

29



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

“TOPICOS SELECTOS DE LA PRODUCCION
AGRICOLA ACTUAL. POTENCIA MECANICA
EN LA AGRICULTURA”

TRABAJO DE SEMINARIO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA
P R E S E N T A :
RAMON RODRIGUEZ DAZA

ASESOR: M.I. CARLOS GOMEZ GARCIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2000



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN Q. Ma del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Tópicos Selectos de la Producción Agrícola Actual

potencia Mecánica en la Agricultura.

que presenta el pasante Ramón Rodríguez Daza

con número de cuenta 9201462 - 2 para obtener el título de

Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente otorgamos nuestro VISTO BUENO

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx a 7 de septiembre de 2000

MODULO	PROFESOR	FIRMA
<u>III</u>	<u>M.I. Carlos Gómez García</u>	
<u>IV</u>	<u>BIOL. Elva Martínez Holguín</u>	
<u>IV</u>	<u>Ing. Guillermo Basante Butrón</u>	

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por haberme dado el don de la vida
y la dicha de terminar satisfactoriamente este proyecto.

A la UNAM, la casa de estudios que me brindó la oportunidad
de continuar superándome.

A mis padres Rosa y Martín, que con su ejemplo
siempre me impulsaron a continuar adelante con paso firme.

"ESTE TRABAJO ES DE USTEDES"

A mis hermanos, por su valioso apoyo y confianza depositados en mí.

De una manera muy especial al Pbro. J. Eduardo Díaz Martínez
que sin su apoyo, no me hubiera sido posible llegar a la meta.

Al M.I. Carlos Gómez García por su valiosa y atinada dirección
de este trabajo.

A la familia Díaz Pérez y a Javier, que siempre han tenido tiempo de
escucharme y estar con mígo en todo momento.

A Evangelina, que con su amor incondicional y sus consejos, ha colaborado
en mi superación como profesionista y lo más importante como persona.

A todos mis compañeros de la generación 20 y del seminario de titulación,
en particular a Ruth, Marcela y Angel por su colaboración en la conclusión de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que indirectamente
me alentaron para seguir adelante.

¡GRACIAS!

**"LA ENERGIA NO PUEDE CREARSE
NI DESTRUIRSE
SINO SIMPLEMENTE CONVERTIRSE
DE UNA FORMA EN OTRA"**

Primera Ley de la Termodinámica

INDICE

	PAGINA
INTRODUCCION	i
OBJETIVO	2
1. CONCEPTOS BASICOS	3
1.1 FUERZA	3
1.2 TRABAJO	3
1.3 ENERGIA	4
1.4 TORQUE	4
1.5 POTENCIA	5
2. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGIA MANIPULABLES PARA USO AGRICOLA	5
2.1. ENERGIA HUMANA	6
2.2 ENERGIA ANIMAL	6
2.3 PETROLEO	7
2.4 ENERGIA SOLAR	8
2.5 ENERGIA EOLICA	9
2.6 ENERGIA HIDRICA	11

3. POTENCIA MECANICA	12
3.1 ORIGEN	12
3.2 TRACTOR	14
3.3 POTENCIA EN EL TRACTOR	15
3.3.1 Tipos de motores	16
3.3.1.1 Motor de cuatro tiempos	16
3.3.1.2 Motor de dos tiempos	17
3.3.2 Potencia de salida del motor	17
3.3.2.1 Desplazamiento	20
3.3.2.2 Razón de compresión	20
3.3.2.3 Flujo de gases	20
3.3.2.4 Velocidad del motor	21
3.3.2.5 Aparatos de medición de potencia	22
3.3.3 Transmisión de la potencia del tractor	24
3.3.3.1 Toma de fuerza (TDF)	24
3.3.3.1.1 Potencia en la TDF	26
3.3.3.2 Barra de tiro (BBT)	26
3.3.3.2.1 Potencia en la BDT	27
3.3.3.3 Sistema hidráulico (SH)	28
3.3.3.3.1 Potencia en el SH	30

	PAGINA
3.3.3.4 Sistema eléctrico (SE)	31
3.3.3.4.1 Potencia eléctrica PE	32
3.3.4 Pérdidas de potencia en el tractor	32
3.3.4.1 Resistencia a la rodadura	33
3.3.4.2 Efecto de altitud y temperatura	35
3.3.4.3 Deslizamiento o patinaje	36
3.3.4.4 Efecto de la pendiente del terreno	37
3.3.4.5 Fricción entre los engranajes en la transmisión	37
3.3.5 Resistencia al corte del suelo	38
4. DISCUSION Y ANALISIS	41
CONCLUSIONES	44
ANEXOS	
Anexo 1. (Equivalencias útiles para determinar potencia de equipo agrícola)	45
Anexo 2. (Ejemplo de cálculo de potencia)	46
Anexo 3. (Características generales de algunos modelos de tractores agrícolas)	51
FUENTES	

INTRODUCCION

El uso de las energías alternativas en la agricultura, presenta soluciones efectivas para mejorar las condiciones del medio ambiente. Todas las fuentes de energía alternativa manipuladas no son totalmente eficientes, sin embargo, cuando estas son utilizadas a través de un procedimiento adecuado mejoran considerablemente su rendimiento.

Actualmente la creciente corriente ambientalista de sustentabilidad, nos induce a la utilización de fuentes alternas de energía; sin embargo, debido al poco o nulo apoyo del gobierno al campo mexicano en lo referente al uso de estas, hace que los productores sigan usando irracionalmente sus máquinas, que en su gran mayoría emplean la energía fósil para su funcionamiento.

El empleo de la maquinaria en el proceso de producción agrícola, es cada vez mayor en todos los países donde se desarrolla una agricultura moderna, ejemplo de lo cual lo tenemos en el norte del país y en algunos distritos de riego, en donde el uso del tractor agrícola a aumentado considerablemente, debido a los beneficios que éste proporciona. Además la política del petróleo ha puesto una traba al desarrollo de otras fuentes de energía como la eólica, hídrica y solar.

En el presente trabajo, no se pretende ser ambientalista ni mucho menos implementar aun más el uso de hidrocarburos, sino buscar la forma de usar eficiente y racionalmente la potencia mecánica derivada del tractor agrícola.

Aunque en forma general abordo temas como fuentes de energía manipulables para uso agrícola, la temática central del trabajo será la potencia mecánica del tractor, ya que independientemente de su modalidad, es la herramienta comúnmente usada como generadora de potencia difícilmente sustituible en el campo.

Este trabajo, no tiene la finalidad de sustituir el tractor sino de efficientar la potencia que él mismo proporciona, impactando esto en cuestiones económicas y la vez ambientales.

OBJETIVO

Presentar las diferentes alternativas de utilizar racionalmente la energía derivada de los hidrocarburos, para ser transformada en trabajo y potencia mecánica a través del tractor agrícola.

1. CONCEPTOS BASICOS

1.1 FUERZA.

Es la acción de un cuerpo sobre otro que tiende a producir o destruir movimiento en el cuerpo sobre el cual actúa. Las fuerzas pueden variar en magnitud y en forma de aplicación. Para poder comparar entre sí fuerzas distintas, tienen que estar expresadas en la misma unidad (Pearson, et al., 1979). Cuando se habla de fuerza, se trata realmente de dos fuerzas y ambas no se presentan por separado, sino en pares y se nombran acción y reacción respectivamente las dos fuerzas siempre son iguales pero de dirección opuestas. Las unidades para determinar la magnitud de una fuerza en el sistema internacional es el Newton, que equivale a la masa de 1 kg que resiste la aceleración de la gravedad ($1N = 1 \text{ kg m s}^{-2}$). El kilogramo puede ser una unidad de masa o unidad de fuerza, y no queda definida si no se especifica si es un kilogramo masa (kg_m) o un kilogramo fuerza (kg_f). Estos subíndices se utilizan únicamente cuando hay que evitar una ambigüedad (Bentley, 1993).

1.2 TRABAJO.

Es la energía transferida de un cuerpo a otro de tal manera que no este *implícita directamente* una diferencia en temperatura. El trabajo se mide en función de la cantidad de una fuerza multiplicada por la distancia que ha recorrido (Hunt, 1979) Pearson, et al., (1979) definen al trabajo como una fuerza aplicada a un cuerpo de modo que se origine movimiento en este. El trabajo se mide por el producto de la fuerza aplicada por la distancia recorrida, es decir:

$$W = f \times d \quad (1)$$

Donde: W = Trabajo en Kg-metro.

f = Fuerza en Kg.

d = Distancia en m.

Cuando la fuerza se mide en dirección circular, dando lugar a una acción de giro, se llama par de giro.

La unidad de medida del trabajo en el SI es el Joule que se denota con la letra J. Un Joule equivale a N m es decir $1J = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$.

1.3 ENERGIA.

Se define como la capacidad para ejecutar un trabajo. Si se levanta un peso de 1 kg hasta una altura de 1 m, este tendrá en su nueva posición una energía potencial superior a un kilogrametro a la que tenía antes, las unidades de energía en el SI es el Joule (Hunt, 1979), aunque en ingeniería, comúnmente las unidades de medición son la kilocaloría internacional y la British thermal unit (Btu) Otra unidad de energía es el kilogrametro (kgm), que es trabajo efectuado cuando 1 kg actúa a lo largo de una longitud de 1 m, la relación que liga la kilocaloría y el kilogramo es: 1 kilocaloría = 427 kgm. Esta constante se denomina equivalente mecánico del calor o constante de Joule y se designa con el símbolo J (Bentley, 1993).

1.4 TORQUE

El torque (T) es comúnmente definido como el producto de una fuerza por la longitud (brazo de palanca). Lo cual puede describirse como (Liljedahl citado por Quiroz, 1989):

$$T = f \times l \quad (2)$$

Donde: T = Torque en Kg-m.

f = Fuerza en Kg.

l = Brazo de palanca en m.

5 POTENCIA.

Es cualquier forma de energía disponible para realizar un trabajo; en otras palabras es la velocidad con que se hace el trabajo o se gasta la energía (Fishbane, et al., 1993). A la unidad de potencia en el sistema internacional se le ha denominado Watt y equivale a un Newton fuerza aplicado a través de una distancia de un metro en un segundo. Lo cual se escribe como:

$$P = f \times d/t \quad (3)$$

Donde: P = Potencia en N-m/seg.

f = Fuerza en Newton (N).

d = Distancia en metros (m)

t = Tiempo en segundos (s).

A la relación d/t se le conoce como velocidad, entonces se tiene:

$$P = f \times v \quad (4)$$

Donde v = Velocidad en m/seg.

