelta el cono y al cabo de cinco segundos se determina la profundidad a la cual ha penetrado el cono dentro de la grasa, se conoce como penetración y se mide en décimas de milímetro. La penetración es solamente la medida de la dureza a una temperatura específica.

La penetración de la grasa se puede dar en base a dos situaciones: Cuando ha sido trabajada y sin trabajar.

Penetración trabajada: Para determinar la penetración trabajada es necesario que la muestra de grasa haya sido sometida a 60 carreras dobles de un pistón, en un trabajador de grasa patrón, éste consiste en un disco perforado (pistón) que al subir y bajar dentro del cilindro, hace que la grasa pase de un lado a otro, hasta completar 60 carreras dobles, en este momento se considera que se han simulado las condiciones a las cuales puede trabajar la grasa en una máquina después de un tiempo determinado. Posteriormente se le determina la consistencia en el penetrómetro.

Penetración no trabajada: Para la penetración no trabajada se toma una muestra de grasa, no se somete a ningún batido y se coloca cuidadosamente en el recipiente de prueba, luego se le determina la consistencia en el penetrómetro.

Las características más importantes son:

- Ángulo del cono 90°
- Ángulo de la punta 30°
- Diámetro de cono 6.61cm.
- Peso del cono 102.5gr.

La penetración se clasifica de acuerdo con la ASTM, (que es la lectura que da el Penetrómetro mostrado en la tabla 8.1 después de cinco segundos de penetración dentro de la muestra de grasa trabajada a + 77oF (25oC) y de acuerdo con la NLGI, que la da con un número que indica el cambio de consistencia (penetración) con las variaciones de temperatura (prueba no estandarizada).

ASMT en mm/10	Número de consistencia
475	000
430	00
385	0
340	1
295	2
250	3
205	4
160	5
115	6

Tabla 8.1 Clasificación ASTM y su equivalente en la NLGI

- Prueba Almen: Una varilla cilíndrica gira dentro de un casquillo abierto, el cual se presiona contra aquella. Se añaden pesos de 0.9 Kg. en intervalos de 10 seg. y se registra la relación existente entre la carga y la iniciación del rayado.
- Prueba Timken: Se presiona un anillo cilíndrico, que gira, sobre un bloque de acero durante 10 minutos y se registra la máxima presión de iniciación del gripado.
- Prueba SAE: Se hacen girar dos rodillos a diferentes velocidades y en el mismo sentido. La carga se aumenta gradualmente hasta que se registre el fallo. En este caso hay combinación de rodamiento y deslizamiento.
- Prueba Fálex: Se hace girar una varilla cilíndrica entre dos bloques de material duro y en forma de V, que se presionan constantemente contra la varilla, con una intensidad que aumenta automáticamente. La carga y el par totales se registran en los calibradores.
- Punto de goteo: Es la temperatura a la cual la grasa pasa de su estado sólido a líquido. La prueba se realiza aumentando la temperatura de la grasa hasta que se empiece a cambiar de estado, en ese momento se toma la temperatura y se define su punto de goteo.

Aditivos empleados en las grasas lubricantes

- Los aditivos más utilizados en la elaboración de las grasas son:
- Agentes espesadores: Se utilizan para aumentar la adhesividad de las grasas a las superficies metálicas, con el fin de evitar que sean desplazadas con facilidad y retienen, además, los fluidos por absorción. Los más utilizados son los jabones metálicos y los polibutílenos.
- Estabilizadores: Permiten trabajar las grasas a temperaturas más altas durante un mayor tiempo. Se utilizan principalmente los ésteres de ácidos grasos.
- Mejoradores del punto de goteo: Aumentan la temperatura del punto de goteo permitiendo que la temperatura máxima de trabajo se incremente sin que la grasa se escurra o descomponga. Se utilizan los jabones grasos.
- Agente anti-desgaste: Reducen el desgaste de las superficies al evitar el contacto directo entre ellas. El más utilizado es el bisulfuro de dibencilo.
- Inhibidor de la corrosión: Suspende la corrosión de las superficies metálicas si ésta ya se ha originado o la evita en caso de que, debido a las condiciones ambientales, se pueda presentar. Se utilizan el sulfonato de amoníaco y el dionil naftaleno.

- Desactivador metálico: Impide efectos catalíticos en los metales con el fin de que las partículas que se han desprendido durante el movimiento de las superficies metálicas no se adhieran a éstas y ocasionen un gran desgaste. Se utiliza el mercaptobenzotiazolo.
- Inhibidor de la oxidación: Impide la oxidación y descomposición de la grasa. Se usa el fenil-beta-naftilamino.
- Materiales de relleno: Aumenta el volumen de la grasa, característica requerida para obtener una mejor distribución y aprovechamiento de la misma. Se utilizan los óxidos metálicos.
- Agentes de extrema presión: Reducen la fricción permitiendo que la película lubricante soporte mayores cargas y las superficies se deslicen más fácilmente. Se utilizan las ceras clorinadas y los naftenatos de plomo.

Aceites y grasas con lubricantes sólidos.

Durante un desarrollo posterior de la tecnología de la lubricación se agregó a los lubricantes elementos sólidos como grafito y bisulfuro de molibdeno ya mencionado (MoS_2), que forman una capa protectora de bajo coeficiente de fricción. En este caso se intenta reducir el desgaste mediante deposición de partículas sólidas.

Este principio permite reducir el coeficiente de fricción mediante un aumento de la superficie de contacto y constituye una alternativa razonable tratándose de grasas y pastas. No obstante en el caso de lubricantes líquidos, si las partículas no tienen el tamaño adecuado puede ocurrir que las se separen por filtración o centrifugado o bien se depositen con el tiempo debido a su alto peso específico. Así, este tipo de lubricantes, si no están bien diseñados pierde la mayor parte de su eficacia.

