

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

ELECTROLUNG
PULMON ELECTRONICO SUBACUATICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

JOSE ANTONIO TORRES Y SERRALLONGA

MEXICO, D. F.

1973

M-165682



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

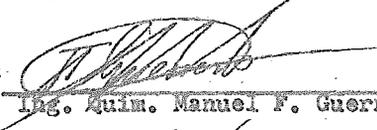
PRESIDENTE


Ing. Quim. Santiago de La Torre Galindo

VOCAL


Ing. Quim. Enrique Villarreal Dominguez

SECRETARIO:


Ing. Quim. Manuel F. Guerrero Fernández

1er. SUPLENTE


Ing. Quim. Antonio Reyes Chumacero

2do. SUPLENTE


Ing. Quim. Martha Rodríguez Pérez

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA MEXICO D.F.

JOSE ANTONIO TORRES Y SERRALLONGA



ING. QUIM. SANTIAGO DE LA TORRE G. ASESOR

A MI ESPOSA
MARGARITA D. RENDON DE TORRES
POR SU GUIA Y DECISION PARA LOGRAR
NUESTROS ANHELOS

A MIS PADRES:

HUMBERTO TORRES CONTRERAS

MATILDE SERRALLONGA DE TORRES

QUIENES EN TODO MOMENTO SUPERON ENSEÑARME

EL CAMINO VERDADERO.

A MIS HERMANAS:

CHATY, LETY, LUPE

POR NUESTRA UNION FAMILIAR

A MANERA DE DISCULPA.....

Podría citar muchas razones por las que escogí un tema de tesis, aparentemente fuera del campo de la Ingeniería Química; estas razones, en general serían persuasivas, con el fin de justificarme. Sin embargo, tal vez el argumento de más fuerza sería el expresado por un pasaje de una fábula infantil:

"¿ Cómo explicar el hecho -dijo Winnie Pooh lentamente- de que, tan pronto como estamos fuera de la trampa, tratamos de encontrarla de nuevo ?"

" Ciertamente ; y sin embargo, ¿ qué de bueno hay en eso?" preguntó el conejo

" Bueno " dijo Winnie, " nos pasamos el tiempo buscando el Hogar y no lo encontramos, así que pienso, que si buscamos esa trampa, podemos estar seguros de que no la encontraremos, lo cual es una cosa --buena, porque entonces encontraremos algo que no --estábamos buscando y que justamente será lo que en realidad buscábamos "

PULMON ELECTRONICO SUBACUATICO

- ELECTROLUNG -

No es mi deseo, el de agregar un anglicismo más a nuestro lenguaje, al referirme al Pulmón Electrónico Subacuático como Electrolung; sino que me veo precisado a hacerlo por una razón práctica: actualmente la única nación que está desarrollando esta investigación a nivel científico y comercial, son los Estados Unidos de Norteamérica por conducto de Beckman Instruments, Inc., - Oceanic Equipment Activity.

En estos momentos, dicha investigación aún se encuentra en fase de prueba, sin embargo, si los resultados son positivos, seguramente el equipo será lanzado al mercado mundial, pero con el nombre de Electrolung y es mi deseo que las personas interesadas en saber lo que este término significa, tengan la plena conciencia de que no es un producto más de la técnica del Superhombre, sino de la racional aplicación del sentido común -- que con ayuda de la ciencia y de la tecnología nos permite entender lo que es posible crear, llámese Electrolung o Pulmón Electrónico Subacuático.

INDICE

	Pag.
I. Introducción	1
II. Dinámica del Buceo	4
II.1 Flotación	4
II.2 Presión	9
II.3 Leyes de los Gases	12
II.3.1 Ley de Dalton	13
II.3.2 Ley General del Estado Gaseoso	17
II.4 Temperatura	26
II.5 Quemisorción	27
III. Principios Básicos de Operación del S.C.U.B.A	32
III.1 SCUBA Circuito Abierto	32
III.2 SCUBA Circuito Cerrado	34
III.3 SCUBA Circuito Semi-Cerrado	36
IV. Pulmón Electrónico Subacuático -Electrolung-	39
IV.1 Descripción General	39
IV.2 Principios de Operación	41
IV.2.1 Composición de la Mezcla Respirable y su Control	41
IV.2.2 Circuito de Recirculación de la Exhalación	43
IV.2.3 Control Manual	44
IV.3 Descripción Detallada	44
IV.3.1 Arnés	44
IV.3.2 Regulador de Oxígeno y Manómetro	45
Consideraciones de Diseño de los Reguladores de Demanda Modernos	46
IV.3.3 Cilindros de Gas y Válvulas	51
IV.3.4 Circuito Electrónico y Válvulas Solenoide	51
IV.3.5 Unidad de Adsorción del CO ₂	56
IV.3.6 Bolsa y Boquilla de Respiración	57

	Pag.
IV.4 Instalación	57
IV.4.1 Manejo	57
IV.4.2 Armado y Desarmado	58
IV.5 Mantenimiento Correctivo	58
IV.6 Instrucciones de Operación	59
IV.6.1 Preparación del Electrolung para su Uso	59
IV.6.2 Preparación y Calibración de los Electrodo Polarográficos	60
IV.6.3 Llenado del Recipiente de $Ba(OH)_2$	60
IV.6.4 Llenado de los Cilindros de Gas	60
IV.6.5 Chequeo de las Baterías	61
IV.6.6 Lista de Revisiones al Electrolung de Pre-Immersión	63
IV.7 Inmersión	63
IV.7.1 Descenso	63
IV.7.2 Ascenso	64
IV.7.3 Procedimientos de Emergencia	65
IV.7.4 Inmersión Profunda	67
IV.8 Diseño de Columnas de Adsorción de Lecho Fijo	69
V. Conclusiones	80

I INTRODUCCION

Los mares son la última frontera del hombre en este planeta. Durante siglos, ha tratado las grandes inmensidades del océano poco más que como terrenos de caza para los pescadores y caminos para la navegación. Ahora está despertando para ver que bajo las aguas se - tiene un vasto territorio inexplorado, cada palmo de él es tan pro - vocador como el espacio ultraterrestre, y mucho más prometedor en - lo que a recompensas se refiere.

El hombre por fin está adquiriendo, los conocimientos cientí - ficos para hacer frente al mar por sus necesidades crecientes de a - limentos, agua y energía.

En el curso de los últimos años, los hombres de ciencia han e - estado dando pasos gigantescos orientados a conocer la tierra que - yace bajo los océanos. No obstante la gran dificultad que entraña - el trabajar en las profundidades, el hecho de ir levantando mapas - del fondo del mar representa un comienzo alentador. La exploración - bajo el agua es más peligrosa que los viajes ultraterrestres debido a que la presión que ejerce sobre el explorador submarino el peso - del agua que hay sobre él es inmensa. A una profundidad de 333 me - tros, la presión sobre cada centímetro cuadrado del cuerpo del hom - bre es de más de 33 kilogramos.

Si el buzo de grandes profundidades sube demasiado aprisa a - la superficie, la veloz disminución de presión en su cuerpo puede - hacer que se formen burbujas de aire en sus tejidos y en la sangre - estas burbujas producen trastornos por descompresión o "calambres" - (mejor conocidos como Bends). En épocas pasadas, estos peligros ha - cían muy difícil, si no imposible, el llevar a cabo una exploración - detallada del fondo del mar. Y sin embargo, ensayos recientes han - demostrado que el hombre puede sobrevivir y trabajar a profundi - des de cientos de metros. Esta capacidad recién descubierta de vi - vir bajo el agua parte de la moderna creación de nuevos medios de - proteger al acuanauta contra las presiones de las profundidades.

El anticuado traje de buzo estaba hecho de material impermea - ble pesado, adaptado a una escafandra. Los buzos recibían el aire - a través de tubos de goma - "cuerdas salvavidas" - que se prolongaban a los barcos que estaban en la superficie. Dentro de estos trajes, - el hombre podía descender al agua, pero no podía permanecer sumergi - do mucho tiempo, para evitar los efectos de un súbito descenso de - presión. La invención del pulmón acuático - aqualung - que es aire - suministrado directamente a la boca del acuanauta desde los tanques de mezcla gaseosa sujetos a la espalda, trajo movilidad bajo el a - gua, pero no eliminó el problema de la presión.

A fines de la década de 1950, un capitán de la Marina nortea - mericana, George F. Bond, se presentó con un nuevo método sorpren - dente para vivir bajo el agua, llamado "buceo saturado". Los bucea - dores entran a una cámara a presión que está llena a toda su capaci - dad de una mezcla de helio y oxígeno. Al cabo de 24 horas, los teji - dos del cuerpo están plenamente saturados de gases. Luego, cuando -

se hace descender la cámara, pueden vivir y dormir en su interior - durante semanas sin preocuparse de la descompresión. Debido a que la cámara está a sobrepresión desde el principio, el buceador puede entrar y salir para explorar el mar siempre que lo desee. Esto no es posible con una nave corriente, como el submarino, cuyo interior se mantiene a la misma presión que el aire de la superficie. Por lo tanto, si hubiera una abertura directa al agua, la mayor presión -- que el aire interior podría soportar sería muy pequeña en comparación con las profundidades que los submarinos alcanzan, por lo que el agua penetraría al interior. En las cápsulas submarinas, por otra parte, la presión del interior de la misma es igual a la del exterior. Así cuando se abren las escotillas especiales, no puede entrar el agua. Los buceadores pueden entrar y salir de la cápsula con entera libertad. Y cuando se sube de nuevo la cápsula a la superficie, los buceadores permanecen dentro durante la descompresión evitando así un ataque de calambres, tan temido por los buzos.

Aunque solo sea por razones económicas, el hombre ya no se puede permitir hacer caso omiso del mar. El hecho de que las tierras bajo los océanos encierran tesoros que causarían la envidia de los países más ricos del mundo. Se ha calculado que el mar contiene un gran porcentaje de minerales (unos 50 mil millones de toneladas métricas), (1). Estos incluyen magnesio, uranio, manganeso (los Estados Unidos deben importar casi dos millones de toneladas de este mineral al año), así como las riquezas clásicas de oro y plata. Y hay suficiente cobre y aluminio en los 104 millones de kilómetros cuadrados del fondo del océano para abastecer al hombre durante un millón de años al actual ritmo de consumo.

Gran parte de esta valiosa materia prima aún no se ha tocado. Pero un mineral vital - el petróleo - está extrayéndose en cantidades cada vez mayores de partes relativamente poco profundas de los mares. Más del 16% de todo el petróleo que se extrae en el mundo -- procede de yacimientos costeros. Los expertos predicen que para el año de 1975 el total se acercará al 40%. Ya se han erigido tantas plataformas de perforación que obstaculizan la navegación comercial en el Golfo de México. El agua dulce es otro recurso insospechado - que puede obtenerse de las mares salobres. Incluso ahora hay muchas naves oceánicas que desalan el agua de mar para utilizarla a bordo. Pero el proceso de eliminar la sal a fin de poder usar el agua en tierra siempre ha resultado demasiado costoso. Sin embargo experimentos recientes están reduciendo los costos. Un método todavía más extraordinario de obtener agua dulce consistirá en aprovechar por medio de cañerías los manantiales del piso oceánico.

De todas las posibilidades que encierra el mar, la mayor es - su promesa de aumentar el suministro de alimentos del mundo. Los -- hombres de ciencia consideran que kilómetro por kilómetro, el mar -- puede producir algún día más alimento que la tierra. En la actualidad sin embargo, los océanos sólo abastecen el 2% de la comida del hombre. Esto se debe a que el hombre generalmente no siembra ni cosecha el mar. Para satisfacer las vastas necesidades futuras, el -- hombre tendrá que comenzar a cultivar los mares tan concienzudamente como lo hace con la tierra.

•••••

(1) 1 Tonelada métrica equivale a 1000 Kg

Estos son unos pocos de los tesoros que guarda el océano. El hombre ha iniciado su asalto al mar y es seguro que proseguirá en su esfuerzo. Pero en algún momento del futuro el propio mar verá su fin.

Por todo lo anteriormente expuesto, debemos deducir que el mar sí está al alcance del hombre y que sólo con su ciencia y técnica podrá llevar a cabo una explotación productiva y satisfactoria, de esa gran masa líquida que aún ahora nos maravilla y en ocasiones nos atemoriza.

(1)

" El bombardeo atómico no representa en sí mismo más que un peligro menor; los verdaderos riesgos son los que acompañan a la readaptación de la vida humana en el planeta. Ya es hora de pensar que los océanos podrán desempeñar un papel decisivo en esta readaptación. Fuente de vida cada vez más abundante centro de actividad para los hombres de mañana; nunca dejarán de ser los océanos, una inmensa fuente de poesía y gozo, un acervo de riquezas inestimables que es preciso salvar para la humanidad del mañana "

André Piatier
profesor de la Ecole
Practique des Hautes
Etudes.

(1) Del libro de Maurice Aubert, " El Cultivo del Océano "

II D I N A M I C A D E L B U C E O

El paso primordial en el inicio de una investigación de cualquier tipo, es además de fijar el objetivo, tener el conocimiento del medio en que se va a llevar a cabo dicha investigación.

El mundo acuático es muy diferente al medio en el cual el hombre esta acostumbrado a vivir, es por esto, que antes de desarrollar el tema de tesis, haré un somero estudio de los principios básicos que marcarán la pauta de mi estudio.

Para el acuanauta (1), el agua es su nuevo ambiente. Experimenta nuevas sensaciones y descubre un medio de vida completamente nuevo. El pesado equipo que usa, pierde su dificultad para ser maniobrado tan pronto como se sumerge en el medio acuático. El acuanauta no tiene sensación de peso, y la única sensación que conserva es la de la sangre que aún fluye a la cabeza, cuando ésta cuelga hacia abajo.

Cuando se trata de caminar en el fondo de un lago u océano, en la forma acostumbrada, se encuentra con que el movimiento es trabajoso o casi imposible. El trabajo se torna difícil, porque el acuanauta tiende a ser arrastrado del objeto en que labora. Todas estas cosas requeriran un ajuste tanto físico como mental por parte de él.

La práctica se encarga de la coordinación, pero solamente por el entendimiento de las leyes fisico-químicas, puede el acuanauta predecir con seguridad, qué debe esperar en una situación dada.

II.1 F L O T A C I O N

Flotar es una cosa común hoy en día, sin embargo la explicación a este fenómeno, puede ser desconocida para muchas personas.

Arquímedes (287-212 A.C.) un matemático e inventor griego, determinó la intensidad y operación de una fuerza ascensional en un líquido. Como resultado de sus investigaciones, expresó un principio que lleva su nombre y el cual dice:

" UN CUERPO SUMERGIDO TOTAL O PARCIALMENTE DENTRO DE UN LIQUIDO, EXPERIMENTA UN EMPUJE DE ABAJO HACIA ARRIBA IGUAL AL PESO DEL LIQUIDO DESPLAZADO".

El principio de Arquímedes expuesto de esta manera, implica el conocimiento de algunas propiedades de la materia, tales como la densidad, peso específico, masa, peso, volumen, etc. Por medio de un sencillo ejemplo se verá la relación que guardan estas propiedades con el principio de la flotación:

o o o o o

(1) Entenderemos por ACUANAUTA de aquí en adelante, a cualquier persona que se encuentre en el mundo subacuático utilizando un aparato autónomo de respiración.

Si se coloca un bloque de madera en una cubeta que con-- tenga agua hasta el borde, el bloque de madera se sumerge y - el agua se desborda de la cubeta, y una vez que el bloque ha dejado de sumirse, flota en la superficie. Si pesamos el agua que se ha desbordado, nos encontramos con que dicho peso es igual al peso del bloque de madera. La madera flota en la superficie del agua, simplemente porque ha logrado desplazar su propio peso, en agua, antes de quedar parcialmente sumergida.

La explicación al fenómeno anterior se debe a que la densidad de la madera, es menor que la densidad del agua. Se conoce por -DENSIDAD- : MASA POR UNIDAD DE VOLUMEN DE UNA SUBSTANCIA DADA.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$\rho = \text{g/cm}^3 ; \text{lb/ft}^3$$

$$\text{Masa: } M = \text{g} ; \text{lb}$$

$$\text{Volumen: } V = \text{cm}^3 ; \text{ft}^3$$

Entendiéndose por -MASA- : CANTIDAD DE MATERIA QUE DEBIDO A UNA FUERZA RECIBE UNA ACELERACION (1) ; sin embargo para fines prácticos -MASA- será LA CANTIDAD DE MATERIA QUE FORMA A UN CUERPO.

Unidad de -volumen- es el volumen ocupado por una substancia, tomando esta medida como referencia de otras.

Si se substituye el bloque de madera por un bloque de acero del mismo tamaño, el acero se vá al fondo, porque su densidad es mayor que la del agua. La -densidad- varía con la -- temperatura y la presión. (En substancias inorgánicas la densidad varía inversamente a la temperatura. La variación de la densidad del agua con la temperatura se dá en la tabla en la Tabla II.1-A. La variación de la densidad de líquidos con la presión se da en la Gráfica II.1-a).

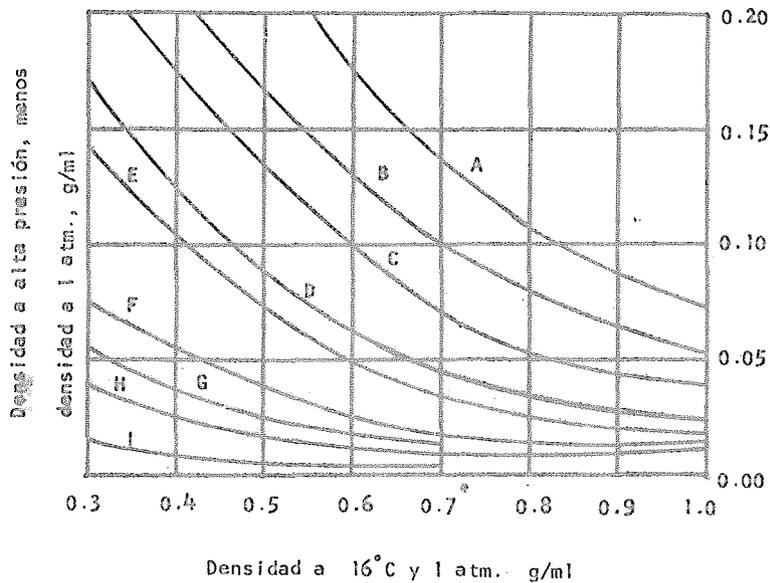
El -peso específico de una substancia es la relación - de la densidad de la substancia con respecto a la densidad - del agua considerada a 4 °C y 1 atm. de presión. Esta relación nos permite conocer cuantas veces una substancia es tan den

.....

(1) Un Kilogramo-masa es la cantidad de materia que debido a una fuerza de un Newton recibe una aceleración de 1 m/seg²;

$$F = m a ; m = \frac{F}{a}$$

GRAFICA 11.1-a Variación de la
Densidad de los Líquidos con la presión



Curva	Presión
A	50 000 psia
B	30 000 psia
C	20 000 psia
D	10 000 psia
E	6 000 psia
F	2 000 psia
G	1 500 psia
H	1 000 psia
I	500 psia

Puede notarse que solamente a altas presiones, la variación de la densidad es importante.

TABLA II.1-A VARIACION DE LA DENSIDAD DEL
AGUA CON LA TEMPERATURA

Temperatura °C	Densidad g/ml
-10	0.9982
- 8	0.9987
- 6	0.9991
- 4	0.9995
- 2	0.9997
0	0.9999
5	0.99999
10	0.99972
15	0.99913
20	0.99823
25	0.99707
30	0.99567
40	0.99224
50	0.98807
60	0.98324
80	0.97183
100	0.95838

la densidad del agua a 4 °C y 1 atm.
es de 1.00000

sa como el agua. El -peso específico- del agua pura es 1 a 4°C y 1 atm.

$$p.e. = \frac{\text{densidad.subs.}}{\text{densidad.agua.}}$$

Así tenemos que la madera tiene un peso específico entre 0.11 y 0.13 (madera balsa), significando que es menos densa que el agua, por lo que flota; mientras que el peso específico del acero es de 7.85, siendo este valor mayor que 1, significa que el acero es más denso que el agua, por lo tanto se hunde.

El -peso- de una substancia se define como el producto de la masa de la substancia multiplicada por el valor de la aceleración de la gravedad en el lugar de la pesada (1) :

$$w = m \cdot a$$

$$a = g = 9.81 \text{ m/seg}^2 = 32.2 \text{ ft/seg}^2$$

$$w = m \cdot g$$

El acuanáuta desde que deja la orilla hasta que regresa a ella va a estar sometido a las fuerzas ascensionales causadas por la combinación de las densidades de su cuerpo y de su equipo; por lo que consumirá mucha mezcla gaseosa tratando de mantenerse en un nivel.

Fuerza ascensional neutra es la falta de fuerzas ponderables, ya sea para flotar o para sumergirse. Esta -fuerza- le produce al acuanáuta un sentido de ingravidez siendo algo -- así como un hombre "libre de caída". Sin embargo a pesar de estar el cuerpo sin peso, la sangre y las partes internas -- del cuerpo aún responde a la atracción de la gravedad hacia el centro terrestre.

La fuerza ascensional neutra le permite al acuanáuta -- mantenerse a un nivel, pero si realiza algún trabajo, empiezan los problemas. Según la -tercera ley de la dinámica de - Newton- "PARA TODA ACCION CORRESPONDE UNA REACCION DE IGUAL MAGNITUD PERO EN SENTIDO OPUESTO A LA ACCION". En una situación en que el acuanáuta tiene que trabajar efectivamente, es conveniente que tenga una fuerza ascensional negativa que -- consiste en tener un peso específico mayor que 1 para sumergirse (mayor peso implica mayor masa y esto a su vez implica mayor inercia). Mientras mayor fuerza se necesite para el -- trabajo, más pesado debe estar el acuanáuta, (los cinturones-

o o o o

(1) Un valor promedio aceptado para la aceleración debida a la gravedad terrestre es de 9.81 m/seg² ó de 32.2 ft/seg²

de lastre deben ser fáciles de quitar). El acuanáuta para lastrarse debidamente debe tener en cuenta el tanque que está usando, así como el tipo de agua en que va a efectuarse la inmersión (el agua de mar tiene una densidad de 1.2 a 1.3 gramos/centímetro cúbico a 40°C y 1 atm.) ya que el tanque - conforme se vaya vaciando hará variar la fuerza ascensional - neutra (por el lastre) a fuerza ascensional positiva (por el vacío del tanque). La Tabla II.1-B nos muestra una serie típica de combinaciones de cilindros y válvulas con y sin aire, en agua dulce y agua salada. El tipo de traje seco también - afecta la flotabilidad del acuanáuta, puesto que el aire atrapado dentro del traje, reduce la densidad total del acuanáuta ya que su masa aumenta muy poco pero su volumen aumenta - en gran proporción lo que le da una fuerza ascensional positiva adicional.