En el anexo 1 se muestran algunas equivalencias útiles para el cálculo de la potencia de maquinaria agrícola.

2. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGIA MANIPULABLES PARA USO AGRICOLA.

Las fuentes de energía de que se dispone, provienen directamente o indirectamente de la gravitación, del decaimiento radiactivo, y de la radiación solar, siendo esta última la más importante.

1.5 POTENCIA.

Es cualquier forma de energía disponible para realizar un trabajo; en otras palabras es la velocidad con que se hace el trabajo o se gasta la energía (Fishbane, et al., 1993). A la unidad de potencia en el sistema internacional se le ha denominado Watt y equivale a un Newton fuerza aplicado a través de una distancia de un metro en un segundo. Lo cual se escribe como:

$$P = f \times d/t \quad (3)$$

Donde: P = Potencia en N-m/seg.

f = Fuerza en Newton (N).

d = Distancia en metros (m)

t = Tiempo en segundos (s).

A la relación d/t se le conoce como velocidad, entonces se tiene.

$$P = f \times v \quad (4)$$

Donde v = Velocidad en m/seg.

En el anexo 1 se muestran algunas equivalencias útiles para el cálculo de la potencia de maquinaria agrícola.

2. PRINCIPALES FUENTES DE ENERGIA MANIPULABLES PARA USO AGRICOLA.

Las fuentes de energía de que se dispone, provienen directamente o indirectamente de la gravitación, del decaimiento radiactivo, y de la radiación solar, siendo esta última la más importante.

Las fuentes de energía pueden clasificarse, de acuerdo con su disponibilidad en el tiempo, en renovables (de reservas no limitadas como: leña, energía solar, eólica, hídrica) y no renovables (las que provienen de reservas limitadas, o cuyo proceso de renovación es extremadamente lento, como el carbón, hidrocarburos, energía nuclear y energía geotérmica, siendo, en especial la última tan abundante, que es considerada por algunos autores como renovable).

En este capítulo se mencionan sólo las principales fuentes de energía que tienen un uso agrícola sin embargo no profundizará en cada una de ellas ya que no son objeto específico de estudio del presente trabajo.

2.1 ENERGIA HUMANA.

Desde que el hombre empezó a cultivar la tierra hace miles de años, invento y fabricó herramientas que le servían para remover el suelo, sembrar, cosechar o guardar productos. La única fuente de fuerza era su energía muscular. Esta es la forma más rudimentaria de trabajo, pero aún persiste en varias regiones del mundo (Aragón y Ochoa, 2000).

Normalmente un hombre trabaja a razón de 7 a 10 kgm./s (kilogrametros por segundo), variando desde 5 hasta 1 m/s (metros por segundo), con una manivela hasta 0.15 m/s cuando opera con su propio peso sobre los pedales de una noria de paletas. En un trabajo continuo produce alrededor de 8 kgm/s que equivalen a 0,1 cv (caballos de vapor). La fuerza media que el hombre puede ejercer equivale aproximadamente a una décima parte de su propio peso (F.A.O., 1982).

2.2 ENERGIA ANIMAL.

Las necesidades de energía en la agricultura crecieron rápidamente en todo el mundo. Se necesita más energía en general y particularmente en determinadas épocas de año y mayor velocidad para aprovechar las oportunidades de aumento de producción, lo anterior condujo a buscar alternativas como fuente de energía siendo la tracción animal la más viable en esos momentos (F.A.O., 1982).

Durante muchos siglos, el hombre utilizó la fuerza de tracción animal para mover las máquinas, que en un principio eran las que el hombre tiraba. Esta práctica persiste aún en muchas regiones del mundo por varias razones (insuficiencia económica para solventar gastos de adquisición de tecnología, relieves inadecuados para el uso de maquinaria, tradiciones de la región y falta de investigación entre otros), aún cuando ya no se emplean maquinarias tan primitivas como en el comienzo de esta etapa (Aragón y Ochoa, 2000).

El comienzo de la tendencia a modernizar rápidamente la agricultura, se inició con la primera prueba exitosa hecha por Mc Cormick, con una cosechadora en 1834 y con la invención del arado por John Deere en 1837.

En general, el mayor desarrollo de maquinarias para tracción animal se concentró en los años 1820 – 1870. Máquinas en que el operador conducía sentado, tales como. Sembradoras, cultivadoras, arados, regadoras, agavilladoras, que requerían uno o más animales para su tracción.

La primera máquina trilladora fue construida en Escocia e introducida en U.S.A. alrededor de 1800. Estos modelos eran movidos por caballos. La cosechadora combinada apareció en U.S.A. alrededor de 1860. Eran muy grandes y requerían de hasta 40 caballos para jalarlas y eran operadas por conductores a pie (Aragón y Ochoa, 2000).

2.3 PETROLEO.

La palabra petróleo proviene del latín *petroleum*, que significa aceite de piedra, lo cual es una buena descripción, debido a que las rocas que contienen hidrocarburos están compuestas por millones de granos unidos entre sí, pero que dejan huecos en los cuales pueden acumularse los hidrocarburos.

A diferencia del carbón que se encuentra en forma de roca, el petróleo es completamente diferente de la roca que lo contiene. Tomando en cuenta el estado líquido del petróleo, tiene una gran movilidad y tiende a subir hasta la superficie, en especial cuando las altas temperaturas del

interior de la Tierra tienden a incrementar su volumen. El petróleo migra a través de rocas porosas hacia la superficie, hasta encontrar una capa compacta de muy baja porosidad, la cual impide una migración posterior del mismo. Debido a deformaciones de la corteza terrestre, estas capas impermeables pueden formar "trampas de petróleo" en las cuales tiende a acumularse éste, formando así los yacimientos de petróleo.

La forma más conocida de la utilización del petróleo es como combustible para automóviles, ya que la gasolina es uno de los productos principales de la refinación del petróleo crudo.

Los productos derivados del petróleo se han convertido, de hecho, en una parte imprescindible de la vida moderna, ya que los hidrocarburos que contiene el petróleo crudo son transformados en los más diversos productos, desde medicamentos y agroquímicos, hasta plásticos que vienen a sustituir al papel, metal y vidrio.

El avance en la agricultura no es la excepción en el uso de éste hidrocarburo, ya que la tecnología nos conlleva al uso de combustibles o en su defecto, la construcción de máquinas en la mayoría de sus partes se encuentran derivados de los hidrocarburos o en su defecto se requirió de su uso de estos para su fabricación (Enkeriin, 1997).

2.4 ENERGIA SOLAR.

El estudio de la energía solar puede parecer muy reciente y novedoso, se tienen noticias de sus aplicaciones desde mucho tiempo atrás, se puede citar como ejemplo el secado de alimentos por exposición directa del sol, como pescado, granos y frutas. También el calentamiento de agua usando el mismo método fue frecuente en comunidades rurales hasta hace pocos años. Hoy en día es posible optimizar todos estos procesos con la aplicación de una tecnología sencilla y barata.

Sin embargo la transformación de la energía solar en mecánica para su posterior uso agrícola no es común, ya que generalmente en el campo se requiere de máquinas con alta potencialidad para trabajos rudos, siendo en este caso la energía solar insuficiente para tal fin, o se requeriría de

aparatos voluminosos capaces de captar la energía solar suficiente para mover la maquinaria agrícola, siendo inadecuado y además sumamente costosos (López, 1990).

La energía solar llega a la superficie de la tierra en forma de energía radiante. En algunas zonas, la irradiación llega a valores de hasta 500 Watts por metro cuadrado de superficie a ciertas horas del día y en determinada época del año. Por lo general, es usual obtener potencias del orden de los 50 Watts por metro cuadrado, motivo por el cual hoy en día sus aplicaciones son aun limitadas como: bombeo de agua, calefacción, estufas solares y destiladores de agua entre otros (Chávez, 1992).

A pesar de lo anterior, se ha tenido un desarrollo considerable en la aplicación de la energía solar en la agricultura sobre todo aplicaciones fototérmicas, es decir la transformación de la energía solar en energía calorífica para después usar esta concentración de calor como fuente energética.

Por otra parte instituciones como la U.N.A.M. y el I.P.N. han desarrollado prototipos de automóviles en las que su fuente inicial de energía es la solar, que es captada por celdas solares transformándola en energía eléctrica y finalmente en energía mecánica (Ríos, 2000), sin embargo esto resulta aun insuficiente para el campo mexicano, siendo mínimo el uso de la energía solar como potencia mecánica en la agricultura

En el futuro debido a las necesidades ya actuales, se verá obligada una mayor investigación y desarrollo para el aprovechamiento de la energía solar. Por el momento, el uso de combustibles representa una alternativa más práctica y económica para los productores

2.5 ENERGIA EÓLICA.

Los movimientos diarios del aire sobre la superficie terrestre contienen mucho más energía que la que se necesita ordinariamente. Desde hace miles de años se ha utilizado esta energía para

moler granos, bombear agua o transportar materiales en veleros. Los molinos de viento fueron construidos en casi todo el mundo, sin embargo en su mayoría han desaparecido; subsisten sólo los llamados “papalotes”, que son bombas movidas por el viento para extraer agua del subsuelo. No obstante, cada vez es más común encontrar modernos “molinos” de viento que en vez de moler grano, generan electricidad y son denominados “aereogeneradores”. Sus rotores o aspas se desarrollaron con base en los conocimientos de aerodinámica obtenidos de la aviación. Algunos modelos poseen rotores de hasta 100 metros de diámetro (Enkerlin, 1997).

En México existe en operación la central La Venta que ha hecho tangible el enorme potencial eólico del Istmo de Tehuantepec. Se está entregando electricidad con altos factores de planta, no reportados hasta ahora por ninguna central eólica del mundo. El sistema eléctrico de México posee la infraestructura suficiente para apoyar el crecimiento eólico en esa región del país, que aun cuando se trata de un recurso intermitente, representa una opción real para suministrar grandes volúmenes de electricidad en forma económica y ambientalmente benigna (Cárdenas, et al , 1995).

Por otra parte en la región tropical de México se presenta una estación de sequía que va de octubre a mayo caracterizada por la gran intensidad de los vientos en periodos cortos. En los últimos años son muchos los que han diseñado nuevos molinos más baratos y sencillos para succionar agua de los pozos. Por ejemplo, para la región central de Veracruz se ha experimentado con molinos tipo *Sovonius* y tipo *Cretano*, que lamentablemente no fueron capaces de resistir los vientos violentos ni la acción altamente corrosiva del ambiente.

