

UNIDAD N° 2

Alimentación de los motores Diesel:

Principio de combustión: La combustión puede ser descrita una **reacción química** que se acompaña con la **generación rápida de luz y calor**. La combustión en los motores Diesel es la **reacción química** del hidrocarburo combustible con el oxígeno del aire. Durante esta reacción, se produce gran cantidad de calor, y los **productos de la combustión completa son principalmente: el anhídrido carbónico, agua y compuestos de azufre.**

Cuando un elemento se quema totalmente en el aire, la cantidad de calor que se libera, es siempre igual para este elemento particular. Para los siguientes elementos, el calor liberado por gramo con la combustión completa es:

- carbono = 8000 calorías
- hidrógeno = 34100 calorías
- azufre = 2200 calorías

La cifra de 34100 calorías para el hidrógeno es el poder calórico superior, es decir, la cantidad de calor que se produce cuando el agua que resulta de la combustión del hidrógeno con el oxígeno del aire es recuperado como un líquido. En la práctica, el agua es purgada como vapor de agua y el calor generado en el proceso es entonces de 28900 calorías por cada gramo de hidrógeno que se quema.

Dado que la falta de aire causará una combustión incompleta y una disminución del calor producido, los **motores Diesel** siempre reciben más que la cantidad teórica de aire que requieren para la combustión (aproximadamente de 22 a 28 gramos de aire por cada gramo de gas-oil). Pero tampoco conviene que el exceso de aire sea grande. El enfriamiento del proceso de combustión por contacto con un metal relativamente frío o con una corriente de aire fría, detendrá la **oxidación**, dando lugar a la presencia en los gases de escape, diferentes proporciones de productos no quemados, depósitos sólidos en la cámara de combustión, disminuyendo el calor generado, con lo cual, también merma la eficiencia del mismo.

Combustión en el motor Diesel: El motor Diesel utiliza el calor producido por la compresión del aire para encender su combustible. Las temperaturas máximas del aire (con temperaturas normales de funcionamiento del motor), varían entre aproximadamente **510°C** y **620°C** según la relación de compresión.

Dado que la temperatura de ignición espontánea del combustible diesel (es decir, la temperatura a la que se encenderá sin que exista una llama), es generalmente bastante inferior a los **480°C**, el combustible se encenderá fácilmente bajo las condiciones normales que imperan en el mismo.

Etapas de combustión: El procedimiento de combustión en el motor Diesel puede ser dividido en cuatro etapas distintas que son:

1- **Etapa: Retardo de inyección:** El combustible es alimentado al motor por una bomba (alternativa o rotativa) que lo hace pasar por un inyector, pero no entra en el cilindro inmediatamente de producirse el desplazamiento del émbolo de la bomba o émbolos si esta fuese rotativa. La capacidad de compresión del combustible, la elasticidad de las cañerías, la caída de presión que existe en las mismas, y el tiempo que tarda la válvula de aguja del inyector en levantarse, se suman para originar

un ligero retardo. Pero todos estos hechos, pueden ser tomados al diseñar el motor, de modo que la inyección en el cilindro se calcule y esta comience exactamente en el momento requerido.

2- Etapa: Retardo de ignición. Una vez que el combustible ha entrado en el interior del cilindro, existe un retardo antes de que comience la combustión, pues el combustible debe ser calentado a la temperatura del aire comprimido y mezclado con este para formar una mezcla inflamable. Este intervalo de tiempo entre el comienzo de la inyección y el comienzo de la combustión es denominado **intervalo de encendido** o **intertempo de encendido**. Si bien no se le asigna en la práctica el valor real que posee, ya que sus efectos se hacen más visibles en los motores de alta velocidad, el intertempo de encendido es un elemento preponderante en el funcionamiento de los motores Diesel. Si este no existiese, sería fácil de controlar y con gran precisión la velocidad de combustión en los cilindros mediante el sistema de inyección. Pero, a pesar de los adelantos, es imposible un control sobre la combustión de esa pequeña cantidad de combustible que es inyectado (en la actualidad, la electrónica aporta una mejor gestión y control de la misma, superando ampliamente a los tradicionales controles mecánicos). Al calentarse, cada gota de combustible se rodea con una capa de vapor, y el aire que rodea al vapor pierde calor, por lo tanto, debe absorberse calor de la masa principal del aire para aumentar aun más la temperatura de dicho vapor, de ahí que la masa de aire debe poseer una temperatura muy superior a la de autoinflamación del combustible.