II.2 P R E S I O N

Presión se define como la fuerza actuante por unidad de área:

$$P = \frac{F}{A}$$

Fuerza se define como el producto de la masa multiplicada por la aceleración actuante sobre dicha masa. Si consideramos a la aceleración constante y le damos el valor promedio de la atracción terrestre, veremos que la fuerza es directamente proporcional a la masa:

$$F = m.a$$

$$a = g = \text{cte.}$$

$$F \propto m$$

En función de lo dicho y aplicado al buceo, se ve que a mayor profundidad, existe mayor cantidad de agua (mayor altura de la columna de agua) por lo que al ser mayor la masa de agua, la presión será mayor que a poca profundidad, esta presión se denomina -PRESION HIDROSTATICA-:

$$P_h = h g \rho$$

$$P_h : \text{dinas}$$

$$h : \text{centímetros}$$

$$g : \text{cm/seg}^2$$

$$\rho : \text{g/cm}^3$$

TABLA II.1-B Peso de los Cilindros
en Inmersión

El signo (-) indica fuerza ascensional negativa

El signo (+) indica fuerza ascensional positiva

		Peso en libras del cilindro, sumergido			
		En agua Dulce		En agua Salada	
		Lleno	Vacío	Lleno	Vacío
Un solo cilindro con válvula de reserva constante.	Tamaño				
	70 ^a	-5.18	-0.59	-4.88	+0.29
	50	-5.7	-2.1	-5.5	-1.9
	42 ^b	-4.7	-1.1	-4.5	-0.9
Cilindro doble, con válvula de reserva constante. Demone, Tipo "K"	70 ^a	de -11.0 a -12.34	de -0.64 a -2.0	de -10.4 a -11.7	de -0.04 a -1.4
	50	de -12.0 a -13.4	de -4.8 a -6.2	de -11.6 a -13.0	de -4.4 a -5.8
	42 ^b	de -10.0 a -11.4	de -3.0 a -4.4	de -9.6 a -11.0	de -2.4 a -3.8

a: cilindros de 70 y 71.2 pies³

b: el cilindro de 42 pies³ es uno de 38 pies³ de una presión de trabajo de 1889 psig, lleno a 2068 psig (10%).

La -presión- debida a la columna de aire de la atmósfera es de 14.7 lb/in² ó de 1.033 Kg/cm² al nivel del mar. Un cubo de un centímetro cuadrado por lado colocado a 10.33 mts. de profundidad en agua dulce (10.05 mts. en agua salada) soporta una presión que equivale a la atmosférica.

-PRESION MANOMETRICA- es la fuerza debida a una columna de fluido (en este caso de agua) por unidad de área, sin tomar en cuenta la presión atmosférica. Esta presión -manométrica- es la que marcaría un profundímetro.

El agua es un fluido incompresible, de ahí que para encontrar la presión de agua existente en una profundidad dada- tengamos la siguiente fórmula:

$$P_{\text{manom.}} = \frac{D d}{10}$$

$P_{\text{manom.}}$; Presión manométrica ; g/cm²

D ; Densidad del agua ; g/cm³

d ; Profundidad ; cm

(suponiendo un centímetro cuadrado de superficie)

La presión del agua aumenta 1 atm. por cada 10.33 mts. de profundidad. Al nivel del mar se tiene una presión de 1.033 Kg/cm² absolutos. La -presión absoluta- se obtiene sumándole a la -presión manométrica- el valor de la -presión atmosférica-.

La relación de cambio de la presión, disminuye con la profundidad. Esto se ve claramente por medio de los siguientes datos:

PROFUNDIDAD metros	PRESION ABSOLUTA Kg/cm ²
0	1.033
10.33	2.066
20.66	3.099
30.99	4.132

La -relación de cambio- con la -profundidad- (de la presión) se obtendrá por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{P_B - P_A}{P_A} \times 100 = \% \text{ Relación de cambio.}$$

RELACIONES DE CAMBIO DE PRESION CON LA PROFUNDIDAD:

de 0 mts. \longrightarrow 10.33 mts.

$$\frac{2.066 - 1.033}{1.033} \times 100 = 100\%$$

de 10.33 mts. \longrightarrow 20.66 mts.

$$\frac{3.099 - 2.066}{2.066} \times 100 = 50\%$$

de 20.66 mts. \longrightarrow 30.99 mts.

$$\frac{4.132 - 3.099}{3.099} \times 100 = 33\%$$

Como se vé el mayor cambio de presión está en los primeros 10 mts de profundidad y posteriormente la relación de cambio, va disminuyendo.

II.3 LEYES DE LOS GASES

Las leyes de los gases- son grupos de relaciones matemáticas concernientes al comportamiento de los gases cuando son sometidos a condiciones de presión, temperatura, mezclado o cualquier otra condición física.

El aire se compone aproximadamente de un 79% de nitrógeno, y un 21% de oxígeno además de otros compuestos, como agua, argón, bióxido de carbono, monóxido de carbono, que al estar en un bajo porcentaje (menos de 1% por los cuatro) no los tomaremos en consideración.

El aire contiene 3.76 veces más nitrógeno que oxígeno. Los dos gases están mezclados y no en capas o completamente separados. Ambos gases están presentes en sus correspondientes porcentajes en cualquier volumen de aire en el espacio.

II.3.1. LEY DE DALTON .- La -Ley de Dalton- de las -presiones parciales- establece que: A TEMPERATURA CONSTANTE LA PRESION TOTAL EJERCIDA POR UNA MEZCLA DE GASES EN UN VOLUMEN DEFINIDO ES IGUAL A LA SUMA DE LAS PRESIONES INDIVIDUALES (parciales) QUE EJERCERIA CADA UNO DE LOS COMPONENTES GASEOSOS - SI ESTE OCUPARA POR SI SOLO EL MISMO VOLUMEN TOTAL.

$$(1) \dots\dots\dots P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots\dots + P_n$$

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_i$$

En el caso del aire y teniendo en cuenta la consideración anterior (O_2 : 21%, N_2 : 79%).

$$P_{\text{aire}} = P_{N_2} + P_{O_2}$$

De acuerdo con la -ley general de los gases- (que a continuación será estudiada) :

$$(2) \dots\dots\dots PV = nRT$$

$$(3) \dots\dots\dots P_1 = \frac{n_1 RT}{V} ; P_2 = \frac{n_2 RT}{V} ; P_3 = \frac{n_3 RT}{V}$$

de acuerdo con la ecuación (1) :

$$(4) \dots\dots\dots P_T = \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \frac{n_3 RT}{V}$$

$$(5) \dots\dots\dots P_T = \frac{(n_1 + n_2 + n_3) RT}{V} ;$$

$$(6) \dots\dots\dots n_t = n_1 + n_2 + n_3$$

$$(7) \dots\dots\dots P = \frac{n_t R T}{V}$$

Poniendo ahora la -presión parcial- en función de las moles totales (1) del sistema y en función de la presión total-

del mismo obtenemos:

$$P_1 = \frac{n_1}{n_t} P ; P_2 = \frac{n_2}{n_t} P ; P_3 = \frac{n_3}{n_t} P$$

La relación n_1/n_t se denomina -fracción mol- y nos representa la relación de moles de un componente del sistema con respecto al número total de moles de dicho sistema y será representada la fracción mol por N_1 . De acuerdo con las fracciones mol, la -ley de Dalton nos queda de la siguiente manera: LA PRESION PARCIAL DE CUALQUIER COMPONENTE EN UNA MEZCLA GASEOSA ES IGUAL A LA FRACCION MOL DE ESE COMPONENTE MULTIPLICADA POR LA PRESION TOTAL DE LA MEZCLA:

$$(8) \dots\dots\dots N_1 + N_2 + N_3 + \dots\dots + N_n = 1$$

$$\sum_{i=1}^n N_i = 1$$

$$(9) \dots\dots\dots P_1 = N_1 P_t$$

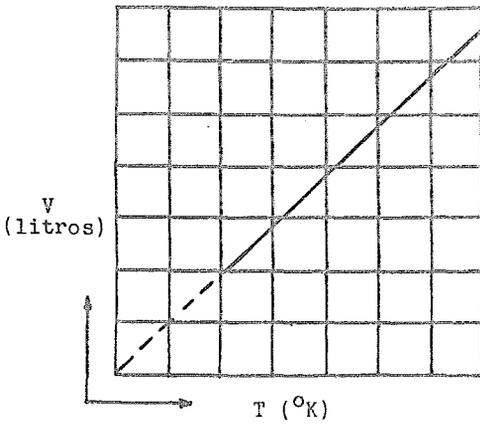
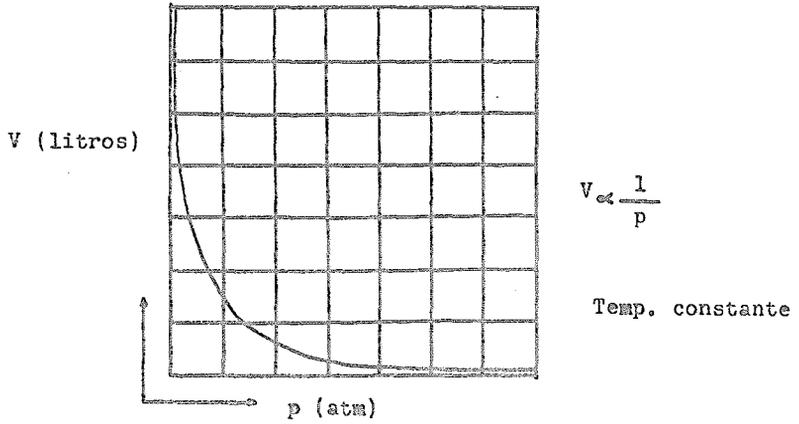
La importancia de la -ley de Dalton- en el buceo se refiere a la fisiología del cuerpo humano. Un hombre normalmente sano puede respirar oxígeno puro durante siete horas a una atmósfera de presión (nivel del mar). Si este mismo hombre tuviera que usar oxígeno puro en su aparato autónomo de respiración, al llegar a los 33.9 ft (10 mts.) estaría respirando oxígeno a una presión de 29.4 psia (2) o sean 2 atm., para mantenerse dentro de los límites de seguridad, el tiempo que puede estar respirando en ese ambiente de oxígeno puro, sería la mitad; 3 1/2 horas. A medida que descienda, el tiempo dismi-

o o o o o

(1) Una -mol- es la masa de una substancia, en gramos, numéricamente igual a su peso molecular. -PESO MOLECULAR- de una substancia es la suma de los pesos atómicos de los elementos que la forman.

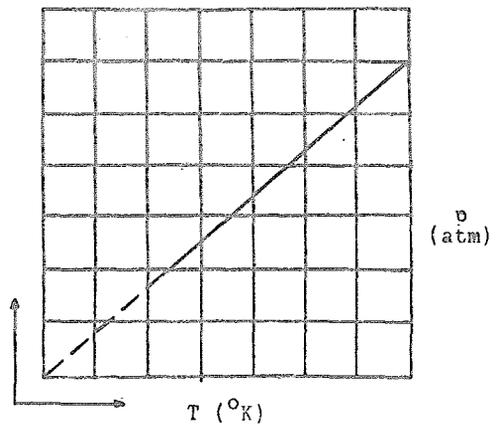
(2) psia; Pound per square inch absolute; Libras por pulgada cuadrada absolutas.- P.atm. \neq P. manom.

Interpretación Gráfica de las Leyes de los Gases



Presión constante

$$V \propto T$$



Volúmen constante

$$p \propto T$$

naira rápidamente.

Suponiendo que el acuanáuta está usando un aparato autónomo cargado con aire, a 10 mts. de profundidad el aire que respira tiene una presión total de 29.4 psia (2 atm.) de las cuales el oxígeno contribuye con 6 psia y el nitrógeno con las 23.4 psia restantes. Mientras más bajo, la presión total aumentará, de modo que la presión parcial del oxígeno de su aire pronto tendrá el valor crítico de 29.4 psia.

Un acuanáuta con aire en su aparato autónomo debe limitarse a 298.3 ft (93.2 mts.) de profundidad para mantenerse dentro de los límites de seguridad para el buceo con oxígeno-puro.

II.3.2 LEY GENERAL DEL ESTADO GASEOSO.- Para deducir la ley general del estado gaseoso es necesario que nos basemos en la LEY DE BOYLE y en la LEY DE CHARLES-LUSSAC, es por esto que haré una somera revisión de ellas.

LEY DE BOYLE.- Robert Boyle en 1662 dedujo su principio que dice: EL VOLUMEN DE CUALQUIER CANTIDAD DEFINIDA DE GAS A TEMPERATURA CONSTANTE VARIA INVERSAMENTE A LA PRESION DEL GAS.

$$(10) \dots \dots \dots V \propto \frac{1}{P}$$

$$V = \frac{K_1}{P}$$

En su forma más conocida:

$$(11) \dots \dots \dots PV = K_1$$

Comparando dos estados diferentes (condiciones de presión diferente) tenemos:

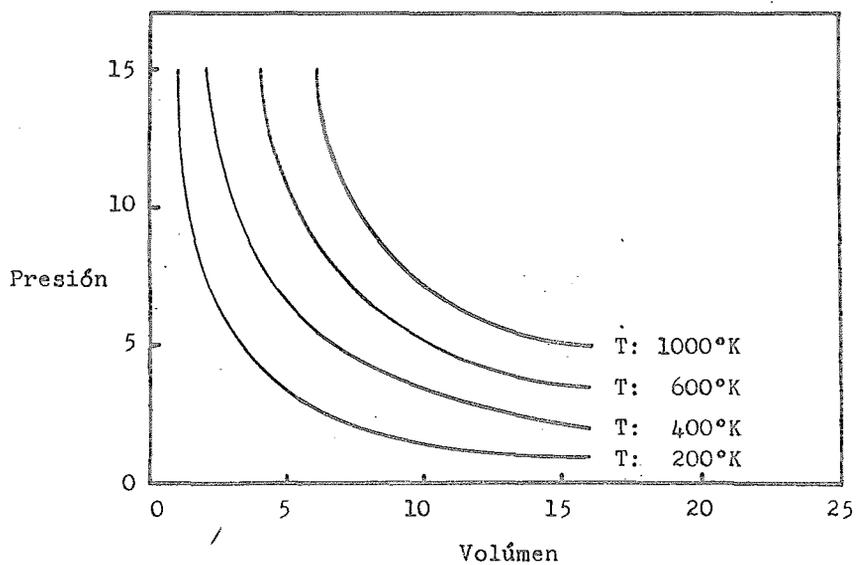
$$(12) \dots \dots \dots P_1 V_1 = K_1 = P_2 V_2$$

o bien:

$$(13) \dots \dots \dots \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

Si graficamos la presión contra el volumen, de acuerdo a la ecuación (11) obtendremos una serie de isotermas en forma de hipérbolas con valores diferentes de K_1 (véase Gráfica-II.3.2-a).

La ecuación (13) nos permitirá conocer el volumen de aire residual después de una inmersión, de la siguiente manera:



Presión : Atm

Volúmen : Litros

GRAFICA II.3.2-a Isothermas. Presión - Volúmen
de acuerdo a la Ley de Boyle

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2} \text{ ecuación (14)}$$

P_1 y V_1 son constantes para un determinado cilindro (véase Tabla II.3.2-C) y P_2 se obtiene por medio de la lectura del manómetro del cilindro y de esta manera se obtiene V_2 :

$$(15) \dots \dots \dots V_2 = \frac{V_1}{P_1} P_2$$

La relación V_1/P_1 será constante para cada tipo de tanque por lo que la ecuación (15) se puede poner como:

$$(16) \dots \dots \dots V_2 = K P_2$$

$$(17) \dots \dots \dots K = \frac{V_1}{P_1}$$

(valores de "K" para cada tanque; en la Tabla II.3.2-C)

LEY DE CHARLES-LUSSAC .- Charles en 1787 observó que el hidrógeno, aire, bióxido de carbono, oxígeno en forma gaseosa se expanden en igual cantidad cuando se calientan de 0°C a 80°C -presión constante-. Gay Lussac en 1802 observó que para todos los gases el incremento en volumen por cada grado centígrado de aumento en la temperatura era aproximadamente 1/273.15 del volumen del gas a 0°C.

De acuerdo con la -ley de Gay Lussac- : EL VOLUMEN DE UN GAS A CUALQUIER TEMPERATURA SE DA POR LA SIGUIENTE ECUACION:

$$(18) \dots \dots \dots V = V_0 + \frac{t}{273.15} V_0$$

$$V = V_0 \left[1 + \frac{t}{273.15} \right]$$

$$(19) \dots \dots \dots V = V_0 \left[\frac{273.15 + t}{273.15} \right]$$

V ; VOLUMEN A LA TEMPERATURA t : V₀ ; VOLUMEN DEL GAS A 0°C
t ; TEMPERATURA DE TRABAJO EN °C.

TABLA 11.3.2-C

Volumen Comercial	* Volumen pies ³	V ₁ litros	Tamaño		** Pres. Trab.		Cte. V ₁ /P ₁	Vol. Cilin.	
			pulgadas	centrímetros	lb/pulg ²	kg/cm ²		pulg ³	litros
38	38	1076	6.5x19	16.5x48.3	1800	126	0.0211	535	8.77
38	38	1076	5x22.9	12.7x58.2	2250	157.5	0.0169	426	6.99
42	38 a	1076 a	6.8x18.8	17.2x47.6	1880	131.6	0.0204	505	8.28
44	40	1133	5x23	12.7x58.4	2600	182	0.0154	390	6.40
48	48.3 b	1768	...	...	1800	126	0.0268	676	11.08
50	45 c	1274 c	6.8x18.8	17.3x47.6	2250	157.5	0.0200	508	8.33
70	61.3 d	1736 d	6.5x25	16.5x63.5	2150	150.5	0.0285	720	11.81
71.2	64.7 e	1832 e	6.5x25.2	16.5x64	2250	157.5	0.0288	730	11.99
75	71.2 f	2016 f	7x26.5	17.8x67.3	2400	168	0.0297	750	12.3

* V.1 a presión atmosférica ** en el cuello del tanque

a: 42 pies³ con un 10% de sobrepresión de trabajo.

b: cilindro pa a equipo sencillo.

c: 49 pies³ con un 10% de sobrepresión de trabajo.

d: 67.4 pies³ con un 10% de sobrepresión de trabajo, 2365 psig.

e: 71.2 pies³ con un 10% de sobrepresión de trabajo, 2475 psig.

f: Presión de trabajo 10% mayor, 2640 psig.

Según lo anterior podemos decir que cualquier temperatura estará dada por:

$$(20) \dots\dots\dots T = 273.15 + t$$

$$(21) \dots\dots\dots \text{TEMPERATURA DE } 0^{\circ}\text{C} = T_0 = 273.15^{\circ}$$

La ecuación (19) de acuerdo a las ecuaciones (20), (21); quedará:

$$(22) \dots\dots\dots \frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}$$

o de manera general:

$$(23) \dots\dots\dots \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

La escala de temperatura utilizada en la ecuación (20) - se denomina la escala absoluta o escala Kelvin. En función de esta escala la ecuación (23) dice: EL VOLUMEN DE UNA CANTIDAD DEFINIDA DE GAS A PRESION CONSTANTE, ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A SU TEMPERATURA ABSOLUTA.

$$(24) \dots\dots\dots V = K_2 T$$

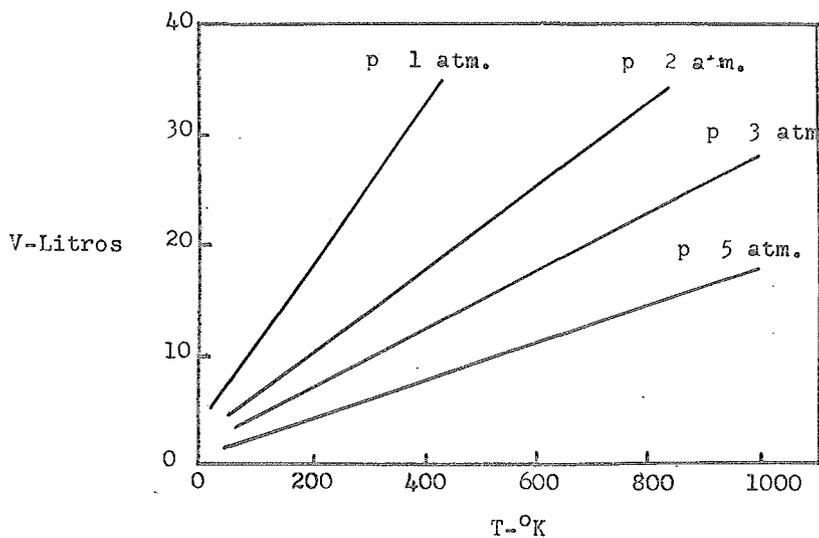
Las ecuaciones (23), (24) son expresiones de la Ley de - volúmenes- de Charles y Gay-Lussac.

Si se mantiene la presión constante y se hace variar el volumen con la temperatura, se obtiene una serie de isóbaras, dando una gráfica. (véase Gráfica II.3.2-a')

Las dos leyes anteriores (Boyle y Charles-Lussac) nos presenta la variación del volumen de un gas con respecto a la presión y a la temperatura, de manera separada. Para obtener la variación simultánea del volumen con la presión y temperatura haré lo siguiente:

a) Consideremos una cantidad de gas a P_1 , V_1 , T_1 ; Manteniendo la temperatura constante ($T_1 = \text{cte.}$), haremos variar la presión de P_1 a P_2 y obtendremos una variación del volumen (-ley de Boyle-). Este nuevo volumen lo llamaremos V_x :

$$(25) \dots\dots\dots \frac{V_x}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$$



GRAFICA II.3.2-a' Isóbaras. Volúmen - Temperatura de acuerdo a la Ley de Charles

Presión	Vol.	Temp.	n	R
Atm.	Ltrs.	K	g-mol	0.08205
Atm.	cc.	K	g-mol	82.05
Dina/cm ² (ergio)	cc.	K	g-mol	8.314 por 10 ⁷
mm Hg	cc	K	g-mol	62,360
R en joule		K	g-mol	8.314
R en cal.		K	g-mol	1.987

TABLA II.3.2-D Valores de R en varias unidades

$$(26) \dots\dots\dots V_x = \frac{V_1 P_1}{P_2}$$

b) La cantidad de gas con las condiciones V_x , P_2 , T_1 - (ya que la temperatura se mantuvo constante), se calienta de T_1 a T_2 manteniendo P_2 constante. Las condiciones finales del gas serán: P_2 , T_2 y obtendremos un volumen V_2 por medio de - la ley de Charles-Lussac:

$$(27) \dots\dots\dots \frac{V_2}{V_x} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$(28) \dots\dots\dots V_2 = \frac{V_x T_2}{T_1}$$

sustituyendo en la ecuación (28) el valor de V_x :

$$V_2 = \frac{V_x T_2}{T_1} = \frac{P_1 V_1 T_2}{P_2 T_1}$$

rearrreglando términos:

$$(29) \dots\dots\dots \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{constante} = K_3$$

Es decir la relación PV/T para cualquier estado dado de un gas es constante. De la ecuación (29) se obtiene:

$$(30) \dots\dots\dots P V = K_3 T$$

De la ecuación (30) concluimos que las -leyes- de Boyle y de Charles-Lussac se cumplen:

$$\text{si } T = \text{Constante ; } P V = K_3 T = K_1 \text{ Ley de Boyle}$$

$$\text{si } P = \text{Constante ; } V = \frac{K_3}{P} T = K_2 T \text{ Ley de Charles-Lussac.}$$

El valor numérico de K_3 en la ecuación (30) es directamente proporcional al número de moles de gas utilizados.