Fue en la época de los ochenta en que el centro las Gaviotas de Oriroquia Colombia desarrolló un molino adecuado a las características del viento tropical. De este, ya existe el modelo adaptado para las regiones de México. Las ventajas del Molino Gaviotas con respecto al tradicional son: un peso 10 veces menor a los tradicionales; requiere de tres veces menos viento para operar, no requiere de freno mecánico para resistir rachas violentas y su instalación es sencilla (Aragón y Ochoa, 2000)

2.6 ENERGIA HIDRICA.

Los cursos de agua y los ríos pequeños pueden proporcionar una energía complementaria limitada, para el funcionamiento de máquinas o producción de electricidad. Los sistemas hidráulicos son fiables y flexibles y requieren tan solo de maquinaria muy simple y muy pocas operaciones de mantenimiento (F. A. O, 1980).

Cualquiera que observe una corriente de agua podrá deducir las grandes cantidades de energía que lleva consigo. De hecho, fue una de las primeras fuentes de energía utilizadas por el hombre por medio de molinos de agua. Al inicio de la revolución industrial, se utilizaban grandes ruedas en fabricas, *aún actualmente se obtiene cerca de 5 por ciento de la energía total y 25 por ciento de la energía eléctrica mundial de plantas hidroeléctricas.* En nuestro país más de 30 por ciento de la electricidad que se consume proviene de hidroeléctricas. Desafortunadamente, ya quedan en el territorio nacional uno o dos sitios adecuados para la construcción de presas.

Así como se utilizaban antes molinos de viento, también existían molinos de agua que ahora funcionan como atracción turística. Actualmente las presas se utilizan aprovechando la fuerza del agua para mover turbinas y así generar electricidad.

La mayor parte de la energía proveniente de las aguas en movimiento es utilizada hoy en día para generar electricidad, a través de turbinas, las cuales son colocadas en corrientes rápidas de los ríos, o por medio de represas que son construidas para almacenar agua, la cual es luego enviada o través de grandes tubos aguas abajo, donde se encuentran las plantas generadoras. Como podemos ver, es finalmente la fuerza de gravedad la que permite la obtención de energía a partir de flujo del agua.

Actualmente comienza a tomar auge el aprovechamiento de la energía del mar, donde se utiliza una especie de casco de barco, el cual con el movimiento de las olas comprime el aire localizado en la parte inferior, que posteriormente mueve turbinas para generar electricidad. Por otro lado,

los ingleses desarrollan otro tipo de dispositivo con base en flotadores asimétricos, los cuales tienden a moverse al ritmo de las olas subsecuentes y que utilizan los movimientos relativos entre ellos para impulsar los generadores (Enkerlin, 1997)

3. POTENCIA MECANICA.

3.1 ORIGEN.

(Severns, 1994) El origen de la potencia mecánica puede partir de fuentes primarias de energía que son: solar, química y nuclear, podría pensarse en otras fuentes como: eólica e hídrica, sin embargo estas (que sin son generadoras de potencia) dependen principalmente de la energía solar. El hombre ha buscado la forma de aprovechar estas, por lo que por medio de dispositivos convierte las fuentes primarias de energía en secundarias, siendo estas útiles para realizar un trabajo.

Mientras que la energía nuclear como la solar se pueden convertir en química, la química no es posible transformarla en las otras dos. Partiendo de la nuclear se puede obtener energía térmica o eléctrica, para esta última se requiere de aparatos directos. De la energía solar se puede obtener energía eléctrica a través de celdas solares y térmica a través de concentradores de absorción.

La energía química es posible convertirla en térmica por medio de la combustión y de manera inversa gracias a la termoiónica. Así mismo es posible la conversión de la energía química en energía eléctrica, lo cual se ve en las baterías y en la electrólisis.

En una segunda etapa es factible transformar de la energía térmica en mecánica y viceversa con máquinas específicas, también se puede transformar en eléctrica con la aplicación de la termoelectrica o la termoiónica. A su vez la energía eléctrica se convierte en térmica mediante calentadores y en mecánica por medio de motores. La energía mecánica a su vez se puede transformar en eléctrica mediante generadores y en térmica mediante maquinas y debido a la fricción.

los ingleses desarrollan otro tipo de dispositivo con base en flotadores asimétricos, los cuales tienden a moverse al ritmo de las olas subsecuentes y que utilizan los movimientos relativos entre ellos para impulsar los generadores (Enkerlin, 1997).

3. POTENCIA MECANICA.

3.1 ORIGEN.

(Severns, 1994) El origen de la potencia mecánica puede partir de fuentes primarias de energía que son: solar, química y nuclear, podría pensarse en otras fuentes como: eólica e hídrica, sin embargo estas (que sin son generadoras de potencia) dependen principalmente de la energía solar. El hombre ha buscado la forma de aprovechar estas, por lo que por medio de dispositivos convierte las fuentes primarias de energía en secundarias, siendo estas útiles para realizar un trabajo.

Mientras que la energía nuclear como la solar se pueden convertir en química, la química no es posible transformarla en las otras dos. Partiendo de la nuclear se puede obtener energía térmica o eléctrica, para esta última se requiere de aparatos directos. De la energía solar se puede obtener energía eléctrica a través de celdas solares y térmica a través de concentradores de absorción

La energía química es posible convertirla en térmica por medio de la combustión y de manera inversa gracias a la termoiónica. Así mismo es posible la conversión de la energía química en energía eléctrica, lo cual se ve en las baterías y en la electrólisis.

En una segunda etapa es factible transformar de la energía térmica en mecánica y viceversa con máquinas específicas, también se puede transformar en eléctrica con la aplicación de la termoelectrónica o la termoiónica. A su vez la energía eléctrica se convierte en térmica mediante calentadores y en mecánica por medio de motores. La energía mecánica a su vez se puede transformar en eléctrica mediante generadores y en térmica mediante máquinas y debido a la fricción.

En la figura 1, se muestra como se transforman las fuentes de energía primaria en secundarias así como los dispositivos o la forma en que ésta se obtiene. Obsérvese que para obtener energía mecánica (potencia), debe de partirse de energía térmica o eléctrica y como vía de transformación se requiere de motores y máquinas.

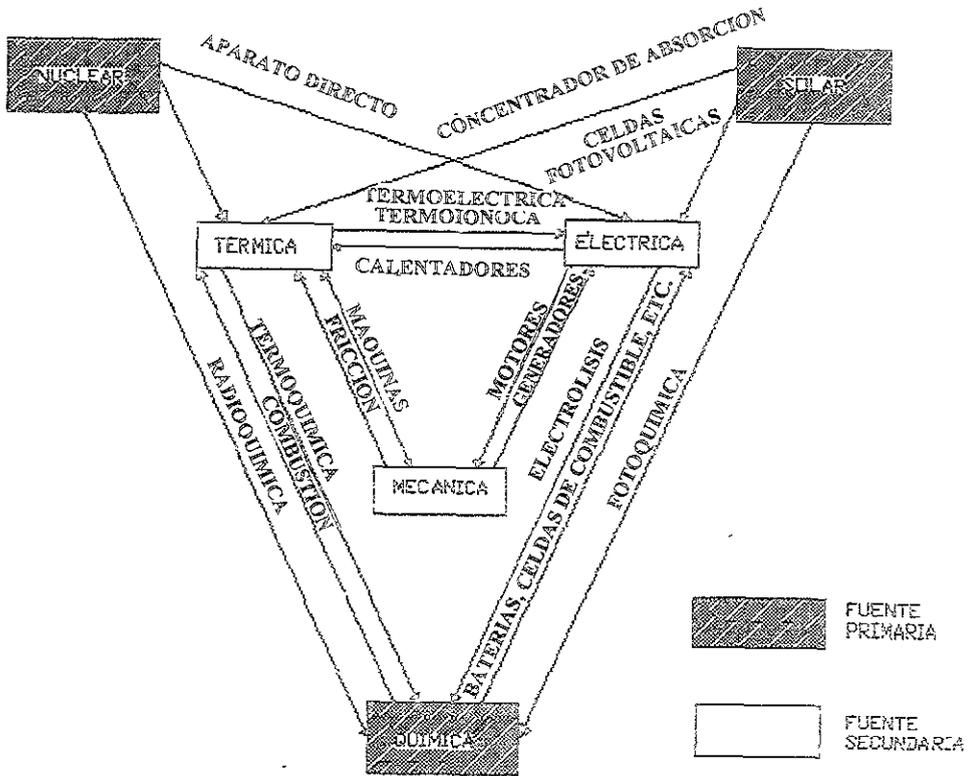


Figura 1. Diferentes formas de la transformación de la energía. Fuente: Severns, 1994.

Como el objeto principal de este trabajo versa sobre la potencia mecánica en la agricultura, y de manera muy particular en el tractor, se partirá de este como fuente generadora de potencia.

3.2 TRACTOR.

El tractor agrícola, fue en esencia un sustituto del caballo de uro, en un principio era movido por un motor de vapor, el motor de combustión interna vino más tarde. Los primeros tractores eran grandes y engorrosos y estaban adaptados, generalmente para el uso de arados y trilladoras. Al paso del tiempo el tractor fue desarrollado para muchos otros propósitos (Liljedahl, et al., 1984).

El tractor es un vehículo autopropulsado con ruedas, u orugas que se utiliza para arrastrar arados, remolques, etc., empujar vehículos y obstáculos y producir energía; tiene características diferentes a las de un automóvil, empezando por su aspecto y funcionamiento, pero mientras que el primero convierte en velocidad la energía que produce el motor, el tractor la transforma en fuerza (Gómez, 1998).

Un tractor empleado en labores agrícolas puede realizar lo siguiente:

Arrastre, mediante el enganche de implementos y remolques en su barra de tiro, con la cual puede arrastrar rastrillos, niveladoras sembradoras, arados y carretas entre otros

Trabajos estacionarios, transmitiendo potencia a algún otro tipo de máquina por medio de la toma de fuerza, con la cual puede mover, por ejemplo, bombas de riego, dínamos para generar energía eléctrica, molinos, zarandas, aspersores, guadañas y otros implementos que exigen movimiento de rotación.

Labores móviles, usando la toma de fuerza y desplazándose por el terreno, para lo cual se emplea un enganche de tres puntos o integral, en el caso de las cosechadoras, sembradoras,

fertilizadoras al voleo o de esparcimiento, las enfiardadoras y otros instrumentos agrícolas, que por su peso pueden levantarse con el sistema hidráulico del tractor (Terranova, 1995).

Se puede decir que el tractor agrícola tiene un uso casi universal y versátil.

