



Alliance

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



Responsibility

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

Monday, 20 January 2020

By Claude E. Boyd, Ph.D.

## Tipos de aireadores, combustibles y motores eléctricos

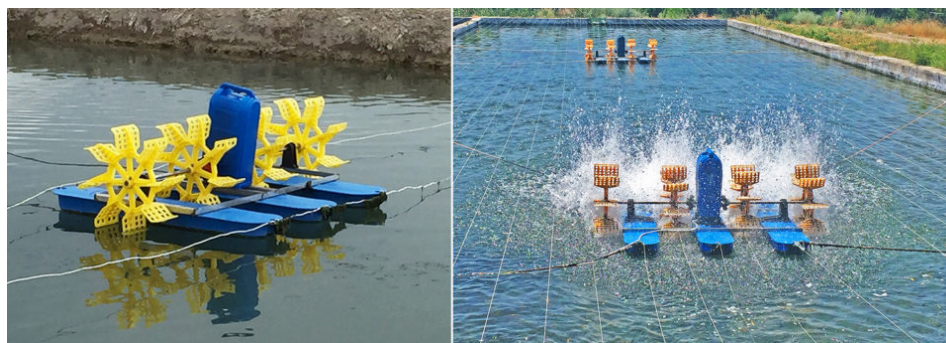


A nivel mundial, la mayoría de los camarones cultivados se producen en estanques al aire libre y mecánicamente aireados.

La aireación mecánica es un componente importante del uso de energía en el cultivo de camarones. Alrededor de 4 millones de toneladas métricas (TM) de los aproximadamente 5 millones de TM de camarones peneidos criados en granjas en 2016 provenían de estanques con aireación mecánica. La cantidad de aireación utilizada en los estanques de camarones no se ha estudiado cuidadosamente, pero los administradores de granjas de camarones a menudo usan una “regla general” de que cada incremento de producción de camarones de 300 a 500 kg requiere 1 hp de aireación (3,33 a 2,0 hp / TM de camarón). Se pueden producir hasta 1,5 TM / ha de camarones sin aireación, pero esta cantidad generalmente no se resta de la meta de producción al calcular la tasa de aireación para permitir un factor de seguridad.

La determinación de la tasa de aireación a partir de la experiencia práctica no es exacta, pero la complejidad de los presupuestos de oxígeno disuelto en los estanques acuícolas hace que sea imposible calcular con precisión la tasa de aireación usando ecuaciones basadas en la demanda horaria de oxígeno del agua, la eficiencia de transferencia de oxígeno del aireador, la concentración de oxígeno disuelto aceptable mínima, y las características de calidad del agua, como se hace para las cuencas de tratamiento de aguas residuales. La experiencia práctica y el monitoreo de la concentración de oxígeno disuelto siguen siendo las formas comunes de decidir cuánta potencia del aireador instalar en los estanques y establecer horarios para la operación diaria del aireador.

Los motores eléctricos pequeños usan aproximadamente 1 kWhr (un kilovatio hora es una unidad de energía igual a 3.6 mega Joules) de electricidad por caballo de fuerza-hora de operación. La cantidad de energía utilizada por TM de camarones a una tasa de aireación de 2,5 hp/TM de camarones con aireadores operados en estanques durante un promedio de 16 horas al día durante un período de crecimiento de 80 días es bastante grande. La cantidad de electricidad (y energía) por hectárea aumentará de manera constante a medida que aumente el objetivo de producción en TM por hectárea, pero la cantidad de energía aplicada por TM de camarones para la aireación es de 11,5 GJ / MT (2,5 kW / MT × 16 horas / día × 80 días / cultivo × 0,0036 GJ / kWhr; GJ = giga joule, una unidad de medida de energía) y constante en todas las intensidades de producción.



Pequeños aireadores de rueda de paletas flotante, eléctrico, de estilo asiático.

