

X

Por el Dr. Ernesto Albán Mestanza

Profesor Titular Honorario de la Universidad Central.

X

LA RADIOACTIVIDAD DE LAS AGUAS MINERALES EN EL ECUADOR



ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

I

PARTE EXPOSITIVA

GENERALIDADES

En 1896, el físico francés Henri Becquerel se ocupaba de investigar si la fluorescencia provocada en ciertas sustancias por la exposición a los rayos de la luz solar, estaba acompañada de una emisión de rayos X, cuando descubrió que la Uranita o Pechblenda desprendía de manera espontánea y continua radiaciones especiales que, a semejanza de los rayos Röntgen, son susceptibles de atravesar los cuerpos sólidos, de impresionar, además, las placas fotográficas, produciendo impresiones revelables, aún cuando esas se encuentren envueltas en papel negro; de excitar, asimismo, la fosforescencia o la fluorescencia de ciertos cuerpos colocados en su proximidad y, finalmente, de ionizar los gases, convirtiéndolos en buenos conductores de la electricidad, fenómeno que se hace ostensible en el hecho de que un electroscope se descarga con mayor rapidez que la ordinaria si en su inmediata proximidad se encuentra, por ejemplo, una sal de Uranio.

P. y S. Curie, observaron que todas esas propiedades especiales, es decir, esta producción constante de energía, estaba originada por una sustancia de acción mucho más intensa que el Uranio; pues, al separar en su mayor parte a este elemento de la Pechblenda, comprobaron que sus residuos tenían una acción superior a la del mismo Uranio. Como resultado de estas investigaciones, el matrimonio Cu-

rie consiguió descubrir en la Pechblenda dos nuevos elementos radioactivos que los llamaron Polonio y Radio respectivamente.

Al descubrimiento de estos elementos siguió el del actinio por M. Debiérne; más tarde Otto Hahn aisló el mesotorio y radiotorio, y M. Boltwood, el Ionio.

En la actualidad se conocen unos 30 de estos elementos que están reunidos entre sí formando familias radioactivas, cuyos elementos primarios son el Uranio y el Torio y constituyen las dos series de elementos radioactivos llamados del Uranio y del Torio, respectivamente.

Serie de transformaciones radioactivas del Uranio

Elementos	Naturaleza de las radiaciones	Periodos (1)
Uranio I	alfa	5 mil millones de años
Uranio X ₁	beta y gamma	24 días
Uranio X ₂	beta y gamma	1,15 minutos
Serie del Actinio 3 ^u / ₀ (2)		
Uranio II 97 »	alfa	2 millones de años
Ionio	alfa	100.000 años
Radio	alfa, beta y gamma	1.600 años
Emanación de Ra. (Radón)	alfa	3.85 días
Radio A	alfa	3 minutos
Radio B	beta y gamma	26.8 minutos
Radio C	alfa, beta y gamma	19.6 minutos
Radio D	beta y gamma	16,5 años
Radio D	beta y gamma	5 días
Radio F o Polonio	alfa	135 días
Radio G o Plomo de Radio, estable		

(1) Tiempo al cabo del cual se ha transformado en otro elemento la mitad de la materia radioactiva considerada.

(2) En cuanto al Actinio, que a su vez da lugar a toda una familia de cuerpos radioactivos, no es sino una rama que arranca también del Uranio.

Serie de transformaciones radioactivas del Torio

Elementos	Naturaleza de las radiaciones	Periodos
Torio	alfa	20.000 millones de años
Mesotorio I	(beta)	6.7 años
Mesotorio II	beta y gamma	6.2 horas
Radiotorio	alfa y beta	1.9 años
Torio X	alfa	3.64 días
Torio, emanación (Torón)	alfa	54 segundos
Torio A	alfa	0.14 segundos
Torio B	beta y gamma	10.6 horas
Torio C ₁	alfa	60 minutos
Torio C ₂	beta y gamma	3.1 minutos
Torio D (plomo)	---	---

Cada uno de estos diversos elementos radioactivos, provenientes de la desintegración del Uranio y del Torio, se caracteriza por su vida media o sea por su período de desintegración, variando estas vidas medias y estos periodos, según los elementos, de una fracción de segundo a la duración de una época geológica.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

CONSTITUCION DE LA MATERIA

El átomo estaba considerado como la partícula más pequeña, indestructible e indivisible que podía existir de un cuerpo simple; mas, ahora, basados en las investigaciones llevadas a cabo por Bohr, Rutherford, Sommerfeld, etc., podemos afirmar que los átomos están compuestos de ciertos corpúsculos denominados protones y electrones. El protón, que representa la última parte constitutiva de la materia y que es de carga electropositiva, forma el núcleo mismo del átomo, donde se concentra prácticamente toda su masa; en cambio, el electrón de carga electronegativa, es el corpúsculo satélite que gira en órbita elíptica alrededor del núcleo positivo, sujeto a leyes comparables a las que rigen el movimiento de los planetas alrededor del sol, bajo la influencia de la gravitación.