3.3 POTENCIA EN EL TRACTOR.

El principio de funcionamiento de un motor de combustión interna o motor térmico está basado en el cambio físico operado en los cilindros, al convertir el calor que produce la combustión de los gases, en fuerza mecánica; o sea, que al efectuarse la explosión de los gases, después de recibir el chispazo de la bujía a la mezcla de gasolina y aire, o la inyección del diesel al aire comprimido. La explosión se lleva a cabo dentro de cada cilindro del motor (Figura 2) que lanza violentamente el pistón y biela hacia el cigüeñal haciéndolo girar; de esta manera se produce lo que se llama potencia indicada o sea la potencia que se genera dentro del cilindro (Soto, 1994).

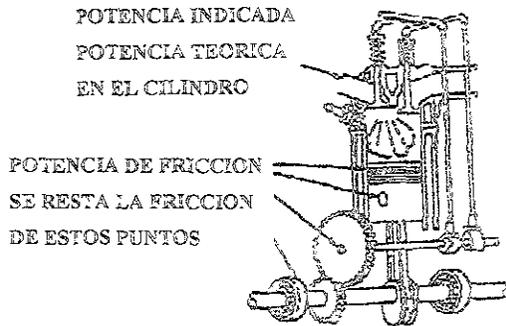


Figura 2. Potencia Indicada. Fuente: F.M.O., 1974.

- * El cilindro se llena con la mezcla de combustible.
- * La mezcla se comprime.
- * Se enciende la mezcla, lo que hace que se expanda y produzca energía.
- * Se eliminan los gases del cilindro.

Aunque los sistemas motores varían según el tipo de combustible, todos generan la potencia en forma semejante. Este apartado se enfocará sólo a motores de cuatro tiempos, ya que son los que actualmente usan la mayoría de los tractores agrícolas.

El funcionamiento de los motores de combustión interna consta de un ciclo de cuatro fases: admisión de aire o de una mezcla de aire y combustible dentro del cilindro; compresión del aire, o de la mezcla, combustión y expansión de los gases y expulsión de los subproductos de la combustión (S.E.P., 1991).

Para que las cuatro fases o tiempos del motor puedan llevarse a cabo, es necesario que haya un impulso inicial, ocasionado por el motor de arranque; siguen después los golpes sucesivos de las explosiones sobre la cabeza del pistón cuyo golpe, ayudado por el volante y el contrapeso, facilitan el movimiento giratorio uniforme del cigüeñal, (la potencia medida en este punto se denomina rotatoria o potencia al volante). Esto permite el paso de los otros tres tiempos del émbolo (Soto, 1994).

De esta manera podemos ver un ciclo completo de un motor para generar potencia. Inicialmente el tiempo o carrera de admisión, ocurre cuando el pistón se mueve hacia abajo teniendo un proceso de aspiración. Se abre la válvula de admisión a consecuencia de la acción de la leva respectiva. El pistón está absorbiendo y llenando el cilindro con la mezcla de aire y combustible, en el caso de motor gasolina y aire solamente en el caso de los motores diesel (Soto, 1994). Durante esta carrera el cigüeñal gira 180°, o sea media revolución, luego de esta carrera del proceso o ciclo, la válvula de admisión se cierra (S.E.P., 1991). Sigue a este el tiempo o carrera de compresión en el cual, mediante los engranes de distribución, el cigüeñal hace girar al eje de levas 90°, debido a la relación de 1:2 entre los engranajes (S. E. P., 1991). Esto origina

que el pistón inicie su carrera ascendente y comience a comprimir la mezcla; tanto la válvula de admisión como la de escape se encuentran cerradas y el émbolo, a la vez que asciende calienta la mezcla y la atomiza más aún por medio de la compresión, facilitando así su combustión y aumentando su poder explosivo (Soto, 1994). En el tiempo o carrera de expansión o fuerza (potencia), el émbolo llega al punto máximo en su carrera de compresión, al momento de iniciar el descenso, se produce la chispa eléctrica en la bujía, la mezcla de aire y gasolina se incendia y origina la expansión de los gases (Soto, 1994). En el caso del motor diesel, todo el aire fue comprimido y ahora este se encuentra en una adecuada relación respecto a la cantidad de combustible diesel inyectado y se inicia la combustión o expansión del gas (S. E. P., 1991). En ambos casos (motor gasolina y diesel), la expansión de los gases empuja al pistón con gran fuerza hacia abajo, dando inicio a la tercera carrera (Terranova, 1995). El proceso descrito hasta ahora muestra la transformación de la energía química del combustible en energía mecánica (S. E. P., 1991). Finalmente en el tiempo o carrera de escape, al final de la carrera de potencia, el pistón se encuentra nuevamente en su punto muerto inferior. Los subproductos de la combustión se encuentran en el cilindro, por encima del motor y se deben expulsar de este. Mediante los engranes de distribución, el cigüeñal hace girar al eje de levas (S. E. P., 1991), la leva empuja la válvula de escape en su posición de abertura y el cilindro expulsa los gases que quedan en él. Al final del tiempo de escape, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, con lo que se reanuda el ciclo (Terranova, 1995).

Lo anterior revela que existen cuatro principios básicos que afectan la potencia de salida del motor. Esos son:

- Desplazamiento
- Razón de compresión
- Flujo de gases
- Velocidad del motor

3.3.2.1 Desplazamiento.

El desplazamiento depende de la superficie del cilindro, la longitud de la carrera y del número de cilindros. A igualdad de circunstancias la potencia de salida del motor es proporcional al desplazamiento. Un mismo desplazamiento puede obtenerse con menos cilindros de mayor desplazamiento individual o con más cilindros de menos desplazamiento individual.

3.3.2.2 Razón de compresión.

Esta es una medida de la compresión de la mezcla de aire y combustible (o de aire solamente en los motores diesel). La razón de compresión es la razón entre el volumen del cilindro cuando el pistón está en el fondo de su carrera y el volumen menor del cilindro cuando el pistón está en el punto superior de su carrera. En general, cuando más se reduce el volumen – (mayor razón de compresión)- mayor es la potencia de salida. Las consideraciones de diseño y características del combustible limitan la máxima razón de compresión que puede usarse.

3.3.2.3 Flujo de gases.

Dado que debe llenarse el cilindro es importante que la mezcla de aire y combustible (o el aire solamente en los motores diesel) pueda pasar libremente desde el sistema de admisión al cilindro. En los motores de aspiración natural la única fuerza motriz es el vacío que crea el pistón en su tiempo de admisión. Por lo tanto es importante que el múltiple de entrada esté conformado para no dificultar el flujo. La válvula de admisión debe ser lo suficientemente grande para permitir el libre flujo.

Igualmente se desea un flujo completo en el sistema de escape, para eliminar eficientemente los gases de la combustión. Por ejemplo, la válvula de escape debe ser suficientemente grande y abrirse lo suficiente para permitir el paso de los gases de escape. El múltiple de escape y cualquier silenciador y tubo de escape que se usen deben imponer restricciones mínimas al flujo de escape.

3.3.2.4 Velocidad del motor.

Dado que se produce un tiempo de potencia por ciclo, la potencia de salida tiende a aumentar con la velocidad del motor, esta velocidad se mide en revoluciones por minuto o radianes por segundo (Radian, es el ángulo plano comprendido entre dos radios de un círculo y que interceptan sobre la circunferencia, un arco de longitud igual a la del radio; 1 radian = 57.29°).

La capacidad de potencia de un motor está en función de la presión promedio en la cabeza del émbolo y la velocidad del motor (F.M.O., 1974); existen varias categorías o tipos de potencia que se utilizan para describir un motor.

- Potencia indicada, que se refiere a la potencia teórica que puede alcanzar un motor en función de la presión que produce el gas al momento de la combustión.
- Potencia de fricción, que resulta de la diferencia entre la potencia indicada y la potencia utilizable en el volante del motor; considera la fricción en los componentes internos del motor, lo que representa una pérdida de potencia y produce calor.
- Potencia al volante, es la potencia que se mide en el volante del motor y es la máxima potencia obtenible del motor. Se denomina también potencia de freno porque se solía medir con un medidor de freno o dinamómetro.
- Potencia nominal, es usada por los fabricantes de motores para indicar la potencia que cabe esperar bajo condiciones de funcionamiento normales. Tiene en cuenta presiones máximas del motor y la velocidad y fuerzas de torsión. Si estos valores se exceden, el motor puede dañarse, esta potencia no es necesariamente el punto óptimo de funcionamiento para bajo consumo de combustible, sino se expresa como la potencia y velocidad de funcionamiento indicadas.

Otros tipos de potencia, que no son precisamente una forma directa de describir la potencia del motor, son la potencia en la Barra de Tiro, en el Sistema Hidráulico, en el Sistema Eléctrico y en la Toma de Fuerza.

3.3.2.5 Aparatos de medición de potencia.

Severns (1994). Con la finalidad de medir la potencia que desarrollará una máquina, se han ideado varios dispositivos de medición para poder determinarla, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- *Dinamómetro de absorción o freno prony.* El freno prony es la forma más elemental de un dinamómetro, mide la potencia aplicada convirtiéndola al mismo tiempo en alguna forma de energía (generalmente calor). El aparato, se esquematiza en la figura (3), es un dispositivo en el cual los bloques de madera (a), se afianzan alrededor de la polea del motor (b) por medio del volante (c). Cuando el motor gira en la dirección mostrada por la flecha, el brazo de palanca (l), presiona sobre la escala (e) registrándose una lectura (F) en la escala. Si se supone que la rueda (b) se bloquea y cierta fricción es aplicada por medio del volante (c) y si una fuerza (F) es entonces aplicada al brazo, este gira una vuelta a lo largo de la línea punteada. El trabajo efectuado durante la revolución es entonces (F) veces una distancia $2\pi l$. Este trabajo es necesario para vencer la fricción entre los bloques y la rueda; ahora, si la rueda gira (n) veces en un minuto, el trabajo será: $2\pi lFn$. Por lo tanto la potencia estará dada por:

$$P = \frac{2\pi fln}{60 000} \quad (5)$$

Donde: P = Potencia en kW.

l = Brazo de palanca en m.

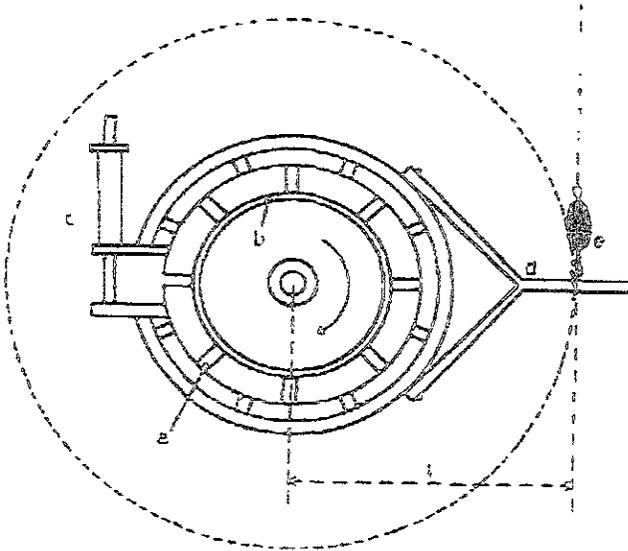
f = Fuerza registrada en N.

n = Velocidad angular en r.p.m. registradas.