Por conveniencia, K_3 se reemplaza por la expresión:

$$(31) \dots \dots \dots K_3 = Rn$$

Donde n es el número de moles que ocupan un volumen V a una presión P y a una temperatura T , mientras que R es la constante de los gases por mol. $-R-$ expresado de ésta manera se convierte en la constante universal de todos los gases y la ecuación (30) quedará:

$$(32) \dots \dots \dots PV = nRT$$

La ecuación (32) nos representa la LEY GENERAL DEL ESTADO GASEOSO para gases -IDEALES-.

Para el cálculo de " R ", nos valemos del principio de que UNA MOL DE CUALQUIER GAS -IDEAL- A CONDICIONES ESTANDAR (ATPN) es decir a 0°C y 1 atm. de presión OCUPA UN VOLUMEN DE 22.413 litros (LEY DE AVOGADRO). De la ecuación (32) tenemos:

$$(33) \dots \dots \dots R = \frac{PV}{nT}$$

Los valores de $-R-$ de acuerdo a las unidades de volumen presión y temperatura usadas, se dan en la Tabla II.3.2-D.

La ecuación (32) es la -ley general del estado gaseoso- para gases -ideales-. Con el fin de poder aplicar esta ley a los gases reales, se introduce un factor de corrección que se denomina FACTOR DE COMPRESIBILIDAD ; Z .

El -factor- " Z " depende de las propiedades intensivas de la materia (tamaño de la molécula, su polaridad, trayectoria libre media, fuerzas intermoleculares de Van der Waals, temperatura crítica, presión crítica, etc., todas ellas interrelacionadas entre sí). Una propiedad intensiva de la materia es aquella que no depende de la cantidad de substancia sino de la naturaleza de la partícula.

Introduciendo el factor de compresibilidad la ecuación (32) queda:

$$(34) \dots \dots \dots PV = ZnRT$$

La ecuación (34) representa la -ley general del estado gaseoso para gases -reales-.

La capacidad de los pulmones no cambia pero se agrega una atmósfera de presión cada 33.9 ft (10.33 mts.) de descenso. Al bucear a una profundidad de 10.33 mts., tendrá el acuanaduta en los pulmones el doble de la masa de aire que tenía en la superficie, pero el volumen de los pulmones en sí no cambia, esto se debe al presionamiento a que se somete el cuerpo. Se tiene el doble de masa de aire ya que habrá una atmósfera de aire de la superficie en los pulmones y otra agregada por medio del regulador de demanda.

J.B.S. Haldane un acuanauta y además experto fisiólogo, concluyó que el valor medio por inhalación de aire de un individuo es de $0.895 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($25.34 \text{ lt}/\text{min}$).

De acuerdo con este dato se dedujo la siguiente relación que nos permite conocer el tiempo de duración de la mezcla gaseosa de un cilindro determinado a la profundidad deseada:

$$(35) \dots \dots \dots \left[\frac{d}{33.9} + 1 \right] 0.895 = Q$$

$$\frac{C}{Q} = t$$

d ; PROFUNDIDAD EN ft

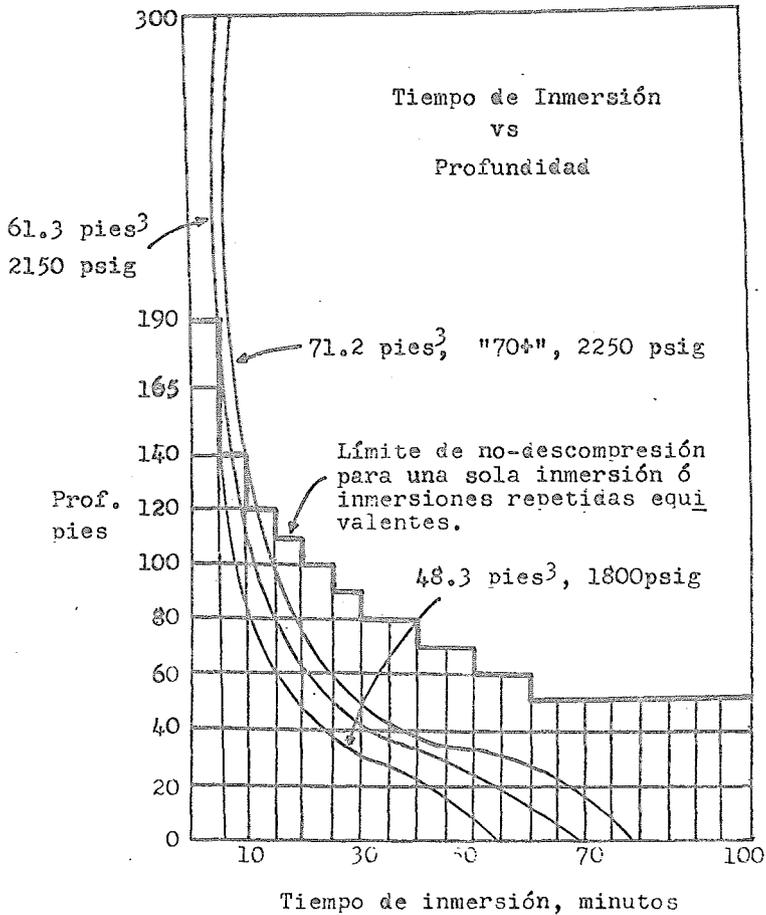
Q ; CONSUMO DE AIRE EN ft^3/min

C ; CAPACIDAD DEL TANQUE ft^3

t ; TIEMPO DE DURACION EN min.

La Gráfica II.3.2.aa nos da el tiempo de inmersión contra profundidad. La curva muestra los cilindros comerciales comunes para buceo y el tiempo de inmersión que se puede esperar a una velocidad de consumo de $0.895 \text{ ft}^3/\text{min}$ (a 1 atm. de presión). Sin tomar en cuenta el consumo de aire durante el ascenso y el descenso. Los cilindros se supone que están llenos al principio de la inmersión a la presión de trabajo. El tiempo real de la inmersión es altamente variable de un individuo a otro.

GRAFICA II.3.2-aa

Gráfica de Tiempo de inmersión contra
profundidad

II.4. TEMPERATURA

A medida que desciende, el acuanauta descubrirá muy pronto que el aumento de presión no es el único cambio que encontrará. Generalmente, la temperatura disminuye al aumentar la profundidad.

En el frío aumenta el ritmo de la respiración, porque el cuerpo humano requiere mayor combustión de oxígeno para mantenerse caliente. La ley general del estado gaseoso, también toma en cuenta la temperatura y podemos ver en la ecuación (24) que el volumen guarda una relación directa con la temperatura; cuando el volumen de aire disminuye es debido a una disminución de la temperatura y si el volumen disminuyó el tiempo de permanencia de la inmersión será menor.

La temperatura también afecta al equipo. Por ejemplo, en el diseño de un profundímetro, se supone que la temperatura de calibración es constante. Cuando se usa, dentro del agua, un profundímetro que, en realidad, es un manómetro, la temperatura puede ser más alta o más baja que la que se usó en su calibración. Como resultado de esta variación de la temperatura, tendremos un error en la lectura del manómetro.

La temperatura afecta la densidad del agua (Tabla II.1-A) La variación de la densidad del agua trae como consecuencia un fenómeno conocido como termoclinio.

II.4.1. TERMOCLINO.- El termoclinio es un fenómeno que existe bajo la superficie del agua, donde las capas calientes superficiales están separadas de las capas frías inferiores por una película invisible. Esta "película" consiste en una capa delgada de agua en movimiento, que forma una interfase entre la superficie caliente del agua y la superficie fría de las profundidades y que forma al termoclinio propiamente dicho.

Un poco después de la formación del termoclinio, los peces se encontrarán únicamente arriba de esta "película", en el agua tibia. La importancia del conocimiento del termoclinio es que los peces no se pueden encontrar debajo de la película interfásica por mucho tiempo ya que se ahogarán.

La explicación a la falta de oxígeno debajo de la película interfásica es que la existencia de plantas verdes productoras de oxígeno por la presencia de luz solar es muy escasa y que el oxígeno disuelto por el batir de las olas no puede penetrar por absorción a las capas profundas puesto que el termoclinio actúa como una película de resistencia. Esto significa que el oxígeno de las capas inferiores está siendo agotado constantemente por las criaturas vivientes en las capas profundas y por la descomposición de materia orgánica, hasta que prácticamente no queda nada.

El termoclinio se forma a diferentes profundidades en el océano pero en el 90% de los lagos ordinariamente se forma a una profundidad aproximada a los 7.5 mts.

II.5 QUEMISORCION

La adsorción es un proceso que esencialmente consiste en la concentración interfacial de sustancias químicas entre dos fases. La sustancia sobre cuya superficie se lleva a cabo la adsorción se denomina Adsorbente. Las interfases pueden ser sólido-líquido, líquido-líquido, gas-líquido, o bien sólido y gas, que es específicamente la que se lleva a cabo entre el dióxido de carbono producido por el metabolismo, y el hidróxido de bario que actúa como adsorbente.

En la sección IV.8, se verá el diseño de la columna de adsorción con que cuenta el Electrolung. Los mejores adsorbentes sólidos son aquellas sustancias de gran porosidad, tales como el platino finamente dividido, el carbón de madera, la sílica gel etc.. Su ventaja radica en que presentan una gran superficie de área, superior a la de las sustancias no-porosas. El proceso de adsorción de gases por sólidos tiene las siguientes características fundamentales:

- 1.- La adsorción es selectiva; es decir, algunos gases son altamente adsorbidos, otros solo ligeramente y algunos no son adsorbidos, por un determinado adsorbente.
- 2.- La adsorción es muy rápida. La velocidad de adsorción, depende del grado de saturación del adsorbente, siendo evidentemente, más rápida, cuando el adsorbente sólo tiene pequeñas porciones saturadas.
- 3.- El grado de adsorción depende de la temperatura. Entre más cerca se encuentre la temperatura del gas de su temperatura crítica (1), mayor será el grado de adsorción.
- 4.- El grado de adsorción depende del área superficial del adsorbente. Entre más poroso sea el adsorbente, mayor superficie de área de contacto presentará.
- 5.- La adsorción también depende de la naturaleza química del adsorbente así como de su calidad de producción.
- 6.- El grado de adsorción por unidad de peso de adsorbente, dependerá de la presión parcial del gas adsorbido. A mayor presión parcial del gas adsorbido, mayor será la adsorción por unidad de peso de adsorbente (gráficas II.5-A y II.5-B).
7. La adsorción en la mayoría de los casos es reversible.

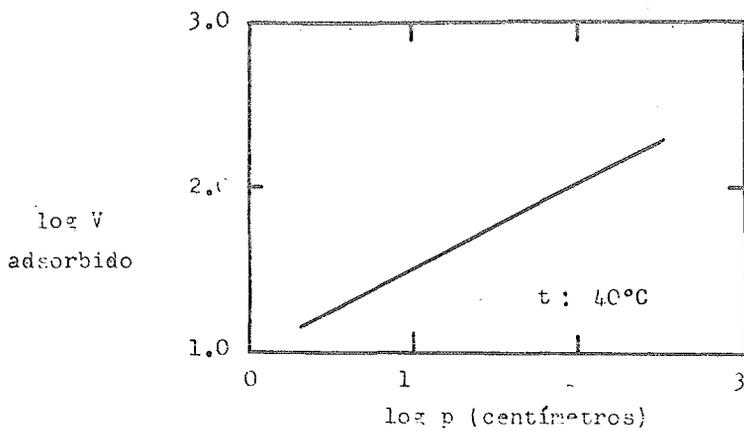
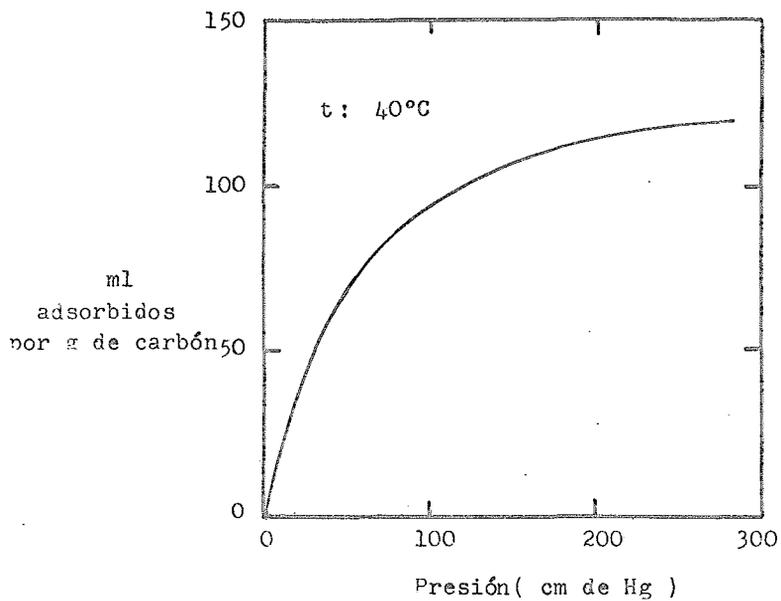
La relación que guardan la presión y el gas adsorbido (cantidad de gas adsorbido), está dada por la ecuación empírica de Freundlich:

$$\frac{x}{m} = k p^b$$

o o o o o

(1) La temperatura crítica se define como el valor máximo de temperatura, a que el gas se puede licuar; encima de ese valor la licuefacción del gas no es posible aunque el valor de la presión sea muy elevado.

GRAFICA II.5-A



GRAFICA II.5-B

El significado de los parámetros de la ec. de Freundlich es:

x: gramos de sustancia adsorbida
 m: gramos de adsorbente
 p: presión parcial del gas adsorbido
 k, b: constantes empíricas

El fundamento de la gráfica II.5-A es precisamente esta ecuación y el de la gráfica II.5-B también lo es la ecuación de Freundlich solo que en forma logarítmica:

$$\log \frac{x}{m} = \log k + b \log p$$

La pendiente de la recta obtenida es la constante b y la intersección con el eje de las ordenadas, nos muestra el punto en el que el logaritmo de la presión es igual a cero.

Isotermas de adsorción.- Para desarrollar la cinética de las reacciones catalíticas sólidas es necesario tener disponible una expresión que correlacione la velocidad y la cantidad de adsorción a la presión parcial del gas en contacto con la película adsorbida en la superficie. En equilibrio y a la temperatura manteniéndola constante, esta relación entre la presión y la masa se le conoce como isoterma de adsorción. La ecuación de Freundlich, antes enunciada, es una isoterma de adsorción.

Langmuir, presentó una isoterma específicamente para la que-
 misorción y limitada a una capa monomolecular. Sus derivaciones se pueden hacer empleando como medida de la cantidad adsorbida, ya sea la fracción de la superficie cubierta o la concentración del gas adsorbido en la superficie.

Langmuir consideró varias suposiciones, las cuales son factibles de aplicarse también al caso que nos ocupa con respecto a la adsorción del CO₂ por el Ba(OH)₂:

- 1.- Toda la superficie del adsorbente tiene la misma actividad para la adsorción.
- 2.- No existe interacción entre las moléculas adsorbidas; es decir que la cantidad adsorbida no tiene efecto en la velocidad de adsorción.
- 3.- Toda la adsorción tiene lugar mediante el mismo mecanismo. Considerando que en un sistema gas-sólido, las moléculas chocarían continuamente con la superficie sólida y una fracción de ellas quedaría adherida al adsorbente. Sin embargo, debido a su energía rotacional y vibracional, las moléculas más energéticas se desprenderían continuamente de la superficie, por lo que es necesario considerar un estado de equilibrio en el sistema con el fin de calcular cuantitativamente el proceso.

La velocidad de adsorción será igual al número de colisiones n_c , de las moléculas del gas con la superficie por segundo, multiplicada por un factor F que representa la fracción de las moléculas que chocan y que se adhieren. A una temperatura fija, las colisiones son proporcionales a la presión p del gas y a la fracción F

que es constante. Por lo que la velocidad de adsorción por unidad de superficie limpia será $n_c F$ y a su vez, ésta es igual a kp , donde k es una constante que involucra a la fracción F y a la proporcionalidad entre n_c y p .

Puesto que la adsorción se limita a capas monomoleculares, la superficie puede dividirse en dos partes: la fracción C , cubierta por una capa monomolecular de moléculas adsorbidas y la fracción $1-C$ que está descubierta. Como solo las moléculas que golpean el adsorbente pueden ser adsorbidas, la velocidad de adsorción es proporcional a $1-C$, por lo que:

$$r_a = kp(1-C)$$

En donde la velocidad r_a , es por superficie total unitaria. La velocidad de adsorción será proporcional a la fracción C de la superficie cubierta :

$$r_a = k'C$$

Iguando estas dos ecuaciones, de velocidades en el equilibrio, y resolviendo para la fracción de superficie que está cubierta:

$$C = \frac{kp}{k' + kp} = \frac{Kp}{1 + Kp}$$

donde $K = k/k'$ cte. de adsorción en el equilibrio

Como resultado de los adelantos en las últimas décadas, generalmente se acepta que pueden presentarse dos tipos de adsorción. El primero, llamado adsorción física, es un proceso similar al de condensación. Los procesos que atraen a las moléculas del fluido a la superficie sólida, generalmente son débiles y el calor desprendido durante el proceso de adsorción es del mismo orden de magnitud que el calor de condensación, esto es, de 1 a 20 000 cal/gmol. Como las fuerzas de atracción entre las moléculas del fluido y las átomos de la superficie corresponden a las supuestas en la ley de Van der Waals (1), para los gases perfectos, este tipo de proceso se denomina adsorción de Van der Waals.

El segundo, denominado quemisorción, debido a la reacción llevada a cabo entre las moléculas del gas que se adsorbe y los átomos de adsorbente. Al igual que en la adsorción física, la completa saturación del adsorbente, se obtendrá con una capa molecular. El calor de la quemisorción es mucho mayor que el de la adsorción física.

En muchos casos de adsorción de un gas, la molécula es adsorbida como un todo; en otros casos, como con el hidrógeno (platino negro, como catalizador) el proceso se lleva a cabo de manera atómica, es decir la molécula es "rota" en sus átomos y posteriormente se lleva cabo la adsorción.

Taylor sugirió el nombre de "quemisorción" para describir y distinguir este tipo de combinación de moléculas gaseosas con su-

verficies sólidas. Una característica importante de la quemisorción es que su magnitud no excederá de manera apreciable a la que correspondería a una capa monomolecular. Esta limitación se debe al hecho de que las fuerzas de valencia que retienen a las moléculas en la superficie, disminuyen con la distancia. Estas fuerzas se hacen demasiado pequeñas para formar un compuesto de adsorción, cuando las distancias de la superficie son mucho mayores que las distancias usuales de enlace.

Es por todo lo anteriormente dicho que el fenómeno que se lleva a cabo en la columna de depuración de la mezcla gaseosa del Electrolung, se considere una adsorción y no una absorción.

ooooo

(1) Ecuación de Van der Waals, para las desviaciones de los gases - de la ley de los gases ideales:

$$(P + an^2/V^2)(V-nb) = nRT$$

si se considera solo 1 mol de gas :

$$(P + a/V^2)(V-b) = RT$$

a/V^2 : término correctivo de la presión denominado " presión de cohesión "

n : número de moles

V : volúmen

a : constante característica de un gas

b : constante característica para un gas

T : temperatura

R : constante de los gases

Constantes de Van der Waals para algunos gases

Gas	a(atm x mol ⁻² lt ²)	b(lt x mol ⁻¹)
Hidrógeno	0.224	2.66 x 10 ⁻²
Helio	0.034	0.0237
Nitrógeno	1.39	0.0391
Bióxido de Carbono	3.59	0.0427

III PRINCIPIOS BASICOS DE OPERACION DEL S.C.U.B.A., CIRCUITO ABIERTO Y CIR CUITO CERRADO.

Todos los aparatos -autónomos de respiración subacuática- se encuentran divididos en dos grandes grupos: SCUBA Circuito-Abierto, SCUBA Circuito Cerrado. (1)

III.1 SCUBA CIRCUITO-ABIERTO

Este tipo de aparato es el que presenta un uso más común - que el de cualquier otro en ésta actividad.

Las partes principales de que consta un SCUBA Circuito Abierto son el -REGULADOR- y el -TANQUE- ; como accesorios secundarios tenemos el cinturón de lastre, visor, aletas, etc.

REGULADOR .- El uso de la palabra Venturi se ha hecho muy popular últimamente para indicar una adición al sistema usual - de flujo de un -regulador-. En realidad, puede usarse gran número de palabras igualmente descriptivas, quizás con más claridad en relación con su verdadera aplicación.

El dispositivo llamado Venturi es un regulador de buceo, - se define más apropiadamente como una tobera medidora del gasto. Esta tobera es un tubo con un orificio que converge en el extremo de descarga.

El fluido que sale del difusor o sección divergente del venturi, se expande rápidamente, de acuerdo con la -ley de Bernoulli- y puede causar un vacío parcial en el área alrededor de la salida. Acoplando esta unidad a otro venturi mayor, se tendrá - una bomba de inyección convencional. Afortunadamente se puede - producir un efecto similar en menor intensidad con solo dirigir una corriente de aire en expansión dentro del tubo de salida -- del -regulador-, (manguera de toma del buzo) se expande con rapidez fuera de la caja en sí, reduciendo así en gran medida la presión estática dentro de la caja. El resultado será una mayor abertura del orificio, debido al jalón del diafragma, y su esfuerzo de succión se multiplica sin un esfuerzo mayor de respiración de su parte. El proceso resultante, se describe mejor como el de un eyector o bomba de inyección más bien que como un - venturi.

o o o o o

(1) SCUBA (Self Contained Underwater Breathing Apparatus). APARATO AUTONOMO DE RESPIRACION BAJO EL AGUA. La traducción de las siglas SCUBA determinan la descripción del equipo correspondiente. (En nuestro país se ha vuelto una costumbre llamar a cualquier equipo de circuito abierto, Aqua-Lung. Esto es erróneo, - ya que Aqua-Lung sólo es una de las muchas marcas de equipo que existen en el mercado)

Vale la pena mencionar que la tobera u orificio produce un efecto secundario, aparte de la ayuda al esfuerzo de succión.

El regulador funciona al menor cambio de presión - dos a - cuatro pulgadas de profundidad- dependiendo del tamaño y de la sensibilidad de presión del diafragma que abre la válvula de entrada de aire, misma que regula el flujo de aire.

El regulador está colocado de manera que la presión en el interior de los pulmones y en el diafragma estén siempre lo más equilibradas que sea posible, sin importar la posición del buceador.

La salida de aire se localiza cerca del diafragma del regulador para que las presiones negativa y positiva se balanceen. En el caso de que ocurriera una falla será "falla segura"; es decir el suministro de aire será continuo y nunca un corte brusco en él.

