

**MÁQUINAS AUTOPROPULSADAS:
GUÍA PRÁCTICA**

Elkin Alonso Cortés Marín
Fernando Álvarez Mejía
Hugo Alberto González Sánchez

- © Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín
- © Elkin Alonso Cortés
- © Fernando Álvarez Mejía
- © Hugo Alberto González Sánchez

ISBN: 978-958-8256-63-4

Primera Edición: Agosto de 2007

Diseño, Diagramación, Impresión y encuadernación:
Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos

**Universidad Nacional de Colombia
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
Departamento de Ingeniería Agrícola
y Alimentos**

**MÁQUINAS AUTOPROPULSADAS:
GUÍA PRÁCTICA**

Elkin Alonso Cortés Marín
Fernando Álvarez Mejía
Hugo Alberto González Sánchez

Medellín

Donado por Hugo González S. 16/04/08

I
631.372
C62
C.2

A todos los que me han soportado.
Elkin.

A la Universidad Nacional de Colombia, a quien todo le debo.
Fernando.

A Olga, Laura del Sol y Pablo.
Hugo.



1 027312

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	7
Práctica No. 1	
Evaluación de máquinas autopropulsadas	11
Figuras	
Figura 1. Tractor seccionado de propulsión en cuatro ruedas, señalando sus principales mecanismos	12
Figura 2. Tractores de oruga.	13
Figura 3. Tractores de ruedas neumáticas.	14
Figura 4. Cabina: mandos y controles	15
Figura 5. Diagrama de funcionamiento del tractor agrícola	16
Figura 6. Diagrama para análisis funcional-mecánico de los componentes de una máquina	17
Figura 7. Componentes de una máquina (tipo tractor)	17
Figura 8. Pérdidas de energía ocasionadas en los diferentes mecanismos de una máquina motriz.	18
Figura 9. Factores que permiten optimizar las máquinas autopropulsadas de uso agrícola.	18
Tablas	
Tabla 1. Especificaciones típicas de un tractor agrícola Valtra	30
Tabla 2. Especificaciones típicas de un tractor John Deere	32
Bibliografía	37

Práctica No. 2

Características y desempeño de motores de combustión interna (MCI) 39

Figuras

Figura 1	Fases de admisión y compresión en un MCI	46
Figura 2	Fases de trabajo (potencia) y escape	47
Figura 3	Distribuciones del ciclo de operación de un MCI	48
Figura 4	Rendimiento de un motor de combustión interna	49
Figura 5	Ciclo de funcionamiento de un motor de combustión interna de 2 T (gasolina).	49
Bibliografía		50

Práctica No. 3

Sistemas de combustible y combustión 51

Figuras

Figura 1.	Sistema de alimentación de combustible Diesel.	54
Figura 2.	Sistema de combustible: gasolina.	54
Figura 3.	Bomba de alimentación (diafragma).	55
Figura 4.	Sistema de combustible: gas natural.	55
Figura 5.	Componentes de un sistema de alimentación para gas natural	56
Figura 6.	Modelos de inyección de combustible.	56
Figura 7.	Tipos de inyectores.	57
Figura 8.	Carburador básico.	57
Figura 9.	Tipos de carburador.	58
Figura 10.	Circulación de combustible diesel con bomba rotativa	59
Figura 11.	Funcionamiento inyector.	60
Figura 12.	Partes de un inyector.	60
Figura 13.	Bomba de inyección en línea	61
Figura 14.	Bomba de inyección rotativa	62
Figura 15.	Relación A/C para motores a gasolina	67
Figura 16.	Relación A/C para motores Diesel	68
Figura 17.	Bombas de inyección en línea	79
Figura 18.	Bomba rotativa	80

Figura 19.	Componentes de bomba rotativa	81
Figura 20.	Presión en las bombas de inyección rotativas	82
Figura 21.	Salida de combustible	83
Figura 22.	Corredera	84
Figura 23.	Bomba mecánica	84
Figura 24.	Bomba rotativa con gestión electrónica	85
Figura 25.	Despiece de una bomba electrónica	85
Figura 26.	Reglajes de inyección	86
Figura 27.	Ajuste bomba electrónica	87
Figura 28.	Bomba axial	87
Figura 29.	Bomba radial	89
Figura 30.	Unidad UIS	90
Figura 31.	Funcionamiento de sistema UIS	90
Figura 32.	Unidad UPS	91
Figura 33.	Common Rail CR	92
Figura 34.	Componente de inyección electrónica	95
Figura 35.	Esquema de inyección electrónica	96
Figura 36.	K-jetronic	99
Figura 37.	KE-Jetronic	99
Figura 38.	L-Jetronic	100
Figura 39.	LH-Jetronic	100
Figura 40.	Mono-Jetronic	101
Figura 41.	Motronic MED 7	101
Figura 42.	Funcionamiento de inyección y encendido electrónicos	102
Figura 43.	Filtro de combustible.	111
Figura 44.	Admisión aire.	111
Figura 45.	Prefiltro.	112
Figura 46.	Filtro húmedo	112
Figura 47.	Filtro seco.	113
Figura 48.	Silenciador.	113

Tablas

Tabla 1.	Parámetros operativos de motores con mezcla de gasolina y etanol	65
Tabla 2.	Algunas características de los combustibles más usados	66
Tabla 3.	Peso molecular y atómico de algunos elementos que intervienen en la combustión	69
Tabla 4.	Propiedades y datos característicos de los sistemas de inyección	

Práctica No. 4

Lubricación y lubricantes **115**

Figuras

Figura 1. Sistema de lubricación por circulación de un motor típico.	118
Figura 2. Sistema de circulación por salpique.	119
Figura 3. Sistema de filtrado de paso total.	119
Figura 4. Sistema de filtrado en derivación.	120
Figura 5. Sistema de filtrado en paralelo.	120
Figura 6. Válvulas.	121
Figura 7. Bombas rotativas.	121
Bibliografía	122

Práctica No. 5

Sistema de control de temperatura **123**

Figuras

Figura 1. Componentes de un sistema de control de temperatura por agua.	124
Figura 2. Distribución del calor en un radiador.	125
Figura 3. Tapa a presión.	125
Figura 4. Tipos de termóstatos.	126
Figura 5. Funcionamiento del termóstato.	126
Figura 6. Distribución del calor en un MCI	127

Tablas

Tabla 1. Pérdidas de calor en un MCI	127
Tabla 2. Balance térmico de un MCI	128

Práctica No. 6

Sistema eléctrico **137**

Figuras

Figura 1. Batería	141
Figura 2. Diagrama de una batería plomo-ácido	141
Figura 3. Reacción química en una batería durante los ciclos de carga.	142
Figura 4. Componentes del sistema eléctrico.	142
Figura 5. Circuito de carga.	143

Figura 6.	Circuito de arranque.	143
Figura 7.	Flujo de corriente con los contactos del distribuidor cerrado.	144
Figura 8.	Flujo de corriente con los contactos del distribuidor abierto.	144
Figura 9.	Circuitos eléctricos de un motor a gasolina.	145
Figura 10.	Sistema eléctrico básico de un tractor diesel	146
Figura 11.	Esquema de bloques de una unidad electrónica del sistema Motronic de Bosch	147
Figura 12.	Esquema muy general del principio de mando y control.	148
Figura 13.	Componentes de una dinamo.	149

Práctica No. 7

Transmisión de potencia 151

Figuras

Figura 1.	La potencia del motor del tractor se puede obtener en tres puntos.	153
Figura 2.	Transmisión mecánica	154
Figura 3.	Transmisión hidrostática.	155
Figura 4.	Componentes de transmisión hidrostática.	156
Bibliografía		159

Práctica No. 8

Sistema hidráulico y mecanismos de enganche y acople en tractores agrícolas 161

Figuras

Figura 1.	Esquema básico de un sistema hidráulico	164
Figura 2.	Sistema de centro abierto en posición neutral.	168
Figura 3.	Sistema de centro abierto con divisor de flujo.	168
Figura 4.	Sistema de centro cerrado	169
Figura 5.	Componentes del control de posición	170
Figura 6.	Control de posición	170
Figura 7.	Componentes del control de tiro	171
Figura 8.	Control de tiro	172
Figura 9.	Componentes control mixto (combinado)	173
Figura 10.	Correcciones que efectúa el control mixto	174
Figura 11.	Ajuste de la palanca selectora para condiciones variables de suelo y ondulación del terreno	175

Figura 12. Implemento o trabajando con control de tiro	176
Figura 13. Implemento operando con control de posición	176
Figura 14. Implemento operando con control mixto	177

Tablas

Tabla 1. Dimensiones y categorías de implementos disponibles	162
--	-----

Bibliografía	177
--------------	-----

Práctica No. 9

Medición y cálculo de potencia y tracción en tractores agrícolas 179

Figuras

Figura 1. Esquema de la eficiencia (%) de transmisión de potencia de un tractor sobre una superficie de concreto	180
Figura 2. Balance de la potencia resultante a la barra	181
Figura 3. Medición de la resistencia al rodado	182
Figura 4. Relación potencia-tracción-patinamiento	183
Figura 5. Velocidad vs. Tracción	184
Figura 6. Resultado típico de la prueba de barra de tiro	185

Tablas

Tabla 1. Factores al considerar en una prueba de tracción	188
---	-----

Bibliografía	189
--------------	-----

Práctica No. 10

Mecanismos de dirección y propulsión (llantas) en máquinas automotrices 191

Figuras

Figura 1. Oruga especial	193
Figura 2. Oruga Metálica	194
Figura 3. Tipos de llantas neumáticas	195
Figura 4. Definiciones de las dimensiones de un neumático	196
Figura 5. Nomenclatura estandarizada sobre llantas neumática	197
Figura 6. Ejemplo de llanta neumática para maquinaria agrícola	197
Figura 7. Tipos de direcciones para tractores de cuatro ruedas	203
Figura 8. Mecanismos de dirección manual para eje delantero.	204
Figura 9. Sistema de dirección de asistencia hidráulica.	204

Figura 10.	Sistema típico de dirección hidrostática.	205
------------	---	-----

Tablas

Tabla 1.	Clasificación de los neumáticos	198
Tabla 2.	Índice de carga para llantas neumáticas	199
Tabla 3.	Llantas óptimas para tractores	200
Tabla 4.	Llantas direccionales para tractor	200
Tabla 5.	Llantas de tracción del tractor	201
Tabla 6.	Llantas de tractor/ implementos para uso en los equipos automotrices o con mando por llantas	202
Tabla 7.	Símbolos de velocidad	202

Bibliografía 206

Anexos

Anexo 1.	Glosario	207
Anexo 2.	Unidades de presión	261
Anexo 3.	Unidades básicas del sistema internacional (SI)	263
Anexo 4.	Los filtros automotrices	275
Anexo 5.	Sistema de admisión	283
Anexo 6.	Recomendaciones para la revisión de un motor de combustión interna	301
Anexo 7.	Sistema de combustible: protección del Sistema de Inyección	305
Anexo 8.	Sistema eléctrico	333
Anexo 9.	Sistema de enfriamiento (control de temperatura)	345
Anexo 10.	Bandas	363
Anexo 11.	Amortiguador de vibraciones del motor	365
Anexo 12.	Características de desgaste y mantenimiento para rodamientos	367
Anexo 13.	Prolongue la vida del embrague seco de su tractor	369
Anexo 14.	Cuidados a los cilindros hidráulicos	373
Anexo 15.	Preparación del tractor para almacenarlo durante largos períodos	379
Anexo 16.	Mantenimiento del tractor agrícola	381
Anexo 17.	Elementos para la adecuación del tractor a la labor que realiza	389
Anexo 18.	El sistema de dirección	395
Anexo 19.	Los frenos	399
Anexo 20.	Normativa de consumo y emisiones	403
Anexo 21.	Tratamiento de emisiones Diesel	409
Anexo 22.	Tendencias en Tractores	413

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ciencia y la técnica, también ha estado asociado a la rama de la construcción de tractores; a nivel mundial equipos cada vez más sofisticados y complejos con un alto grado de automatización, unida a la más novedosa hidráulica, con motores eficientes en consumo y desempeño. El tractor no es solo un medio agrícola. Desde su proyecto, está concebido como una máquina versátil y polivalente, capaz de especializarse perfectamente para afrontar las más variadas exigencias. Por su naturaleza misma, el tractor puede ejercer de manera autónoma las funciones de variadas máquinas específicas, y con notables beneficios: menor inversión, mayor flexibilidad y mejor aprovechamiento del recurso humano. Ahora bien, cabe preguntarse, si utiliza bien el usuario su equipo; hace uso adecuado de todos los medios y equipamiento adicional de que viene provisto un tractor para cada labor a realizar, lo adapta correctamente a la misma. ¿Es ese tractor el correcto, para las funciones que realiza? ¿Conoce por qué aumenta el consumo de combustible de su equipo?

Los tractores agrícolas transforman el combustible consumido en el motor en energía utilizable para diversos fines: tracción, toma de potencia, energía hidráulica y otras de menor cuantía. El conocimiento de la eficiencia energética de los tractores permitiría a los agricultores utilizarla como criterio al momento de su selección y, como pauta sobre su uso más eficaz. Además, la administración podría fomentar el uso de los tractores más eficientes, tema muy importante, ya que en el país se encuentra en estos momentos muy lejos de cumplir el compromiso con el Protocolo de Kioto. El incremento del costo de combustible y el descenso de las reservas de combustibles fósiles requieren optimizar su uso y aprovechar con la mejor eficiencia posible el que consume la principal máquina productora de energía en agricultura: el tractor.

Otras características del tractor, que no influyen en los resultados de los ensayos OCDE o Nebraska, inciden en su eficiencia energética cualquiera que sean las condiciones reales de uso. Un menor radio de giro permite consumir menos combustible en hacer maniobras en las cabeceras, por emplear menos tiempo; el sistema hidráulico caudal a la demanda (más conocido como

Load Sensing) aprovecha toda la energía que la bomba suministra al aceite, y las tomas de potencia “económicas” trabajan estando el motor del tractor en un régimen próximo al de mínimo consumo específico. Otros factores que afectan la eficiencia energética de los tractores, tales como relación peso/potencia, tamaño y presión de los neumáticos no pueden tomarse en cuenta al hacer una clasificación de eficiencia energética, pues su influencia no se produce en el mismo sentido en todas las condiciones de trabajo.

Para que un tractor pueda salir al mercado en la Unión Europea, el fabricante debe informar los datos que figuran en el Certificado de Conformidad publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea. En dicho certificado se piden informaciones muy generales sobre dimensiones, masas, cilindrada del motor, número de marchas, etc. El único parámetro relativo a la prestación energética del tractor es la potencia nominal del motor, ensayado por cualquier método reconocido. Ni siquiera es obligatorio informar de la potencia cuando la toma de potencia gire a su régimen normalizado, y de ningún dato relativo al consumo de combustible. Afortunadamente, un número apreciable de modelos dispone de resultados de ensayos según los códigos OCDE efectuados por alguna estación oficial.

En el campo el tractor se constituye en la máquina autopropulsada más utilizada y la base de la mecanización agrícola; él proporciona la energía necesaria para el accionamiento de las máquinas, tracción de los implementos y medios de transporte. Se estima que más de la mitad del tiempo de utilización, es consumido en actividades de transporte.

En condiciones dinámicas, las fuerzas actuantes sobre el tractor agrícola se presentan de manera compleja. Analizando el tractor desplazándose a velocidad constante y despreciando la resistencia del aire, aparecen como fuerzas activas, la fuerza peso y la fuerza de tiro generada por el respectivo dispositivo. Como fuerzas de resistencia se tienen las reacciones verticales del terreno referentes al peso, las reacciones horizontales del terreno y la resistencia en la barra de tiro.

Si todas las características y propiedades del mecanismo de tracción y del terreno son conocidas, el problema es determinar las relaciones entre la carga sobre la rueda motriz, el torque aplicado, la tracción desarrollada y las condiciones del terreno. El desarrollo de ruedas protegidas con goma proporcionó verdadera revolución del tractor, debido a que la rueda neumática al deformarse, se adapta mejor a las características irregulares del terreno, aumentando de esa forma su capacidad de tracción. Prever el rendimiento de la tracción de tractores agrícolas de ruedas no es tarea fácil, debido a la complejidad que implica la interacción entre el sistema de rodadura y el suelo. La implementación

de programas de computación, para simular ese rendimiento, puede ayudar a los profesionales que trabajan en el área de la mecanización agrícola a entender mejor los diversos aspectos vinculados al proceso.

Así se encuentran tractores con menor ancho de vía, o con mayor despeje sobre el suelo (alto despeje), que puede definirse como normal y, entre el grupo de tractores normales aparecen diferencias significativas en relación con las distancias entre ejes o la masa en vacío y también en las características de los neumáticos, etc.

Todo usuario que decide adquirir un tractor tiene que plantearse claramente las funciones a las cuales dedicará su equipo. Así puede disponer de un tractor estándar o también llamado universal, capaz de resolver con mayor o menor fortuna todas las operaciones que demanda su explotación.

No existen, en general, diferencias fundamentales entre los heterogéneos componentes de máquinas autopropulsadas, estando el tractor agrícola incluido entre ellas. El tractor como máquina autopropulsada, es la principal fuente de potencia utilizada en la agricultura comercial tecnificada y ese sentido será el motivo de la mayor atención en este documento. Su uso ha permitido aumentar la productividad y la frontera agrícola en el sector agropecuario y, ofrecer una oferta más diversificada y de mayor calidad de materias primas a la agroindustria.

En el desarrollo histórico del tractor, han sido muchas las innovaciones y perfeccionamientos logrados. Su eficiencia y capacidad operativa está en constante incremento. Nuevos diseños y mecanismos de accionamiento hidráulico y electrónico han sido incorporados con ventajas mayúsculas. En particular, al final de la segunda guerra mundial se da un gran salto tecnológico que afectó a los tractores agrícolas. El tractor de esa época ya tenía una estructura o “silueta” semejante a la actual, y las innovaciones incorporadas han servido para aumentar su capacidad operativa y un mejor desempeño, facilitar la conducción y aumentar la seguridad y comodidad del operario.