Este periodo de retardo es controlado, en parte por el diseño del motor y las condiciones de funcionamiento, y es afectado, entre otros factores, por el movimiento relativo del combustible y del aire, por la diferencia de temperatura entre estos elementos y por el grado de atomización del combustible. Pero el período de retardo de la ignición es afectado aún mas directamente por la cantidad de calor que debe recibir el combustible antes de que comience la ignición y esto depende a su vez directamente de las propiedades del combustible.

La mezcla del combustible y del aire, alcanza finalmente una temperatura a la que se produce una auto-ignición, y comienza a difundirse una llama. El tiempo que transcurre entre el comienzo de la inyección y la difusión de la llama, es conocido como el período de retardo de la ignición. En la práctica, este intervalo es medido entre el momento en que se abre la válvula del inyector y el momento en que aumenta la presión debido al comienzo de la combustión.

3- Etapa. Difusión de la llama: Durante esta etapa, se quema toda la mezcla de combustible y aire.

La velocidad de la difusión de la llama y la simultánea velocidad del aumento de presión en el cilindro depende de la velocidad de combustión y del grado de mezclado del aire con el combustible en el cilindro. Es conveniente que el período de retardo sea corto, de modo que no se acumule una gran proporción de la carga total de combustible en el cilindro antes de que comience la combustión, si no, gran parte del combustible comenzará a quemarse al mismo tiempo, y la velocidad del aumento de la presión en el cilindro se tornará excesiva.

4- Etapa. Combustión directa: Al término de la tercera fase, el único combustible sin quemar que queda en el cilindro es el que es inyectado en la mezcla en combustión. Debido a la gran temperatura a la que se ha calentado el espacio de combustión, este combustible se quema en forma casi instantánea. Durante la etapa final de combustión directa, la inyección se ha detenido y se consume el resto de la carga del cilindro.

Período de retardo y velocidad del motor

En un motor dado y para un combustible específico, el período de retardo es sustancialmente constante. Como para ese motor, un incremento en la velocidad implica un necesario aumento de la cantidad de combustible inyectado, esto significa que, si no se emplea un sistema de avance automático de la inyección, la cantidad de combustible que se inyecta durante el período de retardo, será directamente proporcional a la velocidad del motor.

Características del combustible

Las características deseables de los combustibles para los motores diesel varían de acuerdo con el tipo de motor en que se los ha de usar.

Los combustibles para los motores de gran velocidad deben ser productos destilados, en cambio, pueden utilizarse mezclas de combustibles destilados y residuales en los motores de velocidad baja y en algunos motores de velocidad media.

Los motores grandes de baja velocidad, pueden funcionar bien con los productos residuales pesados con viscosidades de 200 hasta por lo menos 3000 segundos "Redwood" n°1 a 38 °C.

Los combustibles Diesel, son mezclas de hidrocarburos, cuyo único ingrediente existente en cantidades apreciable es azufre combinado. Aunque están compuestos casi totalmente por carbono e hidrógeno, las propiedades químicas singulares del carbono permiten que se formen muchos miles de compuestos diferentes. Por esta causa los combustibles no pueden ser clasificados de acuerdo con los hidrocarburos individuales que contienen, pero se los puede clasificar en parte sobre la base de los tipos generales de sus hidrocarburos.

Esta clase de análisis permite deducir alguna característica del rendimiento, pero la composición compleja del combustible limita el valor del método.

El gas-oil empleado para motores Diesel rápidos tienen un alto índice de **cetano** (del orden de 75 NC) con una densidad de 0,85 a 0,93 Kg/L, proporcionando una potencia calorífica que oscila entre las 9500 a 10.000 Kc/Kg, según la calidad del mismo.

En cuanto a las características específicas sobre el punto de congelación del mismo, vienen determinadas según la aplicación directa del combustible y oscila entre los -18°C a -60°C.

La valoración final de la calidad de un combustible siempre debe basarse sobre ensayos reales realizados en motores.

Azufre en los combustibles Diesel

La cantidad de azufre del combustible destilado Diesel puede variar de menos 0,3 % a más del 1 %, según el origen del petróleo crudo y el método de refinación. Los combustibles Diesel residuales pueden contener hasta 4 % de azufre. Los compuestos de azufre que podrían ser corrosivos son eliminados durante la refinación.