Hay varios tipos de reguladores como el de una etapa y de dos mangueras; el de dos etapas y de dos mangueras; el de dos etapas y de una manguera y por último el de dos etapas y de una manguera, con visor que cubre la cara.

El regulador constituye el "corazón" del buceo con SCUBA. Como ya se dijo, para poder bucear es necesario que al organismo humano se le proporcione aire en cantidades adecuadas, a la misma presión que la presión hidrostática a la cual está el sujeto sometido. Todo esto lo hace el regulador en forma automática. El mecanismo básico -común a todos los reguladores- inventado por Cousteau y Gagnan, consiste en un diafragma de hule o neopreno, una de cuyas caras está en contacto con el agua; la otra cara forma parte de la cámara de aire del regulador y además está en contacto -por medio de una placa metálica circular- con un sistema de palancas y resortes que actúa sobre la válvula de control de entrada de aire al regulador. Al aumentar la presión hidrostática sobre el lado correspondiente del diafragma, éste se flexiona. Este movimiento es transmitido y amplificado por el sistema de palancas que actúa sobre la válvula de entrada de aire, abriéndola y permitiendo la entrada del aire a presión al regulador. El diafragma regresa a su posición de equilibrio en cuanto la presión de aire en el interior del regulador y la presión hidrostática sean iguales y por lo tanto el sistema de palancas cierra, en ese instante, la válvula de aire.

Una secuencia similar se produce al inhalar el buceador, -esto es, disminuye la presión en el interior del regulador, se flexiona el diafragma -por ser mayor la presión hidrostática en ese momento-, se abre la válvula de entrada de aire y éste fluye a través del regulador y sus pasos de reducción de presión- hasta la boquilla. En esta forma se obtiene, automáticamente, aire a la presión adecuada.

En lo que se refiere al volumen de aire, éste dependerá -no sólo del calibre de la válvula, como se podría pensar, sino

tambien del diseño del mecanismo del regulador (tipo de regulador).

Como regla general, mientras mayor sea el precio de un regulador (sin accesorios) mayor será el volumen de aire que el regulador pueda proporcionar. Los reguladores de precio módico (\$1300 M/N) son solo adecuados para buceo a poca profundidad (20 mts. a 30 mts) y a condición de no hacer grandes esfuerzos.

En lo que se refiere al uso de reguladores de una o dos mangueras, esto es de preferencia mas bien personal, siendo el de una manguera el tipo que mas han desarrollado los fabricantes ultimamente.

TANQUES.- Los tanques forman, junto con el regulador, el equipo de respiración del buceador. Estos tanques deben ser muy resistentes debido a que la presión inicial del aire o mezcla gaseosa dentro de ellos fluctua entre 1800 y 2250 psig. Los tanques bienen provistos de válvulas, que no solo permiten la conexión de los mismos a los reguladores, sino que tambien incorporan el dispositivo de reserva, la cual es generalmente una reserva constante. La válvula de tipo "J" es la que proporciona este tipo de reserva. La válvula "J" es de facil reconocimiento por accionarse con una palanca y un tirante colocados en la parte exterior del tanque. Generalmente se piensa que los tanques tienen un doble fondo que constituye la reserva, lo cual es erróneo ya que dicha reserva constante consiste en una válvula y un resorte calibrado. Siempre y cuando la presión del aire en el tanque sea mayor a 300 psig. -para tanque sencillo, 500 psig. para dos tanques- la válvula estará abierta.

Al descender la presión en el tanque a 300 psig o 500 psig, según el caso- la fuerza del resorte calibrado será mayor que dicha presión y cerrará la válvula. Al abrir el acuanauta manualmente su reserva, lo que hace es abrir la válvula contra la fuerza ejercida por el resorte, pasando, ahora sí, el aire a 300 psig o menos al regulador. El volumen de aire contenido en el tanque a esta presión constituye la reserva.

III.2 SCUBA CIRCUITO-CERRADO

El pulmón de circuito cerrado no expulsa hacia el agua la respiración exhalada por el buzo, ni tampoco usa aire como medio de respiración, como hace el pulmón regular, sino que emplea un cilindro de oxígeno puro.

La respiración que exhala el buzo pasa a un receptor o bolsa de respiración, después, a través de un bote lleno, ya sea con hidróxido de bario o cal sodada (lo primero es preferible porque es más seguro en su uso) donde se elimina el bixido de carbono, y el oxígeno entonces se puede volver a respirar.

El oxígeno en su estado puro es mucho más peligroso para usarse que el aire. Este punto, por sí solo, es la principal razón para que el público, que es cada vez mayor, cambie del circuito cerrado a un pulmón de demanda que use aire. El aire es mezcla que todos sabemos que podemos respirar sin efectos secundarios, mientras que el oxígeno afecta a los individuos en diferentes maneras. Algunos buzos se han enfermado tan sólo al usarlo en una alberca. Otros han bajado con oxígeno más allá de los límites de seguridad sin mostrar síntomas de enfermedad.

El hidróxido de bario es el material adsorbente de bióxido de carbono más seguro que se usa (aunque no es el más eficiente), pues no reacciona con el agua para formar sosa cáustica, y tiene un indicador que cambia de color cuando casi se ha agotado. Sin embargo, el indicador sólo sirve cuando el hidróxido de bario se ha mantenido relativamente seco, como en el caso de los hospitales, no cuando está sujeto a todos los abusos que se pueden esperar del uso diario en el buceo; por lo tanto, no debe dependerse del indicador para que muestre el estado de agotamiento del bario. Esto es advertencia para los buzos que no cambian el bote cada vez que llenan el tanque, por lo cual, deberán llevar una tabla precisa del tiempo que se ha usado cada carga.

Cuando se usa un circuito cerrado no es cuestión de colocarse sencillamente la boquilla y sumergirse como con el pulmón de aire. Es muy importante eliminar el nitrógeno encerrado en los pulmones y en la bolsa de respiración, pues este aire puede estimular el envenenamiento por oxígeno. Por lo tanto, debemos "purgar" o "limpiar" el sistema de todo el aire, dentro de lo razonable.

Esta operación es simple y efectiva; la bolsa de respiración puede ser despejada abriendo la válvula de tres pasos a la posición de bolsa, y apretando aquella hasta aplastarla. Mientras la bolsa está aún aplastada o reducida a la capacidad mínima de inflación, la válvula está cerrada. La bolsa se infla ahora con oxígeno a su tamaño normal, por medio de la válvula de aguja, que tiene para medir el oxígeno dentro de la bolsa.

El control de la flotabilidad puede ser un problema, porque cuando usted inhala, la bolsa se deprime, causando la pérdida del desplazamiento de agua que previamente había reducido. El pecho se expande en el proceso, pero no es tan flexible como la bolsa de respiración; por lo tanto, el aumento del volumen exterior puede no ser igual al volumen disminuido de la bolsa; sin embargo, si la inmersión se hace correctamente, no tendrá mucha dificultad con el sistema. El peso que se agregará será el suficiente sólo para sumergir al buzo con la cantidad máxima de oxígeno fuera de la bolsa. La tendencia de flotabilidad puede ser regulada por medio del control de respiración.

La gran diferencia entre los dos tipos de pulmones es ahora muy notoria; el pulmón de circuito abierto expulsa el aire eshalado directamente entre el agua, el buzo no lo vuelve a usar, mientras que la exhalación de circuito cerrado se regresa, a la bolsa de respiración. El resultado es "silencio". Para el buzo acostumbrado al ruido que hace el aire cuando sale del regulador, es una sensación muy extraña.

Mientras el buzo desciende, tendrá necesidad de medir más oxígeno dentro de la bolsa para mantener la capacidad de seada de respiración, puesto que al aumentar la presión del agua comprimirá el oxígeno en la bolsa. El presionamiento no le hará gastar oxígeno en tanto que usted se quede al mismo nivel o baje más. Si usted asciende, la presión en la bolsa será mayor que la del agua, y debido a esta sobrepresión, el oxígeno se escapará por la comisura de la boca del visor. Como esta pérdida de oxígeno le costará tiempo de buceo, es poco práctico subir más seguido que lo necesario, lo contrario exactamente del circuito abierto, en el cual se consume menos aire cuanto más cerca se está de la superficie.

El mayor acierto del circuito cerrado consiste en que es más manuable que la mayoría de los pulmones de circuitoabierto; pesa menos y, generalmente, es más pequeño, y usa un gas que se puede obtener con mucha facilidad casi en cualquier parte del mundo, oxígeno de soldar. Su gran ventaja es el límite de seguridad en la profundidad, 36 pies (11 m), y la variedad de reacciones del individuo al respirar oxígeno puro.

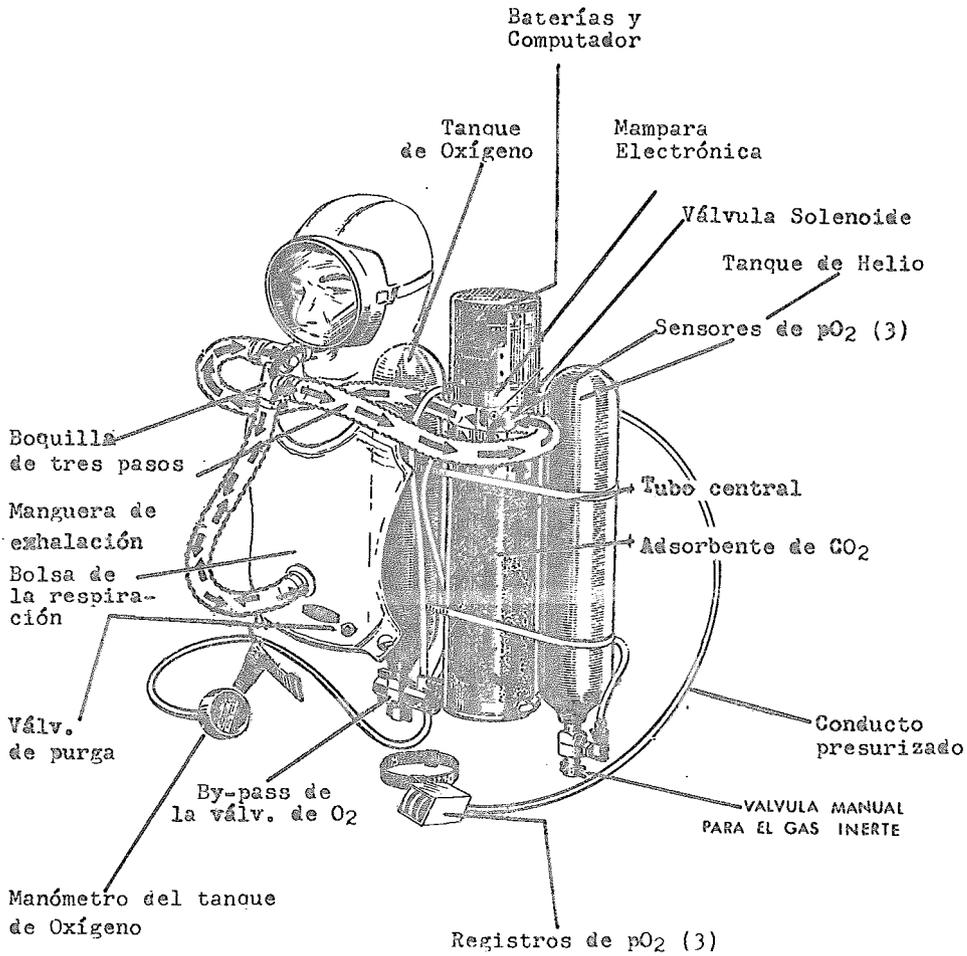
III.3 SCUBA DE CIRCUITO SEMICERRADO

El SCUBA de circuito semicerrado es esencialmente un dispositivo de circuito cerrado especial, con varias innovaciones que permiten el uso de mezclas gaseosas para reducir el peligro de la narcosis del oxígeno y aumentar el tiempo de buceo más allá de lo posible, con los sistemas de circuito abierto del mismo tamaño físico. La mezcla gaseosa es generalmente una mezcla de alta concentración de nitrógeno-oxígeno, donde un inyector continuo hace circular los gases para reducir la concentración de nitrógeno. La exhalación pasa a través de un adsorbente de CO₂ (bióxido de carbono), como en el circuito cerrado, y una válvula de purga continua o intermitente hace que el gas escape del sistema.

Los aparatos de circuito cerrado o semicerrado comparten una habilidad en común para actuar a cualquier profundidad razonable sin detrimento del tiempo de inmersión. El tiempo de inmersión de los circuitos abiertos disminuye con la profundidad por el aumento del consumo volumétrico y desecho en cada respiración, debido al aumento hidrostático de la presión ambiente.

Este sistema fue escogido, debido a que está relativamente libre del peligro de respirar oxígeno puro; sin embargo, posee la habilidad para aumentar el tiempo útil en el fondo por medio de la respiración repetida, controlada y recirculación.

El regulador requerido para un aparato de circuito se micerrado pertenece más al orden de un regulador de primer-paso, el cual no es afectado en la misma manera que los depaso de demanda, cuando el aire húmedo caliente en la exhalación del buzo pueda provocar congelamiento en agua muy -- fría, debido al enfriamiento del orificio por alto gasto -- del flujo.



PUIMON ELECTRONICO SUBACUATICO
- ELECTROLUNG -

IV PULMON ELECTRONICO SUBACUATICO

- ELECTROLUNG -

El Electrolung -aparato de respiración subacuática- es un circuito cerrado, que trabaja con mezcla gaseosa y con un sistema capaz de proveer al acuanauta de mezcla gaseosa respirable durante seis horas a cualquier profundidad fisiológicamente segura. El sistema que permite al acuanauta volver a utilizar la mezcla gaseosa esta basado en la adsorción del bióxido de carbono y en un sistema de computadora que calcula las proporciones gaseosas necesarias para restituir la mezcla original. El sistema de sensores del Electrolung esta basado en la presión parcial del oxígeno. Además del sistema automático existe el control manual de la unidad en caso de necesidad.

IV.1 DESCRIPCION GENERAL

El Electrolung es un aparato de respiración de circuito cerrado con la característica de que la mezcla de gases se regula electronicamente.

Consiste en una boquilla ensamblada a una válvula, tubos de respiración, bolsa de respiración, cilindros de almacenaje de los gases, regulador de la presión del oxígeno (manómetro), regulador de la presión total del oxígeno, medidor de la presión parcial del oxígeno, depósito del adsorbente del bióxido de carbono, celdas electrónicas, sensores polarográficos del oxígeno, amplificador electrónico, circuito de control, válvula selenoide, baterías y válvulas para el control manual del oxígeno y del gas inerte.

El Electrolung tiene un peso aproximado de 35 libras - (16 Kg), fuera del agua y provee mezcla gaseosa respirable, de manera continua por más de seis horas, sin importar la profundidad.

El gas inerte es alimentado del cilindro al sistema de respiración de manera manual o bien por medio de la demanda del regulador, una presión parcial constante de oxígeno es automáticamente mantenida en la mezcla respirable por el circuito electrónico de control.

El sistema de seguridad, también está a cargo del circuito electrónico de control y consiste en mantener una provisión de mezcla respirable (a la profundidad necesaria) para que en caso de emergencia se pueda disponer de ella y de manera manual convertir el equipo en un circuito semicerrado. Además el equipo cuenta con medidores externos para los tres sensores de la presión parcial del oxígeno, reserva para las baterías y una alarma de sonido para prevenir un error en los sensores, o bien una alta o baja presión parcial del oxígeno.

Bonilla (12)

(13) Salida de la mezcla hacia la bolsa de respiración

Manguera de la exhalación (11)

(11) manguera de la inhalación

(5) Baterías

Commutadora electrónica (16)

(7) Mampara electrónica

(14) Sensores de Oxígeno

Con-ucto para el medidor de pCO_2

(15) Válvula Solenoide

(3) Correas de ajuste

(1) Tanque de Oxígeno

(2) Tanque de CO_2

manómetro del tanque de O_2 (4)

(8) tubo de la exhalación

válvula manual (9) para el tanque de gas inerte

(10) by-pass del tanque de oxígeno

Vista posterior del electroling

La bolsa de respiración, el depósito de adsorbente de CO_2 y las celdas electrónicas son de plástico (plexiglas) con lo que se logra una inspección visual en cualquier momento y se eliminan las posibles rupturas y la corrosión debida al agua de mar y a cualquier otro agente oxidante. La construcción modular del equipo facilita su desensamble, la adición de cilindros de gas, el cambio del depósito de adsorbente, la adición de cilindros de gas inerte, o bien la adición de sistemas de navegación o de comunicación.

IV.2 PRINCIPIOS DE OPERACION

El tipo de SCUBA más avanzado es el de circuito cerrado con mezcla de gases, ya que permite al acuanauta permanecer a grandes profundidades un mayor tiempo. La profundidad no afecta el tiempo de duración de la mezcla respirable y el acuanauta se encuentra virtualmente en ausencia de ruidos y burbujas.

Existen otros tipos de SCUBA de circuito cerrado, sin embargo su aplicación es más limitada: el SCUBA circuito cerrado a base de oxígeno, como se vió en el capítulo anterior, está limitado, por la toxicidad del oxígeno, a aguas poco profundas; el SCUBA circuito abierto es ineficaz por el desperdicio de aire y por lo tanto, solo se usa a profundidades menores a los 200 pies (62 m) y por muy poco tiempo. El aparato de circuito semicerrado es más complicado dando alguna ventaja sobre el circuito abierto ya que aumenta su eficiencia en cuanto a la utilización del gas pero no aprovecha de manera racional el gas inerte, por lo que a grandes profundidades (más de 62 m) aumenta su limitación.

En contraste el Electrolung es un sistema completamente cerrado en el que la mezcla gaseosa respirable es mantenida dentro del mismo sistema y utilizado una y otra vez.

El bióxido de carbono adsorbido por un adsorbente químico y la presión parcial del oxígeno es mantenido a un nivel constante (0.5 atm. absolutas) por medio de un sistema automático de control a base de un sensor electrónico. La única pérdida significativa de mezcla respirable es la debida a la utilización del oxígeno por el metabolismo del acuanauta; dicho metabolismo basal es individual y se vé afectado por la actividad desplegada por el acuanauta. La duración es por lo tanto independiente de la profundidad y solo pequeños excesos de mezcla respirable se requieren para el trabajo a grandes profundidades. La gran duración que provee el Electrolung permite tomar el tiempo necesario para la descompresión del acuanauta.

IV.2.1 COMPOSICION DE LA MEZCLA RESPIRABLE Y SU CONTROL

La parte externa del sistema electrico de sensores es directamente proporcional a la presión parcial del oxígeno a la cual se encuentra expuesta. El punto de control, donde la válvula solenoide es activada para que inyecte más oxígeno al sistema es un conjunto de terminales eléctricas. La relación-

entre la parte externa de los sensores y la presión parcial -- del oxígeno se ajusta por la calibración de los potenciómetros, por lo que la cantidad presente de oxígeno en la mezcla respirable se puede limitar al valor deseado. Calibrando dicha mezcla a 21 (medida en la escala de ajuste de la mezcla gaseosa) se obtendrá una cantidad de oxígeno equivalente al 21% del oxígeno en el aire y a una presión parcial de 0.5 atm. absolutas que es la presión parcial recomendable en la mezcla respirable, ya que este valor puede ser reducido a la mitad o bien duplicado, sin que represente un peligro fisiológico para el acuanauta.

Calibrar el aire a un valor mayor nos da como resultado -- que la presión parcial del oxígeno, sea muy pequeña cuando se llegue al punto de control y de manera inversa, tendremos que con un valor menor en la calibración del aire, el oxígeno necesitará tener una alta presión parcial, para llegar al punto de control.

La calibración de la mezcla gaseosa, se verá con más detalle en lo referente a las Instrucciones de operación.

La composición de la mezcla gaseosa, será semejante a la del aire, sólo que se substituirá el nitrógeno por un gas inerte (para este tipo de equipo el helio es el gas inerte más utilizado), por lo que de manera general se puede decir que la composición de la mezcla gaseosa será de 79% gas inerte, 21% de -- oxígeno.

IV.2.2 CIRCUITO DE RECIRCULACION DE LA EXHALACION

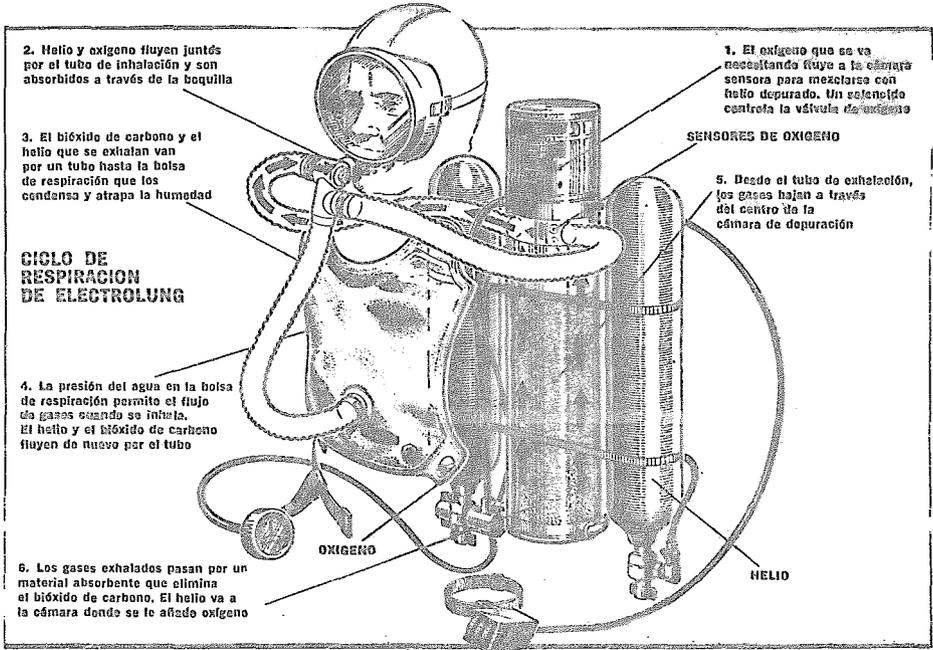
El circuito de recirculación de la exhalación también lo podemos designar como circuito de Re-respiración y se presenta diagramáticamente en la Figura IV.2.2-A.

El gas exhalado pasa directamente a la bolsa de respiración a través de una válvula check (válvula de un sólo paso), y de la manguera de la bolsa de respiración. Una vez que la mezcla respirable ha sido inhalada, va de la bolsa de respiración hacia el recipiente que contiene el adsorbente de CO₂ a través de una manguera de plástico y posteriormente pasa del cilindro de adsorbente a la cámara de mezclado en donde están localizados los sensores que alimentan la cantidad necesaria de oxígeno y helio para que la mezcla vuelva a ser útil y factible de ser usada por el acuanauta; a continuación sigue hacia la boca del acuanauta pasando por la válvula check.