El empresario agrícola emplea el tractor para las más diversas labores y condiciones; en consecuencia sus características deben responder a las tareas establecidas, con un desempeño satisfactorio, seguro y con larga vida económicamente útil. Por lo tanto, saber seleccionar las máquinas más adecuadas, es un paso de vital importancia en el objetivo de hacer rentable la agricultura. Obviamente, sus especificaciones deben guardar proporción con factores agroclimáticos, comerciales y económicos.

Este análisis detallado del tractor motores de combustión interna (MCI), no deja de reconocer que el trabajo manual y los animales de tiro son otras fuentes importantes de propulsión y energía en el sector rural y en las actividades agropecuarias. Y que con menos intensidad está difundido a nivel mundial, el uso de la energía eólica e hidráulica para el accionamiento de máquinas estacionarias (molinos y bombas). Así mismo, la biomasa (especialmente la madera, pero también la paja y el estiércol) es en las zonas rurales de muchos países la fuente de energía más importante para cocinar y otros usos rurales (iluminación, calefacción).

Estas formas de energía, eventualmente, compiten entre sí en la agricultura y en hogares rurales; en particular los animales de tiro necesitan superficies forrajeras que entonces no están ya disponibles, para cultivos destinados a la alimentación humana; el estiércol quemado hace falta para el abastecimiento de nutrientes de las tierras cultivadas; y tanto los sistemas de propulsión motorizados estacionarios como también los móviles (tractores) requieren energías de reservas limitadas, especialmente productos del petróleo, como combustibles.

No pretende este texto dar todas las soluciones para el buen uso de los tractores agrícolas, ya que la variedad y tipos existentes es muy amplia, así como de equipos e implementos disponibles en el mercado. No obstante, se intenta recopilar y señalar algunos elementos y normativas, para la adecuación del tractor a su uso, de forma que sirvan de orientación, para decidir cuales son las características del tractor que conviene en función de las condiciones de una empresa agrícola.

Se busca, igualmente con esta guía, señalar y detallar las características técnicas principales que se deben tener en cuenta cuando se selecciona o compra una máquina autopropulsada de aplicación agrícola. Igualmente, se consideran algunas variables asociadas con el mantenimiento. Esta visión de conjunto de las máquinas autopropulsadas es complementada con un análisis de los sistemas y mecanismos básicos que la integran. Así mismo, tiene como objetivo formular y desarrollar una metodología sistemática y sistémica que permita evaluar las características y desempeño de máquinas autopropulsadas, sin olvidar los aspectos ambientales, ya que el uso de varios insumos (combustibles y aceites) producen impactos degradantes. Igualmente, permitir aplicarla a otro equipo, máquina o proceso mecanizado. Como información complementaria, en los anexos se hace una ilustración más detallada de recomendaciones sobre mantenimiento general, en máquinas automotrices.

PRÁCTICA No. 1: EVALUACIÓN DE MÁQUINAS AUTOPROPULSADAS

Objetivos:

- Familiarizar al estudiante con las fuentes de información sobre los tractores y máquinas automotrices (figuras 1, 2 y tablas 1 y 2).
- Que el estudiante conozca las principales características técnicas de ellas, a partir del estudio directo de la propia máquina, de los manuales de operación y mantenimiento y catálogo de partes (figura 3, 4, 5, 6 y 7).
- Que el estudiante realice directamente en el campo las principales mediciones del desempeño de la máquina.
- Realizar análisis comparativos de los datos obtenidos por diferentes medios: campo, fórmulas y gráficos que permitan generar conclusiones y recomendaciones.
- Reconocer sus limitaciones para obtener un óptimo uso de sus posibilidades, ver figuras 8 y 9.

Metodología:

En grupos no mayores de tres (3) estudiantes, seleccionar un tractor para analizarlo en detalle. La asesoría para el estudio del tractor estará dada por profesores, técnicos y operarios. Cada grupo realizará la práctica independientemente.

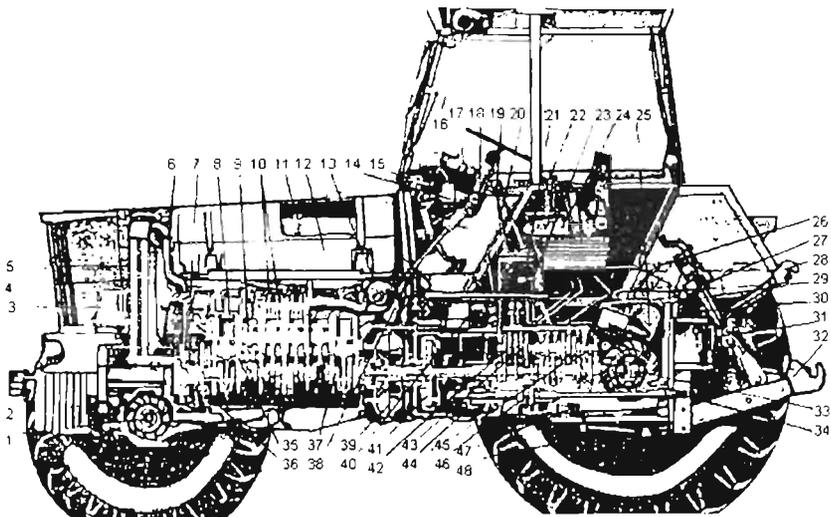


Figura 1. Tractor seccionado de propulsión en cuatro ruedas, señalando sus principales mecanismos

- | | |
|---|---|
| 1. Eje delantero accionado | 25. Elevador hidráulico de regulación automática |
| 2. Cilindro de dirección hidráulico | 26. Palanca para regulación de tiro, mista y flotante |
| 3. Refrigerador de aceite | 27. Brazo de elevación con husillo de regulación |
| 4. Radiador de cobre | 28. Tercer punto con acoplamiento rápido |
| 5. Ventilador | 29. Enchufes para mando a distancia |
| 6. Termostato de doble circuito | 30. Cilindros adicionales de elevación |
| 7. Bomba de agua | 31. Enganche para remolque ajustable en altura |
| 8. Camisa de cilindro | 32. Brazos inferiores con acoplamientos rápidos |
| 9. Pistón | 33. Diferencial con bloqueo |
| 10. Válvula de admisión y de escape | 34. Eje de toma de fuerza independiente, a 540 y 1.000 rpm |
| 11. Marcador eléctrico del nivel de combustible | 35. Eje de levas |
| 12. Depósito de combustible | 36. Bomba para lubricación a presión |
| 13. Turbo-sobrealimentador | 37. Cigüeñal |
| 14. Cilindro principal de freno | 38. Dirección hidrostática |
| 15. Toberas de aire caliente | 39. Turbo-embrague hidráulico |
| 16. Ventilador de aire fresco | 40. Calefacción |
| 17. Cuadro de instrumentos | 41. Embrague de marcha |
| 18. Barra de dirección con eje telescópico | 42. Caja de cambios sincronizada |
| 19. Conexión de caja de cambios y grupo de marchas | 43. Convertidor de par sincronizado |
| 20. Palanca preseectora para eje de toma de fuerza | 44. Embrague de laminillas para toma de fuerza |
| 21. Palanca de conexión de marchas super-lentas | 45. Caja de cambios de dientes oblicuos |
| 22. Palanca de manejo para elevador hidráulico de regulación automática | 46. Conexión para eje de toma de fuerza |
| 23. Accionamiento del bloqueo de diferencial | 47. Filtro de aspiración |
| 24. Asiento de lujo | 48. Impulsor para elevador hidráulico de regulación automática. |

Challenger 65...

La Máquina Agrícola Total

El Challenger es la primera máquina agrícola sin concesiones . entrega la fuerza de tiro y la baja compactación del suelo típicas de las cadenas, a velocidades de labranza y tracción que sólo dan las ruedas.

Tiene la movilidad de las ruedas y la estabilidad de las cadenas . tracción y desplazamiento mejores que los de las ruedas, más rapidez y menos ruido que las cadenas.

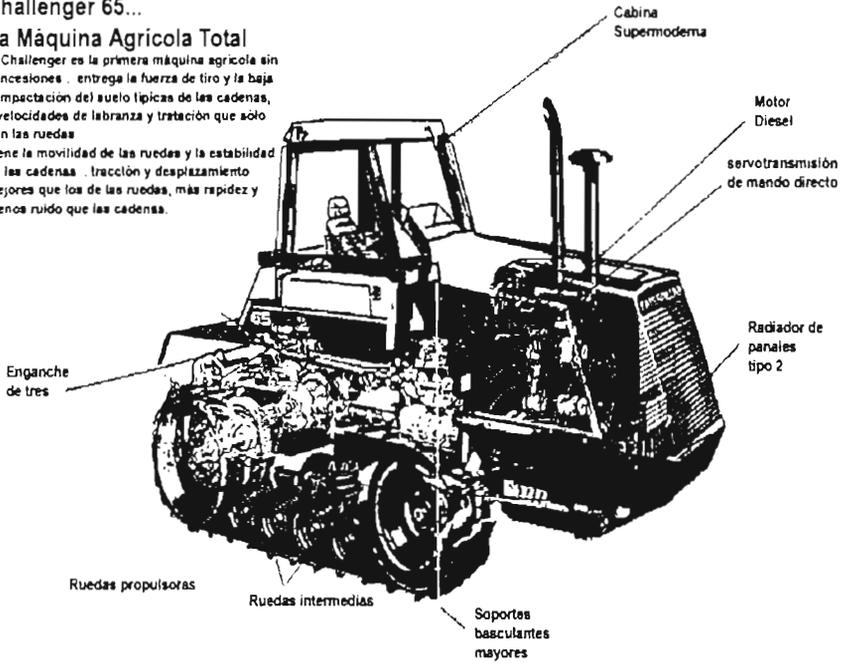


Figura 2. Tractores de oruga.

Fuente: Caterpillar.



Figura 3. Tractores de ruedas neumáticas.

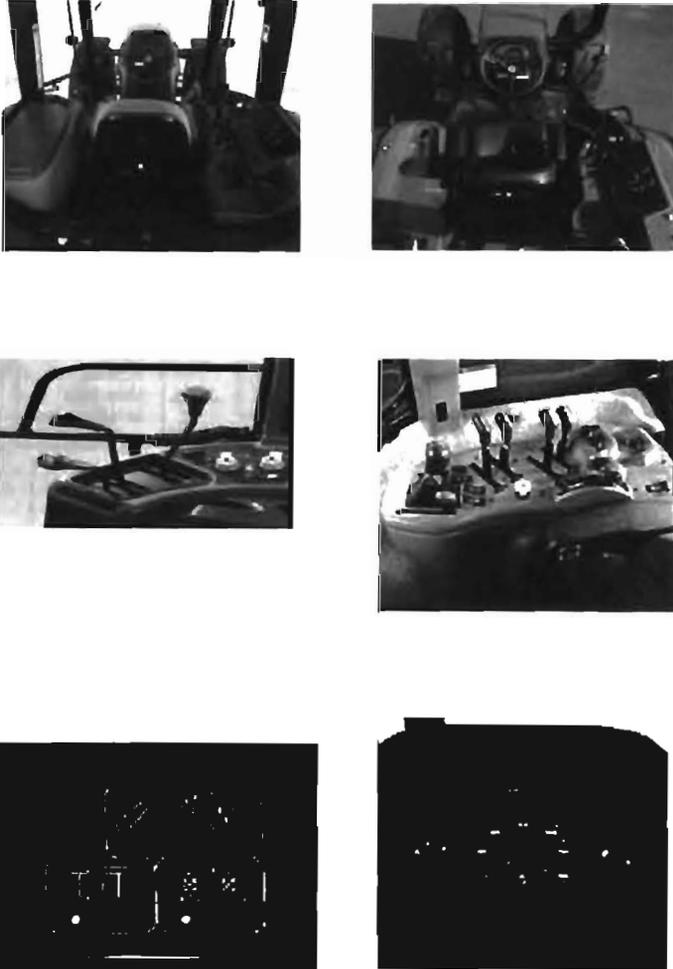


Figura 4. Cabina: mandos y controles

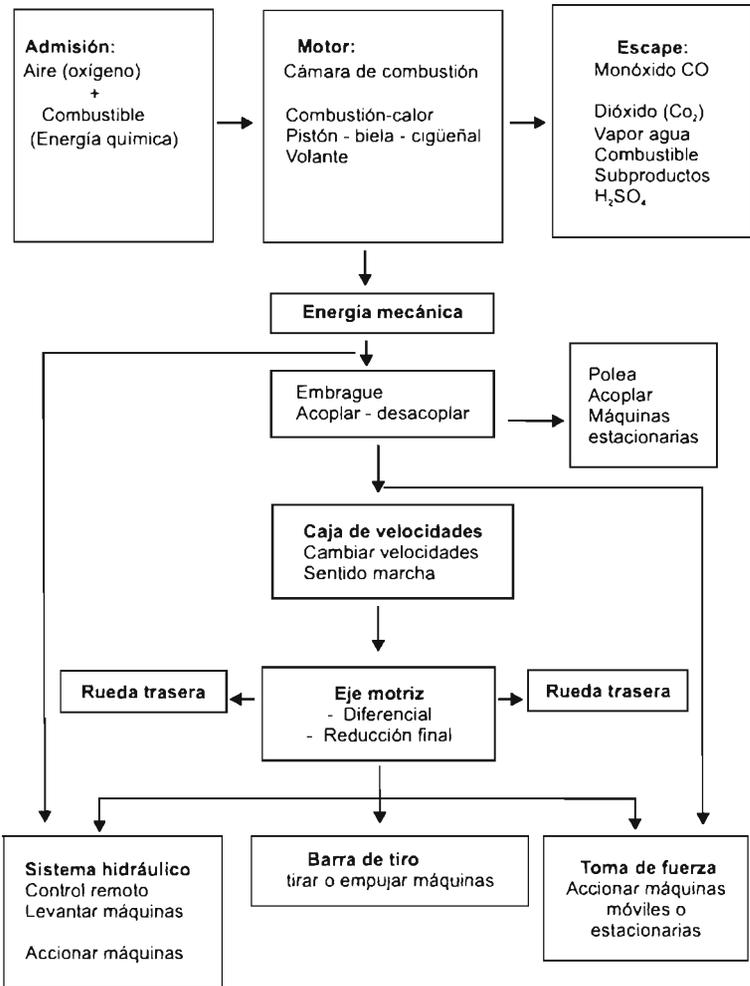


Figura 5. Diagrama de funcionamiento del tractor agrícola

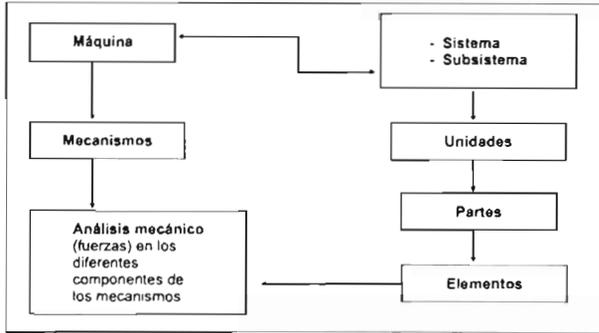
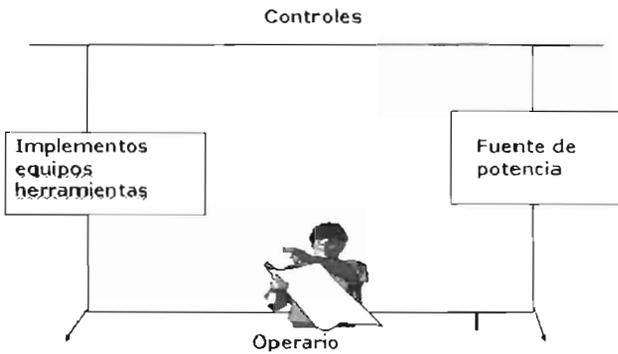


Figura 6. Diagrama para análisis funcional-mecánico de los componentes de una máquina



Máquina:

- Unidad de potencia.
- Unidad de control.
- Unidad de transmisión.
- Unidad de trabajo:
 - . Barra de tiro.
 - . Toma de fuerza (tdf).
 - . Enganche de tres puntos.
 - . Salidas para botellas hidráulicas.

Figura 7. Componentes de una máquina (tipo tractor)

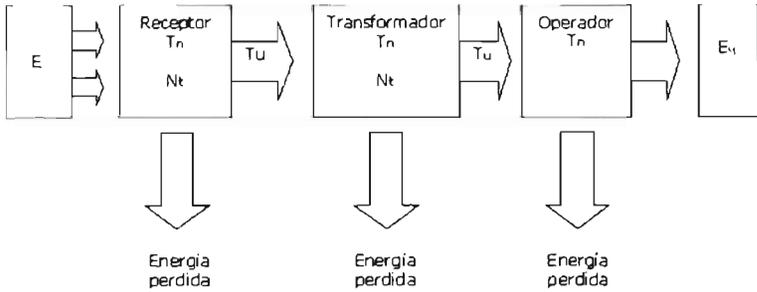


Figura 8. Pérdidas de energía ocasionadas en los diferentes mecanismos de una máquina motriz.