Como el torque es igual a fl, la potencia se calcula como:

$$P = \frac{2\pi Tn}{60\ 000} \quad (6)$$

Donde: T = Torque en N-m.



- a) Bloques de madera
- b) Polea
- c) Volante
- d) Brazo
- e) Dinamómetro
- F = Fuerza registrada
- i = Brazo de palanca

Figura 3. Freno prony. Fuente Severas, 1994.

- o *Dinamómetro de absorción hidráulico* Opera también bajo el principio de convertir trabajo en calor. El medio de trabajo, generalmente agua, circula dentro de una funda y a causa de la fricción sale a una temperatura más alta que la que tenía cuando entró. Una funda exterior, la cual gira alrededor de la flecha, se conecta y está contenida por el brazo de torque. El freno

hidráulico es más exacto que el freno prony y al igual que otros tipos de dinamómetro, el principio de cálculo de potencia es el mismo.

Al igual que los aparatos anteriores, existen otros para determinar la potencia, sin embargo sólo se mencionan estos dos ya que son los de más uso.

3.3.3 Transmisión de la potencia del tractor.

Existen tres formas principales de transmitir una fuerza: Por fricción, por engranajes y por líquidos.

La transmisión por fricción consiste en juntar una superficie con otra para proporcionarle movimiento. El ejemplo más clásico lo constituyen las poleas y correas comunes.

La transmisión por engranajes es la más usada para transmisión de fuerza de un elemento a otro. Cuando entran en contacto ambos elementos, se dice que establecen una posición de toma.

La transmisión por cadena no es más que una variante de transmisión por engranaje. En este caso, las ruedas dentadas no permanecen en posición de toma, pero se encuentran unidas por una cadena que no puede patinar.

La transmisión por líquidos implica la presencia de un líquido entre el elemento impulsor y el impulsado para la transmisión de movimiento, ejemplos de ella son la rueda de molino y las transmisiones automáticas modernas.

Lo que interesa al productor no es la potencia del motor, sino principalmente la potencia utilizable del tractor.

La potencia utilizable de un tractor proviene de la toma de fuerza (TDF), las ruedas motrices (que la transmiten a la barra de tiro), de la bomba hidráulica y del sistema eléctrico.

Actualmente con la potencia de los tractores modernos tiene gran influencia el punto en el que se aplique la tracción a un tractor, ya que esto interviene en el equilibrio del mismo. Cuanto más abajo se encuentre el punto de aplicación de la tracción, menos se perturbará el equilibrio de la máquina; por el contrario si se conecta un remolque en un punto algo más alto, se estará incrementando la tendencia a que las ruedas delanteras pierdan contacto con el suelo. Por estas razones los fabricantes proveen en los tractores, un puesto de enganche para implementos de tiro, o remolques en general.

Hay dos tipos de principales de BDT, fijas y oscilantes (Fig. 4). Sin embargo, la mayor parte de los fabricantes suelen suministrar un tipo combinado, el uso de una o de otra depende de la labor a efectuar e inclusive del terreno (Soto, 1994).

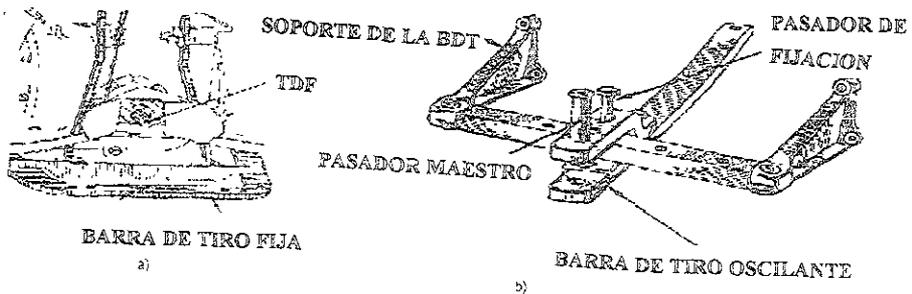


Figura 4. a) Barra de tiro fija, b) Barra de tiro oscilante. Fuente: Soto, 1994.

3.3.3.2.1 Potencia en la BDT.

La potencia desarrollada en la barra de tiro y el peso total del tractor guardan relación entre sí, y tienen que estar bien equilibradas a fin de que el tractor pueda transmitir su potencia a la barra de tiro produciendo la menor pérdida de tracción en las ruedas motrices o en los carriles en un tractor de oruga, una barra de tiro mal ajustada no solamente afecta el equilibrio del tractor, sino que afecta el funcionamiento o eficiencia del implemento y origina mayores esfuerzos de arrastre (Soto, 1994).

La potencia en la barra de tiro (PBDT). Es una potencia lineal que se obtiene cuando el tractor se desplaza a una velocidad dada tirando de una carga de arrastre a través de un sistema de enganche (Gómez, 1998). La fuerza de tracción se desarrolla en la BDT, por lo tanto es necesario conocer la carga de la maquinaria agrícola en kilogramos y la velocidad en kilómetros por hora para calcular la potencia a la barra de tiro en kilowatt a partir de la siguiente fórmula:

$$PBT = f \cdot v / 367 \quad (8)$$

Donde: PBT = Potencia en la barra de tiro, kW.

f = Fuerza de tracción en la BDT, kg.

v = Velocidad de avance del tractor, km./h.

Saber la máxima potencia de BDT es normalmente el criterio de rendimiento más útil para tractores agrícolas. Por lo tanto estimar el máximo jalón de la barra de tiro servirá para comparar y evaluar tractores.

3.3.3.3 Sistema Hidráulico (SH).

Los controles hidráulicos han reemplazado casi completamente a los sistemas manuales y mecánicos que se utilizaron anteriormente.

Se puede usar el sistema hidráulico para levantar o bajar los implementos montados en el tractor, para nivelarlos y ajustarlos.

El principio básico de la construcción y funcionamiento de los sistemas hidráulicos es que la presión de un líquido encerrado ejerce igualmente en todas direcciones (Fig 5). Por lo tanto, la fuerza hidráulica se puede aplicar en varios puntos, simultáneamente o selectivamente (Stone y Gulvin, 1985).

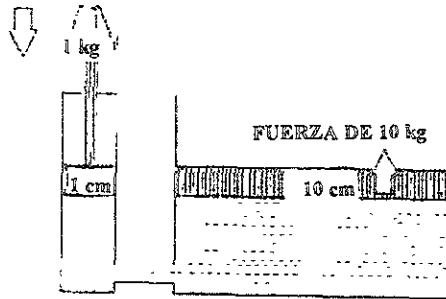


Figura 5. La presión en los líquidos confinados. Fuente: Deere & Co.

Las partes principales de un Sistema Hidráulico sencillo son:

1. Un depósito de líquido para sistema hidráulico.
2. Un filtro para este fluido.
3. Una bomba para producir la presión.
4. Válvulas de control.
5. Un cilindro y un pistón, el pistón transmite la fuerza hidráulica al mecanismo de palancas de la máquina o equipo adicional.
6. Una válvula de seguridad, para disminuir la presión en el caso de que una carga excesiva actúe en la máquina o equipo adicional.
7. Mangueras, tubos y conexiones de alta presión

En la figura (6), se ejemplifican las partes principales de un sistema hidráulico.

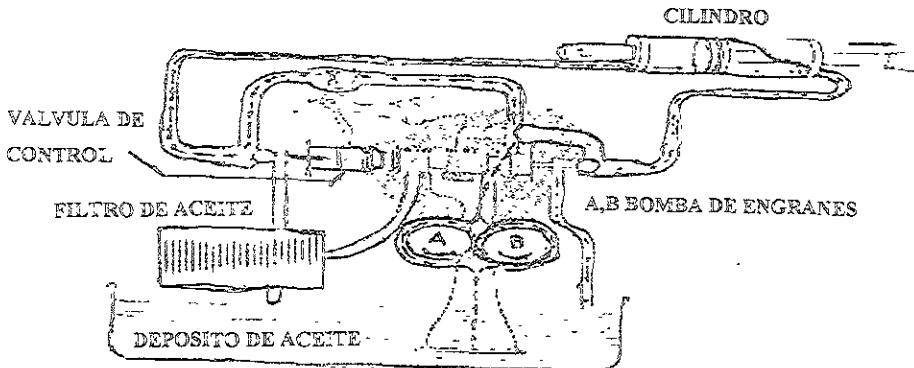


Figura 6. Partes fundamentales de un Sistema Hidráulico. Fuente: Stone y Gulvin, 1985.

3.3.3.3.1 Potencia en el SH.

La potencia de un fluido es el producto de una estimación del peso del flujo y la resistencia a ese flujo, llamada *carga del fluido*. Esto resulta de relacionar la relación manométrica y la velocidad de flujo de aceite en el sistema. Es una aplicación directa de la fuerza hidráulica ligado al enganche de tres puntos, evolucionando gracias al *esfuerzo envolvente* que proporciona el enganche de tres puntos; aumentando considerablemente la tracción del tractor, debido a la mejor adherencia de los neumáticos sobre la superficie del terreno (Soto, 1994).

La potencia en cualquier sistema hidráulico esta dada por la ecuación (Hunt, 1986):

$$PSH = p Q/1000 \quad (9)$$

Donde: PSH = Potencia hidráulica. KW.

p = Presión manométrica, kPa.

Q = Velocidad de flujo, l/s.

3.3.3.4 Sistema Eléctrico (SE).

Los sistemas eléctricos han llegado a ser muy complicados. En la figura (7). Se muestra un sistema eléctrico básico de un tractor.

Las parte fundamentales en los sistemas eléctricos son las siguientes:

Batería: Es un artefacto de almacenamiento de energía, siempre necesario para arrancar un motor, en ocasiones suministra energía cuando el motor funciona a muy bajas velocidades. La corriente eléctrica de una batería, se produce por la reacción química de sus componentes químicos. La reacción química para efecto de carga, es esencialmente el reverso de la reacción de *descarga*.