Lubricación Industrial

En las plantas de procesamiento los rodamientos (baleros o cojinetes) y los engranes vienen a representar el 90% de las demandas de lubricación. Los rodamientos pueden subdividirse en planos y antifricción.

Los engranajes, a su vez, pueden ser de diferentes tipos: rectos, helicoidales, bi-helicoidales, biselados, de tornillo sinfín o hipoides. Cada uno de estos diferentes tipos de rodamientos y engranajes funciona de forma diferente y, en consecuencia, requiere una lubricación individual. Después de examinar cuidadosamente el funcionamiento de cada uno de los cojinetes y engranajes anteriormente mencionados, puede hacerse una lista mínima de los lubricantes o aceites más

adecuados para cada uno de ellos. La característica de contacto superficie con superficie de cada clase de rodamientos y engranajes sirve de ayuda a la hora de elaborar una lista de este tipo.

Rodamientos cojinetes planos:

Consisten en dos superficies que se deslizan una contra otra. Por lo general, este tipo de rodamientos se lubrican con el aceite que mejor se acomode a la velocidad o a la carga del cojinete en cuestión.

Los aceites de mayor viscosidad se emplean, por lo general, para la lubricación de proceso directo con pequeños volúmenes de aceite, para la lubricación de arranque, y para la lubricación para cargas pesadas. Y, si las temperaturas rondaran la temperatura ambiente, los aceites de lubricación variarían.



Fig.8.1 baleros o cojinetes

El lubricante debería aplicarse a los cojinetes planos cuando:

- La velocidad es pequeña, las cargas son grandes y las temperaturas son elevadas.
- La operación es intermitente y las holguras tienen un tamaño considerable.
- Las posiciones de las piezas son inaccesibles.
- Se contaminan fácilmente con el agua o la suciedad.

Debería tenerse en cuenta que la viscosidad y los aditivos no corrosivos del lubricante son muy importantes para la vida útil de los cojinetes planos.

Rodamientos o Cojinetes antifricción.-

Este grupo incluye a los cojinetes de tipo bola, de rodillos rectos, de rodillos cónicos, de empuje de bolas y de agujas. La elección de la grasa o aceite más adecuado para estos cojinetes se realiza en función del diámetro, la velocidad y la temperatura del cojinete.



Fig. 8.2 Rodamientos o Cojinetes antifricción

CONCLUSIONES

La utilidad de un lubricante es muy importante para el mantenimiento en un sistema, además las características que debe tener éste deben de ser las que el fabricante recomiende, para que así mismo tenga un mejor rendimiento y una vida útil duradera tanto en el sistema donde se utilice como del lubricante.

Un lubricante debe reunir ciertas características que son necesarias para conservar el sistema es decir, debe tener una viscosidad recomendada, sus aditivos específicos como pueden ser anticorrosivos, desespumantes, etc., para ayudar al lubricante y mantener el sistema limpio y lubricado.

Se recomienda que en los aceites para motores diesel se realice su mantenimiento a una cantidad menor de la recomendada, es decir si el motor pertenece a maquinaria el servicio recomendado por fabrica es por decir a las 500hrs. de trabajo deberá realizarse a las 250 hrs. y si el motor pertenece ha equipo industrial y recomienda el fabricante cada 10,000 Km se deberá realizarse a los 7,000 Km, aproximadamente debido a la calidad del diesel que se maneja en México, no así en los motores a gasolina ya que por lo regular ya es utilizado en la mayoría de los casos aceites sintéticos y las gasolinas aunque no es la mejor ya no contiene plomo.

En los aceites hidráulicos se recomienda que no se mezclen estos, para evitar que sus propiedades de uno sean inhibidas por las propiedades del otro, recuerde que en ejes, transejes, transmisiones automáticas y estándar tiene que utilizar el aceite correcto por que si no lo hace puede llegar a dañar los discos y pastas que dentro de ellas se manejan.

En la mayoría de los casos es difícil la selección de un lubricante si no sabemos las características de éste por lo que se recomienda que el fabricante sugiera el lubricante correcto para la zona y medio ambiente específico.

Para obtener los mejores resultados de un lubricante no solo hay que escoger el tipo apropiado para cada uso, sino también asegurarse que comportamiento en el servicio al que ha sido destinado no se vea interferido por contaminación u otros daños. Los lubricantes mediante los más modernos sistemas se seleccionan y producen para satisfacer las más variadas necesidades.

Estas breves notas tienen la finalidad de indicar al consumidor de aceite lubricantes, algunas precauciones convenientes para su buen manejo y uso, así como informarles sobre algunos aspectos que puedan influir en la calidad de los lubricantes por falta de información.

BIBLIOGRAFIA

JM de Azcevedo - Guillermo Acosta A.

Manual de hidráulica

Ed. Harla México

México, 1973

Roldán J., Camacho E., Alcalde M., Losada A.

Problemas de hidráulica para riego

Servicios de publicaciones Universidad de Cordova

Fuller D.D.

Teoría y práctica de lubricación

Madrid, 1961

Braithwaite E.R

Lubrication and lubricants

Londres, 1967

Connor J.J. O y Boyd J.

Standard handbook of lubrication Engineering

New York, 1968

Schilling A.

Los Aceites para motores y la lubricación de los motores

Madrid, 1968

Hobson P.D.

Practica de lubricación Industrial

Madrid, 1962

Poner C.J.

Gear and transmission lubricants

New York, 1964