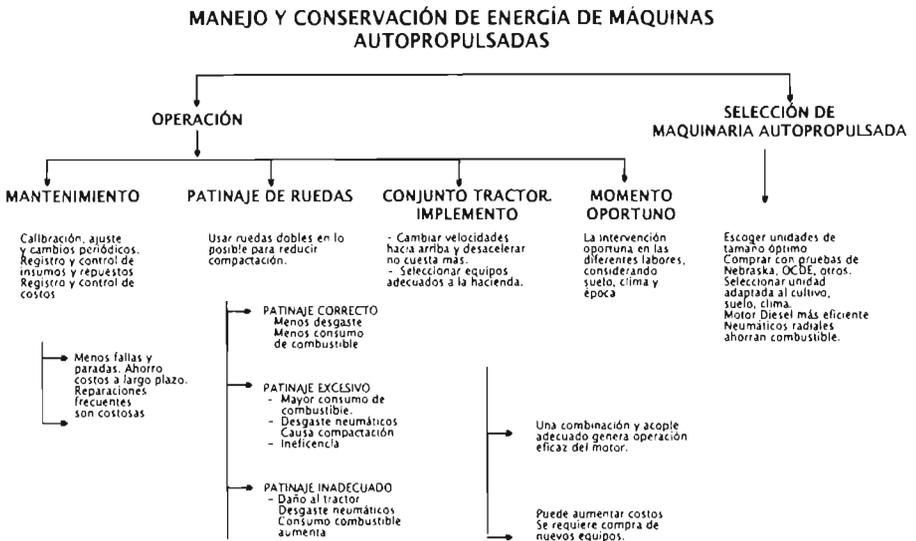


Figura 9. Factores que permiten optimizar las máquinas autopropulsadas de uso agrícola.

Máquinas autopropulsadas

Información general:

Marca: _____

Modelo: _____

Tipo: _____

Número de serie: _____

Trocha estándar de las ruedas:

Delantera: _____ Trasera: _____

Radio de giro: _____

Altura total: _____

Luz vertical (despeje): _____

Peso de embarque: _____

Peso con lastre: _____

Peso sin lastre: _____

Peso adelante: _____

Peso atrás: _____

Longitud total: _____

Precio: _____

Distribuidor: _____

Clasificación: _____

Cabina: _____

Clasificación Nebraska (u otra):

Número de prueba: _____

Potencia máxima motor: _____ a _____ rpm.

Toma de fuerza: máxima potencia en tdf _____ a _____ rpm.

Máxima Potencia en tdf a rpm estándar motor _____ a _____ rpm tdf.

Máxima potencia en la barra de tiro: _____

Datos del rendimiento de la barra de tiro (potencia máxima con lastre):

Cambio	Potencia (kW-hp)	Tracción de la barra de tiro (N - kg)	Velocidad marcha km/h	Deslizamiento %

Motor:

Marca: _____

Tipo: _____

Número modelo: _____

Par motor máximo: _____

Reserva de torque: _____

rpm nominales: _____

rpm mínima sin carga: _____

rpm máxima sin carga: _____

Margen de rpm en trabajo: _____ mínimo _____ máximo _____

Número de cilindros: _____

Diámetro: _____

Carrera: _____

Cilindrada: _____

Tipo de camisa: húmeda: _____ seca: _____

Orden de encendido: _____

Relación de compresión: _____

Relación aire-combustible: _____

Número de cojinetes principales: _____

Holgura de taqués, escape: _____

Holgura de taqués, admisión: _____

Alimentación: natural _____ turbo alimentado: _____ compresor: _____ turbo + intercambiador de calor: _____

Sistema de combustible:

Combustible utilizado: _____

Octanaje: _____

Número de Cetano: _____

Carburador: _____

Bomba de inyección: _____

Tipo de bomba de inyección: _____ accionamiento: _____

■ PRÁCTICA No. 1

Tipo inyectores: _____
Avance de inyección recomendada: _____
Bomba de transferencia: _____ tipo: _____
Accionamiento: _____
Tipo filtros: _____
No. de filtros: _____
Localización: _____
Trampa de agua: _____
Palanca de cebado: _____
Capacidad tanque combustible: _____
Ubicación tanque combustible: _____
Cómo controla la velocidad el regulador: _____
Consumo específico de combustible (Ce: gr/kW-h): _____
Consumo horario de combustible (Ch: gal/h): _____
Poder calorífico combustible: _____
Peso específico: _____
Costo galón combustible: _____
Prelimpiador de aire: _____
Filtro aire (tipo): _____
Intervalo de cambio: _____

Sistema de lubricación y lubricantes del motor:

Partes a lubricar con aceite: _____
Partes a lubricar con grasa: _____

Aceite del motor:

- Características técnicas: SAE: _____ API: _____
- Intervalo cambio: _____
- Referencia comercial: _____
- Capacidad cárter motor: _____
- No. de filtros y tipo: _____
- Intervalo cambio filtro: _____
- Respiradero o ventilador del cárter: _____
- Localizar filtro, drenaje, respiradores y conducto de llenado: _____
- Tipo bomba: _____ caudal: _____ presión: _____

Aceite de transmisión:

- Aceite caja velocidad: SAE: _____ API: _____ referencia comercial: _____
 Intervalo de cambio: _____
 - Aceite diferencial: SAE: _____ API: _____ referencia comercial: _____
 Intervalo de cambio: _____
 - Aceite reducción final: SAE: _____ API: _____ referencia comercial: _____
 Intervalo de cambio: _____
 Lubricación transmisión: inmersión: _____ presión: _____
 Periodicidad de engrase: _____
 Clasificación completa de la grasa a usar:
 Base: _____
 NLGI: _____ API: _____ otra: _____
 Referencia Comercial: _____

Sistema de control temperatura (refrigeración):

Tipo: aire: _____ agua: _____
 Capacidad de líquido: _____
 Tipo radiador: _____ tiene persiana: _____
 Tipo de bomba: _____ caudal: _____ mando de bomba: _____
 Tipo ventilador: _____ Número aspas: _____
 Presurización del sistema: _____ presión: _____
 Localización termostato: _____
 Rango de temperatura de apertura del termostato: _____
 Refrigeración aceite: _____ cuál: _____

Sistema eléctrico:

Tipo encendido: (compresión, chispa): _____
 Voltaje batería: _____ capacidad (Ah): _____ número baterías: _____
 Corriente (I): _____ estado bornes: _____ nivel electrolito: _____
 Alternador o dinamo: _____ voltios: _____ amperios: _____
 Mecanismo auxiliar de arranque: _____
 Motor arranque: voltios: _____ amperios: _____ kW: _____
 Conexión a masa: + a masa: _____ - a masa: _____
 Bujías: Tipo: _____ calibración: _____
 Avance chispa recomendable: _____
 Lista de accesorios eléctricos: _____

Sistema de transmisión:

Embrague: discos secos: ___ disco húmedo: ___ diámetro: ___

Mando: ___ accionamiento: manual: ___ pedal: ___ otro: ___

Cajas de velocidades: tipo: ___ cuántas velocidades: ___

adelante: ___ atrás: ___ accionamiento: ___ cuántas palancas: ___

Selección de cada una: ___

Puente trasero (diferencial):

Bloqueo del diferencial: ___ accionamiento: ___

Reducción final: tipo: ___

Dirección:

Tipo: ___

Accionamiento volante: ___ Otras: ___

Bidireccional reversible: ___

Radio de giro: ___ radio de giro con freno: ___

Ubicación del sistema de dirección: ruedas delanteras: ___

ruedas traseras: ___ en las 4 ruedas: ___ chasis articulado: ___

Frenos:

Tipo: ___

Accionamiento: ___

Frenos parqueo: ___ tipo: ___

Sistema hidráulico

Comprobar los mecanismos accionados hidráulicamente:

Dirección: ___ frenos: ___ embrague: ___

Cambio caja velocidades: ___

Accionamiento caja auxiliar: ___

Operación cilindro a control remoto: ___

Embrague toma de fuerza: ___

Enganche de tres puntos: ___

Otros mecanismos: ___

Sistema: abierto: ___ cerrado: ___

Capacidad de fluido del sistema: ___

Especificaciones completas del fluido: ___

Intervalo de cambio: ___

Número y localización de bombas: ___

Tipo de bombas: ___

Motor hidráulico: _____
Capacidad de flujo de las bombas: _____
Cuál es la presión para abrir la válvula de alivio del sistema: _____
Localizar filtros sistema. Cuál es el intervalo de cambio: _____
No. de palancas de control del sistema de alce: _____
Tiene sensibilidad variable el apoyo a la tracción: _____
Categoría de enganche: _____
Controles: control de tiro: _____ control de posición: _____
control mixto: _____ otro: _____
Capacidad de alce del enganche de tres puntos: _____
Presión del sistema: _____
Potencia hidráulica: _____ kW
Diámetros y carrera de los cilindros remotos: _____
Tipo cilindro: _____

Toma de potencia o tdf:

Localización: _____
tdf de dos velocidades, estándar u opcional: _____
Tipo de toma de fuerza: _____
Accionada por la transmisión: _____ continuo: _____ independiente: _____
Rpm de tdf con las rpm nominales del motor: _____
Rpm del motor con las rpm de la tdf ASAE: _____
Acoplamiento: mecánico: _____ hidráulico: _____
Número de estrías para 540 rpm: _____
Número de estrías para 1000 rpm: _____
Acople para polea u otro: _____

Enganche y acoples:

Enganche de tres (3) puntos: _____ categoría: _____ ubicación: _____
Barra de tiro: _____ tipo: _____
Junta cardánica: _____
Enganche semimontado: _____
Enganche rápido: _____
Brazos inferiores: bloqueados: _____ puede oscilar: _____
Posibilidad de cambiar la categoría: _____
Tensores laterales: de cadena: _____ tornillo: _____ otros: _____
Lista de los ajustes y los controles en los enlaces de enganche: _____

Propulsión y sistema de rodado:

Tipo de mecanismo de propulsión: _____

Tracción: 2 Rm: _____ + Rm: _____

Especificaciones de las llantas:

Traseras: ancho: _____ ϕ rin: _____ w rin: _____

Número de lonas: _____

Presión de inflado: _____ tipo de relieve (taco): _____

Capacidad de carga (índice de carga): _____ convencional: _____

Radial: _____ sellomatic (tubeless): _____

Delanteras: ancho: _____ ϕ rin: _____ w rin: _____

Número de lonas: _____

Presión de inflado: _____ tipo de relieve: _____

Capacidad de carga (índice de carga): _____

Convencional: _____

Radial: _____ sellomatic (tubeless): _____

Variación de la trocha: mínimo: _____ máximo: _____

Número de trochas: _____

Lastre:

Qué lastre tiene el tractor y dónde: _____

Lastre máximo: _____

Tablero de controles e indicadores:

Tacómetro: escala: _____

Horómetro: lectura: _____

Indicador de carga de batería: luz testigo: _____ amperímetro: _____

Velocímetro: escala: _____

Indicador presión aceite motor: luz testigo: _____ manómetro: _____

Indicador servicio filtro aire: _____

Indicador presión y nivel aceite transmisión: _____

Indicador temperatura del motor: _____

Indicadores de pantalla (digitales): _____

Control electrónico del enganche de tres puntos: _____

Funciones: _____

Indicadores luces y direccionales: _____

Indicador funcionamiento tdf: _____

Indicador de deslizamiento: _____

Otros indicadores: _____

Equipos o elementos opcionales:

Evaluación de los controles, de la seguridad y de la comodidad:

Es sencillo abordar este tractor _____.

Están en posiciones convenientes las agarraderas: _____

Abre con facilidad la puerta de la cabina: _____

Es cómodo el asiento y se ajusta con facilidad la puerta de la cabina: ____

Es cómodo el asiento y se ajusta con facilidad a las dimensiones de sus brazos y piernas: _____

Es fácil ajustar y abrochar el cinturón de seguridad: _____

Son fáciles de usar los ajustes de volante, le permiten un ajuste adecuado para satisfacer sus necesidades de movimiento de la dirección: _____

Está convenientemente colocado el pedal del embrague: _____

Es fácil de operar: _____

Es fácil de aplicar los pedales del freno y asegurarlos entre si, es sencillo aplicar el freno de mano: _____

Es fácil localizar y leer los instrumentos más importantes, están agrupados de manera que se puedan ver sin tener que hacer movimientos bruscos de los ojos y descuidar el control del tractor: _____

Es conveniente el uso de los controles hidráulicos, están agrupados de manera que se puedan operar por el solo tacto. Están localizados o separados de modo que su identidad por tacto no es un problema: _____

Evaluar la visibilidad desde el asiento del tractor hacia el frente, hacia atrás, hacia los puntos de enganche y hacia el eje tdf: _____

Proporciona la cabina protección adecuada contra el viento, el frío el sol, la lluvia, el calor, el ruido y las volcaduras: _____

Normas de seguridad en operación de tractores:

Todos los tractores de más de 15 kW (20-hp) deben estar equipados con estructuras de protección laminada y cinturones de seguridad. El presente listado incluye algunas de las más importantes normas de seguridad para un operario de máquinas. El estudiante debe leer cuidadosamente:

■ PRÁCTICA No. 1

- Cumpla con todas las recomendaciones específicas de su máquina, tanto en servicios como en mantenimiento, cuidados y reparaciones.
- No llene los tanques de combustible en especial si es gasolina o gas, cuando el motor este caliente. No fume durante esta operación.
- Nunca trate de engrasar, ajustar, regular o aceitar una máquina mientras está funcionando. Nunca use ropa suelta con extremos o tiras que puedan ser enrolladas por las partes móviles de la máquina.
- Mantenga en su sitio los blindajes y cubiertas de protección de la máquina.
- Antes de poner en marcha el motor coloque las palancas de cambio en posición neutra.
- Las únicas personas que deben hacer funcionar una máquina son aquellas autorizadas para hacerlo.
- Cuando un tractor está en marcha sólo una persona (el tractorista) debe estar en la máquina.
- En curvas y en pendientes debe regularse la velocidad de marcha de la máquina para evitar el volcamiento.
- Nunca quite la tapa del radiador cuando el motor está caliente, primero abra la válvula reguladora de presión.
- Antes de iniciar la marcha, revise la tensión de los frenos, el ajuste de los pernos de las ruedas y mecanismos de dirección.
- Nunca frene una sola rueda del tractor cuando esté a cierta velocidad, trábelos según sea el sistema.
- No trate de remolcar enganchando la soga o cadena en sitios altos del tractor, puede voltearse.
- Mantenga alejado el tubo de escape (sobretudo si es bajo) de paja y material inflamable.
- Evite operación del tractor cerca de zanjas, precipicios y terraplenes.
- Nunca haga funcionar el motor en un garaje o cuarto cerrado o poco ventilado.
- Al bajar una pendiente pronunciada (en especial si se remolca carga) mantenga siempre conectado el motor a la transmisión en un cambio.
- Cuando alguien esté ajustado o reparando una máquina impulsada, nunca se deje el motor girando (aún cuando esté en neutro). Siempre debe estar una persona al control del tractor.
- Nunca trate de manejar un tractor sin sentarse primero en el asiento para el tractorista.
- Tenga siempre un botiquín de emergencia. Aplíquese inmediatamente un antiséptico adecuado a todo corte o rasguño por pequeño que sea.

- Detenga siempre la toma de fuerza antes de bajarse del asiento del tractorista.
- Al enganchar un implemento, nunca debe pararse entre el tractor y el implemento. Use algún elemento para sostener alzada la barra de tiro del implemento.
- Nunca quite una banda de la polea en movimiento.
- Nunca se baje del asiento si el tractor está en marcha.
- Utilice las fundas y protectores de ejes y cadenas.
- Mantenga limpios los pedales de grasa y barro; así mismo de la plataforma.
- No deje la llave de encendido puesta en el interruptor.
- Utilice lastre en la parte delantera del tractor, cuando la tracción aumenta.
- En tránsito por carreteras respete las órdenes del tráfico y velocidad, luces y señales.
- Evitar pendientes que sean demasiado pronunciadas para una operación segura.
- Operar el tractor con uniformidad sin virajes, paradas o arranques intempestivos.
- Al parar el tractor ponga los frenos con firmeza y use el seguro (frenos) de estacionamiento, si lo hay.

Algunos factores a considerar cuando se va a comprar un tractor:

- Si los gastos de la compra y de uso de los tractores van a ser recuperados con el rendimiento económico de ellos.
- Cuáles son las consecuencias o repercusiones financieras de esas adquisiciones.
- Qué se requiere para el uso eficiente de la maquinaria u otros equipos; qué hay que adquirir adicionalmente y qué otros gastos acarrea el tener y usar esa maquinaria.
- Qué puede o no hacer el tractor.
- Que precauciones se deben tomar para el almacenamiento, mantenimiento y servicio del tractor.
- Qué tipo y marca del tractor conviene comprar, de qué peso, tracción, caballaje, tipo combustible, Ce, etc.

- Qué servicio puede esperarse del distribuidor o agente de ventas; es decir, qué servicio mecánico está en condiciones de dar, qué posibilidades de abastecimiento de repuestos y, qué política de precios en los repuestos y servicios tiene.

Análisis de mantenimiento del tractor:

Recursos: tractores y manuales de operación, mantenimiento y de partes. Con base en sus conocimientos del tractor y los manuales e información por usted solicitada debe ejecutar lo siguiente:

- Registros de mantenimiento periódico.
- Carta de lubricación completa y especificaciones de lubricantes y grasa (API, SAE, ISO, cantidad, periodicidad, referencias comerciales, costos, etc.).
- Tarjeta maestra.
- Registro diario de trabajo y costos de operación.
- Registro de inspección mecánica.
- Registro de consumos de combustible, aceites y otros.
- Registro de reparaciones- historia de la máquina. Costo de mano de obra, repuestos, etc.

Además, de estructurar el contenido básico de los registros debe determinar la forma de ser tabulados (quién, cuándo, cómo); el flujo de registros y el sitio de archivo final.

A manera de ilustración en la tabla 1 y 2 se presentan las especificaciones principales de dos modelos de tractor, tal como las exhiben los fabricantes.