Hay varios tipos de aireadores; diferentes métodos para suministrar energía a aireadores; y las eficiencias energéticas de los motores y trenes de transmisión difieren. La regla basada en la experiencia para la velocidad del aireador mencionada anteriormente se desarrolló hace años en Asia para pequeños aireadores flotantes de rueda de paletas eléctricos de 1 o 2 hp (imagen 1 a continuación) que se usaron ampliamente en estanques de camarones y para hélices de 1 a 2 hp – aireadores con bomba de aspiración (imagen 2 a continuación) que también han recibido un uso apreciable en la cría de camarones. Con los años, los camaroneros han aprendido a fabricar y usar versiones menos costosas, pero también menos eficientes, de aireadores fabricados en fábrica. Una discusión sobre los factores que influyen en la eficiencia del uso de energía en la aireación de los estanques de camarones está pendiente.



Un aireador de bomba de hélice aspiradora.

## Combustibles

Los aireadores a menudo funcionan con electricidad suministrada por redes nacionales o regionales. Los generadores eléctricos, generalmente alimentados por motores diésel ubicados en el sitio, también pueden proporcionar electricidad para la aireación. Los combustibles difieren en contenido de energía (Tabla 1) y la energía también se usa para producir estos combustibles. El uso total de energía incurrido para un combustible es su contenido energético más la cantidad de energía requerida para su producción (energía incorporada). El uso total de energía puede estimarse multiplicando la cantidad de cada combustible utilizado por el factor de energía incorporado para ese combustible (Tabla 1).

### Boyd, aireación Pt. 1, Tabla 1

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/kWhr	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://afdc.energy.gov/files/pdfs/3229.pdf>

El contenido de energía de un combustible permite la determinación de los volúmenes de cada combustible necesarios para proporcionar la misma cantidad de energía a un motor específico o eficiencia del motor. Por ejemplo, se requerirían 1,68 litros de etanol de grado combustible (E100) para obtener la misma cantidad de energía provista por 1,0 litro de combustible diésel No. 2 (35,80 MJ / L combustible diésel ÷ 21,27 MJ / L etanol = 1,68; MJ = mega joule, una unidad de medida de energía). Del mismo modo, 9,94 kWhr de electricidad representa la misma cantidad de energía que 1 litro de combustible diésel No. 2.

Las plantas generadoras de electricidad convierten la energía primaria en carbón y otros combustibles primarios con una eficiencia de alrededor del 40 por ciento, y hay una pérdida adicional de aproximadamente el 7 por ciento de la energía primaria original en la transmisión de electricidad a través de la red, y una **eficiencia general** ([https://www.mpoweruk.com/energy\\_efficiency.htm](https://www.mpoweruk.com/energy_efficiency.htm)) de **aproximadamente 33 por ciento** (<https://www.energycentral.com/c/ec/grid-efficiency-opportunity-reduce-emissions>). Los generadores más grandes son más eficientes que los generadores más pequeños para convertir la energía del combustible diésel en electricidad (Tabla 2), pero las unidades más grandes tienen una eficiencia del 35 al 38 por ciento, y se producirán pérdidas adicionales en la transmisión a los motores del aireador.

## Boyd, aireación Pt. 1, Tabla 2

Salida nominal (kW)	Uso de combustible a 75% de carga (L/hr)	Salida de energía a 75% de carga (% input)	Salida de energía a 75% de carga (kW/L)	Salida de energía a 75% de carga (MJ/L)
25	7.00	26.9	2.65	9.65
50	13.25	28.4	2.83	10.19
100	21.95	34.3	3.42	12.31
150	31.79	35.4	3.54	12.74
200	41.64	36.1	3.60	12.96
250	51.48	36.5	3.64	13.10
500	99.92	37.6	3.75	13.50
750	148.75	37.9	3.78	13.61
1,000	197.20	38.1	3.80	13.68

Tabla 2. Uso típico de combustible y producción de energía para diferentes tamaños de generadores diésel.

Fuente: [https://www.dieselserviceandsupply.com/Diesel\\_Fuel\\_Consumption.aspx](https://www.dieselserviceandsupply.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx).



La eficiencia energética del combustible primario es aproximadamente igual para la electricidad de la red nacional o regional y de los generadores in situ. El costo de los combustibles primarios por kilovatio-hora generado es menor para las grandes centrales eléctricas que para los generadores diésel más pequeños, y la electricidad de la red generalmente es menos costosa que la electricidad generada en las granjas camaroneras.