Motor de arranque: Consiste en un motor de corriente directa (DC) que esta acoplado a un engrane del motor del tractor por medio de un engrane de piñón deslizante. El engranaje del piñón está engranado con un anillo dentado al volante del motor por un solenoide. Cuando la fuerza eléctrica es conectada al motor de cd, el solenoide es activado simultáneamente, lo cual hace engranar el piñón. El resorte en el piñón desengrana a éste cuando la energía es cortada.

Generador: Usualmente es un generador de corriente alterna (AC) con un rectificador interconstruido que produce una DC. La combinación es comúnmente llamada alternador (Liljedahl, 1984).

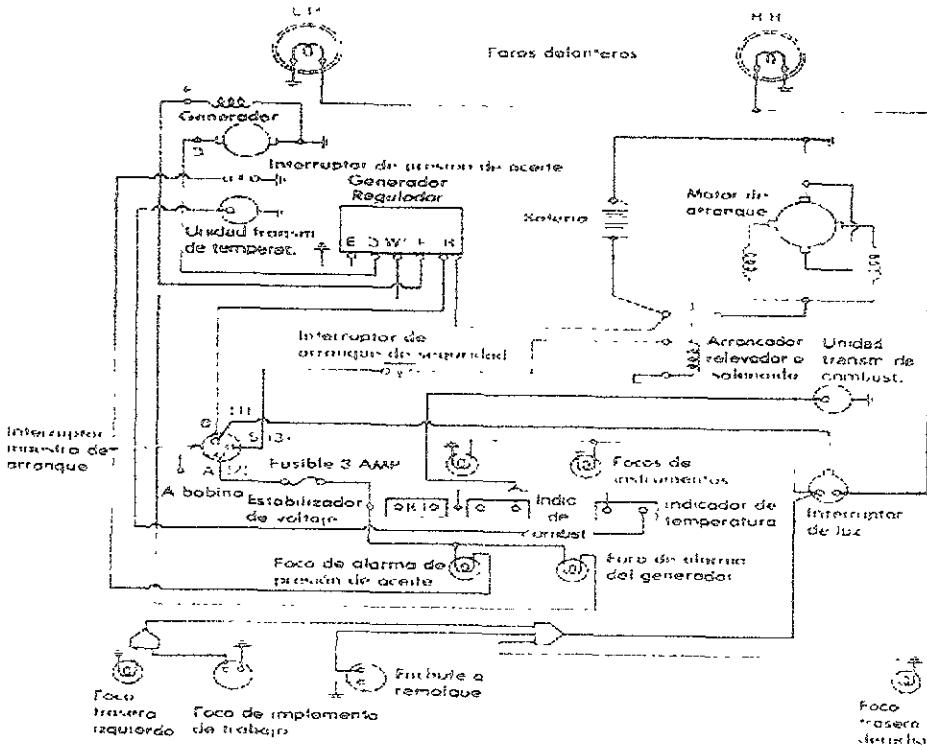


Figura 7. Sistema eléctrico básico de un tractor diesel. Fuente: Liljedahl, 1984.

3.3.3.4.1 Potencia eléctrica PE.

La potencia eléctrica esta dada por la ecuación:

$$PE = IE \quad (10)$$

Donde: PE = Potencia eléctrica, W.

I = Velocidad de flujo de los electrones, A.

E = Presión eléctrica, V.

Generalmente la Potencia eléctrica se usa al arrancar el motor del tractor, por lo que no se considera dentro de las pérdidas de potencia (Hunt, 1986).

3.3.4 Pérdidas de potencia en el tractor.

Cada tractor es un modelo de producción equipado para el uso común. Los accesorios que consumen potencia solo se pueden desconectar cuando sea conveniente para el operador hacerlo en la práctica (Hunt, 1986)

La potencia del motor es considerablemente más grande que la potencia que el tractor transmite a la barra de tiro, debido a las pérdidas por la altitud y temperatura del campo de trabajo, la transferencia de potencia en su transmisión, patinaje y la resistencia al rodamiento.

En la figura 8 se indica la eficiencia de transmisión de potencia de un tractor, la cual es útil para ser estimaciones aproximadas de su aprovechamiento

Además algunos implementos necesitan de la potencia eléctrica de los tractores.

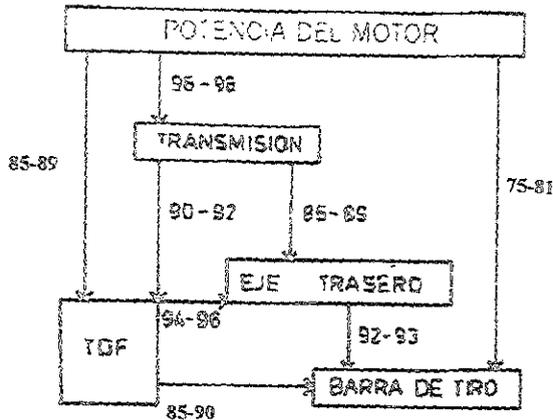


Figura 3. Pérdidas de Potencia mecánica del motor expresadas en porcentajes (datos sobre concreto) Fuente: Hunt, 1986.

Las pruebas de tractor sólo ocasionalmente son usadas directamente por los administradores de maquinaria, puesto que la potencia utilizable de un tractor proviene de la toma de fuerza, de las ruedas motrices, del alternador y de la bomba hidráulica; por ello es necesario presentar una manera más sencilla de calcularla de acuerdo a algunos parámetros ya determinados y a las necesidades que se tengan (Hunt, 1986).

Un tractor agrícola ideal es aquel en el cual el peso y la potencia de dicho tractor se encuentra en perfecto equilibrio que permita al mismo tiempo transmitir su potencia al enganche.

Para aprovechar mejor la potencia de un tractor se deben considerar los siguientes factores:

- Resistencia a la rodadura.
- Deslizamiento o patinaje.
- Efecto de la altitud y temperatura
- Efecto de la pendiente en los terrenos.

3.3.4.1 Resistencia a la rodadura.

Es la parte de la fuerza debida al peso necesario para mantener el equipo en movimiento con una velocidad constante, es decir, la fuerza aplicada para mover un vehículo y es afectada por:

- Estado y clase de terreno.
- Peso del tractor
- Tipo de mecanismo de rodadura
- Inflado de neumático, tamaño y forma

La siguiente fórmula nos sirve para conocer la potencia necesaria para vencer la resistencia a la rodadura en un suelo plano.

$$Pr = \frac{K \times W \times V}{367} \quad (13)$$

Donde: Pr = Potencia para vencer la resistencia a la rodadura (kW).

W = Peso total del tractor (Kg).

K = Coeficiente de rodadura

V = Velocidad (km./h)

El coeficiente de rodadura (K) se obtiene del cuadro 3 y se define como la razón de fuerza horizontal (Tiro) necesaria para jalar una rueda sobre una superficie horizontal entre la fuerza vertical sobre el eje de esa rueda; que generalmente es el peso que carga la rueda (Hunt, 1986).

Cuadro 3. Coeficiente de resistencia a la rodadura (K).

Naturaleza y estado del suelo	Coeficiente de resistencia a la rodadura (K)
Carretera en buen estado	0.02 – 0.05
Camino de tierra firme	0.05 – 0.07
Camino de tierra	0.08 – 0.16
Tierra labrada	0.10 – 0.20
Arena	0.15 – 0.30

Fuente: ASAE 1993.

3.3.4.2 Efecto de altitud y temperatura.

Los motores sufren pérdidas de potencia debido a la mayor altitud, el contenido de oxígeno es menor y por lo tanto disminuye la eficiencia de la combustión.

Los modelos actuales de tractores cuentan con un dispositivo (Mecanismo turbo), que regula la entrada de oxígeno al motor en altitudes elevadas. Sin embargo para los modelos anteriores, la pérdida de potencia debido a la altitud y temperatura se puede calcular con la fórmula 14.

Para calcular la potencia es necesario conocer los caballos de fuerza (HP) del tractor, y la presión atmosférica del lugar donde se va a trabajar. Si no se cuenta con los datos, se puede estimar una pérdida del 1% por cada 100 metros de altura sobre el nivel del mar (S.E.P., 1995).

$$P' = \frac{HP \times b (273^\circ + 20^\circ)}{760 \times (273 + T)} \quad (14)$$

Donde: P' = Pérdida de potencia.

HP = Caballos de fuerza a la barra de tiro.

b = Presión barométrica en mm de Hg.

T = Temperatura media de la región.

Los datos de presión se pueden obtener del cuadro 4

Cuadro 4. Presión barométrica según altitud.

Altura sobre el nivel del mar (m)	Presión barométrica en mm de mercurio
0	760
200	742
400	724
600	707

Continuación Cuadro 4. Presión barométrica según altitud

800	690
1000	674
1200	658
1400	642
1600	627
1800	612
2000	598
2500	559
3000	512

Fuente: ASAE 1989.

3.3.4.3 Deslizamiento o patinaje.

Se presenta entre el neumático y el suelo, cuando éste no es capaz de soportar la fuerza tangencial que se produce en la periferia de la rueda, originándose consecuentemente roturación del terreno por esfuerzo cortante (Hunt, 1986) Gómez (2000), menciona que el patinaje es una pérdida directa de potencia. Cuando el tractor tiene un patinaje del 10% también pierde el 10% de potencia.

Los factores que en la pérdida de potencia por patinaje son:

- Fuerza tangencial en las ruedas motrices.
- Tipo y condiciones del terreno
- Cohesión y rozamiento interno
- Peso del neumático y área de contacto entre éste y el suelo.
- Condiciones de los neumáticos

Para contrarrestar los efectos del patinaje usualmente suele agregarse un 15 por ciento más de potencia. Aunque para calcular el patinaje de los equipos puede usarse la fórmula:

$$Pa = \frac{Vs - Vc}{Vs} (100) \quad (15)$$

Donde: Pa = Porcentaje de patinaje (%).

Vs = Velocidad sin carga (km/h).

Vc = Velocidad con carga (km/h).

3.3.4.4 Efecto de la pendiente del terreno.

La pendiente repercute en la potencia del motor ya que aumenta el peso de la carga que debe mover y disminuye la potencia para realizar el trabajo. Esto es debido a que el peso ya no actúa perpendicularmente a la pendiente a través de las ruedas y los ejes, sino de una manera vertical con un ángulo igual a la pendiente (Hunt, 1986).

La pendiente es la tangente del ángulo entre la superficie del suelo y la vertical, expresada como un porcentaje. Primeramente se calcula la carga extra de la siguiente manera:

$$We = \frac{W \times m}{100} \quad (16)$$

Donde: We = Carga extra debido a la pendiente en (kg).

W = Peso del tractor en (kg)

m = Pendiente (%)

Después el resultado se sustituye en la fórmula 8 de potencia y de ahí se obtiene la pérdida.