Tabla 1.
Especificaciones típicas de un tractor agrícola
Valtra

Motor			
Marca/Modelo		Valtra 620 D	
Tipo	Diesel, de inyección directa, 4 tiempos		
Cilindros	6 - Verticales en línea, dos culatas, camisas húmedas removibles		
Cilindrada total	6.600 cm ³		
Potencia del motor	120 CV a 2300 rpm (ISO 1585)		
Torque máximo	430 Nm a 1400 rpm (ISO 1585)		
Sistema de inyección	Prefiltro y filtro doble seco. Bomba rotativa con regulador incorporado.		
Transmisión de potencia			
Embrague	Disco seco de 330 mm con accionamiento mecánico por pedal		
Caja de cambios	Sincronizada 16 marchas adelante y 8 reversas		
Multitorque	Reductor de velocidad Accionamiento electrohidráulico		
Velocidades en km/h (máximas)	Marchas	Reductor 18.4-30 R1	Normal
	L1	3,1	3,9
	L2	3,9	4,9
	L3	5,8	7,3
	L4	8,1	10,2
	H1	10,8	13,5
	H2	13,5	16,9
	H3	19,9	25,1
	H4	27,7	34,8
	R1	5,1	6,4
	R2	6,4	8,1
	R3	9,5	11,9
	R4	13,2	16,6
Toma de potencia			
35 mm (1 3/8") de diámetro (6 estrias). Accionamiento independiente, a través del embrague de accionamiento electrohidráulico.			
Potencia máxima en la tdf	107 CV a 2300 rpm		
Potencia a 540 rpm en la tdf	98 CV a 1860 rpm		

■ PRÁCTICA No. 1

Revoluciones disponibles	540, 540 + 1000 rpm, proporcional al desplazamiento del tractor
Sistema hidráulico	
Categoría	II - con estabilizadores regulables
Capacidad máxima de levante	4760 kg (2820 kg a 610 mm de los puntos de enganche)
Presión máxima	18 MPa
Caudal máximo	51,8 l/min
Control remoto	Una dos o tres válvulas de doble acción, con acople tipo rápido y opción para destrabe automático
Dirección: Hidrostática	
Frenos: de disco en baño de aceite, independientes en las ruedas traseras. Freno de estacionamiento accionado mecánicamente.	
Neumáticos standard: 4x4	14,9-24R1 6PR + 18,4- 34R1 10PR
Dimensiones- medidas para tractor standard	
Largo máximo (con contrapesos)	4870 mm
Altura máxima (hasta el techo)	2915 mm
Largo (bitola trasera 1244/1140)	2550 mm
Distancia entre ejes	2572 mm
Espacio libre (sobre la barra de tracción)	410 mm
Trocha delantera (ajustable)	1453-1566-1653-1766-1853-1966 mm
Trocha trasera (ajustable)	1512-1610-1725-1797-1912 mm
Radio de giro libre	4450 mm
Peso máximo permitido con rodado standard	6400 kg
Capacidad del tanque de combustible	180 litros
Capacidad del cárter del motor	19 litros
Sistema de enfriamiento	24 litros
Caja de cambios TDP hidráulico y transmisión	66 litros
Eje delantero	7 litros

Fuente: Valmet

Tabla 2.
Especificaciones típicas de un tractor John Deere

Modelo: Tractor 8320 - 259 hp- DT

- Doble Tracción.
- Motor John Deere, Modelo 6081H PowerTech, 6 cilindros, 8,1 litros, turboalimentado, 259 HP, post enfriado aire-aire. Inyección electrónica con sistema Common Rail de alta presión. Cumple con certificación de emisiones Tier II.
- Embrague tipo multidisco en baño de aceite, de accionamiento electrohidráulico
- Transmisión Power Shift, 16 marchas de avance y 4 de retroceso, con cambios automáticos, rango de velocidad avance 2 a 39,9 km/h. Retroceso 1,8 a 10,9 km/h.
- Toma de potencia independiente, 540 / 1000 rpm de accionamiento electrohidráulico
- Frenos a discos húmedos de accionamiento hidráulico y autocompensados
- Tracción delantera mecánica, acoplamiento bajo carga de accionamiento electrohidráulico
- Sistema hidráulico de presión y caudal compensados, bomba de engranajes, caudal de 126,8 l/m y bomba hidráulica auxiliar de émbolo axial de 160 l / m
- Levante 3 puntos opcional categoría III / III N, accionamiento electrónico, 3 válvulas de control remoto.
- Dirección hidrostática y columna de dirección telescópica con memoria de posición
- Cabina Command View con radio AM / FM con CD Sistema IMS (Implement Management System) para operaciones automáticas en cabeceras.

Especificaciones	
Modelo	Tractor 8320 DT
Motor	
Marca	John Deere
Modelo	6081H
Sistema de refrigeración	Por líquido a presión, 2 termostatos y tanque de recuperación
Potencia hp / (kW)	259 / (193)
Régimen (rpm)	2200
Potencia a la tdf (hp / kW)	215 / 160
Número de cilindros	6

Diámetro y carrera (mm)	116x129
Cilindrada (litros)	8,1
Aspiración	Turboalimentado y posenfriado aire/aire
Torque máximo (Nm)	1173
Régimen de torque máximo (rpm)	1400
Reserva de torque (%)	40
Relación de compresión	16,5:1
Consumo específico a torque máximo (gr/kWh)	198
Transmisión	
Embrague tipo	Multidisco en baño de aceite
Accionamiento	Electrohidráulico con acoplamiento baja carga
Transmisión tipo	Servotransmisión Automática
Cantidad de marchas (avance y retroceso)	16 / 4
Número de rangos	4
Número de velocidades entre 4 y 12 km/h	8
Rango de velocidades	Avance: 2 a 39,9 km/h Retroceso: 1,8 a 10,9 km/h
Traba de diferencial trasero	Aplicable bajo carga
Toma de potencia	
Tipo	Totalmente independiente
Accionamiento	Electrohidráulico
Régimen nominal de la tdf (rpm)	540 /1000

Régimen del motor a velocidad standar tdf (rpm)	1975 / 2200
Tracción delantera	
Tipo	Mecánica
Acoplamiento bajo carga	Multidisco en baño de aceite
Accionamiento	Electrohidráulico
Traba de diferencial delantero	Con patinaje limitado
Sistema hidráulico	
Tipo	De presión y caudal compensado
Bomba tipo	De engranajes
Caudal máximo (l / m)	126,8 (160 opcional)
Presión máxima (psi)	2900
Bomba hidráulica auxiliar (enganche, VCS)	De émbolo axial
Levante hidráulico de 3 puntos (opcional)	
Categoría	III / III N
Capacidad máxima de levante en el enganche (kg)	6226
Accionamiento	Electrohidráulico
Cantidad de válvulas de control remoto	3
Dirección	
Tipo	Hidrostática
Columna de dirección	Telescópica con memoria
Frenos	

■ PRÁCTICA No. 1

Accionamiento	Hidráulico y autocompensados
Sistema eléctrico	
Tensión (V)	12
Batería (2 en paralelo) (A/h)	9,25 c/u
Alternador (A)	150
Arranque en frío (A)	185
Rodados	
Delanteros estándar	420/90R30-142A8 (R1)
Traseros estándar	520/85R42-157A8 (R1) Dual
Delanteros opcionales	380 / 90R50
Traseros opcionales	480 / 80R46
Capacidades (litros)	
Tanque de combustible	512
Cárter	25
Transmisión sistema hidráulico	140
Diferencial delantero y mandos finales	13,6
Sistema de enfriamiento	34
Dimensiones y pesos	
Altura máxima (mm)	3053
Distancia entre ejes (mm)	2970

Radio de giro sin frenos y TMD (mm)	5600
Largo máximo (mm)	5332
Ancho máximo (mm)	3520
Trocha delantera variable	Si
Valores (mínimo y máximo)	1524 / 2235
Trocha trasera variable	Si
Valores (mínimo y máximo)	1588 / 2134
Peso de embarque (kg)	9548
Puesto de comando	
Cabina con aire acondicionado	Si
Estructura antivuelco	Si
Inclinación regulable del volante	Si
Controles	Acelerador, cambios, enganche, VCS, regulación caudal y tiempo VCS y TDP centralizados accionados con la misma mano. Indicadores de luces, pantalla digital y monitor.
Regulación horizontal y vertical del asiento	Si
Asiento de acompañante	Si
Las especificaciones y el diseño de los productos están sujetos a cambios sin previo aviso, por lo tanto, el producto que Usted adquiere puede no coincidir exactamente con el expuesto y/o descrito en las secciones de este sitio.	

Fuente: John Deere

Bibliografía

Ashburner, J. y Sims, B. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. San José Costa Rica; IICA. 437 p. (Serie libros y materiales educativos No. 56).

Botero, Jaime. 1991. Tractores Agrícolas: Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 105 p.

Bruzon Juan Carder. Importancia de la adecuación del tractor a la labor que realiza y su influencia en la reducción del consumo de combustible. Cuba-Holguín

Cortés Marín, Elkin Alonso; Aristizabal Torres, Iván Darío. 2003. Aspectos generales de tractores agrícolas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 100 p.

Cortés Marín, Elkin Alonso. 1992. Mecánica del tractor: Condiciones de equilibrio y transferencia de peso. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 87 p.

_____. 2003. Seguridad en el uso de máquinas y equipo agrícola. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 34 p.

_____. 2004. Lastre de tractores agrícolas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 18 p.

_____. 2005. Maquinaria y equipo de adecuación y movimiento de tierras. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 154 p.

_____. 2005. Transmisiones y propulsión con orugas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 88 p.

_____. 2005. Lubricación y lubricantes. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 81 p.

_____. 2004. Selección de neumáticos en máquinas agrícolas. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 76 p.

_____. 1994. Mecanización agrícola: relación máquina-suelo. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 115 p.

_____. 1995. Fundamentos de mantenimiento de maquinaria y equipo mecánico. Palmira. Universidad Nacional de Colombia. 122 p.

_____. 1993. Acople del conjunto tractor-implemento. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 96 p.

_____. 2005. Conceptos básicos de mantenimiento mecánico. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 36 p.

Hunt, D. 1986. Maquinaria Agrícola: Rendimiento económico, costos, operaciones, potencia y selección de equipos. Traducción de 7 ed. por Rodolfo Piña. México: Limusa. 452 p.

Liljedhl J. Walter, Carleton, Turnquist, Paul; Smith, Paul. 1991. Tractores: Diseño y funcionamiento. México: Limusa. 432 p.

Mingot, M. 1974. El tractor Agrícola: Utilización y costos de trabajo. Madrid: Agrícola Española. 98 p.

Tractors Moline, Illinois, John Deere. 1974. 300 p. (Serie fundamentos de funcionamiento de maquinaria).

Tractores agrícolas. México: Trillas. 1984. 143 p. (Serie manuales para educación agropecuaria, No. 48).

PRÁCTICA No. 2 CARACTERÍSTICAS Y DESEMPEÑO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI)

Introducción

Para obtener el mayor rendimiento de una máquina autopropulsada hay que conocerla y, así comprender sus principios de funcionamiento y de mantenimiento; al igual, el por qué de su diseño y construcción. Sin duda es el motor, el mecanismo que más cuidado requiere para asegurar un buen funcionamiento y larga vida. Dada su función de generador y transformador de energía y potencia, se precisa conocer en detalle sus componentes y sistemas en su trabajo coordinado.

Objetivos:

- Capacitar al estudiante para conocer los componentes y principios de funcionamiento de los MCI y sus variados diseños, figura 1, 2, y 3.
- Diferenciar el desempeño de motores de 4T y 2T y los diferentes parámetros que determinan su potencia, figuras 4 y 5.
- Leer e interpretar especificaciones y curvas características.
- Determinar o medir sus principales características técnico-comerciales.
- Leer e interpretar manuales o catálogos comerciales de pruebas internacionales (DIN-SAE, Nebraska, OCDE).
- Formar criterios de selección de los tipos de motores más adecuados según sus condiciones de uso.

Metodología:

Utilizando los diferentes motores disponibles en el laboratorio, determine los aspectos que se relacionan a continuación:

Partes básicas de motores de combustión interna y observe su funcionamiento. Identifique los siguientes mecanismos: culata, bloque, cárter, cilindros, cámaras, pistones, bielas, cigüeñales, válvulas, árbol de levas, levas y lumbreras. ¿Qué otros sistemas y partes son necesarios para su funcionamiento?

Identificar y determinar:

- Ciclo de operación y duración de cada fase, duración del ciclo.
- Válvulas de admisión y escape.
- Orden de encendido.
- Diámetro.
- Carrera.
- Cilindrada.
- Volumen cámara de combustión.
- Relación de compresión.
- Mecanismo de distribución-relación transmisión.
- Velocidad del pistón (m/s).
- Localice e identifique los diferentes tipos de motores.

Teoría básica sobre los motores de explosión de dos tiempos (gasolina)

Los motores de explosión de dos tiempos, de los llamados de válvula en el cárter están constituidos, en general, por los mismos elementos que constituyen a los cuatro tiempos, con excepción de las válvulas y el mecanismo que las comanda, que no existe en ellos. La entrada de la mezcla explosiva al interior del cilindro y la salida de los gases quemados, se efectúa mediante orificios (lumbreras) practicados en el cilindro mismo y que pueden observarse en la figura 5.

Uno de los orificios, por donde salen los gases quemados, comunica directamente con el exterior. Justamente a la altura donde éste termina, empieza el otro, por donde entra la mezcla explosiva. Este orificio comunica con el cárter por medio de un tubo del que deriva otro, donde se encuentra una válvula que permanece cerrada por la acción de un resorte de poca tensión. En la continuación de este tubo y después de la válvula, está colocado el carburador.

El cárter de éstos motores es de cierre hermético. El funcionamiento es el siguiente: mientras el pistón, en su recorrido ascendente, ha obturado o cerrado los orificios de entrada de la mezcla, y la salida de los gases quemados, comprime en el cilindro la mezcla explosiva que suponemos ya ha entrado en su interior. Al mismo tiempo, produce un aumento de volumen en el cárter, con la consiguiente depresión, que al manifestarse sobre la válvula vence la débil tensión el resorte, produciéndose su apertura, comenzando así la entrada de la mezcla proveniente del carburador, al cárter, hasta que el pistón llega a PMS, momento en que la depresión cesa y la válvula se cierra automáticamente por la acción del resorte.

Terminada la compresión en el cilindro, salta una chispa en la bujía que inflama la mezcla explosiva cuya expansión motiva el descenso energético del pistón, el que a cierta altura de su recorrido descubre el orificio de escape, efectuándose la salida de los gases quemados. Mientras esto ocurre en el cilindro, en el cárter la mezcla que en el primer tiempo fue aspirada, es comprimida por el pistón al descender, el que continuando este recorrido, llega a dejar libre el orificio de entrada de la mezcla, la que entra rápidamente en el cilindro a consecuencia de la presión existente en el cárter.

Para que la mezcla no salga por el orificio de escape, tiene el pistón en la parte superior, un deflector que sirve para desviarla, evitando dicho inconveniente.

La admisión de la mezcla en el cilindro termina en el momento en que el pistón al subir, obtura el orificio de entrada, comenzando a continuación la compresión de la misma.

Concretando resulta:

Primer tiempo: de admisión y compresión en el cilindro, y de aspiración en el cárter.

Segundo tiempo: de explosión, escape y de compresión, en el cárter.

Como se puede apreciar, la evacuación de gases quemados y la entrada al cilindro de la mezcla explosiva en estos motores es de muy breve duración.

Discusión – preguntas:

- ¿De los diferentes componentes o partes, cuáles están sometidos a mayor desgaste?

- ¿Qué ocurriría en el motor, en caso de girar en el sentido contrario al de diseño?
- ¿Qué efectos tiene sobre el funcionamiento del motor la configuración y diseño de las levas que gobiernan las válvulas de admisión y escape?
- Es válido afirmar que un motor nuevo debe operarse a baja velocidad y carga.
- ¿Qué ventajas tiene un motor encamisado, cuales son las desventajas?
- ¿Por qué los motores modernos traen más de dos (2) válvulas o más, por cilindro?
- ¿Qué ventajas tienen las camisas húmedas?
- Explique por qué en un motor de 2T se obtiene mayor potencia que en otro similar de 4T.
- ¿Qué función cumplen los anillos de un pistón?
- ¿Por qué es necesario rectificar los cilindros del bloque?
- Ventajas y desventajas entre los sistemas de combustible (Diesel-gasolina).
- ¿Qué modificaciones serán necesarias para utilizar GLP o GNC en un MCI?
- ¿Por qué es necesario corregir la potencia de un motor?
- ¿Cuál es la diferencia entre potencia neta y bruta?
- ¿Qué variables climáticas afectan el desempeño de un motor?
- Discuta las ventajas de un motor de aspiración forzada (turboalimentado).
- Para incrementar la eficiencia de un motor qué variables o parámetros consideraría.
- ¿Para qué utilizaría las curvas características?
- Resuelva el taller adjunto (taller sobre potencia en MCI y tractores).

Taller sobre potencia en MCI y tractores:

- ¿Cuál es la potencia necesaria para levantar un arado montado 60 cms en tres (3) segundos? La masa del arado es de 300 kg.
- Calcule la potencia en la barra de tiro de un tractor que tira una carga de 9 kN a 8 km/h.
- Durante un viraje cerrado el sistema de la dirección hidráulica de un tractor necesita un flujo del fluido hidráulico de 1,25 l/s, con una presión de 14.000 kPa. Cuál es el requerimiento de potencia.
- Seleccione la potencia en la toma de fuerza necesaria para tirar de un arado semimontado de 6 cuerpos separados 40 cm que tiene un tiro promedio por cuerpo de 7 kN a 8 km/h en un suelo firme. Encuen-

■ PRÁCTICA No. 2

tre, la masa total del tractor, incluyendo el lastre, para producir la eficiencia de tracción máxima.

- Calcule los diferentes rendimientos del combustible de un tractor que libera 75 kW y consume combustible a razón de 23 l/h.

Poder calorífico: 36.000 kg/14 [129170 BTU/gal]

Densidad combustible: 0,84 kg/l

Precio combustible: 5000 \$/galón

a.
$$\frac{kW - h}{l}$$

b.
$$\frac{\$}{kW - h}$$

c.
$$\frac{kg}{kw - h}$$

d. % de rendimiento térmico.

