

RENDIMIENTO DE UN CILINDRO Y BUCEO ASISTIDO

CLASE 4



OBJETIVOS

Los objetivos de esta clase son:

- Proporcionar los conocimientos necesarios para determinar el rendimiento de cilindros de lata presión utilizados en las operaciones de buceo, ya sea con aire comprimido, oxígeno u otra mezcla de gas respirable.
- Efectuar cálculos de rendimiento, con cilindros individuales o analizando un conjunto de cilindros denominado banco o rack.

ÍNDICE

1.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO

1.1.- EL RITMO DE CONSUMO DEL BUZO

1.2.- LA PROFUNDIDAD DEL BUCEO

1.3.- CAPACIDAD Y PRESIÓN MÍNIMA RECOMENDADA DEL CILINDRO(S)

2.- UNIDADES DE MEDIDA UTILIZADAS

3.- RENDIMIENTO DE CILINDROS EN BUCEO AUTÓNOMO

3.1.- CALCULO DE AIRE DISPONIBLE

3.2.- CALCULO DE CONSUMO

4.- RENDIMIENTO DE UN BANCO DE BUCEO ASISTIDO

4.1.- AIRE DISPONIBLE EN LOS RACK O BANCOS

4.2.- PRESIÓN MÍNIMA MANOMÉTRICA

4.3.- AIRE REQUERIDO EN EL BUCEO

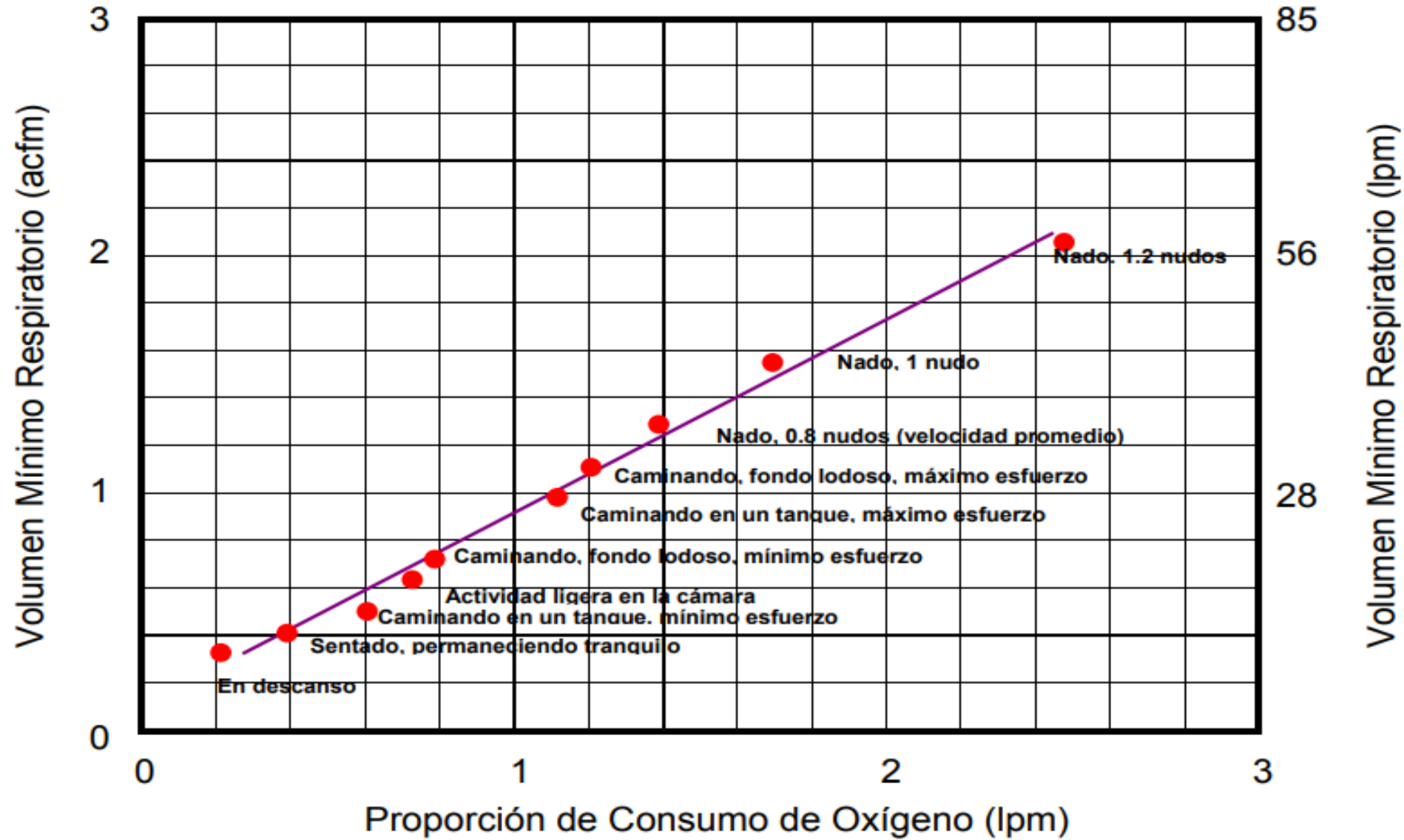
1.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO

