

Aplicación de la Ley de OHM a conductores biológicos

ANALOGIA DEL SISTEMA BRONQUIAL

DR. MIRELES VIEYRA M.*

DR. SOTOMAYOR PONCE R.**

LA conducción de impulsos eléctricos a través de conductores se rige por leyes que explican el comportamiento de la corriente eléctrica desde la fuente alimentadora hasta los sitios donde su acción determina diversos efectos.

Una ley que describe esta conducta relaciona el flujo eléctrico (I) con la resistencia (R) o fuerza que se opone a su paso y al voltaje (V), definido como la presión que impele la corriente de electrones, esta relación puede ser escrita como un cociente,

$$I = \frac{V}{R} \quad (I)$$

El radio (r) y la longitud (l) influyen en forma decisiva sobre la tasa de flujo, la oposición o resistencia que se desarrolla al variar el diámetro del conductor es muy superior a la producida por cambios en longitud del tubo,

$$R = \frac{l}{r^n} \quad (II)$$

Cuando la corriente de partículas o electrones es paralelo en dirección a las paredes del conductor recibe el nombre de flujo LAMINAR, la oposición que desarrolla el diámetro en este tipo de movimiento es de valor aproximado a la cuarta potencia del radio y se eleva a la quinta si las moléculas que se desplazan adquieren una dirección irregular con producción de flujo TURBULENTO donde la fricción y choques intermoleculares explican el incremento; de lo anterior se deduce que las corrientes forjan su propia resistencia que es intrínseca al diseño del conductor.

En sistemas de conducción se acostumbra representar con R_n (subíndice progresivo) los diversos conductores que lo forman; en un circuito colocado en SERIE, estos se colocan uno tras otro, en esta posición la resistencia dada por el diámetro permanece constante a todo lo largo del sistema, lo único que varía es la longitud y lo hace en forma proporcional; a mayor longitud más se eleva la resistencia y viceversa, esto forma el substrato funcional de conductos en serie; en ellos el valor de la resistencia

* Fisiólogo cardiopulmonar. Hospital de Traumatología, C.M.N.

** Jefe del Servicio de Anestesia Hospital Darío Fernández, ISSSTE.

total (R_t) se obtiene al sumar los valores de cada uno de los tramos intercalados;

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n \quad (\text{III})$$

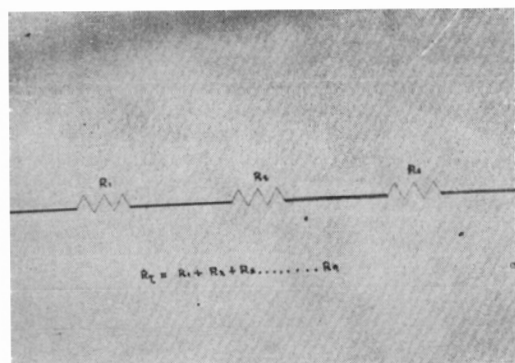


Foto B.

Las unidades que se utilizan para indicar el valor de la resistencia depende de la naturaleza del flujo, en corriente eléctrica la unidad es el Ohm, en fluidos no newtonianos la expresión llega a ser más compleja: dinas/ seg/ Cm^{-5} .

Otra forma habitual de disponer grupos de conductores es por dicotomía, de uno se proyectan dos y así en forma sucesiva, en este tipo de arreglos el diámetro por sección de área crece progresivamente.

Si se considera constante y de un milímetro el diámetro de los conductores que constituyen el circuito marcado con el número 1, el área de sección a nivel de R_1 es de un milímetro (A, A') y se eleva hasta alcanzar 4 mm en el sitio de corte B, B' , lo anterior resulta en una caída importante de la resistencia o impedancia que caracteriza este tipo de circuitos colocados en PARALELO; los electrones que fluyen por R_1 al llegar al punto C se conducen por R_2 y R_3 , esto acelera su movimiento virtud a la expansión en las vías de conducción. El

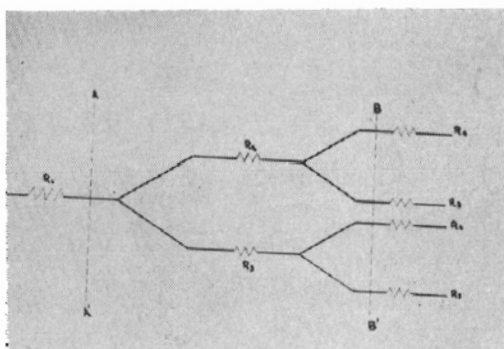


DIAGRAMA 1.

valor de la resistencia total en este tipo se obtiene mediante la fórmula,

$$R_t = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}} \quad (\text{IV})$$

el valor de R_t en esta ecuación siempre es menor del valor individual de los componentes.