- Se tiene un motor de 4 cilindros de 100 mm x 100 mm que gira a 1600 rpm. ¿Cuál es el desplazamiento total del motor? Si la presión efectiva media por carrera motriz es de 550 kPa. ¿Cuál es la potencia indicada?
- Un motor con ciclo de 4 tiempos está funcionando a 2400 rpm. Si el rango de válvula de admisión es de [2200]. ¿Durante cuanto tiempo estará abierta la válvula de admisión?
- Un motor de 6 cilindros de 90 mm x 100 mm x ciclo de 4T funciona a 2000 rpm. ¿Qué flujo de volumen de aire atmosférico se necesita? Eficiencia volumétrica de 90%.
- El desgaste del cilindro se ha relacionado con la velocidad promedio del émbolo en m/s. ¿Cuál es la velocidad promedio del embolo de un motor de 100 mm x 120 mm que funciona a 2400 rpm?
- ¿Cuál es el arrastre teórico de la barra de tiro de un tractor que en su motor produce 37 kW a 2400 rpm, con una relación de engranajes de transmisión (caja) de 10:1 con una reducción piñón corona de 6:1 y con una reducción en la transmisión final de 5:1? El tamaño de las llantas es de 15 x 38.
- ¿Cuántos m³ de aire se necesitan por cada litro de gasolina común que se quema en un motor?
- ¿Cuánta agua produce un motor cada hora si quema 24 l/h de gasolina?
- ¿Cuál es la velocidad del gasto de agua necesario para mantener la temperatura constante en un motor enfriado por agua, que funciona bajo carga total y quema 15 l/h de combustible diesel? Suponga un diferencial de temperatura bloque - radiador de 20 °C.

- ¿Qué flujo de aire a $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ se necesita para mantener la temperatura constante en el radiador del problema anterior. Si el aire que sale del radiador está a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- La potencia consumida para vencer la fricción en el cojinete de un motor es de 64 W . El aceite lubricante tiene un calor específico de $2\text{ kJ/kg }^{\circ}\text{C}$ y un litro de este aceite tiene $0,85\text{ kg}$ de masa. Calcule el caudal en l/h con que se debe inyectar el lubricante al cojinete para limitar el aumento de temperatura a 8°C . Suponga que el 80% del calor generado lo absorbe el aceite lubricante.
- Durante una operación de esmerilado el motor eléctrico toma una corriente de $2,2\text{ A}$ a 400 V ; la fuerza que se ejerce en la periferia de la rueda de esmerilar es de 30 N . Si la eficiencia del motor eléctrico es del 90% y la de la máquina del 80% , calcule la velocidad de corte en la periferia en (mm/s) durante la operación esmerilado.
- Un motor a gasolina impulsa a un generador cuya salida es de $7,5\text{ kW}$. La eficiencia térmica general es del 25% y el combustible usado tiene un valor calorífico de 46 MJ/kg . Calcule el consumo de combustible en litros por hora.
- Un agricultor adquirió un tractor de 100 hp . Cuál es la capacidad de tracción, en términos de tamaño o del arado de cinceles (Número de brazos) que puede operar a una velocidad de 3 km/h , si la profundidad de trabajo es de 30 cm . Para las condiciones de clima y suelos las pérdidas son el 40% , las pérdidas por condiciones ambientales son del 10% y el tiro unitario (T.U.) es de 27 kg por cincel y centímetro de profundidad. Peso del tractor sin lastre: 6 toneladas .
- Un tractor de transmisión mecánica y de 5 toneladas de peso opera una rastra de 4 m de ancho de corte. Determine la potencia desarrollada en el toma de fuerza, si opera en un suelo cuyo coeficiente de resistencia a la rodadura es de 60 kg/ton , el tiro unitario (T.U.) es de 580 kg/m , el patinaje del 12% , la velocidad de operación 8 km/h y la eficiencia de transmisión entre la toma de fuerza y el eje motriz es de 96% .
- La transmisión de un tractor tiene las siguientes relaciones de transmisión: $89,7:1$; $61:1$; $39,5:1$; $14,4:1$. El motor desarrolla $24\text{ kg}\cdot\text{m}$ a 1800 rpm y el diámetro de las ruedas motrices es de $1,2\text{ m}$. Calcular las velocidades de marcha del tractor y los correspondientes pares de torsión en el eje motriz.
- En una prueba de potencia en la toma de fuerza se obtuvieron los siguientes datos:

■ PRÁCTICA No. 2

rpm Motor	Tiempo empleado para consumir 100 cms ² de combustible (s)	Potencia en tdf. (kW)
800	65	13,7
1.000	50	18,5
1.400	37	26,7
1.800	30	33,6
2.000	28	36,3
2.300	60	15,0

Con base a los datos anteriores elabore las curvas características del motor y señale la velocidad de régimen o nominal.

- Qué potencia (en W) se consume al cortar:
 - Durante una operación de torneado en que la fuerza tangencial de corte es de 600 N y la velocidad de corte 420 mm/s.
 - Durante una operación de ranurado en que la fuerza de corte es de 820 N y la carrera de corte, que toma 6 segundos, es de 150 mm/s.
- Una fresadora está impulsada por medio de un motor eléctrico que suministra 4 kW durante una operación particular. La cortadora que se usó tiene 100 mm de diámetro y su frecuencia de giro 105 rpm. Si la eficiencia en la transmisión de energía era de 75% determine la fuerza tangencial de corte, que ejercía la cortadora.
- Un motor eléctrico suministra 4 kW a una polea de 150 mm de diámetro impulsada por una banda, la frecuencia de giro de la polea es de 1250 rpm. Determine la tensión en el lado apretado y en el lado flojo de la banda si están en razón de 3 a 1.

Nota: use preferiblemente las unidades del SI.

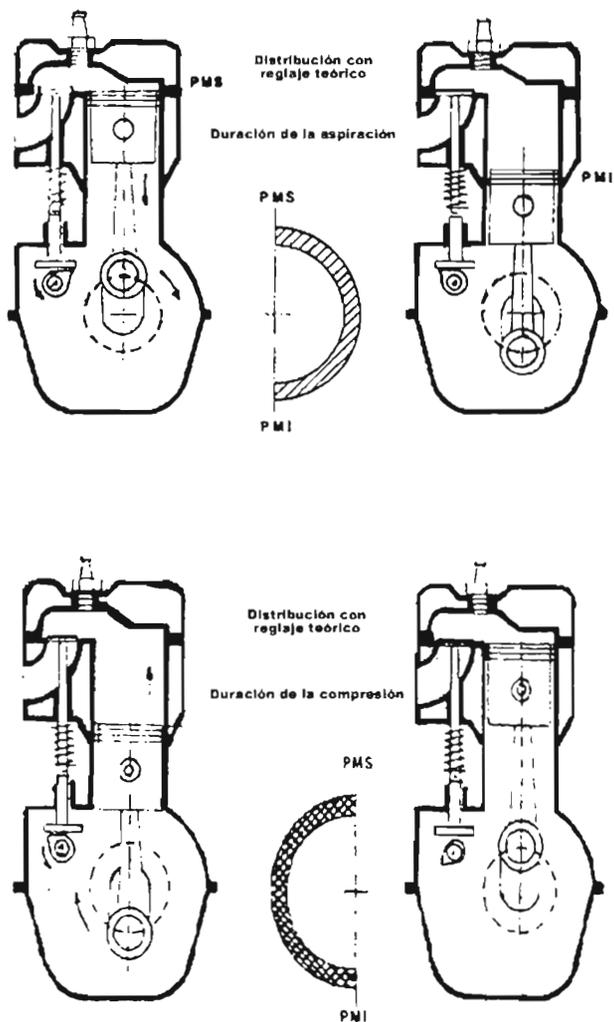


Figura 1. Fases de admisión y compresión en un MCI

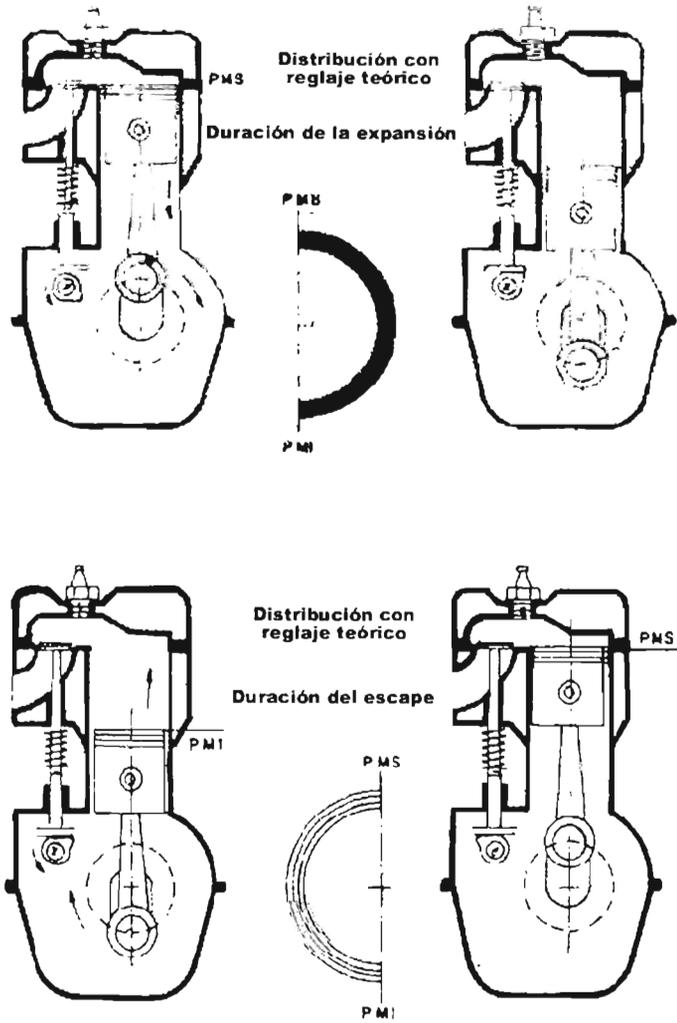
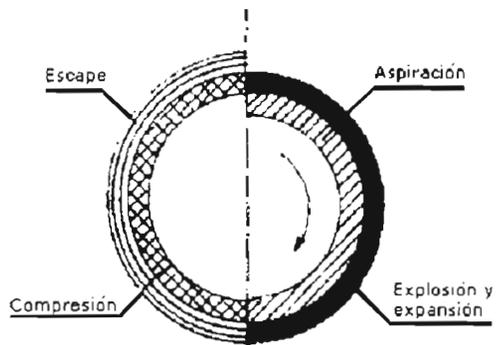


Figura 2. Fases de trabajo (potencia) y escape



P.MI

Diagrama del reglaje teórico de la distribución

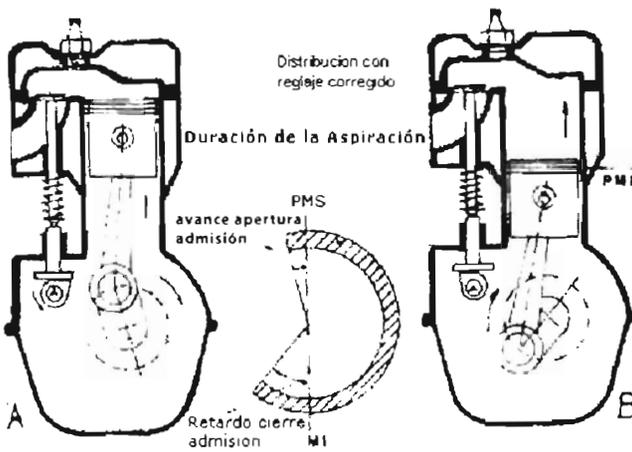


Figura 3. Distribuciones del ciclo de operación de un MCI

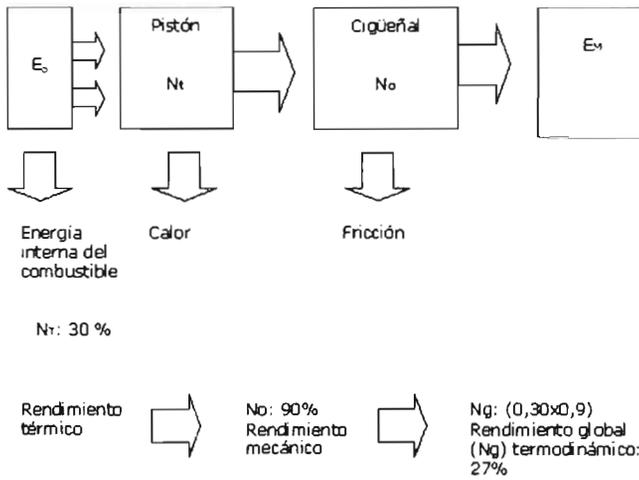


Figura 4. Rendimiento de un motor de combustión interna

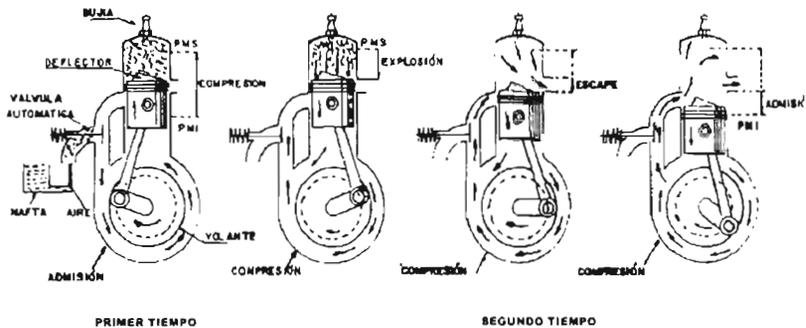


Figura 5. Ciclo de funcionamiento de un motor de combustión interna de 2 T (gasolina).

Bibliografía

Cortés Marín, Elkin Alonso. 2003. Motores. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

_____. 2004. Conociendo los motores de combustión interna (MCI). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

_____. 2004. Potencia en tractores y motores (MCI). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

_____. 2005. Motores de combustión interna: componentes y funcionamiento. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Gilardi, J. 1978. Motores de combustión interna. San José Costa Rica: IICA. 134 p. (Serie: Libros y materiales educativos. No. 33).

John Deere. 1968. Motores (fundamentos de técnica aplicada).

Motores Agrícolas. 1984. México: Trillas. 94 p. (Serie: Manuales para educación agropecuaria, No. 37).

Obert, E.F. 1990. Motores de combustión interna: México: Continental. 700 p.

PRÁCTICA No. 3

SISTEMAS DE COMBUSTIBLE Y COMBUSTIÓN

Introducción

El combustible es el elemento necesario para generar la potencia necesaria que mueve a un vehículo. En la actualidad son varios los combustibles que pueden ser utilizados en los motores; el diesel y la gasolina son los más comunes. Los hay de origen mineral (hidrocarburos) y de origen vegetal (aceites, alcohol, conversión de biomasa, etc.). Siendo los más utilizados, los derivados del petróleo (gasolina-diesel) y, por ello los indicados para un análisis más detallado; aunque otros van haciendo presencia: GLP (gas licuado de petróleo), GNC-GNV (gas natural comprimido - gas natural vehicular), biodiesel y el alcohol (metanol, etanol) en mezclas. Sin negar en un futuro nuevas alternativas (biocombustibles- celdas, H), en la medida que aquellos dependen de recursos no renovables.

Para obtener el máximo aprovechamiento de la energía del combustible se requiere mezclar con el oxígeno, el cual es obtenido del aire y así generar la combustión.

Objetivos:

- Presentar los conceptos, partes y funcionamiento básico de los sistemas de combustible incorporados a los motores diesel y gasolina.
- Detallar los diferentes componentes de los sistemas de combustible, ver figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14.
- Confrontar y analizar la conveniencia de la utilización de otros combustibles alternativos.

Metodología:

- En los tractores y motores que encuentre en el laboratorio observe y reconozca a que sistema pertenece. Observe detenidamente cuales son las unidades funcionales de cada uno de los sistemas.
- Discuta con sus compañeros los siguientes aspectos relacionados con el sistema de combustible:
 - Partes del sistema.
 - Posición de las mismas.
 - Funcionamiento.
 - Averías que podrían presentarse en el sistema e insinúe posibles causas y soluciones.

Observe en los diferentes motores (gasolina):

- Filtro.
- Tanque, vaso de decantación y tubería de combustible.
- Carburador.
- Bomba de alimentación de combustible.
- Sistema de inyección.
- Múltiple admisión.

Motores diesel:

Depósito combustible.
Bomba de alimentación de combustible.
Filtros de combustible (figura 10).
Bomba de inyección (tipo).
Regulador.
Inyectores (tipo).
Tubería conducción combustible.

En el carburador observe:

Llegada de la tubería de gasolina.
Nivel.
Flotador.
Aguja.
Pozo.
Conductos.
Mariposa estranguladora de aire.
Mariposa de gas (acelerador).

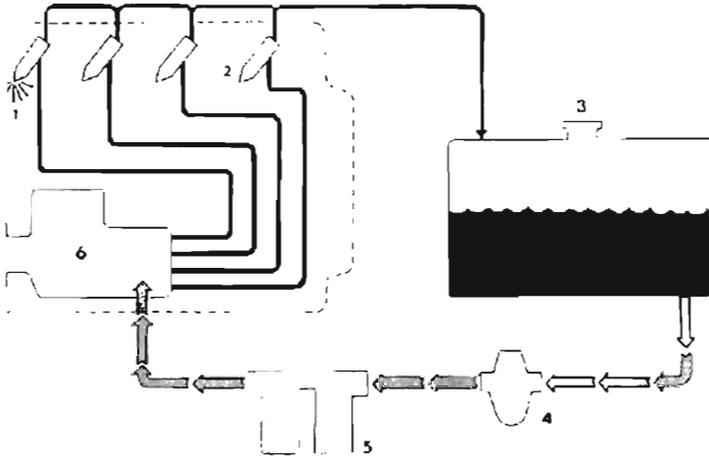
Salida de relanti.
Válvula reguladora de gasolina.
Válvula reguladora de aire.
Tope relanti.
Varillas.
Acelerador de mano.
Surtidor.

En la admisión de aire observe:

Entrada de aire.
Tipo de filtro.
Tasa de aceite.
Malla de alambre.
Escape.