- ▶ La duración del suministro de aire de un cilindro dado o combinación de cilindros depende de:
 - ▶ El ritmo de consumo del buzo, el cual varía con el ritmo de trabajo.
 - ▶ La profundidad del buceo.
 - ▶ Capacidad y presión mínima recomendada del cilindro(s).

La temperatura normalmente no es significativa en el cálculo de la duración del suministro de aire, a menos que las condiciones de la temperatura sean extremas. Cuando se bucea en condiciones de temperaturas extremas, deben aplicarse las leyes de Charles/Gay-Lussac.

1.1.- EL RITMO DE CONSUMO DEL BUZO

- ▶ El consumo del buzo, es un factor que tiene una relación directa con factores fisiológicos y físicos, esto se refiere a que un buzo tendrá un mayor consumo si su trabajo es muy pesado, el agua esta muy oscura, tiene un estado físico regular, hay incertidumbre del lugar de trabajo, dentro de otros factores menores.
- ▶ La relación fisiológica-física del consumo se ve incrementada en las operaciones de buceo, debemos entender que como también hay factor personal en que influye, es muy probable que dos buzos efectuando la misma operación o trabajo, no tengan el mismo consumo.
- ▶ Por lo tanto para efectuar cálculos de consumo, se debe trabaja con una media establecida por tabla. Puede que se requiera cambiar el valor, pero esto estará evaluado por la supervisión de la operación de buceo.



ACTIVIDAD EJECUTADA	RMV (acfm)	RMV (lpm)	NIVEL DE TRABAJO
DESCANSO	0,35	10	
SENTADO, PERMANECIENDO TRANQUILO	0,42	12	LIGERO
CAMINANDO EN UN TANQUE, MÍNIMO ESFUERZO	0,53	15	LIGERO
ACTIVIDAD LIGERA EN LA CÁMARA	0,64	18	LIGERO
CAMINANDO, FONDO LODOSO, MÍNIMO ESFUERZO	0,71	20	MODERADO
CAMINANDO EN UN TANQUE, MÁXIMO ESFUERZO	0,99	28	MODERADO
CAMINANDO, FONDO LODOSO, MÁXIMO ESFUERZO	1,14	32	MODERADO
NADANDO, 0.8 NUDOS (VELOCIDAD PROMEDIO)	1,4	39	MODERADO
NADANDO, 1 NUDO	1,59	60	PESADO
NADANDO, 1.2 NUDOS	2,12	60	SEVERO

RMV: Volumen Respiratorio por Minuto.

acfm: pies cúbicos de aire por minuto estándar.

lpm: litros de aire por minuto.

Para los cálculos, en promedio, se usa 1,4 acfm (ft³/:) o 39 lpm (l/:)

1.2.- LA PROFUNDIDAD DEL BUCEO

- ▶ La profundidad influye directamente en el consumo, dado que como ya hemos aprendido en la ley de Boyle, a mayor profundidad mayor presión y el volumen disminuye, como debemos mantener un consumo estándar parmente, la profundidad la debemos llevar a presión absoluta en ata, para poder determinar el consumo real que tendrá el buzo en la profundidad de trabajo.
- ▶ Este antecedente se multiplica por el RMV y obtenemos el consumo, recordemos que la ata es una unidad de medida adimensional y se puede multiplicar por cualquier magnitud.
- ▶ Para determinar este antecedentes utilizamos lo aprendido anteriormente en lo referido a calculo de presión absoluta por profundidad:
 - ❖ $P^{\circ} \text{ abs} = (\text{profundidad en metros} / 10 \text{ metros}) + 1 \text{ ata o}$
 - ❖ $P^{\circ} \text{ abs} = (\text{profundidad pies} / 33 \text{ pies}) + 1 \text{ ata}$

1.3.- CAPACIDAD Y PRESIÓN MÍNIMA RECOMENDADA DEL CILINDRO(S)

- ▶ La presión de carga del cilindro y su volumen interno, influyen en la cantidad de gas que se puede almacenar en su interior.
- ▶ Mientras mayor capacidad tiene el cilindro y mayor presión hay en su interior, tenemos una masa de gas más amplia en su interior.
- ▶ Es importante considerar que los cilindros no se pueden dejar vacíos y se debe considerar una presión mínima recomendada, objeto no se inunden o contaminen, esta presión mínima debe estar indicada o a lo menos considerar 500 psi en buceo autónomo. En operaciones de buceo asistido debemos considerar la presión mínima recomendada más la presión mínima manométrica.