Los núcleos atómicos están formados de núcleos de hidrógeno y de helio y los de este cuerpo, a su vez, deben considerarse como un complejo sumamente estable de cuatro núcleos de hidrógeno, de modo que éstos resultan ser el único componente básico material de los núcleos atómicos, o sea los elementos constituyentes de todos los demás átomos.

Para mantener su unión contrarrestando la mutua repulsión de sus cargas positivas, el núcleo de los átomos necesita la presencia de electrones internos que neutralicen dichas cargas, asegurando así la estabilidad del núcleo (1); mas no todas sus cargas positivas son neutralizadas por la de los electrones internos, sino que el núcleo conserva una carga residual positiva, denominada número atómico N , que viene a ser el número de orden de la clasificación de Mendelejeff, y cuya magnitud es igual a la diferencia entre el número de cargas positivas y el de los electrones exteriores que se mueven al rededor del núcleo.

De esta manera constituye el átomo un sistema eléctricamente neutro, en razón del equilibrio eléctrico que existe entre las cargas positivas del núcleo y el número de electrones negativos libres, o quanta elementales de electricidad negativa que giran a su alrededor.

Hay que admitir el hecho de que los electrones se mueven en torno del núcleo atómico, de acuerdo con una dis-

(1) Sin embargo, recientes investigaciones inclinan a considerar el núcleo del átomo formado de protones y de unas partículas sin carga, los neutrones.—El protón como ya hemos dicho, no es otra cosa que el núcleo del átomo de hidrógeno, o sea el núcleo más simple que se conoce cargado positivamente; en cambio, el neutrón, como su nombre mismo lo indica, no tiene carga eléctrica y el hecho de poseer una masa aproximadamente igual a la del protón, hace pensar en que el neutrón no sea otra cosa que la combinación del protón con el electrón. La emisión de un electrón por el núcleo se debería en tal caso a un proceso de transformación verificado en determinadas circunstancias, de un neutrón a un protón.

Asimismo se ha encontrado que cuando los átomos son sometidos a la acción de un bombardeo sumamente intenso, se origina un elemento completamente nuevo, de masa aproximadamente igual a la del electrón negativo, o sea $\frac{1}{1845}$ de la masa del protón, el cual, dadas sus características, ha recibido el nombre de electrón positivo o positrón. Este nuevo elemento parece provenir de las partes exteriores del núcleo atómico y se cree lo más verosímil que sea producido por los impactos del bombardeo.

tribución bien determinada: así por ejemplo, a excepción del hidrógeno, que posee un solo electrón, son siempre dos los electrones que gravitan en general sobre la primera órbita interior de los átomos. Con el litio, o sea con el primero de los cuerpos que forman la segunda línea de la clasificación periódica de los elementos, se ve aparecer una segunda órbita más externa, sobre la cual pueden describir tan sólo un número tal de electrones que, del litio al neón, aumenta progresivamente de 1 a 8. Luego, siguiendo el mismo orden de la clasificación periódica, encontramos que con el sodio aparece una tercera órbita descrita por un solo electrón y que, como en el caso anterior, el número de electrones aumenta nuevamente en una unidad por elemento, hasta llegar al argón, que tiene ocho electrones en la tercera órbita, etc. (Fig. 1).



FIGURA 1

La presencia de ocho electrones sobre la misma órbita exterior, comunica el máximo de estabilidad al edificio atómico, como sucede con los gases nobles e inertes que tienen ocho electrones circulando en su última órbita y que, por lo tanto, no dan lugar a la formación de combinaciones químicas.

Asimismo, una órbita que posee un solo electrón es muy poco estable, en razón de que el electrón se encuentra aislado sobre la órbita más externa y se halla débilmente unido al átomo. Una órbita con dos electrones es ya más estable, etc. Por el contrario, una órbita externa con siete electrones, no solamente que ya no pierde electrones, sino que tiene tendencia a atraer hacia ella un electrón para pasar al estado de mayor estabilidad; esto sucede por ejemplo, cuando se pone en contacto de un átomo de cloro otro de sodio; entonces el

electrón aislado que se encuentra en la órbita externa del sodio, al ser atraído por el cloro, salta sobre la órbita externa del cloro, que tiene siete electrones, y le comunica la forma más estable (Fig. 2). El átomo de sodio que ha perdido un