Característica de la Ignición

Número de Cetano (N.C): El número de **cetano** es una medida numérica de las características de retardo de la ignición de un combustible, cuanto mayor es el número de **cetano**, tanto menor es el retardo.

Se define el número de **cetano** como el porcentaje de **cetano** líquido contenido en una mezcla de **cetano** y **a-metilnaftaleno** (también conocido con el nombre de alfa-metilnaftaleno) que tiene las

mismas cualidades de ignición que el combustible en cuestión cuando se lo ensaya en el mismo motor y bajo las mismas condiciones de funcionamiento.

El primero (**cetano**) arde con gran rapidez y suavidad con un mínimo retraso en la combustión y el segundo que produce una fuerte trepidación en su combustión por su gran retraso que proporciona en la misma.

Según la proporción de los dos componentes en el combustible, se obtiene el **número de cetano** o índice de calidad.

Importancia del número de cetano: Para el arranque en frío y durante el funcionamiento en ralentí, es sumamente importante que el número de **cetano** sea alto especialmente en los motores Diesel utilizados en automóviles. Cuando se pone en marcha un motor, la temperatura del aire al término de la carrera de compresión es comparativamente baja y es difícil lograr una combustión completa si el combustible no tiene un período corto de retardo de ignición. La combustión imperfecta puede originar dificultades con la puesta en marcha. Cuando dos combustibles tienen el mismo número de **cetano**, el que tiene mayor volatilidad tiende a facilitar la puesta en marcha, y deben considerarse ambos factores (temperatura del aire de compresión y número de **cetano** del combustible) al valorar las cualidades de arranque de un combustible particular.

Al ser las temperaturas bajas durante la marcha en vacío, es importante también en este caso que el combustible tenga un número de **cetano** alto para que realice una combustión completa y no forme humo ni cause un encendido defectuoso. Una vez que el motor ha llegado a trabajar a plena carga, la temperatura del aire es mayor y ya no es tan importante que el número de **cetano** sea alto. Pero si se usa un combustible con un número de **cetano** muy inferior al que requiere el motor, el funcionamiento seguirá siendo irregular, aun a toda carga.

Poder calorífico: Los poderes caloríficos de los combustibles Diesel destilados, es decir, el calor que producen con la combustión, no varían significativamente cuando se los mide por kg de combustible.

Circuito de Alimentación

Filtrado del aire: El filtrado del aire se realiza como en los motores de explosión, es decir por medio de filtros secos a base de papel micro poroso, o filtrado por malla metálica. Por el contrario los filtros en baño de aceite se adoptan en los motores de mediana y gran cilindrada montados en camiones, auto transporte, tractores, máquinas viales, etc.

Filtrado de combustible: Debido a la gran precisión de funcionamiento y a la extremada calidad de ajuste de los distintos elementos de la bomba de inyección e inyectores, para el buen funcionamiento de los mismos, es fundamental efectuar un riguroso filtrado del combustible para eliminar todas las partículas abrasivas que pueda llevar en suspensión, es decir que es indispensable que el combustible llegue a la bomba inyectora e inyectores para ser pulverizado exento de impurezas sólidas, como así también de agua (que es uno de los enemigos más peligrosos del sistema de inyección Diesel), con el fin de evitar desgaste prematuros o atascamientos en dichos órganos vitales, como ser: elementos, toberas, válvulas de succión, cabezales, etc., que determinarían fallas a corto plazo.

Con el fin de evitar dichos inconvenientes, se interponen entre el depósito de combustible y la bomba de alimentación, y entre esta y la bomba de inyección, filtros que atrapan dichas partículas y el agua que pueda contener en el combustible. La cantidad de filtros y el tamaño de los mismos, dependerá del uso del motor, del tamaño del mismo y de la cantidad de combustible aspirado por hora de trabajo.

Pueden estar compuesto por mallas metálicas, fieltro o papel micro poroso, debiendo ofrecer una débil presión o resistencia al filtrado, gran superficie de filtrado, ser duraderos y de fácil mantenimiento.

Los filtros se clasifican en dos categorías que son:

Pre-filtros: Situados entre el depósito y la bomba de alimentación de combustible.

Filtro principal: Situado entre la bomba de alimentación y la bomba de inyección. En la actualidad se usan varios filtros escalonados, conectados en serie o en paralelo, para evitar el uso de un solo filtro de dimensiones muy grandes.