2.- UNIDADES DE MEDIDA UTILIZADAS

MAGNITUDES	UNIDADES	MAGNITUD	UNIDADES
❖ Presión	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Atmósfera (atm) ✓ Bar (bar) ✓ PSI (lb/in²) ✓ Kilogramo fuerza (Kg/cm²) ✓ Milímetro de mercurio (mmhg) 	❖ Volumen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Litro (l) ➤ Metro cúbico (m³) ➤ Decímetro cúbico (dm³) ➤ Pie cúbico (ft³)
❖ Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Constante 		

Nota: En el caso de tener que efectuar transformación de unidades o cálculos de volumen, se debe aplicar lo aprendido en las clases anteriores.

3.- RENDIMIENTO DE CILINDROS EN BUCEO AUTÓNOMO

- ▶ El rendimiento en buceo autónomo, está dado por el resultado o cociente, de la división entre el aire disponible de un cilindro por el consumo del buzo.
- ▶ Este rendimiento nos indica cuánto tiempo nos podría durar una botella a una profundidad determinada.
- ▶ Debemos considerar que a mayor profundidad menor tiempo de duración.

Ecuación:

$$\checkmark \text{ Duración o rendimiento} = \frac{\text{Capacidad de aire disponible en acfm o lpm}}{\text{Consumo del buzo en acfm o lpm}} \quad \left(D = \frac{C_d}{C} \right)$$

3.1.- CALCULO DE AIRE DISPONIBLE

- Esta ecuación nos entrega el volumen disponible de un cilindro de gas utilizado en operaciones de buceo:

$$✓ \quad C_d = \left(\frac{P^{\circ}c - P^{\circ}mr}{14,7 \text{ psi}} \right) \times (VI) \times (N)$$

Donde:

- ❖ **Cd** : Aire disponible
- ❖ **P[°]c** : Presión de carga en psig
- ❖ **P[°]mr** : Presión mínima recomendada o presión de reserva en psig
- ❖ **VI** : Volumen Interno del cilindro (puede estar en litros o pies cúbicos)
- ❖ **N** : Numero de cilindros

3.2.- CALCULO DE CONSUMO

- ▶ Esta ecuación nos entrega el consumo en la profundidad de trabajo a la que se encuentra el buzo consumiendo la botella:

✓ **$C = P^{\circ} \text{ absoluta en la profundidad de trabajo} \times \text{RMV}$**

Donde:

- ❖ **$P^{\circ} \text{ abs}$** : (profundidad en metros / 10 metros) + 1 ata
- ❖ **$P^{\circ} \text{ abs}$** : (profundidad pies / 33 pies) + 1 ata
- ❖ **RMV** : volumen de respiración por minuto (si no se entrega el dato, usar tabla)

EJEMPLO

Determine el rendimiento de una bibotella de buceo de 12 litros cada una cargada a 3000 psig considerando que se debe dejar una presión mínima recomendada de 500 psig, será usada por un buzo que consume 39 litros por minuto en una profundidad de 36 metros.

1.- Aire Disponible:

$$Cd = \frac{P^{\circ}c - P^{\circ}mr}{14,7 \text{ psi}} \times (VI) \times (N)$$

$$14,7 \text{ psi}$$

$$Cd = \left(\frac{3000 \text{ psig} - 500 \text{ psig}}{14,7 \text{ psi}} \right) \times 12 \text{ l} \times 2$$

$$Cd = \left(\frac{2500 \text{ psig}}{14,7 \text{ psi}} \right) \times 12 \text{ l} \times 2$$

$$Cd = 170,06 \times 12 \text{ l} \times 2$$

$$\mathbf{Cd = 4.081,44 \text{ l}}$$

La cantidad de aire disponible en la bibotella de buceo es de 4.081,44 litros.