La vía recta y por lo tanto que sigue la exhalación, reduce el esfuerzo necesario para inflar la bolsa de respiración contra la presión ejercida por el agua cuando el acuanauta se encuentra en la posición normal o sea "boca abajo" o bien parado verticalmente. La presión que ejerce el agua, ayuda a la inhalación del acuanauta ya que ayuda al fluido gaseoso a fluir hacia la boca del hombre debido a la diferencia de presiones ocasionado por la inhalación.

La inhalación va primero a la bolsa de respiración que actúa como una trampa de agua, ocasionando una condensación -- (expansión adiabática) con lo que se evita que la mezcla llegue muy húmeda al adsorbente de CO₂.

La descarga del exceso de volumen gaseoso debido a la -- expansión mientras el acuanauta asciende, se hace por los conductos nasales o bien por los labios y ya que está en la cámara o visor de la cara pasa directamente al agua ya que el vo-



CIRCUITO DE RE-RESPIRACION EN EL SCUBA
ELECTROLUNG

lumen gaseoso ejerce una presión mayor en el visor de la cámara, hacia afuera, que la presión ejercida por el agua hacia dentro.

Se ha visto que una válvula dentro del equipo, cuya función fuera la de expeler este exceso de mezcla fuera del equipo, no es necesaria y solo aumenta la complejidad del mismo y su posibilidad de falla; esto es sin contar el aumento en el costo del equipo.

IV.2.3 CONTROL MANUAL

El control manual del sistema automático de alimentación de oxígeno consiste en un bypass (omisión de una parte de un equipo en la secuencia de un proceso) de la válvula de oxígeno localizada en el regulador de éste gas, hacia el sistema de sensores, con lo que se asegura una alimentación constante y segura de oxígeno, para formar la mezcla respirable.

Tomando en consideración que la falla del sistema automático de control de oxígeno no es muy factible, podemos señalar que el principal uso o finalidad del control manual, es la alimentación constante de oxígeno en la descompresión, es decir en las paradas de descompresión se puede utilizar oxígeno puro a una presión parcial fisiológicamente no dañina, cerrando la válvula de paso del gas inerte y manejando el control manual de oxígeno.

Otra función del control manual de oxígeno es la de asegurar el nivel necesario de oxígeno en las inmersiones a grandes profundidades en la eventualidad de un mal funcionamiento de la válvula solenoide.

El volumen del gas inerte en la bolsa de respiración es controlado manualmente por medio de una válvula de alta presión, localizada en la válvula del tanque del gas inerte.

La función de dicho control se basa en que al descender el acuanauta, la presión del agua, hace que el volumen del gas inerte en la bolsa de respiración, disminuya, por lo que de manera manual y periódicamente, se debe abrir la válvula de control manual, para restituir dicha pérdida de volumen.

Si debido a una falla electrónica de los sensores, el oxígeno se encuentra mezclado con el gas inerte, la válvula en el tanque de dicho gas, servirá para efectuar una transformación del equipo (en cuanto a funcionamiento) ya que éste actuará como un circuito semicerrado es decir como un circuito de inyección continua, con adsorción de CO_2 , pero con pérdida de mezcla gaseosa (ver SCUBA de circuito semicerrado).

IV.3 DESCRIPCION DETALLADA

IV.3.1 ARNES

Los cilindros de gas y el recipiente del adsorbente de CO_2 junto con el equipo electrónico se encuentran colocados en forma tal que el volumen que ocupan es muy reducido y se encuentran dentro de un estuche que los contiene de manera distribuida con el fin de evitar golpes y daños al equipo

proporcionándole al conjunto una fácil y cómoda manera de ser usado.

El Arnés consiste de unas cintas de nylon que se pasan por encima de los hombros y que fijan la bolsa de respiración que queda en el pecho del acuanauta; posteriormente esas cintas van de las terminales de la bolsa de respiración, por los costados del acuanauta, a fijarse al "estuche" que contiene la totalidad del equipo pesado, quedando así fijo y seguro el Electrolung al acuanauta.

En las cintas a la altura de los hombros existen dos --broches corredizos que sirven para ajustar el arnés al cuerpo del acuanauta.

IV#3.2 REGULADOR DE OXIGENO Y MANOMETRO

El regulador de oxígeno por medio de un control, que es la válvula solenoide provee a la mezcla gaseosa de una presión constante de oxígeno.

El regulador es de tipo pistón y se encuentra en la válvula del cilindro de oxígeno; el regulador se encuentra conectado a la válvula solenoide a al bypass de la misma, por medio de una manguera o tubo flexible con recubrimiento de plomo.

El regulador tiene cinco partes principales: el bloque del regulador, un yugo con rosca (tornillo), válvula de pistón, resorte del regulador y la tapa del cilindro del pistón.

El resorte del regulador mantiene abierta la válvula de pistón cuando éste (el regulador) está desconectado de la fuente de alta presión del gas (del cilindro de oxígeno). Cuando el oxígeno sale del cilindro, pasa a través de la válvula abierta y sube por la cámara que forman el pistón de la válvula y la tapa del cilindro .

Al elevarse la presión en la cámara, hace que el cilindro del pistón baje, comprimiendo el resorte y cerrando la --válvula.

De esta manera es como la presión entre un lado y otro de la válvula, tiene un nivel constante por lo que la tensión del resorte mantiene una abertura uniforme.

Conforme la válvula solenoide permite el paso del oxígeno la presión en la cámara del regulador baja y el pistón permite que fluya más oxígeno con lo que se mantiene una presión constante.

Este tipo de regulador es la parte peculiar de un equipo de circuito abierto, a excepción del resorte, el cuál tiene una tensión menor en el regulador del circuito cerrado. Este resorte es fabricado especialmente para que trabaje con --una diferencial de presión (dada por la válvula solenoide).

Un manómetro colocado en la manguera flexible de plomo, antes de la válvula solenoide nos permite vigilar al regulador durante la inmersión.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LOS REGULADORES DE DEMANDA MODERNOS

El regulador de demanda moderno esta diseñado para permitir al acuansuta su cómoda respiración bajo el agua.

El pulmón "respira" haciendo una presión de succión y basado en esto, es como trabaja el regulador, así, mientras más-baja sea la presión de succión requerida más fácil será la inspiración o bien, dicho de otra manera: a menor diferencia de presiones, mayor facilidad para llevar a cabo la respiración:

$$R\text{ESPTRACION} = f(\Delta P)$$

El diseño funcional de un regulador está dado por la siguiente ecuación:

$$W = P_h + P_f + R$$

P_f : Resistencia de la manguera al flujo de gas en - pulgadas de agua. .

R : Resistencia del regulador al flujo de gas en - pulgadas de agua.

: Presión de succión en pulgadas de agua.

P_h : Presión hidrostática ejercida por la columna de agua en pulgadas de agua:

$$P_h = \rho gh$$

ρ : Densidad del agua.

g : constante gravitatoria.

h : Altura.

Para un fluido de densidad constante y sin movimiento aparente, dentro de un campo gravitacional uniforme, el teorema de Bernoulli se expresa como:

$$P_1 + \rho gy_1 = P_2 + \rho gy_2$$

(Figura IV-1)

De acuerdo a la Figura IV-1, la presión del fluido es la misma en todos los puntos que se encuentra al mismo nivel. La diferencia de presión ($p_2 - p_1$) entre dos planos horizontales es proporcional a la separación vertical entre ellos ($y_1 - y_2$), por lo que:

$$P_2 - P_1 = \rho g(y_1 - y_2)$$

$$P_2 - P_1 = -\rho g(y_2 - y_1)$$

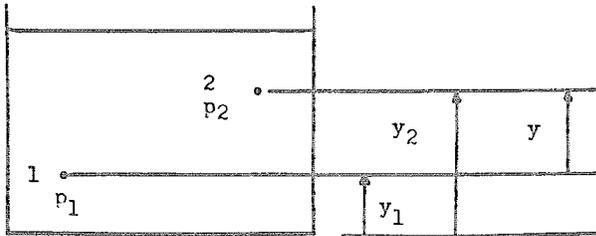
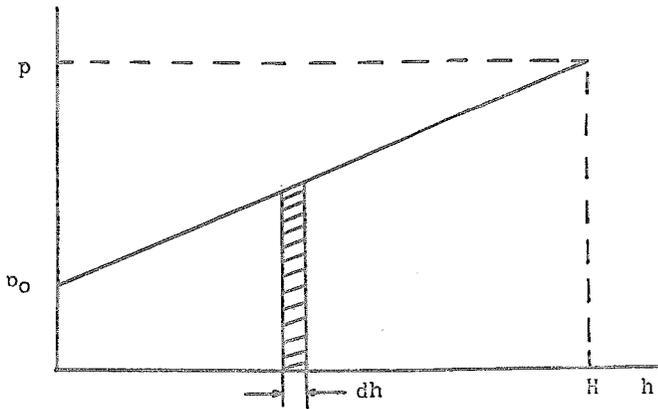


FIGURA IV-1 Presión en dos puntos en un fluido estático



La presión como función de la profundidad:

$$p = p_0 + \rho gh$$

p : presión a la profundidad h
 p_0 : presión atmosférica
 ρ : densidad del agua
 g : cte. gravitatoria
 h : profundidad
 H : profundidad total

$$\Delta P = -\rho g \Delta y$$

La explicación para el signo menos (-) que aparece en la ecuación, es debido a que la presión hidrostática se incrementa cuando la elevación disminuye:

$$\rho g = \gamma$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta y} = -K$$

La razón $\Delta P/\Delta y$ se denomina gradiente de presión.

En ningún momento se ha hablado de presión absoluta, ya que la ΔP sólo nos da la diferencia de presiones entre los dos niveles. Si llamamos P_0 a la presión absoluta en la superficie de un líquido (presión atmosférica), la presión absoluta P a una profundidad h será:

$$P = P_0 + \rho gh$$

Tomando h como una medida positiva. En base a esta ecuación tenemos que:

$$P - P_0 = \rho gh$$

Que será la presión manométrica a la profundidad h .

Esta presión existe ya sea cuando el acuanauta está boca abajo o boca arriba dentro del agua, efectuando así una diferencia de presiones. Cuando se encuentra boca abajo, el regulador está montado cerca de sus hombros en su espalda. La manguera de entrada sale del regulador y desciende al nivel de su boca a través de un eje imaginario entre el regulador y su boca. Este eje es llamado eje hidrostático y significa punto de presión media y un promedio aproximado de su valor es de 18cm. (7 pulgadas) del regulador; estas 7 pulgadas ejercerán una presión aproximada de 0.2534 lb/plg² manométricas (0.0362 lb/plg² manométricas por pulgada) resultantes de:

$$P_h = h \rho$$

$$P_h : \text{Presión} : \text{lb/plg}^2$$

$$\rho : \text{Densidad del agua} : 0.2534 \text{ lb/ft}^3$$

$$h : \text{Altura unitaria (1 plg)}$$

$$P_h = 62.34 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times \frac{0.00058 \text{ ft}^3}{\text{plg}^3} \times 1 \text{ plg}$$

$$P_h = 0.0362 \text{ lb/plg}^2 \text{ por pulgada}$$

En 7 pulgadas:

En 7 pulgadas: 18 centímetros:

$$Ph = 0.0362 \times 7 = 0.2534 \text{ lb/plg}^2$$

$$Ph = 13.1 \text{ mm de Hg}$$

En términos normales, esto quiere decir que sin tomar en cuenta los otros factores que gobiernan la presión de succión, el operador tendrá que causar una presión de 0.2534 lb/plg² manométrica para conseguir que el aire fluya del regulador hasta sus pulmones cuando el operador esté hacia abajo.

Si el operador está boca arriba, el regulador está más arriba y la presión del agua es de 0.2534 lb/plg² manométrica mayor en el diafragma de presión baja, que lo que es en su boca, por lo que se tendría un flujo de aire continuo sin necesidad de succionar. Estando el acuanauta en posición vertical en el agua, su boca está solamente un poco más alta que el regulador, por lo tanto, la presión hidrostática Ph es casi inexistente, lo que es ideal entonces, ya que se gasta menor energía, por parte del acuanauta, para respirar y sin el desperdicio de una valiosa cantidad de mezcla respirable.

La resistencia Ph son las pérdidas por fricción de la mezcla gaseosa al fluir por la manguera, de los tanques, a la boca del acuanauta. En otras palabras, para obtener un volumen de aire dado del extremo de la manguera de toma, el acuanauta debe crear una presión de succión en la boquilla, mayor que la presión existente en el regulador para vencer la turbulencia y la fricción en el pasaje de la manguera. La Tabla IV-A nos sirve para ver la caída de presión en función del gasto de mezcla gaseosa y del diámetro de la manguera.

La resistencia R del regulador está dada en función del diseño del regulador, ya que es la presión necesaria para despresionar el diafragma de presión baja y vencer las fricciones de las palancas y de los resortes que mantienen los varios asientos cerrados.

Las válvulas check o de no-regreso también causan una caída de presión que dificulta la respiración.

Como todo elemento industrializado, el regulador ha sido y es constantemente mejorado; los ejemplos de las mejoras de los nuevos diseños se ven en las palancas, el cambio del segundo paso o paso de demanda a la boca (con lo que se elimina el factor Ph), válvulas check mayores, mangueras más aerodinámicas, aberturas de boquillas más grandes, diafragmas de presión baja menos rígidos, ayuda de presión venturi, etc.

En cuanto a la lubricación interna de las partes del regulador, se recurre a la grasa de silicona, que aunque tiene un poder de lubricación bajo tiene como ventaja el no ser tóxico, como los lubricantes a base de petróleo y que no es factible que cause explosión espontánea.

En este caso se habla de explosión espontánea debido a la presencia de oxígeno y a su peligro constante de una combustión espontánea.

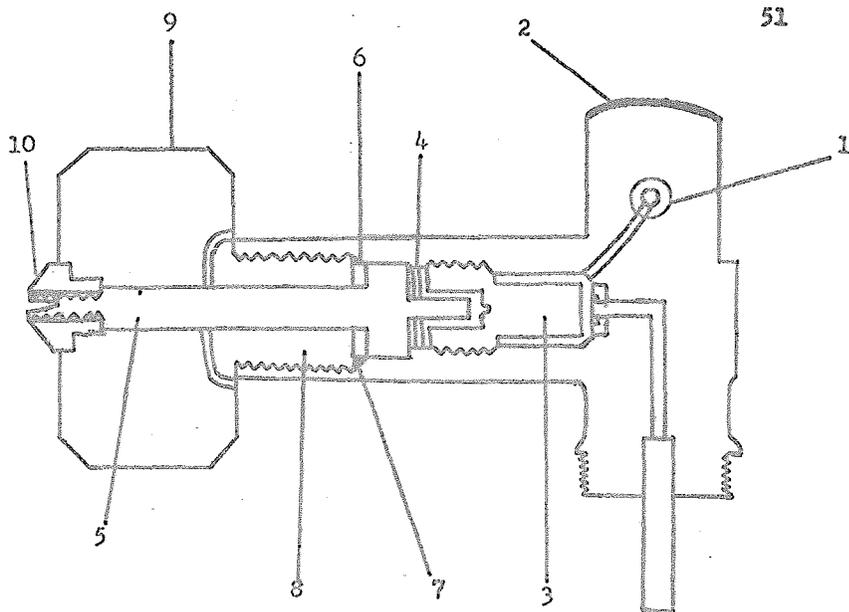
TABLA IV-A Flujo de aire a través de una
Tubería

Q: pies³/min. de aire a 60°F (16°C) y 14.7 psia

Q_c: pies³/min a 16°C y 100 psig (aire comprimido)

P/100: caída de presión por cada 100 pies de tubería : lb/plg²

Q	Q _c	P/100								
		1/8"	1/4"	3/8"	1/2"					
1	0.128	0.361	0.083	0.018	0.020					
2	0.256	1.31	0.285	0.064	0.042	3/4"				
3	0.384	3.06	0.605	0.133	0.071					
4	0.513	4.83	1.04	0.226	0.106	0.027				
5	0.641	7.45	1.58	0.343	0.148		1"			
6	0.769	10.6	2.23	0.408	0.255	0.037				
8	1.025	18.6	3.89	0.848	0.356	0.062	0.019	1 1/4"	1 1/2"	
10	1.282	28.7	5.96	1.26	0.094	0.029				
15	1.922	...	13.0	2.73	0.634	0.201	0.062			
20	2.563	...	22.8	4.76	1.43	0.345	0.102	0.026		
25	3.204	...	35.6	7.34	2.21	0.526	0.156	0.039	0.067	0.019
30	3.845	...	...	10.5	3.15	0.748	0.219	0.055	0.086	0.026
35	4.486	...	...	14.2	4.24	1.00	0.293	0.073	0.095	0.035
40	5.126	...	...	18.4	5.49	1.30	0.379	0.095	0.104	0.044
45	5.767	...	...	23.1	6.90	1.62	0.474	0.116	0.055	2"
50	6.408	...	...	28.5	8.49	1.99	0.578	0.149	0.067	0.019
60	7.690	2 1/2"	...	40.7	12.2	2.85	0.819	0.200	0.094	0.027
70	8.971	...	...	...	16.5	3.83	1.10	0.270	0.126	0.036
80	10.252	0.019	...	...	21.4	4.96	1.43	0.350	0.162	0.046
90	11.533	0.023	...	...	27.0	6.25	1.80	0.437	0.203	0.058
100	12.814	0.029	3"	...	33.2	7.69	2.21	0.534	0.247	0.070
125	16.02	0.044	...	...	...	11.9	3.39	0.823	0.380	0.107
150	19.22	0.062	0.021	...	...	17.0	4.87	1.17	0.537	0.151
175	22.43	0.083	0.028	...	...	23.1	6.60	1.58	0.727	0.205
200	25.63	0.107	0.036	3 1/2"	...	30.0	8.54	2.05	0.937	0.264
225	28.84	0.134	0.045	0.022	...	37.9	10.8	2.59	1.19	0.331
250	32.04	0.164	0.055	0.027	...	...	...	...	...	...
275	35.24	0.191	0.065	0.032	...	...	10.0	3.83	1.75	0.54
300	38.45	0.222	0.078	0.037	...	...	19.0	4.56	2.07	0.53
325	41.65	0.270	0.090	0.043	...	...	22.3	5.32	2.42	0.673
350	44.87	0.313	0.104	0.050	4"	...	25.8	6.17	2.80	0.776
375	48.06	0.356	0.119	0.057	0.030	...	29.6	7.05	3.20	0.887
400	51.26	0.402	0.134	0.064	0.034	...	33.6	8.02	3.61	1.00
425	54.47	0.452	0.151	0.072	0.038	...	37.9	9.01	4.09	1.13
450	57.67	0.507	0.168	0.081	0.042	...	...	10.2	4.59	1.26
475	60.88	0.562	0.187	0.089	0.047	...	...	11.3	5.09	1.40
500	64.08	0.623	0.206	0.099	0.052	...	...	12.5	5.61	1.55
550	70.49	0.749	0.249	0.119	0.062	...	...	15.1	6.79	1.87
600	76.90	0.889	0.293	0.139	0.073	...	...	18.0	8.03	2.21
650	83.30	1.04	0.342	0.163	0.086	5"	...	21.1	9.43	2.60
700	89.71	1.19	0.395	0.188	0.099	0.032	...	24.3	10.9	3.00
750	96.12	1.36	0.451	0.214	0.113	0.036	...	27.9	12.6	3.44
800	102.5	1.55	0.513	0.244	0.127	0.041	...	31.8	14.2	3.90
850	108.9	1.74	0.576	0.274	0.144	0.046	...	35.9	16.0	4.40
900	115.3	1.95	0.642	0.305	0.160	0.051	6"	40.2	18.0	4.91
950	121.8	2.18	0.715	0.340	0.178	0.057	0.023	...	20.0	5.47
1000	128.2	2.40	0.788	0.375	0.197	0.063	0.025	...	22.1	6.06
1100	141.0	2.89	0.948	0.451	0.236	0.075	0.029	...	...	...
1200	153.8	3.41	1.13	0.533	0.279	0.089	0.035	...	31.8	8.63
1300	166.6	4.01	1.32	0.626	0.327	0.103	0.041	...	37.3	10.1
1400	179.4	4.65	1.52	0.718	0.377	0.119	0.048	...	...	...
1500	192.2	5.31	1.74	0.824	0.431	0.136	0.054	8	...	11.3
1600	205.1	6.04	1.97	0.932	0.490	0.154	0.061	...	...	15.3
1800	231.7	7.65	2.50	1.18	0.616	0.183	0.075	...	...	19.3
2000	256.3	9.44	3.06	1.45	0.757	0.237	0.094	0.023	...	23.9
2500	320.4	14.7	4.76	2.25	1.11	0.366	0.144	0.035	...	37.3
3000	384.5	21.1	6.82	3.33	1.67	0.521	0.204	0.051	0.016	...
3500	448.6	28.8	9.23	4.33	2.26	0.709	0.276	0.063	0.022	...
4000	512.6	37.6	12.1	5.66	2.94	0.919	0.358	0.083	0.028	...
4500	576.7	47.6	15.3	7.16	3.95	1.16	0.450	0.111	0.035	12"
5000	640.8	...	18.8	8.85	4.56	1.42	0.552	0.139	0.041	0.041
6000	769.0	...	27.1	12.7	6.57	2.03	0.747	0.195	0.061	0.053
7000	897.1	...	36.9	17.2	8.94	2.76	1.07	0.262	0.082	0.064
8000	1025	...	...	22.5	11.7	3.59	1.33	0.337	0.107	0.074
9000	1153	...	...	28.5	14.9	4.54	1.76	0.427	0.134	0.085
10000	1282	...	...	35.2	18.4	5.60	2.16	0.526	0.164	0.097
11000	1410	...	...	...	22.2	6.78	2.62	0.633	0.197	0.091
12000	1538	...	...	...	26.4	8.07	3.19	0.753	0.234	0.109
13000	1666	...	...	...	31.0	9.47	3.63	0.884	0.273	0.112
14000	1794	...	...	...	36.0	11.0	4.21	1.02	0.316	0.129
15000	1922	...	...	...	42.0	12.6	4.84	1.17	0.364	0.138
16000	2051	...	...	...	48.3	14.3	5.50	1.33	0.411	0.167
18000	2307	...	...	...	57.0	18.7	6.99	1.68	0.520	0.213
20000	2564	...	...	...	67.4	23.4	8.60	2.01	0.642	0.260
22000	2820	...	...	...	79.1	27.1	10.4	2.36	0.771	0.314
24000	3076	...	...	...	92.0	32.3	12.4	2.97	0.918	0.371
26000	3332	...	...	...	106.0	37.9	14.5	3.49	1.12	0.435
28000	3588	...	...	...	121.0	44.0	16.9	4.04	1.35	0.505
30000	3845	...	...	...	137.0	50.0	19.3	4.64	1.42	0.520



Válvula de tipo " K " de no reserva

Lista de partes:

1. Anillo "O" del orificio de entrada
2. Tapa de espesor doble (cuerpo de la válvula)
3. Retenedor de asiento
4. Empaque
5. Vástago de la válvula
6. Empaque
7. Empaque
8. Retenedor del vástago
9. Volante
10. Tornillo del volante

IV.3.3. CILINDROS DE GAS Y VALVULAS

Los cilindros, tanto el de oxígeno como el que contiene al gas inerte son de acero y cromo y llevan adoptadas unas válvulas "K" de media pulgada.