## Motor eléctrico

Los motores de inducción síncrona de corriente alterna de diferentes tipos y tamaños se utilizan para alimentar aireadores. Los motores eléctricos más pequeños (1 a 3 hp) a menudo son monofásicos y funcionan con 110-120 voltios (V) o 208-230 V, mientras que los motores más grandes generalmente son trifásicos y operan con 208-230 V o incluso 460 V. Los motores son usualmente clasificados a plena carga para requerir una corriente específica medida en amperios (Tabla 3); los amperios requerían el doble entre motores de 115 V y 230 V y entre motores de 230 V o 460 V.

### Boyd, aireación Pt. 1, Tabla 3

Clasificación de fuerza de motor (hp)	Monofásico (115 V)	Monofásico (230 V)	Trifásico (230 V)	Trifásico (460 V)
1	16	8	3.6	1.8
2	24	12	6.8	3.4
3	34	17	9.6	4.8
5	56	28	15.2	7.6
7.5	80	40	22.0	11.0
10	100	50	28.0	14.0
15	–	–	42.0	21.0
20	–	–	54.0	27.0

Tabla 3. Amperios de carga completa para motores eléctricos monofásicos y trifásicos pequeños.

Fuente: [http://mechreps.com/PDF/MRI\\_Formulas\\_Conversions.pdf](http://mechreps.com/PDF/MRI_Formulas_Conversions.pdf)

La eficiencia de los motores eléctricos se calcula como la salida de energía del eje del motor (potencia de frenado) dividida por la entrada de energía al motor (potencia de cable) de la siguiente manera:

$$\text{kW} = \text{CV de freno} \times 0,746 \div \text{Eficiencia del motor}$$

Las eficiencias típicas de los motores eléctricos pequeños se proporcionan en la Tabla 4. Los motores deben funcionar a una carga completa de alrededor del 75 por ciento, con una vida útil y eficiencia mayores que a plena carga. Un motor trifásico de 10 hp y 230 V que funciona con una potencia de frenado de 7,5 hp utilizaría alrededor de 6,32 kW o 6,32 kW · h de electricidad por hora.

### Boyd, aireación Pt. 1, Tabla 4

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 4. Eficiencias de motores eléctricos pequeños y motores de combustión interna estacionarios pequeños.  
 Fuente: [https://www.engineering toolbox.com/electrical-motor-efficiency-d\\_655.html](https://www.engineering toolbox.com/electrical-motor-efficiency-d_655.html)

Los amperios de electricidad utilizados por un motor están aproximadamente en proporción directa a la carga entre 50 y 100 por ciento de carga completa (Fig. 1). Los amperios extraídos por un motor de aireador se pueden medir fácilmente con un amperímetro durante el funcionamiento del motor y se puede estimar la carga aproximada. Los motores eléctricos tienen una corriente considerable sin carga, y desperdician electricidad cuando están sustancialmente subcargados. La cantidad de potencia requerida para operar los aireadores de rueda de paletas aumenta con una mayor profundidad de la rueda de paletas a cualquier velocidad de rotación. Es importante prestar atención a la profundidad de la inmersión de la punta de la pala, ya que puede cambiar a medida que los flotadores de los aireadores cambian durante la operación. Esto da como resultado una mayor o menor inmersión de las paletas, lo que puede conducir a una sobrecarga o subcarga de los motores.