2.- Consumo:

$C = P^\circ$ absoluta en la profundidad de trabajo x RMV

$$C = \left\{ \frac{\text{Profundidad en metros}}{10 \text{ metros}} + 1 \text{ ata} \right\} \times 39 \text{ l/}:$$

$$C = \left\{ \frac{36 \text{ m}}{10 \text{ m}} + 1 \text{ ata} \right\} \times 39 \text{ l/}:$$

$$C = 4,6 \text{ ata} \times 39 \text{ l/}:$$

$$C = 179,4 \text{ l/}:$$

El consumo del buzo en la profundidad de trabajo es de 179,4 lpm (litros por minuto)

3.- Duración:

$$D = \frac{C_d}{C}$$

$$D = \frac{4.081,44 \text{ l}}{179,4 \text{ l/}:$$

$$D = :22,75$$

La duración de o rendimiento de la botella de buceo es de 22,75 minutos

4.- RENDIMIENTO DE UN BANCO DE BUCEO ASISTIDO

16

- ▶ El rendimiento esta dado por el aire disponible, y el consumo requerido para el buceo en la profundidad de trabajo y en las aparadas de descompresión de ser necesarias, se analiza si el gas disponible menos el gas requerido alcanza.
- ▶ Estos factores se dan en relación a la cantidad de buzos y el consumo que tengan y la profundidad del trabajo.
 - ✓ Rendimiento = Aire disponible en los bancos - Aire requerido en el buceo

4.1.- AIRE DISPONIBLE EN LOS RACK O BANCOS

- ▶ Esta ecuación nos entrega el volumen disponible de un banco o rack de gas utilizado en operaciones de buceo:

$$❖ C_d = \left(\frac{P^{\circ}c - (P^{\circ}mr + P^{mm})}{14,7 \text{ psi}} \right) \times (VI) \times (N)$$

Donde:

- ✓ **C_d** : Aire disponible
- ✓ **P[°]c** : Presión de carga en psig
- ✓ **P[°]mr** : Presión mínima recomendada o presión de reserva en psig
- ✓ **P[°]mm** : Presión mínima manométrica
- ✓ **VI** : Volumen Interno del cilindro (puede estar en litros o pies cúbicos)
- ✓ **N** : Numero de cilindros

4.2.- PRESIÓN MÍNIMA MANOMÉTRICA

- ▶ La presión mínima manométrica es la presión que se ajusta en superficie en el panel distribuidor de gas, para que el buzo pueda ejecutar su trabajo en forma segura, manteniendo una buena respiración y generando una atmósfera dentro de la máscara o casco de buceo que impida se inunde.
- ▶ La presión manométrica se determina de la siguiente manera:
 - ✓ **$P_{mm} = (\text{Constante de presión hidrostática} \times \text{Profundidad}) + (\text{Requerimiento de presión sobre el fondo})$**
 - ❖ La constante de presión hidrostática se entrega por tabla.
 - ❖ El requerimiento de presión sobre el fondo se entrega por tabla.

TABLAS PARA DETERMINAR LA p_{mm}

PROFUNDIDADES EN METROS	PROFUNDIDADES EN PIES	REQUERIMIENTO DE PRESIÓN EN EL FONDO
0 m - 18 m	0 ft - 60 ft	135 psig
19 m - 39 m	61 ft - 130 ft	135 psig
40 m - 57 m	131 ft – 190 ft	165 psig

CONSTANTE DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA	PROFUNDIDADES EN PIES	PROFUNDIDADES EN METROS
	0,445 $\frac{\text{psig}}{\text{pie}}$	1,47 $\frac{\text{psig}}{\text{m}}$

4.3.- AIRE REQUERIDO EN EL BUCEO

- ▶ El aire requerido en el buceo se determina por la siguiente ecuación:

$$\text{Ar} = P^{\circ} \text{ absoluta en la profundidad de trabajo} \times \text{RMV} \times \text{N} \times \text{T}$$

✓ Donde:

- ❖ **P° abs** : (profundidad en metros / 10 metros) + 1 ata
- ❖ **P° abs** : (profundidad pies / 33 pies) + 1 ata
- ❖ **RMV** : Volumen de respiración por minuto (si no se entrega el dato, usar tabla)
- ❖ **N** : Numero de buzos en la operación de buceo (se debe incluir el buzo de emergencia)
- ❖ **T** : Tiempo en la profundidad de trabajo

Nota: Este calculo se debe efectuar en el fondo, en el tiempo requerido para llegar a superficie y en cada para de descompresión.