3.3.4.5 Fricción entre los engranajes en la transmisión.

Debido a la fricción entre los engranajes en la transmisión del tractor, se pierde aproximadamente 15% de la potencia del volante hasta la TDF (Hunt, 1986).

Cabe hacer mención que la potencia en la toma de fuerza, el sistema hidráulico y el sistema eléctrico, aunque intervienen en la potencia total disponible la determinación de éstas generalmente la hace el fabricante en pruebas de laboratorio y vienen especificadas a la compra del tractor por lo que en el campo es difícil variarlas, en estos casos lo conveniente para aprovechar al máximo la potencia de los sistemas antes mencionados es darles un buen mantenimiento y el acoplamiento correcto en el caso de la toma de fuerza. En lo que respecta a la potencia en la barra de tiro es la que mejor podemos manipular, ya que el implemento que le acoplemos al tractor para su arrastre, influye directamente en la potencia de la máquina.

3.3.5 Resistencia al corte del suelo.

Es la fuerza que se debe aplicar por unidad de área para cortar el suelo y moverlo con los implementos agrícolas. En el cuadro 5 se presentan los valores de resistencia al corte del suelo.

La cantidad de suelo que se mueve a cierta profundidad ejerciendo una fuerza con el tractor, esto es, oponiendo a las máquinas una resistencia que fricciona los implementos, dificultando el desplazamiento.

Cuadro 5. Resistencia específica del suelo al corte.

Textura	Resistencia al corte (R) Kg/cm ²
Limoso	0.2119
Limoso-arenoso	0.2119 - 0.2812
Limoso-arenoso-seco	0.2812 - 0.4818
Arcilloso-seco	0.4818 - 0.4921
Arcilloso-limoso	0.4818 - 0.4921
Arcilloso-limoso-seco	0.4921 - 0.5624
Arcilla-pesada-seca	0.6327 - 0.7030
Arcilla-pesada con pasto	0.7030 - 0.7733
Arcilloso-rico en materia orgánica húmedo	1.1248 - 1.2651
Arcilloso-rico en materia orgánica seco	1.1248 - 1.1060
Virgen seco	1.4060 - 1.7575

Fuente: ASAE 1989.

La fuerza de resistencia al corte esta dada por la fórmula siguiente:

$$A_c = p \times a \quad (17)$$

Donde: A_c = Area de corte del arado (cm^2)

p = profundidad (cm)

a = ancho de corte (cm)

Entonces la fuerza necesaria para vencer la resistencia al corte esta dada por:

$$F_c = A_c \times R \quad (18)$$

Donde: F_c = Fuerza de resistencia del suelo al corte en kg.

R = Resistencia al corte en Kg/cm^2

Para arados de discos su corte es aproximadamente una tercera parte de su diámetro (para fines teóricos, es necesario precisar esto para un trabajo más acertado).

Después se agrega el peso del implemento (Kg) el cual se suma a la fuerza de tracción para obtener la fuerza total necesaria en la labor

De esta manera se puede estimar el número de cuerpos para realizar la aradura, según el tipo de terreno que es capaz de tirar un tractor con potencia conocida, seleccionándolo de acuerdo a la capacidad de tiro del tractor

Posteriormente para calcular la potencia debida a la resistencia al corte se utiliza la fórmula 8 de potencia en la BDT.

Para un mejor entendimiento de los cálculos necesarios sobre la potencia del tractor que interesan al productor, y que además son factibles de realizar en el campo de forma breve y

entendible y para lo cual no se requiere de un laboratorio de pruebas, se muestra un ejemplo numérico para tal fin en el anexo 2.

4. DISCUSION Y ANALISIS.

Sin lugar a dudas el uso de fuentes alternativas de energía, como la solar, eólica, hídrica, etc. actualmente han cobrado auge, sin embargo el uso de éstas, data desde hace cientos de años

A partir de la revolución industrial, el uso de las máquinas es imprescindible, con esta nueva corriente el desarrollo de fuentes energéticas para su funcionamiento es a la par, siendo el petróleo y sus derivados el energético más barato, práctico y altamente explosivo capaz de generar la potencia necesaria para realizar las pesadas labores del campo, por lo que es difícilmente sustituible hasta la fecha.

Con el desarrollo de las máquinas el uso de la fuerza humana y la tracción animal han disminuido notablemente, sin embargo en algunas regiones del mundo donde es casi imposible la introducción de maquinaria, el uso de estas fuentes generadoras de potencia sigue siendo indispensable para el desarrollo.

El uso del tractor debido a la adaptabilidad de trabajos que este puede realizar (estacionarios y de arrastre principalmente) es cada vez más frecuente en los lugares donde se desarrolla la agricultura moderna, esto se puede apreciar en los estados del norte del país.

Por lo antes dicho, sustituir el uso de los hidrocarburos como fuente de energía primaria del tractor es imposible por ahora, ya que los motores de los grandes tractores requieren de potencia elevada, siendo otras fuentes, insuficientes para este fin.

El uso adecuado de los hidrocarburos genera la potencia óptima requerida para las labores del campo, así mismo disminuye los costos de producción bajo las tecnologías modernas.

La potencia en el tractor agrícola generalmente es especificada por los proveedores, ésta depende de varios factores como: desplazamiento de los cilindros, razón de compresión, flujo de gases y velocidad del motor principalmente, lo cual quiere decir que no siempre un motor de 8

cilindros tiene mayor potencia que uno de 6, si en el motor de 6 cilindros su desplazamiento es mayor que en de 8 quizás la potencia se comporte de la misma forma, o si se tiene un motor de 8 cilindros de gasolina y uno de 6 cilindros diesel, puede ser que la potencia del motor de 6 cilindros sea mayor que el de 8 ya que la razón de compresión es más del doble en motores diesel que en los de gasolina, siendo más violenta la explosión y en consecuencia mayor la generación de potencia

Para aprovechar eficientemente la potencia de un tractor, no es fácil que el operador modifique los elementos internos de éste, siendo el mantenimiento de la máquina y los resultados obtenidos en las estaciones de pruebas de maquinaria sus únicas alternativas para el aprovechar al máximo la potencia.

Lo que al productor le interesa en realidad es la potencia de salida del tractor; es decir, la potencia en el sistema hidráulico, la potencia en el sistema eléctrico, la potencia en la toma de fuerza y la potencia en la barra de tiro, siendo éstas dos últimas en las que puede tomar decisiones importantes para su buen desarrollo.

Hay factores que pueden afectar directamente en la potencia del tractor, sin embargo estos pueden ser corregidos por el productor como: calibración óptima en el llenado de las llantas, uso de implementos adecuados al tamaño del tractor, el eficiente acoplamiento de los mismos, tener bien afilados los implementos que así lo requieran y conocer las condiciones del lugar donde se va a operar el equipo. No es lo mismo trabajar a 2000 m.s.n.m. que a 500 m.s.n.m., o en un terreno limoso que en uno arcilloso, o en un terreno plano que en uno con pendientes del 4%.

Por todo lo antes mencionado, en este trabajo se recopiló la información necesaria que se debe conocer, para optimizar al máximo la potencia de un tractor, o en el caso de no contar con él, lo necesario para una buena elección de compra. Sería ilógico comprar un tractor de 184 HP, cuando la labor más pesada que se va a realizar requiere de 75 HP. Además, al momento de usarse se compacta innecesariamente el suelo y aumentan notablemente los costos de producción.

En el caso de apoyos al campo, también se requiere de estudios de potencia de la maquinaria que son fáciles y económicos, y no caer en la corriente de tractorizar como sinónimo de mecanizar o comprar maquinaria innecesaria por efecto de ofertas o quedar bien con la comunidad.

CONCLUSIONES

- No parece existir a corto plazo un posible sustituto de los derivados del petróleo, por lo que hoy en día la solución más realista es el aprovechamiento óptimo de los mismos.
- La potencia obtenida en la Toma de fuerza, Sistema hidráulico y Sistema eléctrico, así como en los mecanismos internos del tractor agrícola son difícilmente sustituibles por el operador, se sugiere un buen mantenimiento y conocimiento del rendimiento óptimo de la potencia, torque y consumo de combustible, resultados obtenidos de las pruebas de maquinaria agrícola realizadas en los laboratorios especializados para tal fin.
- La potencia disponible en la Toma de Fuerza y en la Barra de Tiro, son las que más interesan al operador, ya que en base a éstas y al trabajo que se va a realizar, puede acoplar los implementos al tractor, y así utilizar la potencia en forma óptima y racional.
- Los diversos y adecuados ajustes del motor y otros elementos del tractor agrícola, así como la elección de la velocidad óptima y el buen estado del equipo utilizado en las labores del campo, son fundamentales para un desarrollo eficaz de la potencia.
- Conocer las condiciones del lugar donde se va a operar el equipo agrícola es indispensable para obtener un desarrollo óptimo del mismo.
- El cálculo de la potencia de un equipo agrícola es de gran importancia, ya que ello repercute directamente en; una buena preparación del terreno, que ésta se realice en tiempos establecidos y en los costos de producción; e indirectamente en un impacto ambiental.
- Conocer la potencia y los rangos óptimos de operación del motor, permiten ahorrar combustible, por consiguiente elevar la eficiencia en las labores agrícolas.

ANEXOS

Anexo 1.

Algunas equivalencias útiles en la determinación de potencia de equipo agrícola.

1 CV = 1 caballo de vapor = 75 kgm/s

1 CV = 0.9863 caballos de fuerza (HP)

1 CV = 0.736 kilovatios (kW)

1 HP = 1.0139 CV

1 HP = 0.746 kW

1 kW = 1.341 HP

1 kW = 1.359 CV

1 kW = 102 Kgm/s

1 HP = 0.735 kW

1 kW = 1.370 HP

Fuente: FIRA, 1985.

