



Alliance

(<https://www.aquaculturealliance.org>).



Responsibility

# Uso de energía en la aireación de estanques acuícolas, Parte 2

Monday, 27 January 2020

By Claude E. Boyd, Ph.D.

## Motores de combustión interna, trenes de transmisión, potencial para la conservación de energía



Según los cálculos del profesor Boyd, la eficiencia de la aireación de estanques de camarones podría mejorarse para ahorrar una cantidad considerable de energía. Foto de Darryl Jory.

Los motores diésel y otros motores de combustión interna tienen eficiencias energéticas mucho más bajas que los motores eléctricos (Tabla 1), pero la energía de uso final de estos dos tipos de unidades de potencia tiene diferentes relaciones con los combustibles primarios. En promedio, la eficiencia de la electricidad de la red es de aproximadamente el 33 por ciento del combustible primario al medidor en el punto de uso. Cuando 1 Megajoule (MJ, una unidad de medida de energía) de energía primaria en carbón u otro combustible se quema en una planta generadora de energía, se puede entregar un promedio de aproximadamente 0.33 MJ al motor de 2 hp de un aireador eléctrico en un granja de camarones. Los motores pequeños son aproximadamente 79 por ciento eficientes, y el eje del motor del aireador tendrá disponible 0.26 MJ de energía ( $0.33 \text{ MJ} \times 0.79$ ) – una eficiencia general del 26 por ciento.

## Boyd, aireación Pt. 2, Tabla 1

Motores eléctricos	Eficiencia* (%)	Motor pequeño (<25 hp) estacionario de combustión interna	Eficiencia (%)
1-4 hp	78.8	Etanol (E100)	20-25
5-9 hp	84.0	Gas propano líquido (LPG)	25-30
10-19 hp	85.5	Gasolina	20-30
20-49 hp	88.5	Diesel	28-32

Tabla 1. Eficiencias de motores eléctricos pequeños y motores de combustión interna estacionarios pequeños.

\*[https://www.engineering toolbox.com/electrical-motor-efficiency-d\\_655.html](https://www.engineeringtoolbox.com/electrical-motor-efficiency-d_655.html)

En verdad, la eficiencia general a la que la energía del combustible se convierte en energía del eje de salida es similar para motores eléctricos y motores de combustión interna. Aunque los motores de combustión interna que funcionan con diferentes combustibles tienen eficiencias similares, los combustibles tienen diferentes contenidos de energía por unidad de volumen (Tabla 2). Un motor que funciona con etanol utilizará un mayor volumen de combustible para producir la misma producción de energía que un motor que funcione con combustible diésel, porque el etanol tiene un contenido de energía por litro menor que el combustible diésel. Un combustible de menor contenido energético puede ser menos económico o más económico que un combustible de mayor contenido energético, dependiendo del precio de cada combustible por litro.

## Boyd, aireación Pt. 2, Tabla 2

Combustible	Contenido de energía (1)	Factor de energía incorporado
Etanol (E100)	21.27 MJ/L	1.49 (2)
Etanol (E85)	22.58 MJ/L	1.34 (3)
LPG (gas propano líquido)	23.48 MJ/L	1.12 (4)
Gasolina (no etanol)	31.80 MJ/L	1.36 (4)

Gasolina (10% etanol)	31.25 MJ/L	1.37 (3)
Biodiesel	33.32 MJ/L	1.69 (5)
Diesel (No. 2)	35.80 MJ/L	1.28 (4)
Electricidad	3.6 MJ/kW·hr	2.50

Tabla 1. Contenido de energía (menor valor de calentamiento) de combustibles comunes y factores para incluir energía incorporada en los cálculos de energía de combustible.

- 1: <https://afdc.energy.gov/fuels/fuel-comparison-chart-pdf>.
- 2: <http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/dikeou1/docs/ethanolnetenergy.pdf>
- 3: Calculado.
- 4: <http://www.iea.org/statistics/resources/manuals/>
- 5: <https://.adfc.energy.gov/files/pdfs/3229.pdf>

Los motores de combustión interna, como los motores eléctricos, deben funcionar a una carga completa de alrededor del 75 por ciento para garantizar una mayor vida útil y eficiencia. Mientras que los motores consumen combustible sin carga, el porcentaje de combustible a plena carga utilizado cuando un motor está en ralentí sin carga es menor que el porcentaje de electricidad a plena carga utilizado por un motor que funciona sin carga (Fig. 1). El consumo de combustible de un motor disminuye con la carga de una manera aproximadamente lineal, y la carga puede estimarse a partir del uso de combustible. Un típico motor diésel pequeño usa aproximadamente 0.23 L / h. de combustible por caballo de fuerza · hora (0,31 L / h. por kilovatio · hora).