Los cilindros contienen aproximadamente 11 ft^3 (311 litros) de gas a condiciones estandar ($T=0^\circ\text{C}$; $P=1 \text{ atm } 14.7 \text{ psia}$) a 2150 p.s.i.g (libras por pulgada cuadrada manométricas). Los tanques se fabrican en varios tamaños siendo el más común el de 70 ft^3 .

Válvula tipo "K" ó de no reserva.-- Como el término no-reserva lo implica, ningún medio mecánico es integrado en este tipo de arreglo para mostrarle cuando su abastecimiento de aire está bajo. La operación de esta válvula es casi la misma que se usa para cerrar un rehilete de jardín. Sin embargo, el acuanauta nunca llega a agotar su aire en la profundidad, puesto que en cuanto empiece a ascender, tendrá aire suficiente para continuar hacia la superficie. Este aire es disponible debido al resultado de la menor presión hidrostática ambiente, mientras asciende. El aire residual en el cilindro no es mayor, como lo indicará su esfuerzo para respirarlo, sin embargo es suficiente para un ascenso seguro y sin prisas a la superficie.

Las válvulas para el control manual del gas inerte son de acero inoxidable y para altas presiones. Son del tipo "T" aquellas válvulas de control muy exacto usadas para éste propósito.

La válvula tipo "T" es similar a la válvula tipo "K" en cuanto que no tienen reserva. La válvula tipo "T" toma este nombre debido a que su funcionamiento es semejante al accesorio de las tuberías llamado "T" (distribución del flujo).

IV.3.4 CIRCUITO ELECTRONICO Y VALVULA SOLENOIDE

El circuito electrónico del Electrolung es esencialmente una pequeña computadora analógica (1) permanentemente programada para un trabajo específico. La información recabada por los sensores polarográficos de oxígeno es recibida y procesada por la computadora de manera que si existe error en alguna de las lecturas de los sensores, es minimizado antes de que la señal sea recibida en el control de la presión parcial del oxígeno que se encarga de hacer la combinación correcta de la mezcla respirable.

o o o o o o

- (1) Es un simulador a base de circuitos eléctricos que da respuestas continuas.

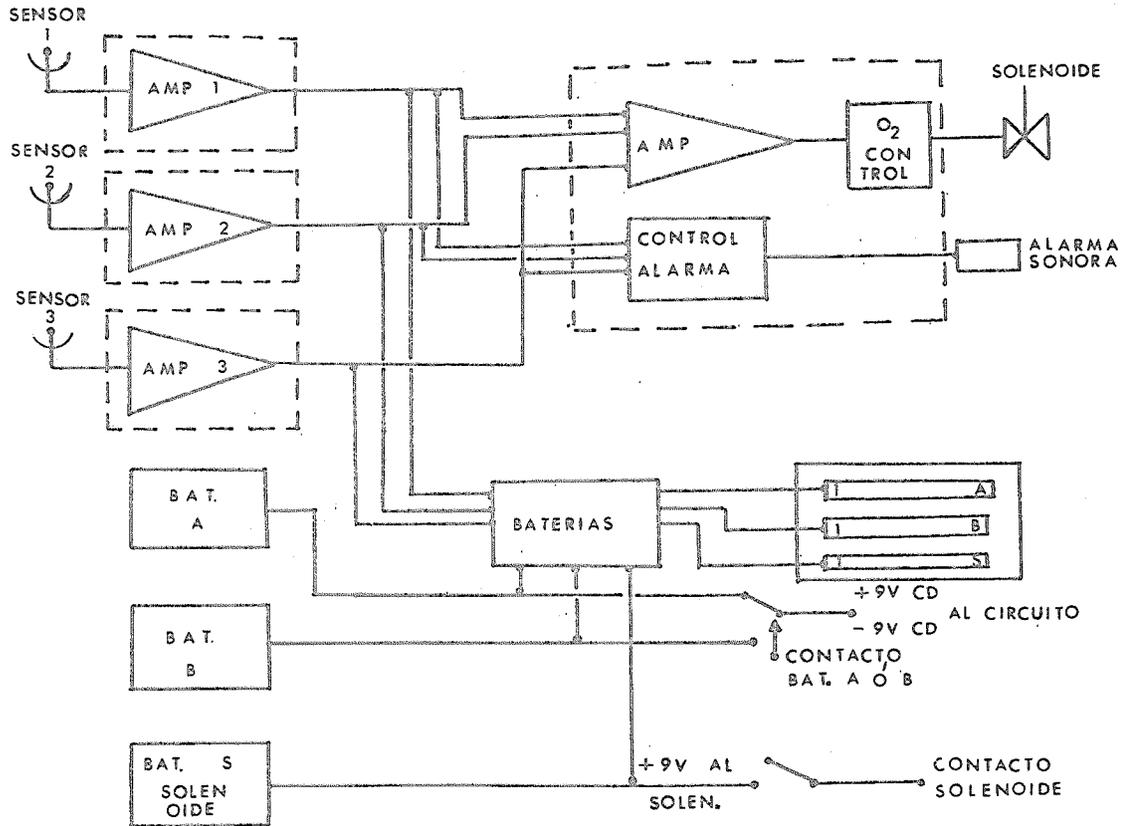


DIAGRAMA DEL
CIRCUITO ELECTRONICO

La señal de cada amplificado se procesa por medio de otro circuito que hace sonar una alarma cuando dicha señal es diferente a un rango establecido de operación normal. También se encuentra esta señal, unida electrónicamente a los puntos claves del circuito con el fin de que los efectos del mal funcionamiento de alguna de las partes, afecte de manera mínima al circuito de control.

Si alguna de las alarmas suena por un mal funcionamiento del circuito, los registros individuales nos indicarán de cual de los electrodos se trata (Instrucciones de operación).

La señal procesada de cada amplificador está matemáticamente balanceada, por lo que, si dicha señal varía de un valor fijado, un interruptor transistorizado hace actuar a la válvula solenoide de tal manera que más oxígeno es alimentado al sistema; tan pronto como la presión parcial del oxígeno alcanza su valor normal, el interruptor cierra la válvula solenoide y cesa la inyección de oxígeno.

Una pequeña válvula de control de flujo colocada a la salida de la válvula solenoide sirve para controlar el flujo de oxígeno que pasa a través de ella, cuando está abierta.

Para el funcionamiento del circuito electrónico, se cuenta con una reserva de baterías. Hay siete de ellas en total, -- dos de ellas de 9 volts, Duracel, es decir son alcalinas y a base de manganeso, las que proveen la corriente necesaria para los amplificadores y el sistema de alarma. Dos mas de las mismas baterías son de reserva.

Otro par de baterías idénticas, proveen de energía al solenoide y la última de ellas, una batería de manganeso, alcalina, tamaño AA (1.5 volts) suministra la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo de los electrodos polarográficos.

IV.3.5 UNIDAD DE ADSORCION DEL BIOXIDO DE CARBONO

Los componentes de esta unidad llevando un orden de arriba hacia abajo son: tope de la cámara de los instrumentos electrónicos, cámara electrónica, "mampara electrónica", recipiente de adsorbente de CO_2 , $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$, entrada del tubo de respiración, mampara para subir y bajar el adsorbente, fondo del recipiente de adsorbente. Unos sellos circulares, sujetos por una guía, -- que los conserva en su lugar, permiten que la unidad sea impermeable y el interior permanezca seco. El tablero del circuito electrónico y las baterías, se encuentran colocados, sobre la "mampara electrónica" y los electrodos polarográficos, junto -- con la válvula solenoide se encuentran debajo de ella. Un estuche con la forma de la unidad y de los tanques, la protege exteriormente; dicho estuche es fijado por medio de cuatro tornillos.

El material de construcción de algunas partes de esta unidad (recipiente de adsorbente, mamparas, estuche, etc..) es el plástico metacrílico, a base de resinas metacrílicas, cuya característica es la de ser un verdadero vidrio orgánico, con gran resistencia a la tensión y a la compresión y con la ventaja de su ligereza.

Además la computadora se encarga de compensar los cambios en los sensores por efecto de la temperatura y hace sonar una alarma, en caso de que la cantidad de oxígeno en la mezcla respirable sea baja o bien sea muy alta; también por medio de la alarma nos indica si existe algún error en los sensores.

Otra de las funciones de la computadora es la de marcar en una escala, que es visible para el acuanáuta, la presión parcial del oxígeno en cada uno de los sensores.

ELECTRODOS POLAROGRAFICOS.— cada uno de los electrodos polarográficos, está formado por un cátodo de platino, separado por una concavidad anular, del ánodo de plata.

Cuando el equipo (Electrolung) se está usando, una solución 1N (uno Normal) de Hidróxido de Potasio (KOH) llena dicha concavidad y forma una delgada película sobre el cátodo. Una suave y alargada membrana de plástico cubre al electrodo y retiene al KOH, permitiendo el libre paso del oxígeno a través del plástico permeable.

Una de las maneras de expresar la concentración de una solución es la Normalidad. Una solución 1N es aquella que contiene un equivalente químico de soluto en un litro de solución. El equivalente químico, es una unidad químicamente equivalente a 1 gramo de hidrógeno; para explicar lo anterior, nos basaremos en el siguiente ejemplo:

Consideremos la siguiente reacción:



Elemento	Peso Molecular
& O	16
& H	1
K	39

&: Peso de un átomo

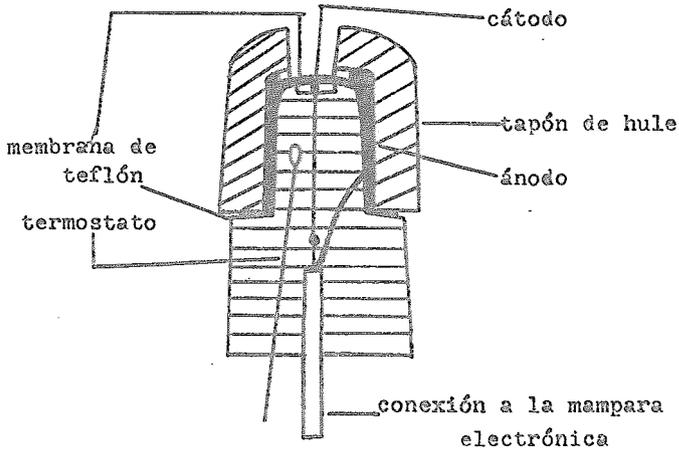
1 gramo de "ión hidronio" (H^+) es equivalente a 17 gramos de "ión oxhidrilo" (OH^-), químicamente hablando, y por lo tanto la masa gramo equivalente de una base es la masa de soluto que produce 17 gramos de "ión OH^- ". Específicamente hablando del KOH, se puede decir que 56 gramos del mismo, contienen 17 gramos de ión OH^- , por lo que la -masa gramo- equivalente del KOH es: 56 gramos.

$N = \text{EqQ} / \text{litro de solución}$

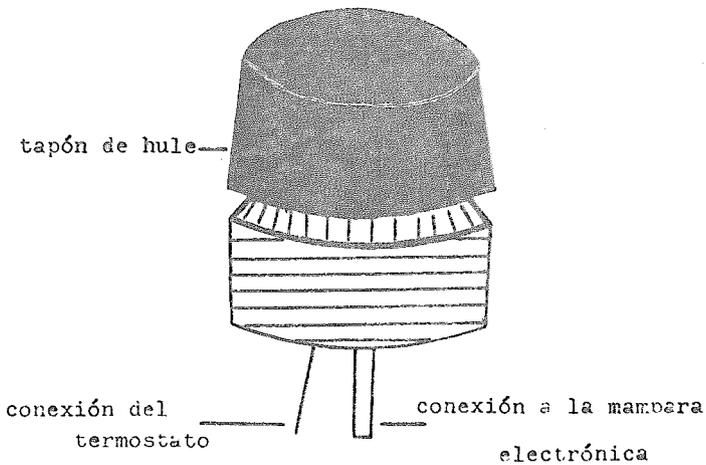
N: normalidad de la solución; EqQ: Equivalente químico

L: litro

Corte transversal de un electrodo polarográfico



Vista de un electrodo polarográfico



$$EQ = \frac{PM \text{ soluto}}{V \text{ del metal}}$$

PM : Peso molecular

V : Valencia

En cuanto el oxígeno se difunde a través de la membrana permeable de plástico, reacciona con la superficie de platino produciendo iones OH^- . Los iones OH^- se difunden a través de la película del electrolito (solución conductora de la corriente eléctrica) entre la membrana y el platino y reaccionan con la plata, formando óxido de plata (Ag_2O) que aparece como una ca
pa oscura.



Un potencial de 0.7 volts entre el ánodo y el cátodo - que es dado por una fuente de poder externa (batería) provee el flujo de aniones (OH^-) y cationes (H^+) entre el ánodo y el cátodo; este flujo de corriente es proporcional a la velocidad de difusión de iones OH^- , la cual a su vez, depende de la presión parcial externa del oxígeno.

La permeabilidad de la membrana plástica al oxígeno, - varía con la temperatura. Este efecto es compensado por un - termostato.

La formación de óxido de plata en el ánodo, consume -- lentamente la plata, sin embargo, en la práctica, el ánodo - dura casi indefinidamente.

La membrana permeable de plástico se recomienda que sea de Teflón (politetrafluoroetileno).

La señal de cada electrodo es amplificada por un circuito operacional integrado. Cada amplificador se regula por medio de dos potenciómetros, uno de ellos sirve para ajustarlo a cero y el otro para el ajuste de los incrementos. La función primordial de dichos ajustes es la de regular y compensar las diferencias individuales de cada electrodo debidas a la membrana de plástico, al electrolito o a cualquier variable que intervenga en el proceso. El ajuste de dichos potenciómetros se verá con más detalle en las Instrucciones de operación.

El funcionamiento de cada amplificador se registra de - manera individual en una escala que está graduada en términos de la presión parcial del oxígeno.

Dichos medidores están aislados del circuito por una resistencia de alto valor (dieléctrico), por lo que si dichos - registros sufren algún desperfecto o bien se desconectan, el circuito operacional sólo resiente un efecto despreciable que no afecta el circuito de control.

IV.3.6 BOLSA Y BOQUILLA DE RESPIRACION

La bolsa de respiración está hecha de vinilo de gran resistencia y sellada electrónicamente. Es de forma cuadrada y cada una de las aristas tiene un broche por medio de los cuales la bolsa se sujeta al contorno del cuerpo del acuanauta; la forma en que el acuanauta lleva dicha bolsa se asemeja a la forma en que una persona lleva un chaleco.

La manguera que lleva la mezcla gaseosa a la bolsa, se encuentra sellada a ésta, por medio de sellos O-Ring. En el extremo inferior izquierdo de la bolsa, se encuentra la válvula de purga o drene de la bolsa; la válvula se encuentra sellada y tiene un diámetro de 1/4 de pulgada.

La boquilla de respiración se encuentra formada de tres unidades: el cuerpo de la boquilla; una válvula que cierra la boquilla consistente en un tapón cónico que cierra la espita; y por último una abrazadera que fija la manguera que va de la boquilla a la bolsa de respiración.

De la boquilla salen tres mangueras. Una va directamente a la bolsa de respiración y sirve para que tanto la inhalación como la exhalación vayan de la, y a la bolsa de respiración respectivamente. Las otras dos mangueras salen lateralmente de la boquilla, una de cada lado y pasan sobre los hombros hacia el recipiente de adsorbente; su función es la siguiente: la exhalación pasa por la manguera central a la bolsa de respiración donde pierde humedad, se regresa por la misma manguera y llega a la boquilla en donde por medio de la válvula pasa la manguera izquierda y se dirige al recipiente de adsorción, después regresa ya como mezcla respirable a la boquilla por la manguera derecha. Las mangueras, como antes se indicó, están aseguradas en sus extremos por abrazaderas y sellos.

IV.4 INSTALACION

IV.4.1 MANEJO

El Electrolung no es un equipo frágil y se puede manejar sin cuidados especiales. Es un aparato muy complejo, por lo que tampoco se le dará el trato que a un SCUBA circuito abierto. El PVC (cloruro de polivinilo), debido a su gran resistencia al impacto, se usa para hacer el tope y el fondo de las cámaras electrónicas y del recipiente de adsorbente. El cuerpo de los recipientes y cámaras se hace de resinas acrílicas ya que su transparencia aunada a su aceptable resistencia, las hace superiores, para este uso, a cualquier metal.

El vinilo de la bolsa de respiración no requiere maquinaria especial para su corte y manufactura. En caso de que dicha bolsa llegara a cortarse o tuviera alguna fuga durante el uso del Electrolung, éste continuará funcionando aunque la bolsa esté parcialmente llena de agua y evitara el escape de gas, permitiendo al acuanauta regresar a la superficie sano y salvo. El uso de PVC presenta la ventaja de la transparencia sin embargo también tiene una desventaja: cuando se expone por algún tiempo a la luz del sol, tiende a pegarse y a deteriorarse; en el uso normal del Elec

trolung, esto no es problema pero debe evitarse dejar la unidad expuesta al sol por largos periodos; tambien se ven afectados los circuitos electrónicos, las baterías y los cilindros gaseosos por dicha exposición al sol. Un calentamiento excesivo a los tanques de gas, produce un aumento de presión del gas que puede llegar a romper las válvulas y aún el cilindro.

Los medidores de la presión parcial del oxígeno son micro medidores, por lo que se les debe de proteger de choques innecesarios.

El transporte del Electrolung se hará en una maleta especial que evita que durante un traslado sea sometido a tensiones y flexiones que lo pueden dañar.

IV.4.2 ARMADO Y DESARMADO

Para un completo desarmado de la unidad electrónica, se debe desacoplar la línea de oxígeno de la mampara electrónica; después se debe quitar, el estuche que cubre a la unidad, desatornillando los tornillos de ajuste. Ya que la unidad está libre, se quita todo el ensamble de la unidad electrónica, quitando el tope y el fondo de la cámara electrónica; cuando la unidad electrónica se haya separado, se procede a quitar el recipiente de adsorbente y la mampara electrónica. Después se quita la manguera de entrada de la mezcla gaseosa al adsorbente. Para volver a insertar dicha manguera, se debe reemplazar el adsorbente y posteriormente se debe ajustar la manguera de manera que al quedar sellada no existan fugas al exterior.

Al remover los tanques de gas, se debe tener cuidado de su exacto acomodo para evitar fugas que bajarían la eficiencia del equipo. También se debe cuidar la alineación de las válvulas.

La boquilla se desarma quitando o separando la manguera izquierda, con lo que la válvula quedará visible y en caso necesario se puede sacar para limpiarla, repararla o sustituirla.

IV.5 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

La siguiente lista de materiales es la recomendada para hacer reparaciones en las diferentes partes del equipo:

- 1.- Pegamento PVC gris, para todas las partes de cloruro de polivinilo.
- 2.- Dicloro etileno para las partes de plexiglas (resinas metacrílicas).
- 3.- Goma con base de silicón para los sellos.
- 4.- Tapas de teflón para todos los ajustes metal-metal en partes que estén trabajando a altas presiones y sin sellos circulares.

Los únicos problemas mecánicos que presenta el equipo, son en la válvula solenoide, cuando se trava, ya sea abierta o cerrada y su mantenimiento correctivo es el siguiente:

Si la válvula se traba cuando se encuentra abierta, desconecte las baterías y chéquelas. Si aún permanece abierta, el problema es mecánico, no electrónico y la causa del desperfecto, se puede deber a una partícula de residuo que estorba el libre funcionamiento de la válvula. Cuando esto suceda, la válvula se debe desarmar y se le debe dar lubricación a sus componentes internos. Algunas veces, con solo quitar la cubierta superior o tapa de la válvula y sopleteando la cámara del pistón con aire comprimido, se puede lograr sacar la partícula que causa el mal funcionamiento.

En el caso en que la válvula se trabe, estando cerrada, primero se deben checar las condiciones de las baterías que accionan el solenoide y después revisar y checar con un voltímetro la batería del solenoide; si el potencial existente es de 8 volts, el circuito electrónico funcionará bien y entonces el problema será mecánico y se debe proceder de igual manera que en el caso anterior.

IV.6 INSTRUCCIONES DE OPERACION

IV.6.1 PREPARACION DEL ELECTROLUNG PARA SU USO

La preparación del Electrolung para su uso, puede parecer muy complicada al principio, sin embargo, teniendo todo lo necesario a mano, dicha preparación se llevará unos diez minutos. Los procedimientos correctos son simples y lo que parece más complicado son sus descripciones.

Con el fin de ahorrar tiempo, los siguientes materiales se deben tener a la mano para su uso:

- 1.- Atornilladores o desarmadores. Para armar el tope y el fondo del recipiente o estuche que contendrá la unidad y para la calibración de los potenciómetros.
- 2.- Un voltímetro que sea VOM (volt-ohm-miliamperímetro). Se utilizará para checar las baterías.
- 3.- Baterías. Tanto de 9 volts como de 1.5 volts, para los electrodos, solenoides y todo el circuito electrónico.
- 4.- Adsorbente de Dióxido de Carbono. Se recomienda que sea Hidróxido de Bario, en forma de esferas, ya que presenta mayor área aprovechable y no representa un peligro mayor en caso de combinarse con el agua, además de que su obtención es relativamente fácil y económica en comparación con el que usa la Beckman en Estados Unidos de América: el Barylme, que es producto a base de $Ba(OH)_2$ pero con mejoras que aunque aumentan su eficiencia, también aumentan su costo, además de que en México aún no se obtiene.

- 5.- Agua destilada.
- 6.- Solución 1 N de hidróxido de potasio. Esta solución se obtiene disolviendo 60 gramos de KOH (Q.P.) en 1000 mililitros de agua.

IV.6.2 PREPARACION Y CALIBRACION DE LOS ELECTRODOS

POLAROGRAFICOS

Se saca la cámara electrónica junto con la mampara del estuche y se coloca sobre la tapa del mismo estuche. Se reúnen los electrodos y se remueven los sellos de hule, se lava el electrodo en agua destilada, se saca el electrodo y se deja húmedo.

Con un gotero, se coloca una gota de KOH solución en el orificio anular y se presiona hacia afuera la membrana de teflón, con el fin de que la gota llene el espacio anular, se debe asegurar antes de poner el sello de hule que no queden burbujas de aire entre la membrana y la solución. Como anteriormente se señaló, la membrana debe ser delgada (0.001 plg de espesor) y de teflón; también se recomienda aplicar grasa de silicón en las juntas o monturas del electrodo.

IV.6.3 LLENADO DEL RECIPIENTE DE HIDROXIDO DE BARIO

Se saca el recipiente de su lugar y se le quita la tapa del fondo, se le quita el resorte compresor del adsorbente y se sacan las mamparas. Se empieza a llenar el recipiente hasta que alcance una altura aproximada de 62 cm. Se mantiene el recipiente en posición invertida de manera de colocar el tubo central que será la entrada al adsorbente de la mezcla respirable. Se asegura el tubo central en su posición y se coloca el fondo del recipiente en su lugar.