ANEXO 2

Ejemplo de la determinación de la potencia necesaria en la barra de tiro, para una operación de aradura, bajo las siguientes condiciones:

- Velocidad de operación 4 km /hr
 - Profundidad de operación 30 cm.
 - Ancho de corte efectivo del arado 71 cm
 - Resistencia específica del suelo al corte (suelo arcilloso-limoso) 0.4921 Kg/cm² (Cuadro 5)
 - Peso del implemento 580 Kg.
 - Tractor con salida al volante de 74 HP
- Cálculo de la potencia necesaria para vencer la resistencia al corte.

a) Sustituyendo los datos en la fórmula 18:

$$F_c = 30 \text{ cm} \times 71 \text{ cm} = 2130 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Necesidad de tracción en Kg del implemento} &= 2130 \text{ cm}^2 \times 0.4921 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 1048.17 \text{ Kg} \end{aligned}$$

b) Si a la fuerza anterior le sumamos 580 Kg que es el peso del arado tendremos:

$$1048.17 \text{ Kg} + 580 \text{ Kg} = 1628.17 \text{ Kg.}$$

c) Sustituyendo en la fórmula 8:

$$\text{PBT} = 1628.17 \text{ Kg} \times 4 \text{ km./hr} / 367 = 17.74 \text{ kW.}$$

Generalmente para referirse a la potencia, en México es común el término Caballos de Fuerza (HP) que es la unidad de medida de potencia en el Sistema Ingles (SI), por lo que es necesario aclarar lo siguiente:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W.}$$

Cuando se antepone la palabra kilo (k) a una unidad de medida multiplicamos por mil dicha unidad ejemplos: km. (1000 metros) kN (1000 newton) kW (1000 watts), kg (1000 gramos), por lo tanto:

$$1 \text{ HP} = 0.746 \text{ kW.}$$

En conclusión se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{PBT} &= 17.74 \text{ kW} \\ &= 23.78 \text{ HP} \end{aligned}$$

Potencia necesaria para contrarrestar el efecto de la altitud y la temperatura:

Datos:

- Temperatura media en los meses de trabajo 17.2° C .
- Potencia necesaria para vencer la resistencia al corte 23.78 HP.
- Altitud 2350 m s.n.m.
- Presión barométrica a esta altitud 578.5 mm Hg.

Sustituyendo en la fórmula 14:

$$P' = \frac{23.78 \times 578.5 (273^\circ + 20^\circ)}{760 \times (273^\circ + 17.2^\circ)}$$

$$= \frac{4030721.89}{220552}$$

$$= 18.27 \text{ HP}$$

$$= 13.63 \text{ kW}$$

Si estamos tomando en cuenta un tractor de 74 HP entonces:

$$(74 \text{ HP} - 18.27 \text{ HP}) = 55.73 \text{ HP potencia remanente.}$$

- Pérdidas de potencia por fricción en la transmisión, teniendo en cuenta la potencia remanente de 55.73 HP que la pérdida por este factor es de aproximadamente 15 por ciento, se obtendrá:

$$55.73 \times 0.15 = 8.35 \text{ HP} \\ = 6.22 \text{ kW}$$

$$\text{Donde: } (55.73 \text{ HP} - 8.35 \text{ HP}) = 47.38 \text{ potencia remanente.}$$

- Pérdidas por efecto de patinaje:

A fin de contrarrestar el efecto del patinaje agregaremos un 15% de potencia más, por lo tanto considerando los anteriores factores se tendrá:

$$47.38 \text{ HP} \times 0.15 = 7.10 \text{ HP} \\ = 5.30 \text{ kW}$$

Por lo que ahora la potencia remanente será:

$$(47.38 \text{ HP} - 7.10 \text{ HP}) = 40.28 \text{ HP}$$

- Resistencia a la rodadura:

Datos:

- o Peso del tractor 2850 kg
- o Coeficiente de resistencia a la rodadura (K) para tierra labrada = 0.20

Sustituyendo en la fórmula 13 se tendrá:

$$Pr = \frac{0.20 \times 2850 \times 4 \text{ Km. / h}}{367}$$

$$= 8.32 \text{ HP}$$

$$= 6.21 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia remanente } (40.28 \text{ HP} - 8.32 \text{ HP}) = 31.96 \text{ HP}$$

- Efecto de la pendiente:

Datos:

- o Pendiente máxima = 5%
- o Peso del tractor 2850 Kg

Sustituyendo en la fórmula 16

$$We = 2850 \times 5\% / 100$$

$$= 142.5 \text{ Kg.}$$

Nuevamente sustituyendo en la fórmula 8:

$$PBT = \frac{142.5 \text{ Kg} \times 4 \text{ Km. / h}}{367}$$

= 1.55 kW

= 2.07 HP

Potencia remanente (31.96 HP – 2.07 HP) = 29.89 HP

Por lo tanto si la potencia necesaria para vencer la resistencia del suelo es de 23.78 HP, y al final la potencia remanente es de 29.89 HP, quiere decir que el tractor de 74 HP tiene la suficiente potencia para realizar esta labor.

- *En este caso se tomo en cuenta un tractor de 74 HP, ya que es el de menor cabalaje que comúnmente se encuentra en el mercado*

En el cuadro siguiente (6) se resumen los resultados obtenidos del ejemplo.

Cuadro 6. Pérdidas más importantes en el cálculo de potencia requerido a la salida del volante del motor de un tractor de 74 HP.

CONCEPTO	PÉRDIDAS	
	KW	HP
Efecto de altitud y Temperatura	13.63	18.27
Fricciones en la transmisión	6.22	8.35
Efecto de patinaje	5.30	7.10
Resistencia a la rodadura	6.21	8.32
Efecto de la pendiente	1.55	2.07
TOTAL	32.91	44.11

Anexo 3.

Características generales de algunos modelos de tractores agrícolas

ESPECIFICACIONES	MODELO DEL TRACTOR									
	FORD 6600	JD 2755	MF 392 S	CASE IH 695	FORD 6610	JD 2755 T	MF 392/4	CASE IH 895		
Potencia máxima al volante	77 HP	84 HP	84 HP	74 HP	84 HP	94 HP	92 HP	85 HP		
Potencia a la TDF	67 HP	70 HP	73 HP	64 HP	74 HP	75 HP	73 HP	73 HP		
Número de cilindros	4	4	4	4	4	4	4	4		
Admisión de aire	AN	AN	AN	AN	AN	TURBO	TURBO	TURBO		
Relación de compresión	16.3 A.1	17.8 A.1	16.1 A.1	16.0 A.1	16.3 A.1	17.8 A.1	15.5 A.1	16.0 A.1		
Velocidad de TDF	540 r.p.m	540 r.p.m	540 r.p.m	540 r.p.m	540 r.p.m	540 r.p.m	540 r.p.m	540 r.p.m		
Sistema hidráulico con capacidad de levante Kg	2664	1455	2290	1600	2664	1455	2586	2586		
Categoría de enganche	II	II	II	II	II	II	II	II		
Peso total	2930	2825	2540	2741	2850	3465	3011	2867		
ESPECIFICACIONES	MODELO DEL TRACTOR									
	FORD 8730	JD 4455	MF 3645	CASE IH 7120	FORD 7610	JD 2755 S	MF 398	CASE IH 885		
Potencia máxima al volante	163 HP	152 HP	160 HP	184 HP	105 HP	105 HP	105 HP	85 HP		
Potencia a la TDF	140 HP	140 HP	147 HP	150 HP	90 HP	89 HP	83 HP	73 HP		
Número de cilindros	6	6	6	6	4	4	4	4		
Admisión de aire	TURBO	TURBO	TURBO	TURBO	TURBO	TURBO	TURBO	TURBO		
Relación de compresión	15.6 A.1	15.8 A.1	15.8 A.1	15.6 A.1	15.6 A.1	17.8 A.1	16.0 A.1	16.0 A.1		
Velocidad de TDF	540 Y 1000	540 Y 1000	540 Y 1000	540 Y 1000	540 Y 1000	540	540	540		
Sistema hidráulico con capacidad de levante Kg	4564	2600	5200	5200	2664	1730	2586	2586		
Categoría de enganche	II - III	II - III	II - III	II - III	II	II	II	II		
Peso total	6220	5630	5605	5605	3080	3835	3185	2867		

Fuente: ASAE, 1988

FUENTES

1. Aragón R. A. y J. Ochoa B. Curso de Mecanización. Inédito, México, 2000
2. Bentley J. P. Sistemas de Medición Principios y Aplicaciones. CECSA, México, 1993.
3. Cárdenas T. R. Geotermia "*Revista Mexicana e Geoenergía*". Vol. 11, núm. 1. CFE, México, 1995.
4. Chávez M. D. Las Riobombas "Bombeo de Agua con Energías no Convencionales". Hojas de divulgación técnica. Grupo de Apoyo al Sector Rural, Perú, 1992
5. Enkerlin E. C. et al., Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. Thomson, México, 1997.
6. FAO. Energía para la Agricultura Mundial. Italia, 1980.
7. FAO. Aperos de Labranza para las Regiones Áridas y Tropicales. Italia, 1982.
8. Fishbane P. M. Física para Ciencias e Ingeniería. Prentice-Hall Hispanoamericana, México, 1993.
9. F.M.O. Tractores "Fundamentos de Funcionamiento de Maquinaria". Jhon Deere, U.S.A 1974.
10. Gómez G. C. Rendimiento de las Máquinas Agrícolas. Apuntes de Seminario de Titulación de la carrera de Ingeniería Agrícola. Inédito. UNAM, México, 2000.
11. Gómez G. C. Metodología de Pruebas para Evaluar a los Tractores Agrícolas. Tesis para obtener título de Maestro en Ingeniería. UNAM, México, 1998.

12. Hunt D. Maquinaria Agrícola Rendimiento Económico, Costos, Operaciones, Potencia y Selección de Equipo 7ª. Edic. Limusa, México, 1986.
13. Hunt D. V. Diccionario de Energía Marcombo, España, 1979.
14. Liljedahl J. B. et al., Tractores Diseño y Funcionamiento. Limusa, México, 1984.
15. López C. C. E. Física de la Energía Solar. UACH., México, 1990.
16. Pearson S. H. et al. Maquinaria y Equipo Agrícola. Omega, España, 1979.
17. Peñaricano J. A. Manuales de Extensión Agropecuaria "Tractores". Vol 3. Hemisferio Sur. Uruguay, 1987.
18. Quiroz, M. R. La Toma de Fuerza Como Unidad de Potencia en los Tractores Agrícolas. Tesis para obtener título de Ingeniero Agrícola, UNAM, México, 1989.
19. Ríos N. H. Desarrollan aquí Celdas Solares y Auto Eléctrico. EL UNIVERSAL. México, 28 de enero del 2000.
20. S.E.P. Manuales para la Educación Agropecuaria "Motores Agrícolas". Trillas, México, 1991.
21. S.E.P. Manuales para la Educación Agropecuaria "Tractores Agrícolas". Trillas, México, 1995.
22. Severns W. H. et al., Energía mediante Vapor Aire o Gas. Reverte, México, 1994.
23. Soto M. S. Introducción al Estudio de la Maquinaria Agrícola. Trillas, México, 1994.
24. Stone A. y E. Gulvin. Maquinaria Agrícola. Continental, México, 1985.
25. Terranova. Enciclopedia Agropecuaria Terranova "Tecnología y Agroindustria". Vol. IV. Terranova editores, Colombia, 1995.