Preguntas:

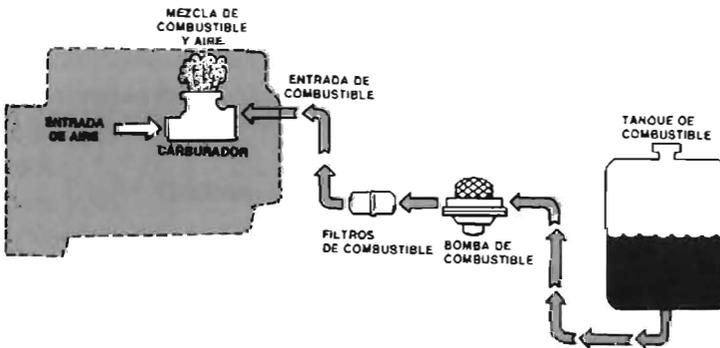
- ¿Qué es una mezcla rica?
- Los síntomas de una mezcla rica.
- ¿Por qué cuando un sistema de combustible con ACPM tiene aire, este no funciona y cual es la solución?
- ¿Para qué se cambian los boquereles de un carburador por otros más pequeños en diámetro?
- Analice la función y ventajas del regulador.
- Analice los problemas que ocasiona la presencia de carbonilla en los motores y las causas de su formación.
- ¿Es cierto que el combustible con el que trabaja el motor limita la relación de compresión? Explique.
- ¿Cuáles son las bondades de la inyección de gasolina?
- ¿Cuál es el uso del estrangulador o choke?
- En un motor diesel, hay adelanto y atraso de la inyección según velocidad motor, según carga. Explique.
- ¿Por qué la autoignición de gasolina afecta la vida del motor?
- Numere productos nacionales que en su concepto podrán ser las fuentes más factibles para la obtención de alcohol y biodiesel combustible para motores.
- Explique las ventajas que presenta un motor diesel turbocargado sobre uno de aspiración natural.
- ¿Cuáles son las 3 diferentes razones o proporciones de riqueza de mezcla que un motor de gasolina normalmente requiere?



1. Cámara de combustión 2. Inyectores; 3. Tanque; 4. Bomba alimentación
5. filtros; 6. Bomba de inyección.

Figura 1. Sistema de alimentación de combustible Diesel.

Fuente: John Deere



- Depósito de combustible; 2. Bomba de alimentación; 3. Admisión combustible;
4. Carburador; 5. Admisión aire; Mezcla aire y combustible.

Figura 2. Sistema de combustible: gasolina.

Fuente: John Deere.

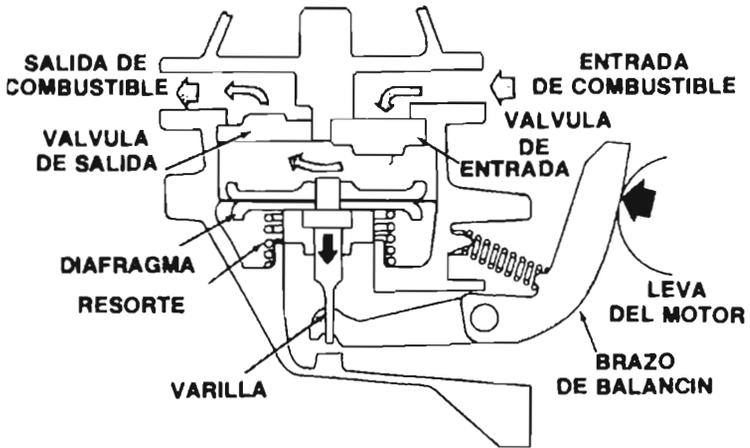


Figura 3. Bomba de alimentación (diafragma).

Fuente: John Deere

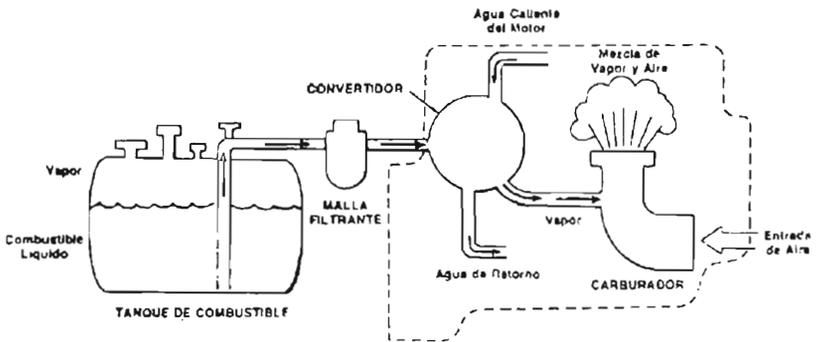
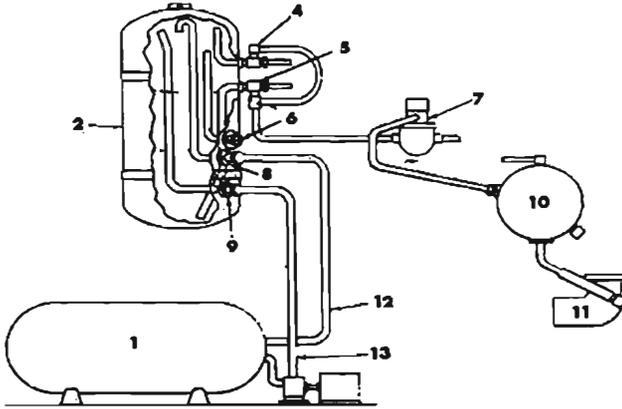


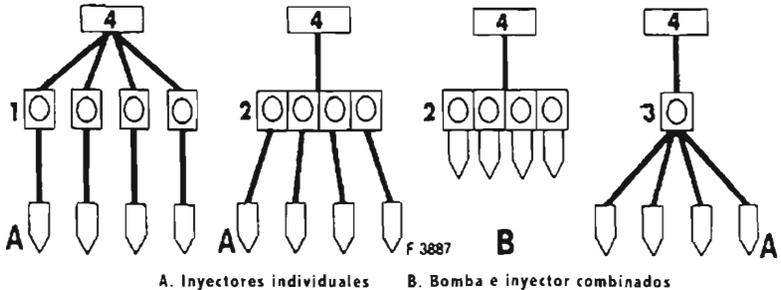
Figura 4. Sistema de combustible: gas natural.

Fuente: John Deere



- | | | |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|
| 1. Combustible almacenado | 6. Indicador de nivel de combustible líquido | 11. Carburador |
| 2. Depósito de combustible | 7. Filtro de combustible | 12. Retorno de gas al combustible |
| 3. Válvula de seguridad | 8. Válvula de retorno de gas | 13. Tubería de llenado |
| 4. Válvula para gas | 9. Válvula de llenado | |
| 5. Válvula para gas licuado | 10. Convertor | |

Figura 5. Componentes de un sistema de alimentación para gas natural



- | | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------|
| 1. Bombas individuales | 2. Bombas en caja común | 3. Bomba rotativa | 4. Combustible |
|------------------------|-------------------------|-------------------|----------------|

Figura 6. Modelos de inyección de combustible.

Fuente: John Deere

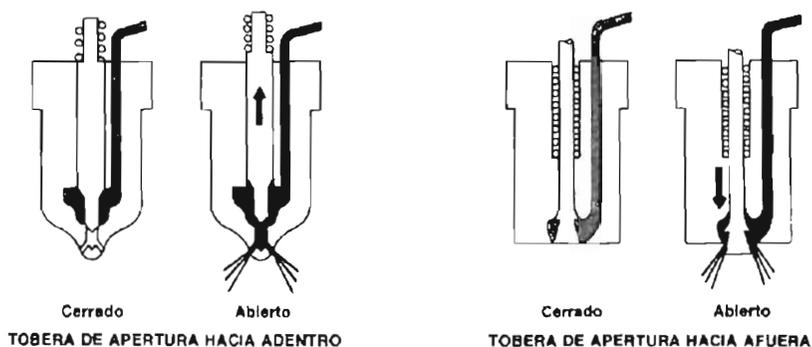


Figura 7. Tipos de inyectores.

Fuente: John Deere

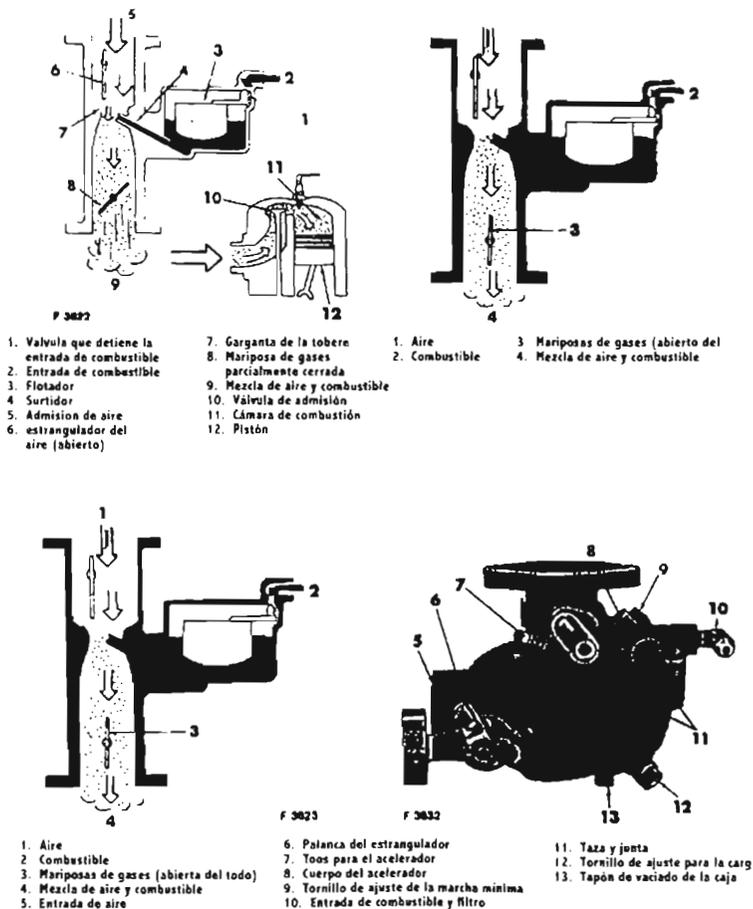


Figura 8. Carburador básico.

Fuente: John Deere

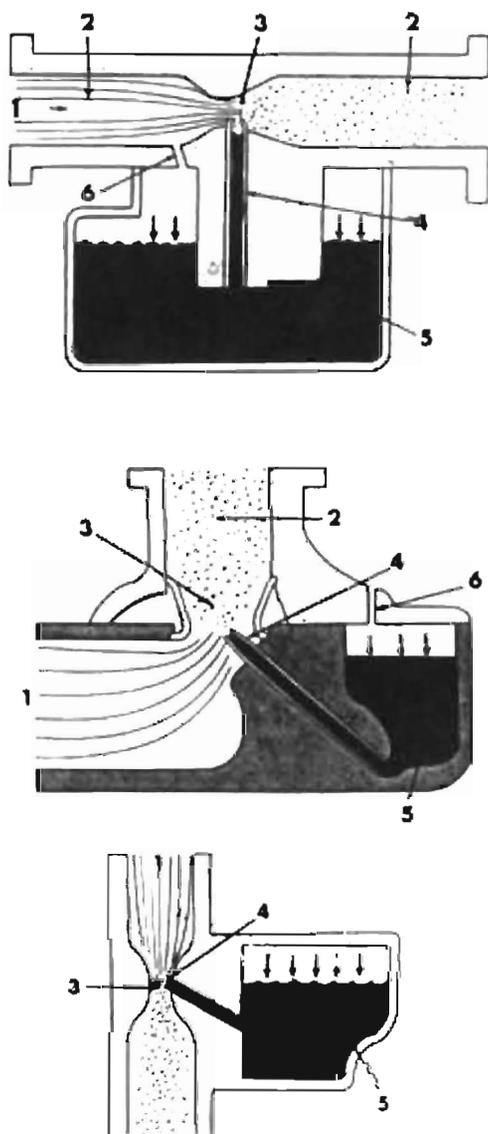
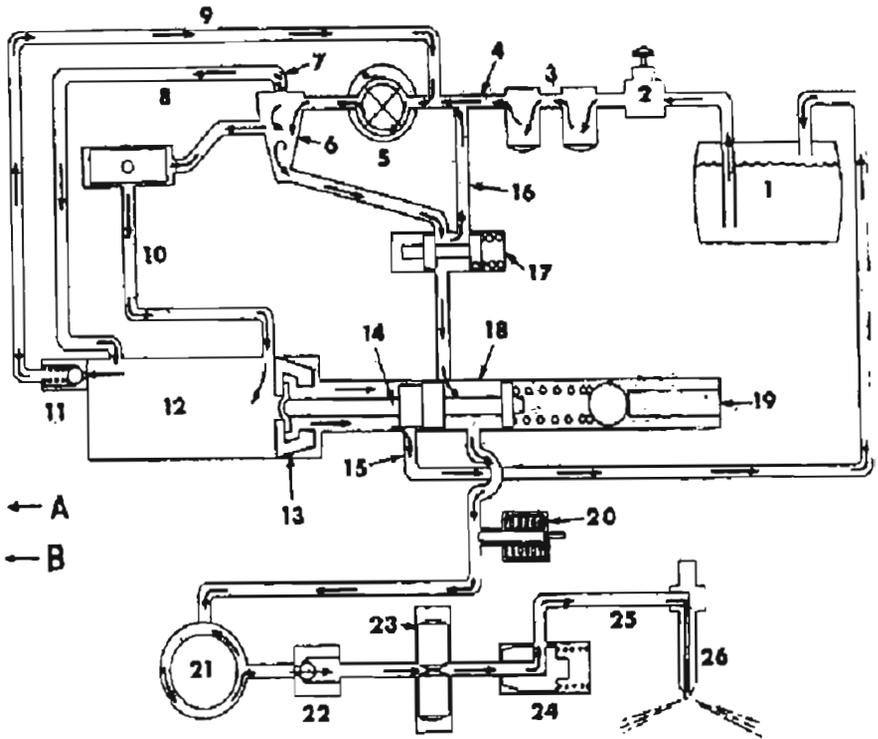


Figura 9. Tipos de carburador.

Fuente: John Deere



- | | |
|---|--|
| <p>A. Circuito del combustible hasta el inyector</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Depósito 2. Bomba de mano 3. Filtros de combustible 4. Entrada de la bomba 5. Bomba de paletas 6. Separador de aire 7. Orificio de purga 8. Canalización para lubricar el accionamiento 9. Combustible que retorna a la bomba de paletas 10. Canalización 11. Válvula limpiadora de la presión de la caja 12. Lubricación de la caja de la bomba 13. Contrapesos del regulador | <p>B. Circuitos de lubricación, retorno y regulación</p> <ol style="list-style-type: none"> 14. Válvula dosificadora 15. Retorno al depósito 16. Retorno del sobrante a la bomba 17. Regulador de la presión de alimentación 18. Cilindro del regulador 19. Mando de aceleración 20. Parada eléctrica 21. Ranura circular del rotor 22. Válvula de retención 23. Pistones de inyección 24. Válvula de presión de inyección 25. Tubería de inyección 26. Inyector |
|---|--|

Figura 10. Circulación de combustible diesel con bomba rotativa

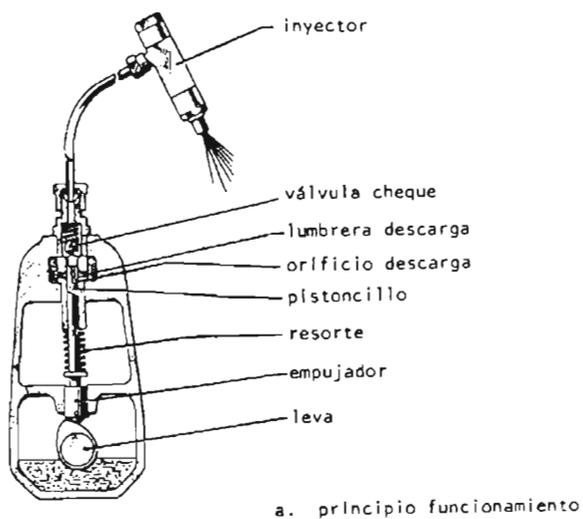


Figura 11. Funcionamiento inyector.

Fuente: John Deere

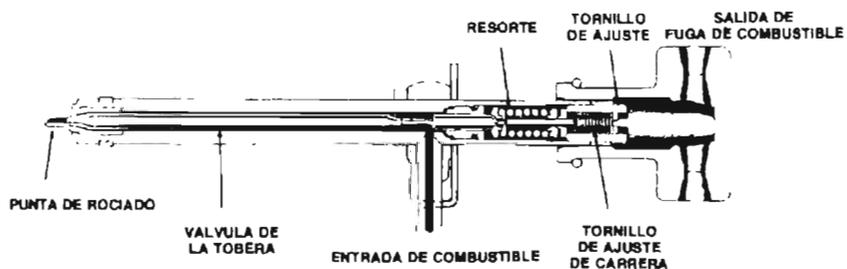
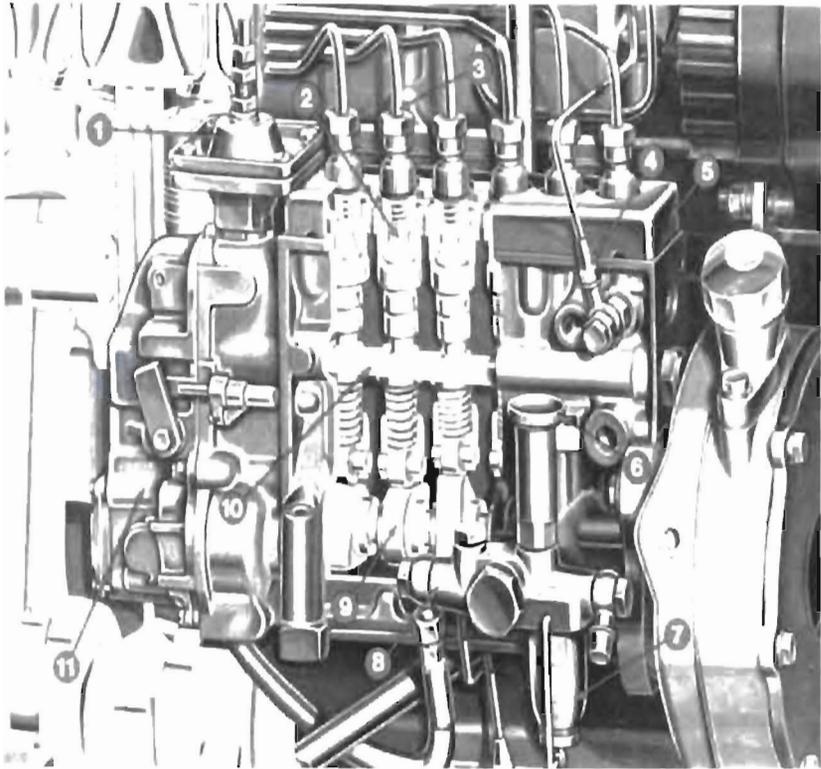


Figura 12. Partes de un inyector.