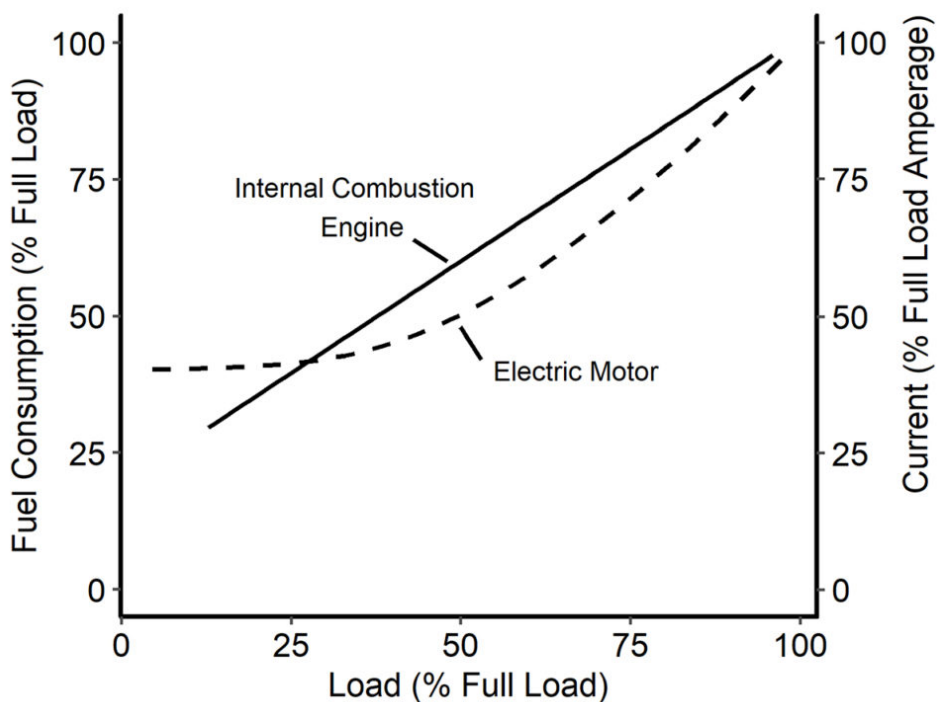


Fig. 1: Carga versus uso de combustible por motores de combustión interna y uso actual por motores eléctricos (preparado con información de

[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>).

La velocidad de rotación de los motores eléctricos varía con el número de polos magnéticos en el motor (Tabla 5). El deslizamiento del motor bajo carga reduce la velocidad del eje de salida de 3 a 5 por ciento en motores de 1 a 5 hp y de alrededor de 2 a 3 por ciento en motores de 7,5 a 20 hp. Los motores para aireadores de ruedas de paletas suelen tener una velocidad del eje de aproximadamente 1.735 ppm. Por el contrario, las ruedas de paletas, dependiendo de su diámetro, transfieren oxígeno de manera más eficiente a 80 a 120 rpm. Los motores que giran a velocidades tan bajas son más caros, y los reductores de velocidad se colocan en el tren de transmisión de los aireadores para permitir el uso de motores de mayor velocidad.

## Boyd, aireación Pt. 1, Tabla 5

Polos magnéticos	Frecuencia eléctrica, 50 Hz	Frecuencia eléctrica, 60 Hz
2	3,000	3,600
4	1,500	1,800
6	1,000	1,200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
16	375	450
20	300	360

Tabla 5. Velocidad de rotación del motor eléctrico en relación con el número de polos magnéticos del motor y la frecuencia eléctrica.

Fuente: [https://www.engineeringtoolbox.com/synchronous-motor-frequency-speed-d\\_649.html](https://www.engineeringtoolbox.com/synchronous-motor-frequency-speed-d_649.html)

También hay un uso considerable de aireadores de bomba de hélice aspiradora en estanques de camarones. La mayoría de estos aireadores tienen motores de dos polos que giran a aproximadamente 3.600 rpm (Tabla 5). Este tipo de aireador no transfiere tanto oxígeno por unidad de energía si se suministra con un motor de cuatro polos. Los aireadores de bomba vertical para acuicultura se suministran típicamente con un motor de cuatro polos.

Cuando se arrancan los motores eléctricos, se necesita un influjo de corriente eléctrica para arrancar el rotor y acelerar el eje a toda velocidad. Para motores monofásicos de 1 a 10 hp, la corriente de influjo es aproximadamente tres veces el requisito de corriente del motor a plena carga en amperios. Para motores trifásicos, la corriente de influjo es aproximadamente el doble de la corriente de carga completa. Los motores grandes generalmente se inician con un controlador de motor (a menudo llamado arrancador de motor) con fusibles que resisten la entrada grande de amperios en el arranque.

## Author



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

School of Fisheries, Aquaculture and Aquatic Sciences  
Auburn University  
Auburn, Alabama 36849 USA

[boydce1@auburn.edu](mailto:boydce1@auburn.edu) (<mailto:boydce1@auburn.edu>).

Copyright © 2016–2020 Global Aquaculture Alliance

All rights reserved.