En el caso de las bombas rotativas, y mas aún en los sistemas actuales de inyección de alta presión como son los sistemas **Common rail** o el sistema **inyecto/bomba**, ha sido necesario incrementar de forma significativa la finura de de filtración de los filtros de gas oil.

Los filtros modernos, además de retener las partículas sólidas en suspensión, poseen un tornillo o tapón roscado de descarga para evacuar el agua que se deposita o se junta en el fondo. Algunos sistemas, inclusive, cuentan con un **sensor** que señala a través de una luz espía en el tablero que el agua contenida en el filtro alcanza su máximo nivel, y debe ser desagotado.

Circuito de combustible

El circuito de combustible en los motores Diesel, se componen de un circuito de baja presión (entre 1 y 2 kg/ cm) que alimenta a la bomba de inyección y de un circuito de alta presión (entre 90 y 300 kg/cm) que alimenta a los cilindros del motor.

Circuito de baja presión: El circuito de baja presión se compone de un depósito de combustible, de características similares a los empleados en los motores a gasolina y de una bomba de alimentación que aspira el combustible del depósito y lo envía a través de varios pasos de filtrado a la bomba inyectora. La presión de funcionamiento en este circuito, aunque pequeña, es suficiente para mantener el flujo de combustible en la bomba de inyección e impedir la entrada de aire.

El circuito de baja presión va provisto de una válvula de descarga o de rebose, situada generalmente en el filtro principal o también en la bomba inyectora del lado opuesto a la entrada del combustible, que sirve para mantener la presión en el circuito haciendo retornar el combustible sobrante al depósito a través de una tubería de retorno. Igualmente, sobre las cabezas de los porta inyectores, se coloca una tubería de fuga, por donde retorna el combustible sobrante no inyectado que se descarga al depósito, pudiendo ir este o no , conectado junto con el ramal de retorno de la bomba y del filtro.

Circuito de alta presión: El circuito de alta presión está formado por la bomba inyectora, que comprime el combustible a gran presión y lo distribuye a través de las tuberías de acero hasta los inyectores situados en las cámaras de combustión del motor.

Bombas de alimentación

Las bombas de alimentación empleadas en los motores Diesel, son generalmente de accionamiento mecánico del tipo aspirante-impelente y de funcionamiento por diafragma o por émbolo (aunque en los sistemas actuales de inyección Cammon Rail o por Inyector-Bomba se emplean bombas de alimentación eléctricas de baja presión dentro del tanque de combustible similares a los utilizados en

los sistemas de inyección de gasolina). Su única misión es mantener el flujo de combustible a la presión establecida en el interior de la bomba de inyección.

Bombas de alimentación a diafragma: Esta bomba es análoga (similar) en cuanto a constitución y funcionamiento a las empleadas en los motores a explosión. Esta bomba aspira por medio de su diafragma elástico, el combustible del depósito y lo envía a la bomba de inyección.

Va situada directamente sobre el motor, del cual recibe movimiento y es accionada por la excéntrica situada en el árbol de levas del motor.

Bombas de alimentación de émbolo: Estas bombas de alimentación de simple o doble efecto, van situadas directamente sobre la bomba de inyección y reciben el movimiento al ser accionadas por medio de una leva excéntrica situada en el eje de levas de la misma. Dicha leva actúa sobre un impulsor de rodillo acoplado al émbolo de impulsión de la bomba de alimentación.

Bomba de simple efecto: Este tipo de bomba es el más generalizado en los circuitos de alimentación Diesel con bomba de inyección en línea. Está formado por un cuerpo de bomba (16) de hierro fundido o aluminio, donde van situadas las cámaras de aspiración y presión, separadas por el émbolo (14), cuyo desplazamiento se efectúa por medio del muelle (13) y del rodillo impulsor (22).

En el cuerpo de bomba y sobre los conductos de entrada y salida de combustible van situadas las válvulas de paso (4), retenidas en su posición de reposo por los muelles (3), y una bomba de cebado manual (1), situada sobre la válvula de admisión.

La bomba manual actúa directamente sobre la válvula de admisión para el cebado de la bomba de alimentación y de la bomba de inyección antes de la puesta en funcionamiento del motor, o cuando por cualquier causa, se halla desmontado algún elemento de la bomba dando lugar a una entrada de aire al circuito.

Funcionamiento: El funcionamiento de esta bomba está basado en la presión y depresión que origina el émbolo (14), durante su desplazamiento sobre las cámaras (A y B) situadas a ambos lados de dicho émbolo.y