IV.6.4 LLENADO DE LOS CILINDROS DE GAS

Los cilindros de gas están diseñados para soportar una presión de 2150 psi. No se requiere de ningún procedimiento especial para llenarlos. Se quita el regulador de la válvula "K" del cilindro de gas inerte y se deja colgando de su línea, mientras que hace el llenado del cilindro. El cilindro de oxígeno se llena solamente con oxígeno. El cilindro de gas inerte se puede llenar con mezcla de gases inertes o bien con un solo gas puro siempre y cuando también sea inerte. En algunos casos se permite el uso de un 10% de oxígeno en el cilindro de gases inertes, ya que ese 10% de oxígeno puro permite el uso manual de dicho cilindro, en el caso de una emergencia, como un circuito semicerrado, en profundidades que van de 10 metros a 150 metros, en el caso de una falla completa del circuito electrónico.

Habiendo hecho todo lo anterior, y colocados los electrodos en su lugar y con todas las conexiones correspondientes instaladas se procede a su calibración:

Se dejan reposar los electrodos por uno o dos minutos para que se estabilice su funcionamiento. Se quita la tapa de la cámara en donde se encuentra el registro o tablero de control. La calibración de los potenciómetros de izquierda y derecha corresponden a los medidores del tope y del fondo. Los potenciómetros externos ajustan los incrementos y los internos controlan las lecturas a cero. El ajuste a cero sirve para medir el flujo de oxígeno que llega a los electrodos y les sirve para entrar en función. Se mantiene el flujo de gas hasta que la aguja del medidor termine de oscilar (más o menos unos 20 seg.) y por medio del tornillo de ajuste, se mueve la aguja hasta que marque cero. Este ajuste puede ser hecho aunque no se tenga el electrolito en los electrodos, sin embargo, hacerlo de esta manera nos conducirá a tener un error en las lecturas posteriores del electrodo.

Los incrementos son calibrados ajustando los potenciómetros externos de tal manera que los medidores marquen 21 estando los electrodos completamente expuestos al aire, de manera que esta medición marque la presión parcial del oxígeno como el por ciento del mismo existente en la atmósfera.

Esta calibración nos da como resultado que la presión parcial ejercida por el oxígeno en la mezcla respirable sea de 50% de la presión total.

Esta calibración se recomienda, ya que permite que la presión parcial del oxígeno permanezca dentro de un rango de seguridad para la fisiología del acuanauta. La alarma de peligro sonará cuando dicha presión parcial del oxígeno no sea menor al 35% o bien mayor del 70% de la presión total de la mezcla gaseosa.

Si para efectos especiales, se desea aire o bien oxígeno puro, el potenciómetro se puede calibrar de acuerdo con la Figura IV.6.4-A.

IV.6.5 CHEQUEO DE LAS BATERIAS

Las baterías son muy importantes en cualquier circuito electrónico que trabaje a base de ellas, ya que son la fuente de poder del sistema.

Como anteriormente se indicó, el tipo alcalino es la clase de baterías recomendadas (baterías a base de manganeso). Se debe tener un especial cuidado con ellas, puesto que en caso de descuidarlas, podrían llegar a dañar la unidad electrónica; se recomienda que se guarden en lugares frescos y secos (se podrían guardar en un estuche con desecador, dentro de un sistema de refrigeración).

Cuando se chequen las baterías, se deben desechar aquellas cuyo voltaje sea igual o menor a 8.5 volts (para las de 9 volts) y aquellas que marquen 1.25 volts o más (las de 1.5 volts) se pueden seguir usando.

En general antes de una inmersión se deben checar, con respecto a las baterías:

- 1) Voltaje
- 2) El contacto de los sellos de los electrodos
- 3) La reserva de baterías

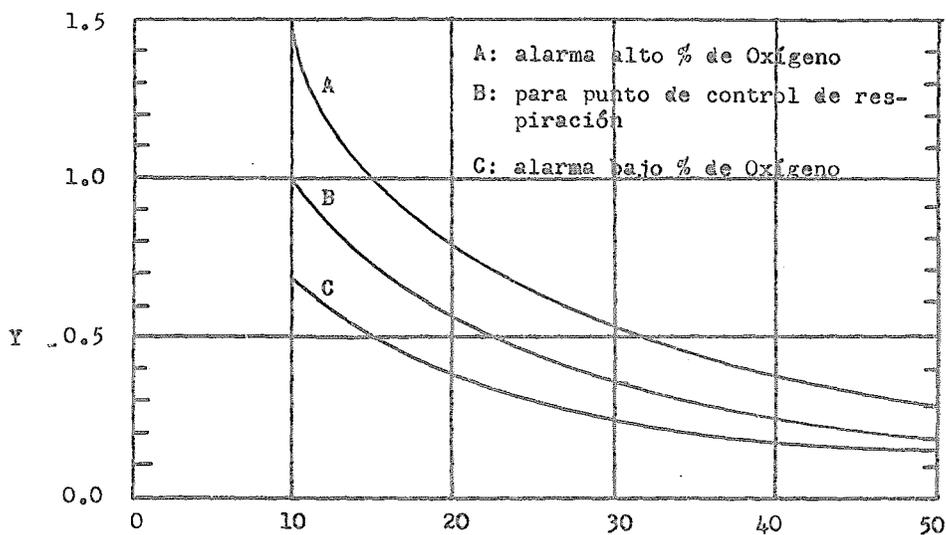
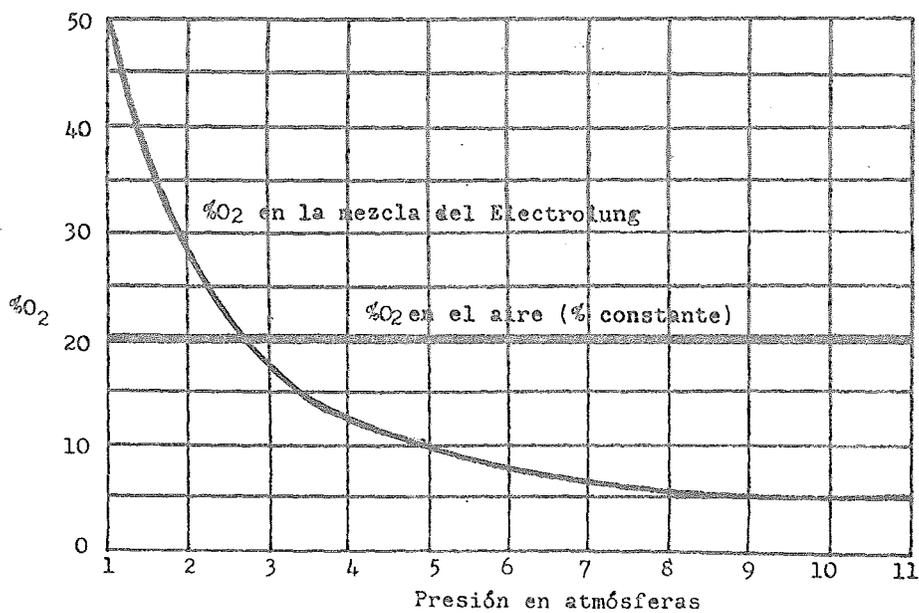


FIGURA IV.6.4-A Curva de Calibración

Y: Punto de Control de pO_2 en atmósferas



Gráfica de $%O_2$ a diferentes profundidades

4) Las baterías del solenoide

Como una recomendación prudente, se debentener desconectadas las baterías mientras el equipo no se use, sin embargo se deben tener trabajando cuando se estén calibrando los electrodos ya que el circuito deberá trabajar completo para una mayor eficiencia en las mediciones.

IV.6.6 LISTA DE REVISIONES AL ELECTROLUNG DE PRE-INMERSION

- 1.- Adsorbente fresco de CO₂
- 2.- Cilindros llenos de Oxígeno y de gas inerte (He)
- 3.- Asegurarse que el oxígeno y el helio están en los cilináros que les corresponden y que un 10% de oxígeno se encuentre en el tanque de helio.
- 4.- Electrodos funcionando
- 5.- Revisión de baterías
- 6.- Asegurarse que los contactos e interruptores estén - funcionando sin problemas
- 7.- Calibración correcta
- 8.- Revisión al sistema de baterías de reserva
- 9.- Armado de la unidad
- 10.- Flujo correcto de oxígeno
- 11.- Encendido general del circuito electrónico
- 12.- Funcionamiento general

IV.7 INMERSION

IV.7.1 DESCENSO

Antes de entrar al agua, se abren las válvulas "K", tanto la del cilindro de oxígeno como la del cilindro de helio; - se enciende el circuito de las baterías; se checa que el by--pass del oxígeno esté cerrado y se revisa la lectura de los medidores (la medida será un poco mayor al punto de control de bido al oxígeno utilizado en la revisión de pre-inmersión; se abre la válvula de la boquilla y se comienza a respirar de la unidad; se estabilizan las medidas de los controles y se comienza la inmersión

Manualmente se compensa el presionamiento inicial de la bolsa de respiración inyectando helio. En cuanto se empieza a descender, la presión parcial del oxígeno será mayor, ya que - si se usó el 10% de oxígeno mezclado con el helio, ese porciento incrementará la presión parcial del oxígeno; si en un momento dado llegara a sonar la alarma, se suspende la inmersión y se cierra válvula de control manual, con lo que la presión parcial del oxígeno empieza a descender hasta llegar el punto de control automático que hace trabajar a la válvula solenoide.

Generalmente esto no sucede ya que el esfuerzo que realiza el acuanauta es suficiente para adsorber el exceso de oxígeno. Siendo este el caso, el acuanauta llega a la profundidad deseada, controlando normalmente la mezcla gaseosa y cuando la presión parcial llega a su punto de control, el sistema automático hace trabajar la válvula solenoide y es entonces cuando el Pulmón Electrónico trabaja como tal.

Cada 20 segundos a 1 minuto se oír un "psst" originado por el flujo de oxígeno al ser demandado por la válvula solenoide. Si el agua se acumula en la bolsa de respiración (debido a la condensación), lo que se debe hacer es exhalar mientras se abre la válvula de drene, con lo que se obtiene una presión interior mayor que la externa, permitiendo la salida del agua (se recomienda que para facilitar esta acción, se presione la bolsa de respiración con una mano tan pronto como el gas principie a escapar).

IV.7.2 ASCENSO

Durante el ascenso, la bolsa de respiración empieza a inflarse debido al aumento de volumen ocasionado por la disminución de presión; este exceso de gas es expelido ya sea por la nariz o bien por la boca. Por la expansión del volumen gaseoso disminuye la presión parcial del oxígeno por lo que la inyección de oxígeno debe ser más frecuente.

La descompresión con oxígeno puro se debe hacer exhalando la mayor cantidad posible de mezcla gaseosa al agua y manejando manualmente el bypass de oxígeno. Esta operación se debe hacer cuando menos tres veces y haciendo varias respiraciones en cada parada. La alarma de la alta presión de oxígeno sonará, por lo que si se desea, se puede desconectar.

En caso de que la alarma se quiera desconectar, se deberá cerrar la válvula del cilindro de gas inerte cada vez que se efectue la parada de descompresión. Por supuesto que el oxígeno puro sólo se debe usar en la descompresión y a las profundidades y tiempos previamente calculados (1).

Generalmente, los acuanautas que usan un SCUBA circuito abierto, respiran sólo a intervalos con el fin de conservar el aire; esta técnica no es recomendable y es más, es obsoleta cuando se usa el Electrolung, puesto que no hay pérdida de mezcla -

o o o o o

- (1) Las paradas y tiempos de descompresión se calcularán de acuerdo a la profundidad y tiempo de duración de la inmersión según las Tablas de Descompresión de la Marina de los Estados Unidos de América.

gaseosa y además la respiración continúa, facilita la ventilación de los pulmones y los "limpia" de bióxido de carbono.

La condensación causada por la pérdida de presión del gas saturado, se forma en las paredes del recipiente del adsorbente de CO₂ al ascender el acuanauta, este fenómeno no afecta el normal funcionamiento del Electrolung.

IV.7.3 PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA

El Electrolung es un equipo que hace uso de la técnica más adelantada en existencia con el fin de que su funcionamiento sea perfecto, sin embargo, la probabilidad de que alguna falla ocurra durante su uso existe, por lo que el acuanauta debe conocer, la manera de corregir el mal funcionamiento del equipo, que se le presente durante la inmersión.

La alarma funcionará cuando la señal de alguno de los sensores es diferente, al rango pre-establecido por lo que los procedimientos para las condiciones de emergencia son:

Condición 1 : La alarma suena y un medidor indica una alta o baja lectura, mientras que los otros, están normales.

Causa : Mal funcionamiento del sensor o de su circuito.

Procedimiento : La conexión de salida del sensor erróneo se asegura; si la falla era un mal ajuste, volverá a operar normalmente, si la falla persiste, se desconecta y el circuito operará normalmente con los otros dos sensores. No se requiere ningún tipo de acción compensatoria sin embargo se debe tener en cuenta que el circuito automático tardará un poco en absorber dicho error. La inmersión puede continuar.

Condición 2 : Alarma sonando y todos los medidores marcan una baja lectura.

Causa : Baja presión parcial del oxígeno. La válvula solenoide no esta funcionando (considerando que el cilindro tiene oxígeno y que la válvula "K" está abierta y funcionando bien).

Procedimiento : Se utiliza el bypass manualmente, utilizando, los medidores como manómetros para medir la cantidad correcta de gas. La inmersión se debe suspender.

- Condición 3 : Alarma sonando y todos los medidores marcan una alta lectura.
- Causa : Alta presión parcial del oxígeno. La válvula solenoide no está cerrando completamente o bien la válvula del bypass está ligeramente abierta.
- Procedimiento : Checar la válvula del bypass; si está bien cerrada, entonces lo que no funciona bien es la válvula solenoide. Cierre la válvula "K" del cilindro de oxígeno. Use la válvula "K" manualmente, de manera que sustituya el mal funcionamiento de la solenoide. Use el medidor como manómetro. La inmersión debe ser suspendida.
- Condición 4 : La alarma no suena y los medidores indican lectura anormal o bien: la alarma suena y los medidores indican lectura normal.
- Causa : Mal funcionamiento de la alarma.
- Procedimiento : En caso de que la lectura sea anormal, se pasan por alto los medidores y se sigue el procedimiento manual. Si la lectura es correcta pero la alarma suena, se desconecta ésta y se prueban manualmente los medidores. Se debe suspender la inmersión en ambos casos.
- Condición 5 : Todos los medidores marcan cero o bien tienen lecturas muy diferentes. La alarma se encuentra sonando o nó.
- Causa : Circuito electrónico inundado o cualquier otro desperfecto serio.
- Procedimiento : Esta es la condición mas peligrosa ya que no se obtiene ninguna información confiable de la unidad electrónica. Cierre el cilindro de oxígeno, agote la mezcla de la bolsa de respiración y llénele con la mezcla de 10% de oxígeno y 90% de helio. Respire la mezcla una vez por cada atmósfera (1), de presión que se tenga si la profun-

o o o o o

(1) Una atmósfera de presión equivale a 33 pies o diez metros

didad es igual o menor a 100 metros y respírela dos veces por cada atmósfera, si la profundidad es mayor de 100 metros. Después de cada ciclo respiratorio, cuando la mezcla respirable se haya agotado, vuelva a inflarla con la misma mezcla. Cuando se encuentre a 15 metros cambie la mezcla a oxígeno puro.

Se debe tener en cuenta que si los únicos elementos dañados o inundados son los medidores y el agua no ha penetrado a la cámara electrónica, la unidad continuará funcionando normalmente ya que los medidores están aislados del circuito de control; en estas condiciones, se hace un ascenso seguro relevando el circuito electrónico con el circuito manual.

En el caso de que la bolsa de respiración resultara severamente dañada, se procederá a pincharla y se usará el equipo con la reserva de gas inerte con el 10% de oxígeno, como si se tratara de un SCUBA circuito abierto.

IV.7.4 INMERSION PROFUNDA

Se le llama inmersión profunda cuando la profundidad alcanzada sea mayor a los 50 metros. Este tipo de inmersiones solo es recomendable para expertos en el oficio. Es en base a la experiencia de personas que han estado a dichas profundidades, -- que si hacen los siguientes comentarios: Los efectos fisiológicos de la presión son de gran importancia con respecto a tres efectos: 1) Incremento de la densidad de los gases; 2) Narcosis debida al gas inerte; 3) Absorción física de los gases.

1) Incremento de la densidad de los gases.- La densidad es una propiedad intensiva (1), que como se vió en el Capítulo II es la relación entre la masa y el volumen. El aumento de la densidad de un gas con la presión, se debe a que la densidad es una función directa de la presión.

Al aumentar la presión e incrementarse la densidad del gas se dificulta la respiración por lo que existe una ventilación inadecuada de los pulmones. El CO₂ resultante permanece en los pulmones, por lo que al acumularse puede provocar un estado de inconsciencia al acuanauta. El helio reduce el trabajo respiratorio (baja densidad) por lo que la ventilación de los pulmones es correcta. Sin embargo aun con helio la ventilación pulmonar a grandes presiones es inadecuada por lo que la permanencia a -

o o o o o

(1) Propiedad intensiva de un sistema.- Es aquella que su valor no depende de la cantidad pero sí de la concentración de la substancia en el sistema.

profundidades considerables se debe limitar a muy poco tiempo.

El Electrolung disminuye este obstáculo ya que la respiración es sencilla y fácil y debido al circuito cerrado, el uso de helio es económico.

2) Narcosis debido al gas inerte.- El efecto del gas inerte al alcanzar una concentración en la sangre, depende de la fisiología de cada individuo. El helio es un gas inerte que basado en la experiencia profesional, se recomienda ya que sus efectos o son muy ligeros o no se presentan.

3) Absorción física de los gases.- La importancia del conocimiento de este fenómeno estriba en la necesidad que tiene el acuanauta de hacer paradas de descompresión después de haber estado durante algún tiempo a una profundidad dada, con el fin de evitar los "bends".

Existen tablas de descompresión para el uso de aire, sin embargo tablas de descompresión para helio-oxígeno, aunque sí existen, aún no es posible obtenerlas, ya que pertenecen a las empresas comerciales, quienes aún no las han editado en el mercado mundial.

IV.8 DISEÑO DE COLUMNAS DE ADSORCION DE LECHO FIJO

Habiendo establecido en la sección II.5, que el fenómeno que ocurre en el recipiente eliminador de CO_2 , es una adsorción, estableceré de manera general el método de diseño para columnas que con el lecho fijo se utilizan para este fin.

Existen básicamente dos sistemas de columnas de adsorción de lecho fijo: 1) el adsorbente se regenera en la misma columna 2) el adsorbente es regenerado en un horno. Para nuestro estudio, nos basaremos en el segundo método.

La energía libre de adsorción, produce un filtrado de alta pureza. Generalmente la sustancia que se quiere remover es el constituyente menor en la mezcla gaseosa. La sustancia debe ser polar o tener ligaduras que se puedan polarizar; el adsorbente debe ser capaz de aceptar las moléculas que se van a adsorber.

Adsorbentes más comunes.- los adsorbentes que a continuación se citan, tienen un gran uso común en la industria, sin embargo para el tipo de equipo que se está describiendo (Electrolung), tal vez no sean muy adecuados debido a que el tipo de función que realizarían los haría antieconómicos y demasiado complicados; pero sería un buen tema de investigación, saber los resultados que se obtendrían con su uso.

1) Mallas Moleculares.- son silicatos de aluminio en forma de zeolitas (1); son singulares, debido a que su síntesis de producción, las provee de un volumen uniforme de poro es decir, el volumen de todos y cada uno de los poros es igual en magnitud; en cambio en los demás adsorbentes, el volumen de cada poro varía mucho en cuanto a magnitud.

Las mallas moleculares para columnas de adsorción son "pelotitas" esféricas de tamaño uniforme. La designación de su grado, se da en función del diámetro nominal del poro en angstroms :

GRADO	ADSORBE
3A	H_2O , NH_3
4A	H_2O , NH_3 , H_2S , CO_2 , SO_2 , C_2H_4
5A	parafinas hasta de 20 carbonos
8A	Iso-parafinas, C_6H_6

o o o o o

(1) las zeolitas son silicatos hidratados.

2) Cenizas de hueso.- son gránulos utilizados para decolorar azúcar, exclusivamente. Pueden ser naturales o sintéticas.

3) Carbón activado.- son gránulos, derivados de la pirólisis de la madera o de la hulla; se utiliza para adsorber gases tóxicos del aire; para purificar el agua y derivados ligeros de los hidrocarburos (gasolinas).

Existen otros tipos de adsorbentes como son: Sílica gel Alúmina activada, Bauxita activada ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) etc.. Su uso se debe a la mayor o menor porosidad que presentan, ya que la porosidad determinará un aumento de área de adsorción.

En el caso del Hidróxido de Bario, no importa su porosidad, ya que la reacción que llevará a cabo con el Bióxido de carbono será demasiado rápida por lo que solo se aprovechará su superficie:



Es debido a la gran velocidad a que se lleva a cabo la reacción, que se considere el fenómeno como una adsorción (interfacial) y no como una absorción (homogéneo).

IV.8.1 Variables del Diseño

Las variables que intervienen en el diseño de la columna son: 1) composición química 2) Viscosidad del fluido - 3) altura de la unidad de transferencia -HETU- 4) espacio-velocidad permisible -Rx- 5) Número de Reynolds-Re- 6) fracción de espacios libres -E-.

En la sección II.3.2 quedó establecido que el consumo de aire, aproximadamente, es de 0.895 pies³/min (25.34 lt/min) y además por medio de la ecuación (35) podemos calcular el consumo de aire a una determinada profundidad. Para fines del diseño de la columna tomaremos los siguientes datos:

-Q- gasto de mezcla gaseosa.- de acuerdo a la ecuación (35): si la profundidad -d- es de 320 pies (100 m):

$$Q = \left[\frac{d}{33.9} + 1 \right] 0.895$$

$$Q \approx 9.4 \text{ pies}^3/\text{min de mezcla respirable}$$

$$Q \approx 0.27 \text{ m}^3/\text{min de mezcla respirable}$$

La cantidad de CO₂, suponiendo que todo el oxígeno de la mezcla (21%) se convierte a bióxido de carbono, será:

$$9.4 \times 60 \approx 565 \text{ pies}^3/\text{hr}$$

$$0.27 \times 60 \approx 16.2 \text{ m}^3/\text{hr}$$

De estos $16.2 \text{ m}^3 / \text{hr}$, el porcentaje correspondiente al oxígeno es:

$$\text{CO}_2 = 118.65 \text{ pies}^3/\text{hr} = 3.36 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{hr}$$

$$\text{He} = 446.35 \text{ pies}^3/\text{hr} = 12.62 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{hr}$$

De acuerdo a estudios fisiológicos del sistema cardiovascular(1), se ha deducido que del 100% de oxígeno que penetra a los pulmones, el 25% se absorbe, un 50% se queda como reserva en las cavidades pulmonares y solamente el 25% restante, se convierte a bióxido de carbono y abandona los pulmones con la exhalación. En cuanto al helio que acompaña a la mezcla respirable, un 95% del total que es inhalado, abandona los pulmones con el bióxido de carbono.