Fuente: John Deere



Bomba de Inyección de Línea

1. Dispositivo Aneroide
2. Elemento Bombeador Individual
3. Línea de Inyección
4. Línea de Fuga
5. Caja de la Bomba
6. Cebador Manual
7. Taza de Sedimentos
8. Bomba de Transferencia de Combustible
9. Arbol de Levas
10. Poste de Control
11. Regulador

Figura 13. Bomba de inyección en línea

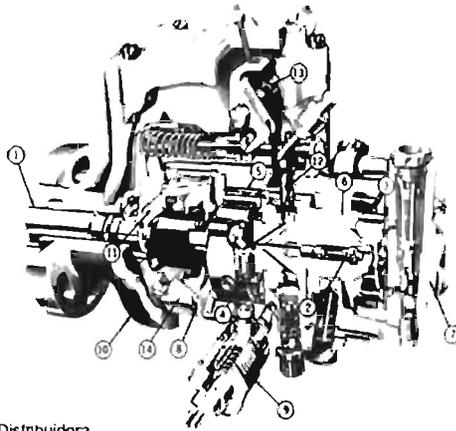


Fig 48 - Bomba Distribuidora

1 Eje Impulsor	8 Regulador
2 Rotor del Distribuidor	9 Avance Automático
3 Bomba de Transferencia	10 Caja
4 Emboles Bombeadores	11 Brazo del Regulador
5 Anillo de Levas Interno	12 Válvula Dosificadora
6 Cabezal Hidráulico	13 Palanca de Cierre
7 Placa Terminal	14 Retenes de los Pesos

Figura 14. Bomba de inyección rotativa

Teoría básica

Con el fin de ilustrar los elementos, factores y variables que condicionan su funcionamiento y desempeño se hace la siguiente síntesis.

Objetivos del sistema de combustible. Tiene varios objetivos; entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Proporcionar la mezcla adecuada de aire-combustible acorde a las condiciones de operación del vehículo.
- Mezclar el aire y el combustible para el mejor aprovechamiento del combustible.
- Dosificar el combustible o la mezcla aire-combustible en la cámara de combustión.

Para cumplir con estos objetivos existen diferentes sistemas de combustible entre ellos, se tienen: los sistemas carburados o de admisión natural y los sistemas de inyección que pueden ser por el tipo de inyección monopunto o multipunto. Es por todo esto importante conocer como trabaja el sistema de combustible y las acciones que pueden afectar de manera negativa al desempeño del vehículo.

Un sistema de combustible que no cumpla los requisitos necesarios puede producir los siguientes efectos:

- Sobre consumo de combustible.
- Desgaste prematuro de partes por contaminación del lubricante con combustible y, provocar adelgazamiento de la película lubricante.
- Reducción de potencia.
- Daño al convertidor catalítico.
- Fugas de combustible.
- Conatos de incendio.

Origen de los combustibles. Actualmente, la mayoría de los combustibles usados en los MCI provienen del petróleo, el cual es una mezcla compleja de hidrocarburos: ACPM, gasolina, metano (GNV- GNC) y gas licuado de petróleo (GLP). La tendencia actual es desarrollar motores que funcionen con combustibles de origen orgánico, especialmente: alcohol etílico, biodiesel, metano (a partir de desechos orgánicos).

Hidrocarburos: en general, al petróleo crudo es una combinación de carbono (C) e hidrógeno (H) en la relación aproximada de 89% C y 14% de H. De aquí se deriva el combustible más utilizado por máquinas agrícolas el ACPM.

Gas licuado de petróleo (GLP): está compuesto de propano (C_3H_8) y Butano (C_4H_{10}) simples o en mezclas con otros combustibles como: etano, pentano y propileno. Es un gas a presión y temperatura atmosférica. Al comprimir el gas y bajar su temperatura, estos gases pueden licuarse y transportarse en tanques de presión. Este gas es un producto de refinación del petróleo crudo. En mezcla los combustibles son de manera natural altamente resistentes a la detonación, mientras que es muy probable que detonen los combustibles pesados.

Metano (CH_4): puede ser obtenido a partir de la explotación del gas natural, que en Colombia es abundante de la descomposición de desechos agropecuarios y basuras, por medio de biodigestores.

En los últimos años la crisis energética ha provocado un gran desarrollo en el campo de la conservación y utilización de la energía. Donde la sustitución de combustibles es una buena opción. Entre estos se encuentra el GNC que, básicamente está constituido por metano.

La agricultura y la industria producen una considerable cantidad de desechos orgánicos con grandes consecuencias sobre el medio ambiente; desechos que pueden ser aprovechados como fuente energética. El gas merano producido

por la digestión ó fermentación de los desechos orgánicos es conocido como biogás. En el futuro la digestión anaeróbica del estiércol y otros desechos que son comunes en las fincas y, el gas metano que generan puede ser usado en lugar de otros combustibles para: calor, cocinar o como combustible para motor de combustión interna.

Los combustibles gaseosos, particularmente metano tienen un alto octanaje, forman mínimo depósito de carbón y se mezcla fácilmente con el aire. Otras ventajas son:

- Excelente cualidad anti-golpeteo.
- Pequeñas cantidades de residuos contaminantes.
- Menos contaminación en el ambiente.
- No lava la lubricación en las paredes del cilindro.
- No produce suciedad en la bujía.
- Mezcla homogénea.
- Las válvulas se queman menos.

Alcohol etílico (C_2H_5OH): generalmente es una mezcla de 95% de alcohol comercial y 5% de agua. Este alcohol usado como combustible para motores, debe ser anhidro, con bajo contenido de agua. En Colombia se inicia su uso a finales del 2005, para motores con mezcla autorizada de 10% de alcohol y 90% de gasolina.

Principal razón para proponer alcohol como combustible: se puede obtener de productos agrícolas y también de desperdicios, en tanto que la gasolina es un recurso natural que está siendo agotado rápidamente. Las principales fuentes para la producción de etanol: la caña de maíz, la caña de azúcar, yuca, palma africana, remolacha y los desechos de la producción de banano, a través de proceso de destilación.

Las características físicas del alcohol anhidro son:

- API, gravedad: 46.
- Gravedad específica (g): 0,7972.
- Btu/libra: 13.082 (75% del de la gasolina).
- Octanaje: 100.

Los alcoholes son combustibles de alto octanaje que se pueden mezclar, con mayor o menor dificultad, con la gasolina. La mezcla depende de la clase de alcohol (Etanol ó Metanol).

Ventajas para el empleo del alcohol como combustible:

- Menor contaminación.
- Ausencia de golpeteo en el motor y funcionamiento suave y regular.

Desventajas:

- Dificultad de arranque en frío.
- Suministro de aire caliente.
- Ajuste del carburador o sistema de inyección.
- Construcción de depósito y carburador con otros materiales.

Comparación de propiedades de varios combustibles para motores de combustión interna. En las tablas 1 y 2 se ilustran diferentes características de los combustibles usados y de otros, que pueden serlo.

Tabla 1.
Parámetros operativos de motores con mezcla de gasolina y etanol

% Alcohol	Relación de Compresión	Eficiencia Térmica	Presión Media Indicada Pa	Consumo específico de combustible kg/(hp-h)	Poder calorífico combustible en la mezcla kJ/kg
0	6,0	0,32	0,758	0,28	2996
10	6,2	0,33	0,786	0,27	2973
25	8,0	0,36	0,814	0,28	2980
50	10,0	0,38	0,848	0,29	2996
100	10,0	0,38	0,841	0,39	3024
*3cc Tepl	75,0	0,34	0,807	0,25	2966

(*) La última fila muestra la operación del motor con 3 cc de tetra-etil-plomo por galón de gasolina. Se observa que esto es equivalente a tener una mezcla aproximadamente de etanol.

Tabla 2.
Algunas características de los combustibles más usados

	Gasolina	ACPM (diesel)	Alcohol	Metano
Calor liberado Kcal	7759	8883	5082	4203
Tipo motor	Otto	Diesel	Otto	Otto
Rendimiento Termomecánico	25%	35%	25%	25%
Trabajo mecánico equivalente	226 KW-h 3,07 CV-h	3,61 4,92	1,48 2,01	1,22 1,66

Impurezas de los combustibles

Azufre: el azufre es la impureza más seria del combustible. Cuando se quema el azufre, se forma SO_2 , el cual puede formar un poderoso ácido cuando se combina con agua y oxígeno, produciendo corrosión en la tuberías, en el carburador y bomba de inyección, cilindros y pistones. El contenido de azufre por lo general se mantiene en menos de 0,25%, mientras en los aceites combustibles puede llegar al 2%. El problema de azufre puede minimizarse con aditivos en el aceite y operando el motor con una temperatura elevada.

Gomas: la formación de goma en el combustible es debida a la oxidación lenta del combustible formando líquidos viscosos y sólidos. La goma formada puede obstruir conductos y el múltiple de admisión; también puede laquear los pistones, los anillos y las paredes del cilindro y, se puede adherir a las válvulas.

Agua y sedimentos: durante el almacenamiento o la transferencia del combustible se pueden introducir impurezas de agua y polvo; además, el vapor de agua puede condensarse en los tanques de combustibles, debido a los cambios de la temperatura atmosférica.

Cenizas: el contenido de cenizas es un índice de lo abrasivo de los productos de la combustión, que ocasionarán desgastes en el motor.

Relación aire/combustible (A/C), para motores a gasolina:

Debido a la alta velocidad con la cual se efectúa la combustión dentro de la cámara del motor, es imposible obtener una mezcla perfecta de aire-combustible; para lograr una combustión eficiente, uno de los dos elementos es nece-

sario suministrarlo en exceso. Así, para obtener máxima potencia debe existir exceso de combustible y, para máxima economía debe existir exceso de oxígeno. Al analizar el rendimiento de un motor de combustión interna, es de gran importancia determinar las cantidades relativas de aire y combustible presentes en la mezcla suministrada. Esta relación puede obtenerse con gran precisión mediante el análisis químico de los gases de escape. Sin embargo, también puede determinarse efectuando las mediciones por separado del aire y del combustible suministrado al motor en un tiempo determinado.

$A/C = \text{°G}/B$, °G = consumo real de aire (kg/h); B = consumo horario de combustible (kg/h). Se ha encontrado experimentalmente, que es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía. La máxima economía del motor se obtiene cuando la liberación sea máxima. Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente. La curva de la figura 15 representa las características de un motor de encendido por chispa, en función de diferentes relaciones aire-combustible.

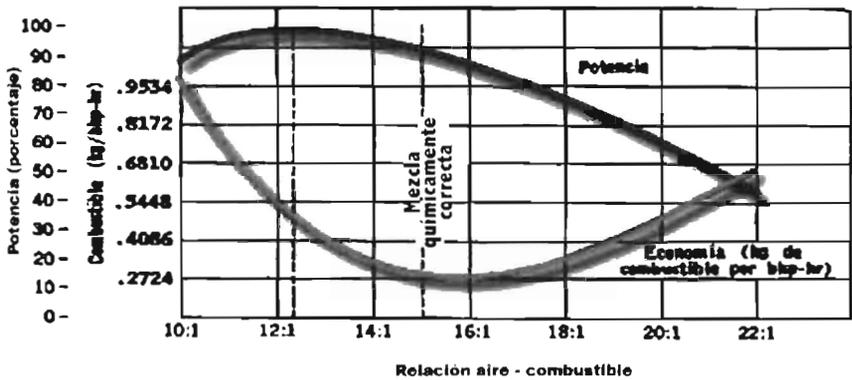


Figura 15. Relación A/C par motores a gasolina

Las características de un motor Diesel se especifican en la figura 16.

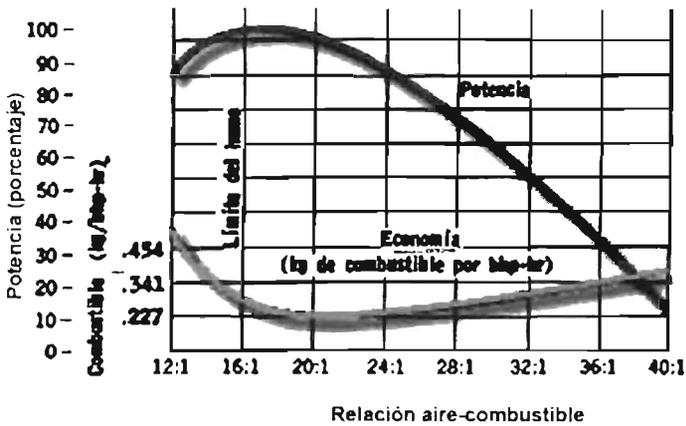


Figura 16. Relación A/C para motores Diesel

Proceso de combustión

La combustión es un proceso termo-químico en el cual se combinan el oxígeno del aire con el carbono y el hidrógeno del combustible. El calor liberado en este proceso se transforma en incremento de presión en los cilindros-pistones. Tres son los factores que influyen en el fenómeno de combustión y éstos son:

La temperatura: la temperatura de la cámara de combustión es fundamental para generar una buena combustión. Generalmente, a mayor temperatura se tiene una mejor combustión, sin embargo esto afecta las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) las cuales se incrementan al tener mayores temperaturas. Las temperaturas bajas generan una mala combustión y, habitualmente provocan altas emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) y de monóxido de carbono (CO).

La turbulencia: se refiere a la forma en la cual se mezclan el aire y el combustible. En este sentido fabricantes han tratado por diferentes medios de incrementar la turbulencia, algunas veces a través del diseño del múltiple de admisión, de la cabeza del pistón, de la forma de la cámara, etc.

■ PRÁCTICA No. 3

El tiempo de residencia: se refiere al tiempo que la mezcla aire combustible permanece dentro de la cámara de combustión. En este tiempo, la mezcla aire combustible debería quemarse completamente.

Para que el combustible entre en combustión es necesaria la presencia del aire cuya composición dada en pesos y volumen es:

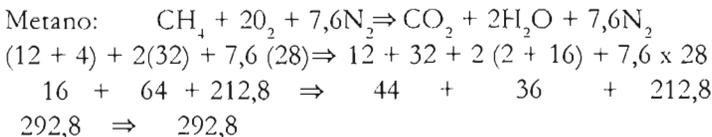
En Peso	En Volumen
23,1 % de O ₂	20,8 % de O ₂
76,9 % de N	79,2 % de N
	1 pie ³ de O ₂ por 3,8 pie ³ N
	1 libra O ₂ por 3,3 libras N.

De la hipótesis de Avogadro: iguales volúmenes de gases bajo las mismas condiciones de temperatura y presión, contienen igual número de moléculas. A las condiciones estándar de la presión y 60 °F, una mole de gas ocupa 380 pies³, ver tabla 3.

Tabla 3.
Peso molecular y atómico de algunos elementos que intervienen en la combustión

Elementos	Peso atómico	Peso Molecular
Carbono (C)	12	(C) 12
Hidrógeno (H)	1	(H ₂) 2
Oxígeno (O)	16	(O ₂) 32
Nitrógeno (N)	14	(N ₂) 28
Azufre (S)	32	(S) 32
Aire	-	- 29

Ejemplos de combustión:



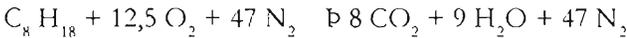
O sea, que 64 libras de O₂ se requieren para quemar 16 lb de metano. Estas 64 lb de O₂ se encuentran en 276,8 lb de aire por lo tanto la relación aire/metano es:

$$Ai/M = \frac{276,8}{16} = \frac{17,3}{1}$$

Ni bajo condiciones ideales o de exceso de aire las combustiones de los motores son perfectas y siempre existirá O_2 como subproducto. Para efectos de cálculos de combustión se tomarán algunos compuestos así:

Para gasolina: C_8H_{18} (octano)
 Para el ACPM $C_{16}H_{34}$ (cetano)
 Para el alcohol etílico: C_2H_5OH

Combustión de gasolina:



Calculando las lbs de aire y las de gasolina resulta:

$$12(8) + (1 \times 18) + 12,5 (16 \times 2) \rightarrow 8(12 + 32) + 9(2 + 16)$$

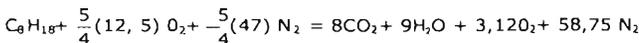
$$114 + 400 \rightarrow 352 + 162$$

Las cantidades relativas de aire y combustible que toman parte en la reacción se les llama relación aire-combustible, o a la inversa relación combustible-aire.

$$\frac{\text{Lbs. aire}}{\text{Lbs. gasolina}} = \frac{(400 / 0,213)}{114} = 15,1 \frac{\text{Lbs. aire}}{\text{Lbs. gasolina}}$$

$$\frac{\text{Lbs. combustible}}{\text{Lbs. aire}} = \frac{1}{15,1} = 0,0662 \frac{\text{Lbs. combustible}}{\text{Lbs. aire}}$$

Los casos comunes de combustión implican insuficiencia o, en su lugar, exceso de aire con respecto a la cantidad teórica necesaria. Supóngase que se suministra el 25% de exceso de aire o sea el 125% de aire teórico a la reacción:



El resultado de la combustión son los gases de escape compuestos por el agua en forma de vapor, anhídrido carbónico (CO_2), SO_2 y O_2 . Analizando la cantidad de agua en forma de vapor y la cantidad de CO_2 se tiene:

$$\frac{\text{Lbs. de } H_2O}{\text{Lbs. gasolina}} = \frac{162}{114} = 1,42 \frac{\text{Lbs. de } H_2O}{\text{Lbs. gasolina}}$$

$$\frac{\text{Lbs.de.CO}_2}{\text{Lbs.gasolina}} = \frac{352}{114} = 3,08 \frac{\text{Lbs.de.CO}_2}{\text{Lbs.gasolina}}$$

Cuando un combustible contiene Oxígeno, el procedimiento es igual al anterior, excepto que dicho oxígeno debe restarse del que debiera ser suministrado en estas condiciones. La combustión completa del alcohol etílico será:



$$\text{La relación Aire -Combustible} = \frac{414}{46} = 9,0$$

Propiedades de los combustibles

A continuación se relacionan las principales características o propiedades de los combustibles.