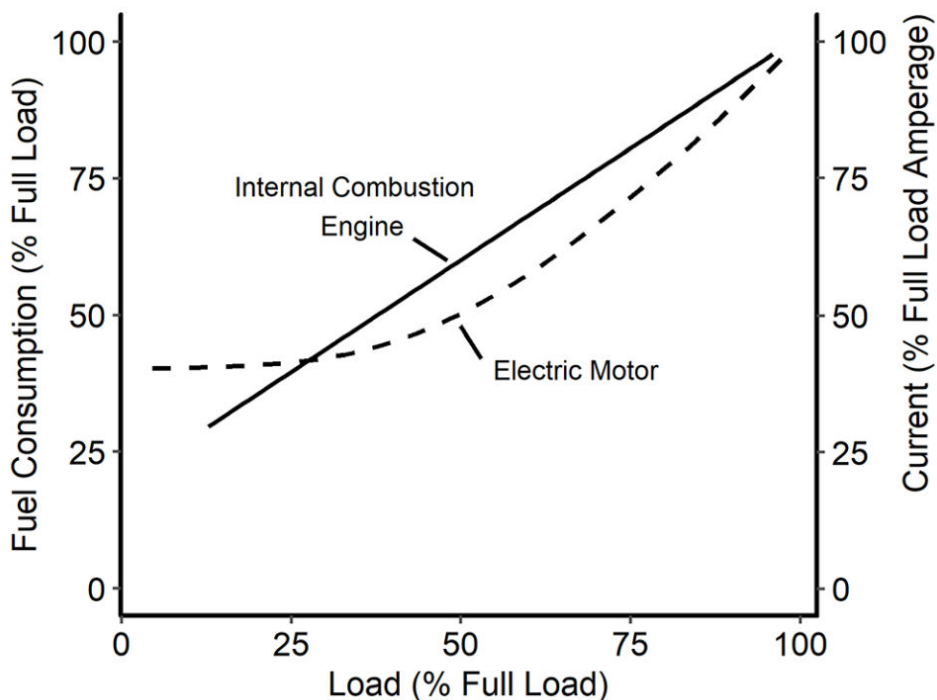


Fig. 1: Carga versus uso de combustible por motores de combustión interna y uso actual por motores eléctricos (preparado con

información de

[http://dieselserviceandsupply.com/Diesel\\_Fuel\\_Consumption.aspx](http://dieselserviceandsupply.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx) y de <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>).

Las velocidades del eje de salida de los motores de combustión interna pequeños generalmente son de alrededor de 3,000 rpm. El aireador más común en el cultivo de camarones es el aireador de rueda de paletas, y las ruedas de paleta generalmente funcionan a velocidades de 60 a 120 rpm. Las velocidades del eje de salida tanto de los motores eléctricos como de los motores de combustión interna deben reducirse para el uso de aireadores de ruedas de paletas.



## Uso de energía en la aireación de estanques acuícolas, Parte 1

El profesor Boyd discute el uso de energía en la aireación para los sistemas de producción acuícola, junto con las tarifas, los tipos de aireadores, los motores y la generación de electricidad.