ANALOGÍA DEL ÁRBOL BRONQUIAL

En el diagrama 2 se aprecia un circuito colocado en serie, la fuente alimentadora o pila (E) con valor de 50 v. se conecta a tres conductores R_1 , R_2 y R_3 con valor de 25, 10 y 25 ohms respectivamente, la corriente

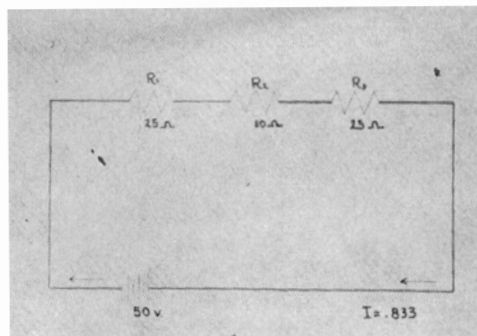


DIAGRAMA 2.

(1) por el mismo es de .833 mA. que se obtiene del cálculo siguiente:

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{50}{25 + 10 + 25} = .833 \text{ mA}$$

Si se coloca un amperímetro en diferentes niveles del circuito anterior se corrobora que la intensidad del flujo I es del mismo valor es decir, .833 sin embargo, el voltaje disminuye en cada conductor lo que recibe el nombre de "caída de tensión" (E_n) expresando la fuerza gastada en vencer la resistencia al paso de la corriente:

$$\begin{aligned} E &= I \times R \\ E_1 &= .833 \times 25 = 21 \text{ v} \\ E_2 &= .833 \times 10 = 8 \text{ v} \\ E_3 &= .833 \times 25 = 21 \text{ v} \\ &\quad \text{-----} \\ &\quad 50 \text{ v} \end{aligned}$$

E, caída de voltaje.

Nótese que la suma de las "caídas de tensión" en cada conductor ($E_1 + E_2 + E_3$) es igual al voltaje aplicado por la fuente de alimentación. De lo antes expresado se concluye que la tensión aplicada a un fluido en su paso por conductos dispuestos en serie debe ser suficiente para pagar las "caídas", de lo contrario el flujo disminuye o cesa por completo; en cierto sentido al final del conductor, la cantidad de flujo indica el grado en que la tensión ha sido efectiva en vencer la oposición del circuito en estudio.

En dispositivos colocados en paralelo como el marcado con el número 3, el voltaje aplicado a R_1 , R_2 y R_3 es de igual valor sin embargo la intensidad de corriente varía según el valor de R, esto explica la influencia que tiene sobre el flujo este

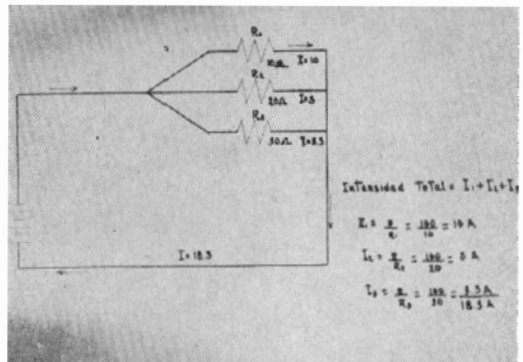


DIAGRAMA 3.

último valor y su importancia para explicar posteriormente la geometría de las corrientes aéreas.

La combinación de circuitos en serie-paralelo conduce al sistema mixto, más excitante por su parecido a estructuras biológicas, su funcionamiento está regido por la combinación de leyes que los gobiernan por separado.

El diagrama 4 muestra este tipo de organización: el voltaje de la pila (E) es de 100 v mismo que se ofrece a R_1 donde sufre una "caída" de 23.8 v razón por la que R_2 sólo recibe 76.20, que se reduce hasta 28.6 v total aplicado a R_3 y R_4 . Por lo que toca a la corriente no sufre cambio

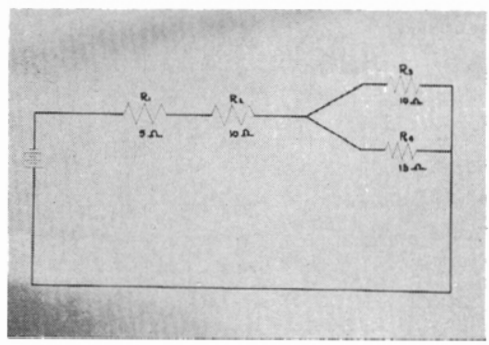


DIAGRAMA 4.

alguno hasta este último sitio donde los conductos se colocan en paralelo,

$$R_t = R_1 + R_2 + \frac{R_3 \times R_4}{R_3 + R_4} = 5 + 10 + 6 = 21 \text{ ohm.}$$

$$I_3 = \frac{E'}{R_3} = \frac{28.60}{10} = 2.86 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{E'}{R_4} = \frac{28.60}{15} = 1.90 \text{ A}$$

Si aplicamos una analogía de los circuitos antes mencionados a la geometría de vías aéreas se obtiene un método didáctico extraordinario en el conocimiento de la mecánica ventilatoria en la salud y enfermedad, esto es válido aun cuando el material biológico en estudio no se ajusta del todo a la ley de Ohm.