Octanaje: el número de octano en una gasolina es la medida de su capacidad a resistir altas temperaturas y presiones sin explotar o detonar por si misma cuando está mezclada con el aire. Una de las características deseables de un combustible destinado para MCI es que entre en combustión solo después que se inicie ésta, mediante la chispa producida por la bujía, y que una vez iniciada la combustión, sea uniforme, de tal manera que la fuerza aplicada sobre el pistón resulte uniforme y continua.

La tabla de los valores de octanaje se limita en ambos extremos por dos hidrocarburos escogidos arbitrariamente así:

Heptano: 0 ; Octano: 100 Octanaje.

Para clasificar una gasolina en su número de octanaje se procede por comparación con una mezcla de X% de octano y (100-X%) de heptano, la cual se prepara en tal forma que estalle a la misma presión que la gasolina que se va a analizar.

Cuando esto sucede la gasolina se clasificará como de x octanaje. A mayor proporción de hidrocarburos octanos, menor tendencia al golpeteo. Se mide el octanaje en cifras de porcentaje y en nuestro medio los más utilizados son:

Terpel	No Octano
Corriente	84
Extra	96

Factores que afectan el requerimiento de octanaje:

- Calibración del tiempo de ignición (chispa demasiado adelantada).
- Condiciones atmosféricas (humedad y temperatura).
- Sobrecarga y sobrecalentamiento.
- Relación de compresión del motor demasiado alto para el combustible que se está usando.
- Depósito de la combustión (carbonilla).
- Configuración y tamaño de la cámara de combustión.

Número de octanaje superior a 100: para conseguir que una gasolina tenga un octanaje superior a 100, se le adiciona tetraetilo de plomo; actualmente este producto que ya está discontinuado, por ser altamente contaminante. Un mayor número de octano se logra con una nueva generación de aditivos.

Volatilidad: en los motores de gasolina, esta pasa por el carburador, donde se mezcla con el aire y luego se vaporiza parcial o totalmente antes de entrar a los cilindros del motor, por tanto, la volatilidad es una propiedad muy importante ya que si se evapora demasiado puede hervir en los conductos, y esta gran cantidad de vapor producido origina una oclusión de vapor que dificulta el flujo y puede impedirlo totalmente; por otra parte si se evapora demasiado lentamente, se dificulta el arranque en frío de los motores.

Se considera, como norma general que para producirse la ignición en un motor de gasolina, debe estar evaporada como mínimo un 10% de la gasolina presente en el cilindro.

Gravedad de un combustible: se expresa de varias formas, entre ellas las más comunes son: La específica y la API.

Gravedad Específica (g): para combustibles líquidos puede variar entre: 0,68 g/cm³ a 0,90 g/cm³

Gravedad API: medida muy importante, pues está ligada con otras propiedades como temperatura de ebullición, volatilidad y calor de Combustión. Se determina así:

$$\text{Gravedad API} = \frac{141,5}{g} - 131,5$$

Como la gasolina se vende en unidades de volumen (litros, galones), la gravedad específica o la gravedad API, son importantes para determinar el peso del material comprado. En general, las gravedades API altas, implican números octanos altos de combustibles.

Poder Calorífico: se llama calor de combustión, característica importante de los combustibles. Es el calor liberado durante la combustión en la cámara, el cual se transforma en trabajo dentro del motor. Normalmente se conocen dos medidas para el calor de un combustible: calor alto y calor bajo. Si se condensa todo el vapor de agua, se obtiene el poder calorífico superior; si no se condensa nada del vapor de agua, se obtiene el poder calorífico inferior. Este calor se obtiene en el calorímetro de prueba. Unidades: Btu/lb, kcal/kg, MJ/kg.

Número de Cetano: la calidad de la ignición del ACPM es determinada en forma similar al octanaje de la gasolina. El cetano se mide por comparación de un combustible compuesto por una mezcla de cetano de muy alta calidad de ignición al cual se le asigna 100 de cetano y alfa-metil-naftaleno de muy baja calidad de ignición. Si en una prueba, el ACPM a analizar tiene las mismas características de ignición que una mezcla de 40% de cetano y 60% de alfa-metil naftaleno, se dirá que dicho ACPM tiene cetanaje de 40. El número de cetanaje del ACPM depende fundamentalmente de su composición química así: los ACPM derivados de hidrocarburos aromáticos tienen bajo cetanaje, los parafínicos altos cetanajes, y los nafténicos un cetanaje intermedio.

La relación entre un buen octanaje en gasolina y un adecuado cetanaje en ACPM con respecto al buen funcionamiento del motor son diferentes, mientras en gasolina un alto octanaje permite mas altas razones de compresión y por tanto más potencia, en Diesel un buen cetanaje es aquel que permite una buena ignición a altas cargas y bajas temperaturas.

Hay ACPM de dos grados de cetano No. 1 y No. 2, ambos se usan en motores de los tractores. El combustible No.1 se recomienda para climas fríos porque a bajas temperaturas permanece fluido, facilitando el encendido y generalmente contiene menos impurezas. El combustible No. 2 es más denso apropiado para trabajos pesados, tiene mayor viscosidad y por eso da mejor lubricación a los inyectores.

Sistemas de suministro e inyección de combustible

Los sistemas de inyección de combustible permiten mejorar la dosificación del combustible, debido a que el combustible es inyectado a una presión mayor en la corriente de aire, esto permite un mejor mezclado del aire con el combustible y, generalmente se tiene un mejor aprovechamiento del combustible y un nivel menor de emisiones. Estos siempre han estado incorporados a los motores diesel y, es más reciente su presencia en los motores a gasolina.

Los inyectores utilizados en los motores de gasolina, generalmente son controlados electrónicamente, lo cual permite tener un control muy preciso del tiempo de inyección y de la cantidad de combustible inyectada.

Los sistemas de inyección de combustible presentan las siguientes características:

- Son sistemas más complicados y tienen más componentes.
- El principio de funcionamiento es por la presión con la que se inyecta el combustible, lograda por la bomba de alimentación y el regulador de presión del sistema.
- La velocidad del aire es menor que la del combustible, por lo cual el combustible es mezclado mejor con el aire.
- Generalmente, proporcionan mezclas aire-combustible pobre.
- Son de precio medio y alto.
- Permiten un control estricto de las emisiones contaminantes.
- Permiten una dosificación homogénea a todos los cilindros.
- La presión del sistema de combustible es del orden de 35 a 70 lb/pulg² en motores de gasolina y mucho mayores en motores diesel (mayores de 3.000 lb/ pulg²).

Sistema de inyección diesel

Los diesel desarrollaron la inyección directa o sea el inyector inyectaba directamente a la cámara de combustión, esto genera que el ACPM tenga que entrar, calentarse con el aire, vaporizarse, recombinarse y luego arder por autoencendido; el fenómeno generalizado, a diferencia del motor de ciclo Otto que genera una explosión (un frente de llama que avanza). Esta combustión generalizada produce un esfuerzo grande y repentino en el pistón, semejante al picado en la gasolina, por lo que estos deben ser más robustos.

Si se desarrolló la inyección directa ¿por qué se ha puesto en marcha después de la indirecta? Los motores de ACPM no eran aptos para montarse en vehículos, por el ruido, vibraciones, y lo más primordial, su bajo régimen de giro, el ACPM tenía que hacer muchas cosas antes que arder, por lo que el límite de giro era relativamente muy bajo, alrededor de 200 rpm.

¿Cómo solucionar todos estos problemas? Se invento la inyección indirecta. Esta no inyecta el ACPM en la misma cámara sino que se hace en una cámara anexa. Aquí existen varias soluciones (cámara de turbulencia, y precámara). La precámara, es la solución adoptada por varios fabricantes, es

mas cara de fabricar, y ocupa mas volumen, suele ser cilíndrica comunicada con la principal por orificios. La precámara, un invento de Ricardo Comet, de ahí que se le suele conocer con este nombre, ha sido el mas utilizado por casi todos los fabricantes, consiste en una cámara anexa, labrada en la misma culata (de ahí que sea mas barato) comunicada con la principal por dos orificios, tiene una forma de bolsita, y entrada tangencial, con idea de generar una turbulencia en los gases que en ella se generan, de esta forma el aire que entra en la fase de compresión, produce un torbellino, que a la hora de inyectar el gasoil lo vaporiza y quema parcialmente de forma muy rápida, arrastrando a la mezcla resultante a través de los orificios, a la cámara de combustión, ya sobre el pistón es aquí donde se produce la combustión de todo el gasoil, pero con unas condiciones de vaporización y temperatura mas adecuadas, esto hace que la combustión sea mas rápida, a la vez que mas suave al producirse en dos fases.

Así se solucionaron los problemas de “ruido”, parte de las vibraciones, y sobre todo se subió el régimen de giro, al acelerar el efecto de la combustión, se llego a regímenes de 5000 rpm. Entonces vale preguntar, ¿cómo se han hecho los motores de inyección directa actuales, que suenan menos, y gastan menos que los de indirecta? La diferencia de consumo, es fácil, siempre ha existido, ya que la cámara de turbulencia genera una mayor superficie en la cámara de combustión que provoca mayores perdidas térmicas, lo que se traduce en un mayor consumo. ¿Y el ruido y la vibración, y el límite de giro?

La explicación es fácil, la presión de inyección en los diesel en general está en el entorno de 170 kg/cm^2 para conseguir pulverizar el ACPM en el instante de la inyección, sin necesidad de esperar al contacto con el aire se usan inyectores de orificios, pero a una elevada presión del orden de 1400 kg/cm^2 . A más presión más rápido y mejor se pulveriza, ¿y que hay de esas dos fases que generaban mayor rapidez en la combustión y más suavidad? Estas se generan por efecto de turbulencias en la cámara de combustión (por diseño de colectores y del propio pistón); por una doble inyección, en la primera parte se inyecta del orden de una décima parte del combustible, calentando la cámara y posteriormente se inyecta el total. Este es el secreto de tanto avance del diesel, de reducir el ruido, subir los giros, bajar vibraciones y por tanto el consumo es intrínseco.

Los inyectores de la inyección directa son de orificios (normalmente cinco) dispuesto radialmente, muy finos para una mejor pulverización, los que tienen Common Rail usan inyectores eléctricos, accionados por solenoide, que deben soportar los 1400 kg/cm^2 , esto era impensable hace pocos años de ahí que no se ha desarrollado hasta ahora.

Los que siguen teniendo bomba radial, la presión puede ser superior, ya que la bomba es mecánica, esta llega hasta 1800 kg/cm^2 , no se sube mas porque se comprometería la fiabilidad de los tubos que deben llevarla hasta la cámara de combustión (al menos a largo plazo). Un dato curioso, BMW exige cada vez que se intervenga en la bomba, cambiar los tubos hasta los inyectores. La otra opción es el inyector bomba, donde la presión llega a mas de 2000 kg/cm^2 aquí no existe el límite de resistencia a la fatiga de los tubos, ya que la presión se genera en cada inyector accionado por el árbol de levas, la gestión electrónica solo controla una solenoide a la entrada de cada inyector a una presión de suministro inferior a 6 kg/cm^2 . Otra de las preguntas va por la gestión electrónica, salvo en los Common Rail, donde si se gestiona cilindro a cilindro la alimentación, en las bombas radiales, la bomba genera una presión solo controlada por un muelle (o dos) dentro de cada inyector, como de cualquier bomba de gasoil, la diferencia radica en el regulador.

¿Qué es el regulador de una bomba de ACPM? Eso da para casi otro tema, pero a grosso modo en un motor no se actúa directamente sobre la bomba, sino que se hace sobre el regulador, el cual se encarga de pedir a la bomba mayor o menor cantidad de combustible; es decir, se le pide un número de vueltas, y es el regulador el que se encarga de hacer la gestión con la bomba. Este suele ir junto a la misma bomba y salvo en las de disposición en línea, donde se separa físicamente y está adosado a ella en las radiales. En una bomba de gestión electrónica, esta se encarga de pedir la cantidad de ACPM que la bomba debe inyectar, cortar el suministro a altas rpm, o cortar el suministro en retenciones, todo ello gestionado por un programa informático, y de ahí los famosos chips, que aumentan el caudal a aportar, consiguiendo mayores potencias en determinados regímenes. La gestión electrónica no es patrimonio de los de inyección directa, aunque se ha extendido con ellos.

Las bombas de inyección han ido evolucionando de las lineales a las rotativas; de las de gestión mecánica a las de gestión electrónica; de bajas presiones a altas presiones. La presurización se consigue mediante un sistema excéntrico que se convierte a lineal (en las rotativas) y empuja un émbolo que generará la presión en la cámara. En los sistemas UIS la presión se obtiene de una leva del árbol de levas motor, que empuja un tope del propio inyector. Las presiones obtenidas son superiores a 2000 bares incluso.

Sistema de gobierno de la bomba:

Mecánicas.

Electrónicas (ECU).

Disposición o tipo:

Lineales.

Rotativas.

Bomba del inyector (UIS)

Fabricantes:

Denso.

Bosch.

Lucas.

Zexel.

Delphi.

Presiones obtenidas:

< de 1000 bares de presión (baja).

Sobre los 1350 bares de presión (media).

> de 1500 bares de presión (alta).

Mecanismo de presurización:

El émbolo axial de la bomba.

El émbolo radial de la bomba.

Bomba de presión al conducto o raíl común.

Levas del árbol motor

Número de cilindros del motor:

De 3.

De 4.

De 5.

De 6, 8, 12 o más cilindros.

Tipos de sistemas de inyección. Para vehículos de gran tamaño como locomotoras barcos y vehículos industriales se utilizan motores diesel alimentados con sistemas de inyección regulados mecánicamente. Mientras que para turismos y también vehículos industriales los sistemas de inyección se regulan por una regulación electrónica diesel (EDC), ver tabla 4.

Tabla 4.

Propiedades y datos característicos de los sistemas de inyección Diesel

Sistemas de inyección ejecución	Inyección				Datos relativos al motor			
	Caudal inyección por carrera (mm ³)	Presión máx. (bar)	M E Em MV	DI IDI	VE NE	Cilindros	rpm	Potencia máx. x cilindro (kW)
Bombas de inyección en línea								
M	60	550	m, e	DI	-	4...6	5000	20
A	120	750	m	DI/IDI	-	2...12	2800	27
MW	150	1100	m	DI	-	4...8	2600	36
P 3000	250	950	m, e	DI	-	4...12	2600	45
P 7100	250	1200	m, e	DI	-	4...12	2500	55
P 8000	250	1300	m, e	DI	-	6...12	2500	55
P 8500	250	1300	m, e	DI	-	4...12	2500	55
H 1	240	1300	e	DI	-	6...8	2400	55
H 1000	250	1350	e	DI	-	5...8	2200	70
Bombas de inyección rotativas								
VE	120	1200/350	m	DI/IDI	-	4...6	4500	25
VE...EDC	70	1200/350	e, em	DI/IDI	-	3...6	4200	25
VE...MV	70	1400/350	e, MV	DI/IDI	-	3...6	4500	25
Bombas de inyección rotativas de émbolos axiales								
VRMV	135	1700	e, MV	DI	-	4, 6	4500	25
Bombas de inyección de un cilindro								
PF(R)...	150... 18000	800... 1500	m, em	DI/IDI	-	cualquiera	300... 2000	75... 1000
UIS 30 2)	160	1600	e, MV	DI	VE	8 3a)	3000	45
UIS 31 2)	300	1600	e, MV	DI	VE	8 3a)	3000	75
UIS 32 2)	400	1800	e, MV	DI	VE	8 3a)	3000	80
UIS-P1 3)	62	2050	e, MV	DI	VE	8 3a)	5000	25
UPS 12 4)	150	1600	e, MV	DI	VE	8 3a)	2600	35
UPS 20 4)	400	1800	e, MV	DI	VE	8 3a)	2600	80
UPS (PF(R))	3000	1400	e, MV	DI	VE	6...20	1500	500
Sistema de inyección de acumulador Common Rail								
CR 5)	100	1350	e, MV	DI	VE(5a)/NE	3...8	5000 5b)	30
CR 6)	400	1400	e, MV	DI	VE(6a)/NE	6...16	2800	200

Nomenclatura:

M, MW, A, P, ZWM, CW: son bombas de inyección en línea de tamaño constructivo ascendente.

PF: bombas de inyección individuales.

VE: bombas de inyección rotativas de émbolo axial.

VR: bombas de inyección rotativas de émbolos radiales.

UPS: unidad de bomba-tubería-inyector.

UIS: unidad de bomba-inyector.

CR: Common Rail.

Tipo de regulación:

m: mecánicamente.

e: electrónicamente.

em: Electromecánicamente.

MV: electroválvula.

DI: inyección directa.

IDI: inyección indirecta.

VE: inyección previa.

NE: inyección posterior.

UIS: unidad de bomba-inyector para vehículos industriales.