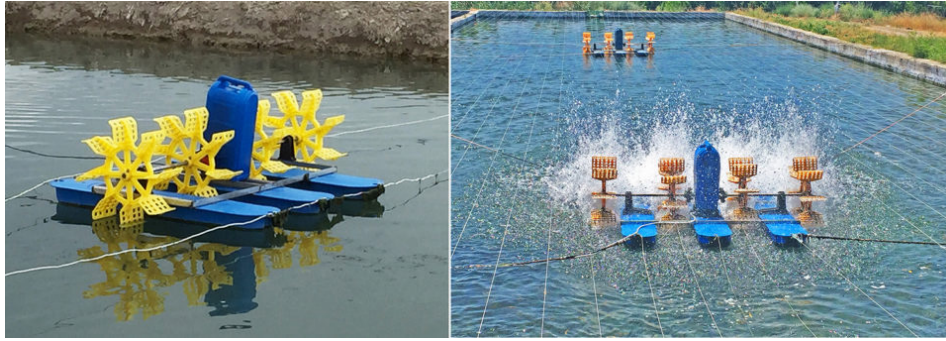


Global Aquaculture Alliance

## Trenes de transmisión

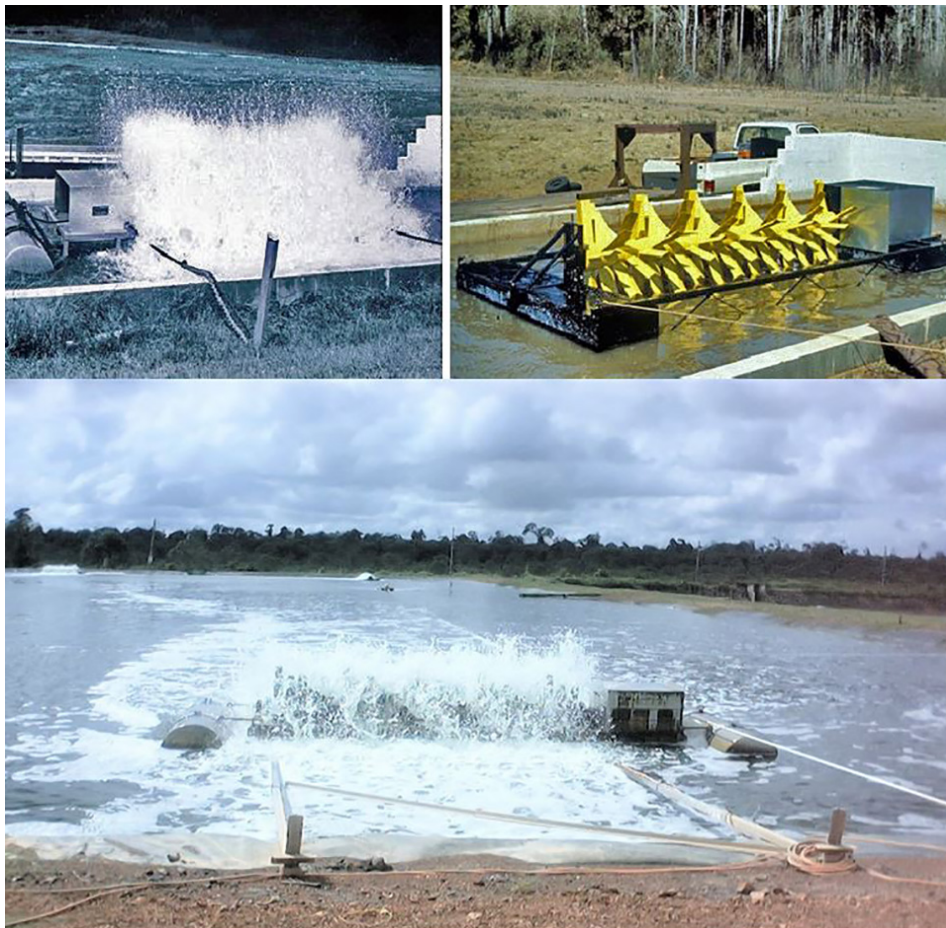
Los aireadores de bomba de aspiración por hélice y aireadores de bomba vertical funcionan a la velocidad de sus ejes de motor. Por lo general, solo se necesita un único acoplamiento entre el motor y el eje del aireador. Sin embargo, estos tipos de aireadores no son tan comunes en el cultivo de camarones como el aireador de rueda de paletas.

Hay tres tipos principales de aireadores de rueda de paletas. Los aireadores de rueda de paletas eléctricos flotantes asiáticos de 1 y 2 hp tienen un motor con un mecanismo reductor de engranajes de dos direcciones montado en flotadores, con un eje sobre el cual se montan las ruedas de paletas que se extienden desde cada lado del reductor de engranajes.



Vistas de aireadores de paletas flotantes, pequeños, eléctricos, de estilo asiático.