EJEMPLO

Se efectúa una operación de buceo a una profundidad de 140 pies, se utilizara sistema de buceo asistido y se cuenta con 4 cilindros de 50 litros cargados a 3.000 psig, si la presión mínima recomendada para estos cilindros es de 300 psig y se consideran que hay tres buzos involucrados que tiene un RMV de 39 litros por minuto, estando expuestos en el fondo a un tiempo de 30 minutos, a 44 minutos en descompresión a 20 pies y 5 minutos en ascender desde el fondo a la superficie, determine si el rendimiento de los bancos logra sostener la operación de buceo.

Datos:

- ✓ Profundidades : Trabajo 140 ft, Descompresión 20 ft, Promedio de ascenso 70 ft
- ✓ Tiempos de exposición : Fondo :30, Descompresión :44, Ascenso :5
- ✓ RMV : 39 l/:
- ✓ Numero de buzos : 3
- ✓ Cantidad de cilindro :4
- ✓ Volumen interno cilindros :50 l
- ✓ Presión de carga cilindros : 3000 psig
- ✓ Presión mínima recomendada : 300 psig

1.- Aire disponible en el banco o rack:

$$\diamond Cd = \frac{P^{\circ}c - (P^{\circ}mr + Pmm)}{14,7 \text{ psi}} \times (VI) \times (N)$$

Calculo de pmm:

$Pmm = (\text{Constante de presión hidrostática} \times \text{Profundidad}) + (\text{Requerimiento de presión sobre el fondo})$

$$Pmm = (0,445 \text{ psig} / \text{ft} \times 140 \text{ ft}) + (165 \text{ psig})$$

$$Pmm = 63,7 \text{ psig} + 165 \text{ psig}$$

$$Pmm = \mathbf{228,7 \text{ psig}}$$

$$Cd = \left(\frac{(3.000 \text{ psig} - (300 \text{ psig} + 228,7 \text{ psig}))}{14,7 \text{ psi}} \right) \times (50 \text{ l}) \times (4)$$

$$Cd = \left(\frac{(3.000 \text{ psig} - 528,7 \text{ psig})}{14,7 \text{ psi}} \right) \times (50 \text{ l}) \times (4)$$

$$Cd = \left(\frac{2.471,3 \text{ psig}}{14,7 \text{ psi}} \right) \times (50 \text{ l}) \times (4)$$

$$Cd = 168,11 \times 50 \text{ l} \times 4$$

$$\mathbf{Cd = 33.622 \text{ l}}$$

El aire disponible en el banco o rack para la operación de buceo es de 33.622 litros.

2.- El aire requerido en el buceo:

Ar = P° absoluta en la profundidad de trabajo x RMV x N x T

a.- Requerimiento en el fondo

$$Ar = ((140 \text{ pies} / 33 \text{ pies}) + 1 \text{ ata}) \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :30$$

$$Ar = (4,24 + 1 \text{ ata}) \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :30$$

$$Ar = 5,24 \text{ ata} \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :30$$

$$\mathbf{Ar = 18.392,4 \text{ l}}$$

b.- Requerimiento en la descompresión

$$Ar = ((20 \text{ pies} / 33 \text{ pies}) + 1 \text{ ata}) \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :44$$

$$Ar = (0,60 + 1 \text{ ata}) \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :44$$

$$Ar = 1,60 \text{ ata} \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :44$$

$$\mathbf{Ar = 8.236,8 \text{ l}}$$

c.- Requerimiento en el ascenso

$$Ar = ((70 \text{ pies} / 33 \text{ pies}) + 1 \text{ ata}) \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :5$$

$$Ar = (2,12 + 1 \text{ ata}) \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :5$$

$$Ar = 3,12 \text{ ata} \times 39 \text{ l/} : \times 3 \times :5$$

$$\mathbf{Ar = 1.825,2 \text{ l}}$$

$$\text{Total} = 18.392,4 \text{ l} + 8.236,8 \text{ l} + 1.825,2 \text{ l} = 28.454,4 \text{ l}$$

El total de aire requerido para la operación de buceo es de 28.454,4 litros.

3.- El rendimiento del banco de cilindros de aire o rack:

Rendimiento = Aire disponible en los bancos - Aire requerido en el buceo

Rendimiento = 33.622 litros - 28.454,4 litros.

Rendimiento = 5.167,6 litros.

De acuerdo a este resultado, el conjunto de cilindros o rack de aire puede sostener la operación de buceo sin problemas.

Nota: Se pueden presentar problemas con diferentes unidades de medidas, en profundidad, presión o volumen, por lo tanto se debe efectuar lo aprendido para lograr la equivalencia en unidades y luego desarrollar las ecuaciones de acuerdo a lo enseñado en esta clase.