Establecido lo anterior y de acuerdo a la cantidad de mezcla que se respira, tenemos que los porcentajes que forman la exhalación gaseosa dan los siguientes resultados:



$$1 : 1 \quad \quad 1$$

$$\text{CO}_2 = 118.65 \times 0.25 = 30 \text{ pies}^3/\text{hr} = 840 \text{ 000 cm}^3/\text{hr}$$

$$\text{He} = 446.35 \times 0.95 = 425 \text{ pies}^3/\text{hr} = 12 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{hr}$$

Esta es la composición global de la mezcla gaseosa que es exhalada por el acuanauta(2) y que se pone en contacto con el adsorbente. La profundidad que se tomó como referencia fué de 100 metros ya que muy pocas inmersiones llegan a esa profundidad por considerarse una inmersión crítica y peligrosa. Las condiciones de presión y temperatura a esa profundidad son:

$$\text{Presión} = 11 \text{ atm}$$

$$\text{Temperatura} = 283^\circ\text{K}$$

Con las condiciones previamente citadas, se procede al cálculo de la viscosidad de la mezcla gaseosa. Este cálculo se hará en función de la teoría de Chapman-Enskog modificada por Curtiss y Hirschfelder(3) en la cuál se basa la relación semiempírica de Wilke:

$$V_{\text{mezcla}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i V_i}{\sum_{j=1}^n x_j F_{ij}}$$

.....

- (1) Transport Phenomena in the Cardiovascular System, Stanley Middelemann
- (2) Tomando en cuenta que la eficiencia de la reacción del metabolismo es 100% y sin considerar los otros productos de la reacción
- (3) C.F. Curtiss and J.O. Hirschfelder, J.Chem.Phys., 17, 550-555 (1949).

$$F_{ij} = 1/\sqrt{8} (1 + M_i/M_j)^{-1/2} \left[1 + (V_i/V_j)^{1/2} (M_j/M_i)^{1/4} \right]^2$$

n: número de especies químicas

x_i, x_j : fracciones mol de las especies químicas i, j.

V_i, V_j : viscosidades de las especies i, j (a T, P del sistema)

M_i, M_j : pesos moleculares correspondientes

F_{ij} : adimensional (si $i = j$ entonces $F_{ij} = 1$)

El cálculo de la viscosidad del bióxido de carbono se hará por el método de Watson-Uyehara:

$$V_c = 7.70 M^{1/2} p_c^{2/3} T_c^{-1/6}$$

V_c : viscosidad crítica

M : peso molecular

p_c : presión crítica

T_c : temperatura crítica

(1)	p_c : atm	T_c : °K	M	V_c : g/cm seg
CO ₂	72.9	304.2	44	343×10^{-6}

$$T_r = \frac{T}{T_c} \qquad p_r = \frac{p}{p_c}$$

(2)	T: °K	p: atm.	T_r : °K	p_r : atm	V/V _c
CO ₂	283	11	0.93	0.151	0.42

$$V = V_c (V/V_c)$$

$$V = 1.44 \times 10^{-4} \text{ g/cm seg}$$

El cálculo de la viscosidad del helio, se hará por el método para gases a baja densidad :

- (1) Tabla B-1 Intermolecular Force Parameters and Critical Properties; Bird, Stewart, Lightfoot; pag. 744
 (2) Figura 1.3.-1. Pag. 16; referencia (1)

$$V = 2.6693 \times 10^{-5} \sqrt{MT} / (\text{Sigma})^2 (\text{Omega})_v$$

T: temperatura °K
 V: viscosidad g/cm seg
 M: peso molecular g/gmol
 (Sigma), (Omega)_v: parámetros de colisión de Lennard-Jones
 e/k: parámetro potencial

(1)	T:°K	M:g/gmol	e/k:°K	kT/e	(Sigma):Angs.	(Omeg)
He	283	4	10.2	27.745	2.576	0.7099

$$V = 1.995 \times 10^{-4} \text{ g/cm seg}$$

Utilizando la relación semiempírica para deducir la viscosidad de una mezcla gaseosa: Ecuación de Wilke:

$$V_{\text{mezcla}} = 1.683 \times 10^{-4} \text{ g/cm seg}$$

Cálculo de la masa-velocidad: -G-:

$$G = \frac{\text{Lb totales}}{\text{hr pie}^2} ; G = \frac{\text{g totales}}{\text{seg cm}^2}$$

$$D_{\text{mezcla}} = \bar{M} P / zRT$$

D: densidad: lb/ pie³
 R: 1545 lb-ft/lbmol °R
 P: 11 atm: 23278 lb/pie² (1 atm: 2116.22 lb/pie²)
 T: 10°C: 510°R (°R: °R + 460)

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^n y_i M_i$$

$$y_i = \frac{n_i}{n_t}$$

y_i: fracción mol en fase gaseosa; n: moles presentes de gas

$$n_i = \frac{w_i}{M_i}$$

.....

(1) Tablas E-1, E-2, Transport Phenomena; Bird, Stewart, Lightfoot

w: masa de un componente presente en la mezcla

El cálculo de la densidad a las condiciones deseadas, en función del valor conocido a unas condiciones dadas es:

$$D(P, T) = D(\text{conocido}) \times (T_2/T_1) \times (P_1/P_2)$$

Las condiciones con subíndice 1, son para el valor conocido y las condiciones con subíndice 2 son para las cuales se quiere calcular.

g/cm ³ : D		20°C - 1 atm	10°C - 11 atm	
D _{CO₂}		0.00183	0.000160	
D _{He}		0.000166	0.0000146	
Q x10 ³ : cm ³ /hr	D: g/cm ³	w: g/hr	M: g/gmol	
CO ₂	840	0.00016	134.4	44
He	12000	0.00001458	175.2	4
	n _i	y _i	y _i M _i	
CO ₂	3.054	0.0653	2.87	
He	43.8	0.9371	3.75	

Utilizando los valores anteriormente calculados, con las relaciones anteriormente expuestas tenemos que:

$$\bar{M} = 6.62 \text{ g/gmol}$$

$$D_{\text{mezcla}} = 0.0035 \text{ g/cm}^3$$

$$w_{\text{total}} = 45 \text{ g/hr}$$

Con el fin de calcular -G- proponemos una sección transversal de la columna (en función de su diámetro):

$$(1) \quad d = 13 \text{ cm}$$

$$\text{Area} = 0.785 d^2 = 132.7 \text{ cm}^2$$

$$G = 355 \text{ g/hr cm}^2$$

o o o o o o

(1) Diámetro real de la columna.

Cálculo del Número de Reynolds $-N_{Re}-$; será calculado de acuerdo a los parámetros anteriormente citados:

$$N_{Re} = \frac{d_p G}{V}$$

d_p : diámetro de partícula: 0.10 plg (0.254 cm; 0.00835 pies)

G : masa-velocidad: 727 lb/hr pie² (0.098 g/seg cm²)

V : viscosidad de la mezcla: 1.683×10^{-2} cp

Tomando d_p en cm; G en g/cm²seg; V en centipoises:

$$N_{Re} = 1.5$$

Cálculo del Número de Schmidt $-N_{Sc}-$:

$$N_{Sc} = \frac{V}{D \rho_b}$$

V : viscosidad de la mezcla (P, T de operación)

D : densidad de la mezcla (P, T de operación)

ρ_b : difusividad del CO₂ en He (P, T de operación)

El cálculo de la difusividad del CO₂ en He, se hará en función - de la relación de Chapman-Enskog (1):

$$\rho_b = 0.0018583 \frac{\sqrt{T^3 (1/M_a + 1/M_b)}}{P (\sigma)^2 (\Omega)}$$

ρ_b : difusividad de un gas en otro: cm²/seg

M : pesos moleculares de los gases a y b

T : temperatura de la mezcla: °K

P : presión del sistema: atm

(σ) , (Ω) : constantes de Lennard-Jones; específicas para cada gas

o o o o o o

(1) S. Chapman and T.G. Cowling, Mathematical Theory of Non-Uniform Gases, Cap. 10 y 14.

$$(\sigma)_{ab} = 1/2(\sigma_a + \sigma_b)$$

$$e_{ab} = \sqrt{e_{aeb}}$$

(1)	M	: Angs.	e/k: °K	1/M
a: CO ₂	44	3.996	190	0.0228
b: He	4	2.576	10.2	0.25

$$(\sigma)_{ab} = 3.286 \text{ Angstroms}$$

$$(\sigma_{ab})^2 = 10.8$$

$$e_{ab}/k \quad 44^\circ K \quad kT/e_{ab} \quad 6.43 \quad (\Delta) \quad 0.8026 \quad (1)$$

$$D_{ab} = 0.048 \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$V: 1.683 \times 10^{-2} \text{ cp}$$

$$D: 3.46 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$D_{ab}: 4.8 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$N_{Sc} = 1$$

Con el fin de calcular las dimensiones del reactor, seguiremos el cálculo de acuerdo con las siguientes relaciones (2):

$$(1) \dots \dots \dots j_D = \frac{k_G P}{G_m} N_{Sc}^{2/3}$$

k_G : coeficiente de transferencia de masa

G_m : masa-velocidad en moles

P : presión en atmósferas

j_D : factor de transferencia de masa

$$(2) \dots \dots \dots e_{j_D} = \frac{0.357}{N_{Re}^{0.359}}$$

(1)

.....

Tablas B-1, B-2, Transport Phenomena; Bird, Stewart, Lightfoot

(2) Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis; Charles N. Satterfield

Tomando un valor de e (espacios vacíos %) de 40% :

$$e = 0.4 \quad e_{jD} = 0.31$$

$$j_D = 0.769$$

$$(3) \dots \dots k_G = \frac{j_D G_M}{P N_{Sc}^{2/3}}$$

$$k_G = 3.75$$

$$(4) \dots \dots k_G = \frac{G_M}{a_{vR} P LS} \int_{y_f}^{y_o} \frac{dy}{y}$$

$$(5) \dots \dots k_G = \frac{w}{a_{vR} P LS} \ln \frac{y_o}{y_f}$$

$$(6) \dots \dots a_{vR} = 0.95 a_v$$

$$(7) \dots \dots a_v = 6(1-e)/d_p ; \quad a_v = 14.2 \text{ cm}^2/\text{cm}^3 \quad (1)$$

$$a_{vR} = 13.5 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$$

$$(8) \dots \dots LS = \frac{w}{a_{vR} P k_G} \ln \frac{y_o}{y_f}$$

Tomando la fracción mol de CO_2 de entrada y de salida como:

y_o : fracción mol de entrada: 0.0653

y_f : fracción mol de salida : 0.0000653

w : 430 g/hr (por 8 horas)

De acuerdo con la ecuación (8), tenemos que:

$$LS = 5.35 \text{ cm}^3$$

L: longitud del lecho empacado (altura)

S: área de la sección transversal de la columna

El área de la sección transversal de la columna es de (d : 13 cm)

(1) Tabla del : Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis. Tabla IV.8.1-A

TABLA IV.8.1-A % de Espacios Libres en
Función del DÍam. de Partícula

d_p		% de espacios vacíos valores de a_v (cm^2/cm^3) [§]		
cm	plg	30%	40%	50%
1.270	0.50	3.31	2.80	2.36
1.016	0.40	4.12	3.53	2.95
0.763	0.30	5.50	4.71	3.93
0.508	0.20	8.25	7.07	5.90
0.254	0.10	16.50	14.20	11.80
0.127	0.05	33.00	28.30	23.60

§: multiplique los valores de área por 30.58 para obtener
 $\text{pie}^2/\text{pie}^3$



QUÍMICA

$$\text{Area} = 132.7 \text{ cm}^2$$

En la sección IV.6.3, se estableció que la altura de la columna, llena de adsorbente era de 62 cm (2 pies), por lo tanto de acuerdo con esta altura, que es un dato real del equipo, veremos si el diámetro propuesto de 13 cm cumple con la relación LS:

$$\text{Altura :H: } 62 \text{ cm}$$

$$\text{Diámetro propuesto: } 13 \text{ cm}$$

La relación que se debe cumplir para las condiciones de nuestro reactor es:

$$\text{Diámetro propuesto} = \text{Diámetro real}$$

El diámetro real se calculará de acuerdo al resultado de la ecuación (8):

$$LS = 5.35 \text{ cm}^3$$

$$(9) \dots \text{Area} = LS/L$$

$$L:H: \text{ dato conocido: } 62 \text{ cm}$$

$$\text{Area} = 0.09 \text{ cm}^2$$

$$(10) \dots \text{Diámetro} = \sqrt{4 \text{ Area} / 3.14159}$$

$$\text{Diámetro} = 1.08 \text{ cm}$$

Comparando el diámetro real, necesario para obtener las condiciones deseadas en el reactor, con el diámetro propuesto, vemos que este último es bastante mayor que el real, sin embargo, debido a la disponibilidad de espacio en el equipo y tratándose de la vida humana, se deja la columna con las siguientes dimensiones:

$$\text{Altura: } 62 \text{ cm (2 pies)}$$

$$\text{Diámetro: } 13 \text{ cm (5 plg)}$$

Estas son las dimensiones reales del equipo y como se puede observar la seguridad del acuanauta en este aspecto esta asegurada.

En el terreno experimental, la Beckman Instruments, Inc., ha obtenido hasta 8 horas de inmersión continua con esta columna, sin que se hayan presentado problemas con el adsorbente; es más, si la inmersión ha sido suspendida se ha debido a la limitación de la carga de las baterías que suministran poder de operación al circuito electrónico y en ningún momento la prueba se ha suspendido debido a un mal funcionamiento del adsorbente.

V CONCLUSIONES

Una de las más importantes funciones de la sangre(1), es la de transportar el oxígeno de los pulmones a las células del cuerpo y la de llevar el bióxido de carbono (producto del metabolismo) de las células a los pulmones. En 1ª sangre se disuelven grandes cantidades de oxígeno, debido al hecho de que éste, reacciona con la hemoglobina de los glóbulos rojos (eritrocitos) contenidos en la sangre. Debido a esta reacción, la ley de Henry no puede ser aplicada como tal para predecir esta solubilidad, sin embargo con el propósito de obtener resultados, se ha modificado de tal manera que aunque su fundamento es el mismo, su presentación ha variado de la siguiente manera

$$\frac{VO_2}{VS} = \alpha P_a$$

VO_2 : volúmen disuelto de oxígeno

VS : volúmen de plasma

α : constante de solubilidad

P_a : presión parcial del oxígeno gaseoso, en equilibrio con la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma

(2) En base a experimentaciones fisiológicas, se puede decir que para oxígeno disuelto en la sangre, a una temperatura de 37°C, el valor de α es de aproximadamente 0.023 ml O_2 /ml plasma-atm (por supuesto el valor de la constante de solubilidad es a 1 atm). La atmósfera tiene una presión parcial de oxígeno de 0.21 atm. Por lo tanto en 100 ml de plasma en equilibrio con la presión atmosférica, tendremos:

$$0.023 \frac{\text{ml}}{\text{ml-atm}} \times 100 \text{ ml} \times 0.21 \text{ atm} \approx 0.48 \text{ ml } O_2 / 100 \text{ ml plasma}$$

Por el contrario, si consideramos saturada a la hemoglobina, - cada mol de Hb_4 (hemoglobina) reaccionará con 4 moles de oxígeno. En 100 ml de sangre, se encontrarán aproximadamente 45 ml de glóbulos rojos. Los glóbulos rojos, contienen aproximadamente un 25% de hemoglobina (3), por lo que en los 45 ml de eritrocitos, tendremos 11 ml

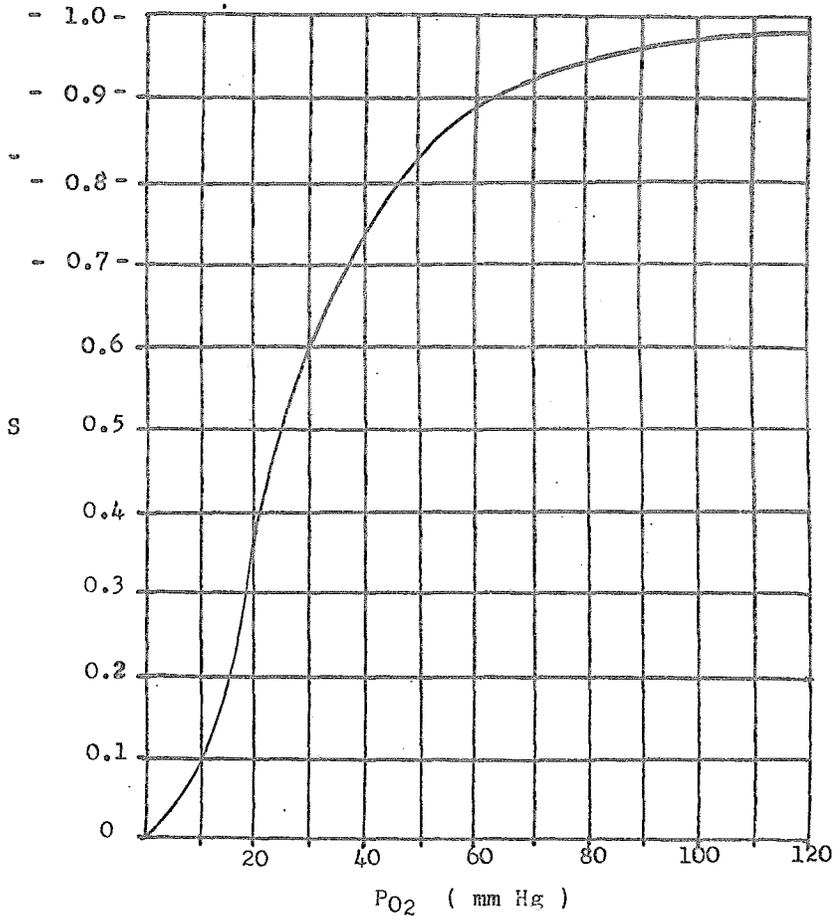
oooooooooooo

(1) La sangre es una suspensión de células en una solución acuosa de nominada plasma. En 1 ml de sangre humana, existen aproximadamente 5×10^9 células, de las cuales el 5% son plaquetas; 1/6 del 1% son glóbulos blancos (Leucocitos) y el resto son eritrocitos. Aproximadamente un 45% del volúmen sanguíneo humano constituye la fracción de eritrocitos conocida como Hematocrito.

(2) Transport Phenomena in the Cardiovascular System, Stanley Middleman

Gráfica de Fracción Saturada de Hemoglobina contra
Presión parcial de O₂

K: cte. dependiente de la fuerza iónica y del pH (Hb₄)
n: exponente empírico: 2.5-2.6



(1) Fundamento: Ec. de Hill:

$$S = \frac{K(pO_2)^n}{1 + K(pO_2)^n}$$

(1) Hill A.V., J. Physiol., 40,4(1910)

de hemoglobina. Tomando el peso molecular de la hemoglobina como -- 67,000 (tiene un valor elevado, debido a que la estructura molecular de la hemoglobina se asemeja a la de los polimeros, es decir son ma-- cromoléculas); y el volúmen molar del oxígeno (a 298°K y atm) como - 22,400 ml, se puede calcular el volúmen de oxígeno disuelto en la oxi hemoglobina:

D: densidad de la hemoglobina: 1.363 g/ml

Masa de 11 ml de hemoglobina: 15 g

$$\frac{22400 \text{ ml} \times 4 \times 15 \text{ g}}{67000} = 20 \text{ ml O}_2/100 \text{ ml de sangre}$$

La hemoglobina, denominada por Hb_4 , es una sustancia con un peso molecular de 67000. Cada molécula contiene cuatro grupos Hb que -- son moléculas orgánicas complejas con un átomo de fierro en el centro. Cada átomo de fierro se puede combinar de manera reversible, con una molécula de oxígeno, formando oxihemoglobina (Hb_4O_8).

La capacidad (por unidad de volúmen) de la hemoglobina para disolver oxígeno en su estructura, es unas 40 veces mayor que la solubilidad del oxígeno en el plasma:

volúmen de oxígeno disuelto en 100 ml de plasma: 0.48 ml

volúmen disuelto en 100 ml de sangre: 20 ml

$$0.48 \text{ ml} \times 40 \text{ es aproximadamente igual a } 20 \text{ ml}$$

(3) Los eritrocitos están compuestos de un 70% de agua y un 25% (en -- volúmen) de hemoglobina; el 5% restante son proteínas y iones K, Na, - Cl^- , HCO^- .

Todos los equipos de inmersión subacuática, tienen en común, la importante función de lograr que el hombre a cualquier profundidad y en cualquier tipo de actividad, pueda desarrollar sus funciones de manera normal y adecuada.

De todos estos equipos, el Pulmón Electrónico Subacuático, --- -Electrolung- es el aparato autónomo más avanzado dentro de este campo y su importancia radica en representar un paso más del hombre hacia la conquista del mar.

A pesar de los grandes adelantos de la ciencia y la tecnología, el mar aún tiene grandes misterios sin resolver, pero el hombre en su afán de progreso ha ido avanzando en su conquista y es la historia -- misma quien se encarga de atestiguarlo:

En el pasado, el mar, sólo fué el quimérico y fantástico mundo, lleno de ciencia ficción (con demasiada imaginación realista) de Julio Verne.

En el presente es la mezcla de ciencia y aventura, cerebro y valor, - investigación y exploración científica de Jacques Ives Costeau.

Pero en el futuro será todo lo que el hombre actual quiere que sea; - sin embargo para llegar a ese futuro, es necesaria la investigación - y la colaboración conjunta de todas las ramas de la ciencia.

Muy extraño puede parecer a primera vista, un título de esta naturaleza dentro de un trabajo de Ingeniero Químico, pero todo lo anteriormente escrito, demuestra que no solo es de su incumbencia, sino - que tal vez dentro de poco tiempo también sea parte de su obligación. Porque, ¿quién sabe?, tal vez la Ingeniería Química no sea otra cosa que el subconciencia humano acostumbrado a las obligaciones de la --- realidad.

BIBLIOGRAFIA

1. Aubert M., El Cultivo del Océano; Nueva Colección Labor
2. Beckman Instruments, Inc., Manual de Operación
3. Bird, Stewart, Lightfoot, Transport Phenomena; Wiley International Edition
4. Crockford H.B., Knight S.B., Fundamentals of Physical Chemistry; Wiley International Edition
5. Chapman S. and Cowling G., Mathematical Theory of Non-Uniform Gases; Cambridge Press Inc.
6. Daniels F., Outlines of Physical Chemistry, John Wiley & Sons
7. Engel L., El Mar; Time-Life, Colección Popular
8. Maron S. & Prutton C., Principles of Physical Chemistry; Mc Millan Co.
9. Middleman S., Transport Phenomena in the Cardiovascular System; Wiley Interscience
10. Perry J.H., Chemical Engineers' Handbook; Mc Graw-Hill Series, Kogakusha
11. Roberts F.M., Bases del SCUBA; CECSA, Segunda Edición
12. Satterfield N.Ch., Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis; The Colonial Press Inc.
13. Smith J.M., Chemical Engineering Kinetics; International Student Second Edition
14. Weidner R. & Sells R., Elementary Classical Physics; College Physics Series, Allyn & Bacon