El segundo tipo, un aireador de 5 o 10 hp, que se llamará aireador de paleta de estanque de bagre de EE. UU., a veces se usa en estanques de camarones en el hemisferio occidental. El motor de este tipo de aireador está montado en un extremo de una plataforma de flotación, hay una caja de engranajes u otro mecanismo de reducción de velocidad entre el motor y un cubo sobre el que se sueldan las paletas para formar una rueda de paletas.



Vistas de aireadores de estanques de bagre de los Estados Unidos.

En los dos primeros tipos de aireadores, los ejes giratorios de las ruedas de paletas deben estar soportados por cojinetes u otros mecanismos que permitan la rotación con una mínima pérdida de fricción. Estos aireadores tienen una eficiencia relativamente alta de transferencia de energía del eje del motor al eje de la rueda de paletas; la eficiencia generalmente es del 90 al 95 por ciento.

El tercer tipo de aireador de rueda de paletas es el llamado aireador de brazo largo popular en Tailandia y algunos otros países asiáticos. La rueda de paletas está montada en flotadores instalados en el estanque, y el motor o motor está montado en el banco del estanque. La velocidad del motor o del eje de salida del motor generalmente se reduce mediante correas trapezoidales o cadenas y ruedas dentadas en las que se usan dos ejes (a menudo denominados ejes intermedios) para disminuir la velocidad del eje de salida del motor a la velocidad deseada de la rueda de paletas.



Vistas de aireadores de brazo largo populares en países asiáticos.

Fotos de Darryl Jory.

La ecuación para relacionar las velocidades de los ejes impulsores con los ejes impulsados para poleas (poleas) y correas es:

$$D_1 \times RPM_1 = D_2 \times RPM_2$$

donde D1 y D2 = paso o diámetros de cara plana de las poleas conducidas y accionadas, respectivamente, y RPM1 y RPM2 son las velocidades del eje impulsor y los ejes accionados, respectivamente.

La ecuación para la reducción de velocidad por cadenas y piñones es similar a la de la reducción de velocidad por correas y poleas:

$$T_1 / T_2 = RPM_1 / RPM_2$$

donde T1 y T2 = dientes en el motor y las ruedas dentadas accionadas, respectivamente, y RPM1 y RPM2 son las velocidades del motor y los ejes accionados, respectivamente.

Un ejemplo puede explicar el principio del mecanismo del eje intermedio utilizado a menudo para reducir la velocidad del motor cuando se conduce un aireador de rueda de paletas desde un motor o motor en el terraplén del estanque. Se podría colocar una polea de 12 cm en el eje del motor (1.735 rpm) y una polea de 70 cm montada en un eje de accionamiento corto montado en un marco de metal. El eje accionado giraría a 297 rpm [(12 cm) (1735 rpm) = (70) (RPM2); RPM2 = 297] que todavía es demasiado rápido para la rueda de paletas.

El primer eje impulsado podría tener una polea de 15 cm unida a él y conectada por una correa con una polea de 50 cm a un segundo eje montado en el marco de metal. El segundo eje impulsado rotaría a 89 rpm [(15 cm) (297 rpm) = (50 cm) (RPM2); RPM2 = 89] – una velocidad adecuada para la rueda de paletas. Los dos árboles de transmisión tendrían que estar firmemente montados en cojinetes apoyados en un marco de metal al lado del eje del motor.

El eje de salida del mecanismo del eje intermedio debe estar conectado por un eje de transmisión al eje del aireador. El eje de transmisión debe extenderse hacia abajo en ángulo con respecto al eje del aireador de rueda de paletas montado en flotadores en el estanque. Esto generalmente se logra conectando los ejes con ayuda de juntas universales. En muchas granjas, los mecanismos de engranajes direccionales también se utilizan en el tren de transmisión para permitir que la energía se distribuya a múltiples ruedas de paletas flotantes.

Los dispositivos utilizados para reducir la velocidad de rotación, conectar ejes y cambiar las direcciones de transmisión de potencia en el tren de transmisión generan pérdidas de energía. Las eficiencias típicas son transmisiones de correa en V, **90 a 95 por ciento** (<https://www.grainger.com/content/supplylink-industrial-belts-save-energy>), 90 a 95 por ciento; transmisiones de cadena de rodillos, 95 a 98 por ciento; cajas de engranajes, **85 a 90 por ciento** (<https://www.machinedesign.com/archive/second-look-gearboxefficiencies>). La pérdida de energía es pequeña (~ 1 a 2 por ciento) en los acoplamientos que están diseñados e instalados correctamente, pero la desalineación de los acoplamientos y las vibraciones en los ejes resultan en pérdidas de energía mucho mayores.