La nariz representa un conductor de alta impedancia si se compara con la boca de diámetro superior sin embargo, esta última carece de propiedades de filtro, calentamiento, mezclado y humedad característi-

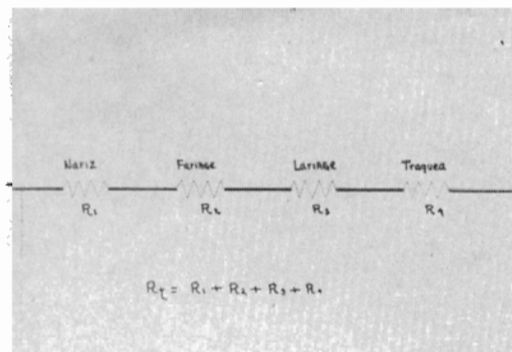


FIGURA A.

cas de la primera, razón funcional para asociar ésta a las vías aéreas superiores dispuestas anatómicamente en serie. (Fig. A):

La laringe por su constricción con efecto de orificio y la nariz con acción de turbina poseen los valores más elevados en resistencia que se incrementa al reducir su luz durante los procesos inflamatorios o cuando la velocidad del aire inspirado se acelera con la formación de turbulencia.

Cuando se ventila por boca y nariz el circuito se modifica (diagrama 5), la colocación de estas dos formaciones anatómicas baja la impedancia y el aire fluye con mayor facilidad.

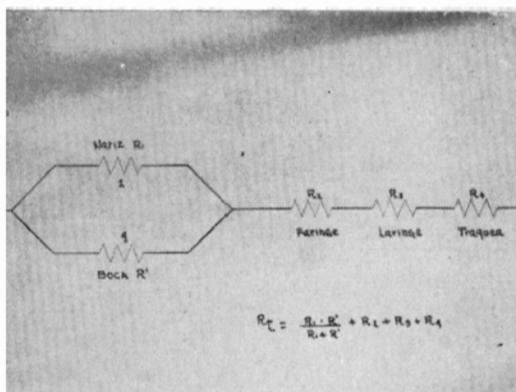


DIAGRAMA 5.

La tráquea último conductor en esa serie, forma el primer conducto alimentador del complejo sistema en paralelo que representa la dicotomización del árbol bronquial con tubos no rígidos, elásticos, dinámicos, de calibre no uniforme y módulos de elasticidad diferente, donde la resonancia y demás efectos del flujo "in crescendo" le imprimen caracteres difíciles de abarcar en un análisis superficial como el presente, donde se utiliza una fórmula que ontogé-

nicamente no corresponde sin embargo nos ayuda a comprender la relación flujo-presión-resistencia dentro del sistema.

Un ensayo eléctrico del pulmón derecho se muestra en el diagrama 6. Se deduce de su estudio que la impedancia disminuye conforme se introduce a generaciones bronquiales más profundas esto obedece a una área de sección mayor. Si RBD se bloquea la corriente de aire no progresa más y los efectos se notan de inmediato, cuando el obstáculo es distal (RD) la repercusión funcional es parcial sobre los ramales R_1 , R_2 y R_3 ; esto explicaría la obstrucción progresiva de vías respiratorias al principio sin evidencia clínica y posteriormente cuando el broncoespasmo, secreciones, edema o cualquier otra causa obstructiva se extiende a otros circuitos la presencia florida de insuficiencia respiratoria. El área de sección en bronquiolos es extraordinariamente grande si se compara con los 2 a 4 cm del diámetro traqueal, la oclusión del orden de un centímetro provocará signos alarman-

tes en tráquea e insignificantes a nivel bronquiolar, la oclusión en estos últimos debe superar las dos terceras partes de su capacidad para alcanzar una fase crítica de alta impedancia. En las condiciones anteriores el menor obstáculo agregado será suficiente para desencadenar los efectos de una reducción severa en el flujo alveolar. En clínica, esto se extrapola a pacientes con neumopatía extensa crónica o aguda en que se asocia un nuevo fenómeno oclusivo que compromete unidades aun funcionantes y conduce a insuficiencia respiratoria grave. No estamos lejos de la verdad cuando se señala como causa de paro cardiorrespiratorio un pequeño derrame de 100 ml, o una "simple" bronquitis en las precarias condiciones antes mencionadas.

Los ejemplos anteriores nos dan idea de la facilidad para establecer modelos didácticos y un alto sistema pedagógico para el estudio del pulmón que puede ser aprovechado en la enseñanza médica a todos los niveles.

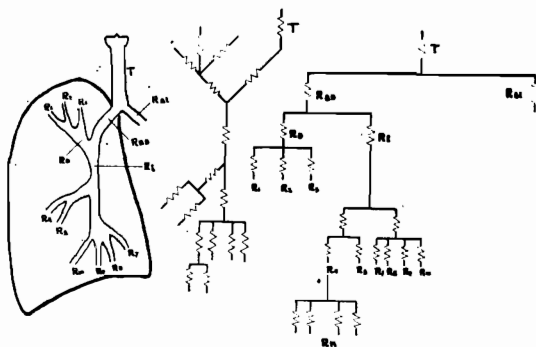


DIAGRAMA 6.