En las granjas de camarones asiáticas, los ejes entre el eje impulsor del mecanismo del eje intermedio y el eje del aireador suelen ser una tubería de agua galvanizada larga, de 3,75 a 5 cm de diámetro, que vibra considerablemente y la desalineación entre los ejes y los acoplamientos es obvia. No hay estudios (que yo sepa) de pérdida de energía en los trenes de transmisión de los aireadores de rueda de paletas de brazo largo. Es probable que la pérdida general sea de al menos 30 a 40 por ciento cuando solo se opera una unidad de aireación desde un motor o motor de un aireador de brazo largo. Sin duda, se producen mayores pérdidas con múltiples aireadores de brazo largo accionados por un solo motor o motor.

## Potencial para la conservación de energía

Los grandes aireadores eléctricos de rueda de paletas flotantes utilizados en las granjas de bagre de EE. UU. son aproximadamente un 30 por ciento más eficientes en la transferencia de oxígeno disuelto que los aireadores eléctricos flotantes utilizados en Asia. Según la "regla general" de los camarones de 2.5 hp/MT para los aireadores asiáticos de paletas, la tasa de aireadores podría reducirse a 1.75 hp/MT de camarones mediante el uso de los aireadores de paletas de estilo estadounidense. Las eficiencias del tren de transmisión son probablemente de alrededor del 70 por ciento para los aireadores de brazo largo y el 90 por ciento para los aireadores asiáticos, flotantes y de paletas eléctricas. Como resultado, se deben requerir aproximadamente 3.22 hp/TM de camarones para los aireadores de rueda de paletas de brazo largo. El uso de energía sería de 11.5 GJ/TM de camarones con aireadores flotantes asiáticos eléctricos.

Al usar aireadores de brazo largo, el uso de energía aumentaría en una relación de 3.22 hp/MT / 2.5 hp/MT, lo que resultaría en un uso de energía de 14.8 GJ/MT. Del mismo modo, mediante el uso de los aireadores de rueda de paletas flotantes más grandes de EE. UU., el uso de energía podría reducirse a 8.1 GJ/MT. De acuerdo con un cronograma de aireación promedio de 16 hr./día y 80 días / cosecha, los aireadores funcionarían durante 1,440 horas / cosecha o 4,637 hp · hr para un aireador de brazo largo a diésel. Con un consumo de combustible de 0.23 L / hp · hr, se consumirían 1,067 litros de combustible diésel por TM de camarones. Esto equivale a 38,2 GJ/TM de camarones producidos.

## Perspectivas

Las estimaciones anteriores son para uso directo de energía. La aplicación de los factores de energía incorporados para los combustibles de la Tabla 2 proporciona el uso total de energía como: estilo estadounidense, flotante, aireación de rueda de paletas eléctrica, camarones 20.25 GJ/MT; Aireador de rueda de paletas eléctrico de estilo asiático, flotante, camarones 28.8 GJ/MT; aireador eléctrico de brazo largo, camarones 37 GJ/MT; y aireador diésel de brazo largo, camarones 48.9 GJ/MT.

Estos cálculos se basan en ciertas suposiciones y obviamente están sujetos a incertidumbre, pero sugieren que la eficiencia de la aireación de estanques de camarones podría mejorarse para ahorrar una cantidad considerable de energía. Suponiendo que se producen 4 millones de TM de camarones en estanques aireados, cada reducción de 1 GJ/TM en el uso de energía reduciría el uso de energía en la cría de camarones peneidos en 4 millones de GJ o aproximadamente 830 millones de kW · h (71,367 TM de petróleo o 488,234 barriles de equivalente de petróleo).

La conservación de la energía y los beneficios económicos a nivel de granja mejorarían la eficiencia energética de la aireación de los estanques de camarones.

## Author

---



**CLAUDE E. BOYD, PH.D.**

School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences  
Auburn University  
Auburn, Alabama 36849 USA  
boydce1@auburn.edu

Copyright © 2016–2020 Global Aquaculture Alliance

All rights reserved.