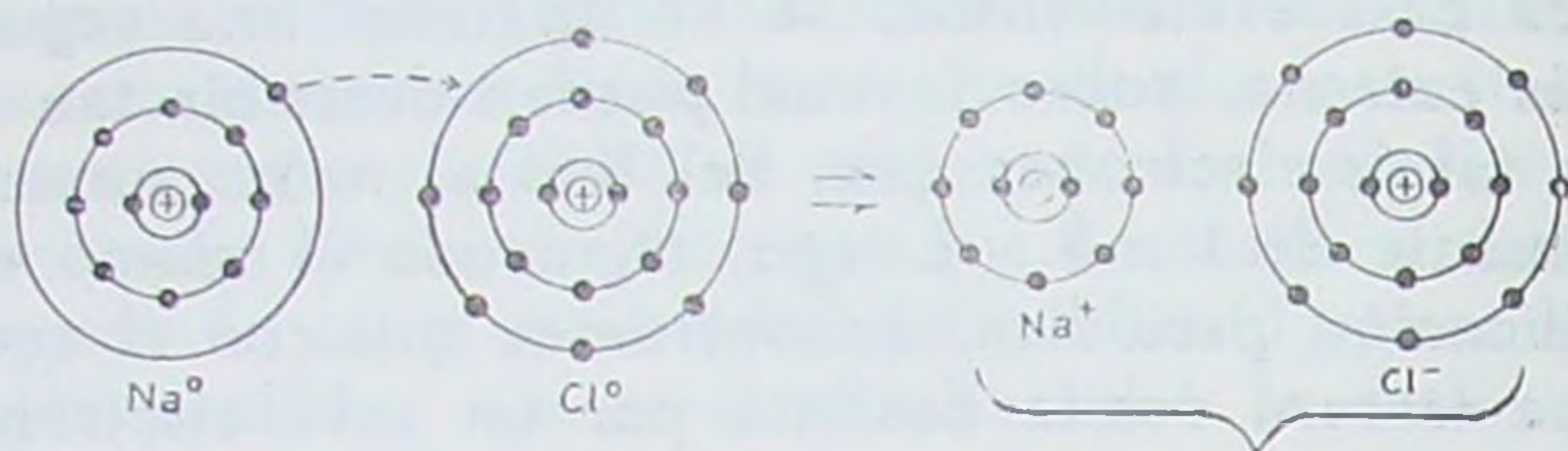


FIGURA 2

electrón se transforma en ión positivo, mientras que el cloro, enriquecido en una carga, se convierte en ión negativo, de donde resulta evidentemente que pueden así atraerse electrostáticamente y combinarse el uno con el otro para formar cloruro de sodio NaCl . De esto se desprende que los fenómenos químicos se verifican esencialmente en las órbitas externas o superficies de los átomos.

El número de protones y electrones de cada átomo varía en función de su peso atómico; así, el átomo de hidrógeno que es el más sencillo y cuyo peso atómico es 1, está formado por un solo protón, alrededor del cual gira un electrón; el átomo de helio, con un peso atómico 4, y que le sigue al hidrógeno en la escala de los pesos atómicos, tiene un núcleo de dos protones y contiene cuatro electrones, de los cuales, dos forman parte del núcleo, y los dos restantes, gravitan en derredor de ese núcleo; el átomo de sodio (que ocupa la primera columna, segunda línea de la clasificación periódica), tiene el peso atómico 23, posee en su núcleo 23 protones y 12 electrones y además, 11 electrones que se mueven alrededor del núcleo describiendo trayectorias elípticas, pero sin formar parte de dicho núcleo; y así, sucesivamente.

Ahora bien, en los elementos de peso atómico muy elevado, como el Uranio (peso atómico = 238,2), el Radio (peso atómico = 225,97), y el torio (peso atómico = 232,15), el número total de electrones libres o periféricos que giran alrededor del núcleo atómico es ya tan crecido que, en su movimiento de traslación en derredor del núcleo atómico cambian constantemente el centro común de gravedad del sistema

atómico, produciendo con esto su desequilibrio (1); y a este desequilibrio de los átomos pesados se debe la inestabilidad del edificio atómico y el hecho de que se escapan del núcleo ciertas partículas materiales o protones, originando una corriente de núcleos atómicos o rayos α , que no son otra cosa que átomos de helio unidos a dos cargas positivas, las cuales en virtud de su gran masa (45 veces un átomo de hidrógeno) y velocidad (20.000 kilómetros por segundo), así como de su absorción rápida y total, ejercen en los tejidos una acción muy intensa.

La salida de un protón trae como consecuencia inmediata el que se escapen del núcleo atómico cierto número de electrones, los cuales constituyen la corriente que se conoce con el nombre de radiación beta, que se comporta exactamente de manera igual que los rayos catódicos.

En esta virtud, la radioactividad es el proceso de desintegración del núcleo mismo del átomo de aquellos cuerpos de peso atómico elevado y de equilibrio inestable, en el que se originan, como producto de tal desintegración, unas partículas mucho más tenues, de propiedades nuevas, constituidas por átomos de helio, a las que se les denomina partículas α , que no son otra cosa que verdaderos iones con masa material y carga electropositiva, y al propio tiempo otros elementos atomiformes, de masa 1,845 veces menor que la de un átomo de hidrógeno, que son electrones negativos. Unos y otros, desprendiéndose con velocidades enormes, constituyen los rayos de emisión α y β .

En las sustancias que emiten radiaciones β , el electrón expulsado del núcleo atómico experimenta una rápida aceleración, originando con ello los rayos γ , formados por vibraciones electromagnéticas; estos rayos γ son análogos a los que constituyen los rayos X, de los cuales se diferencian únicamente por su longitud de onda, que es la más corta de las que hasta ahora se conocen en la escala de las vibraciones etéreas. Entre sus propiedades merece anotarse la de provocar, al dispersarse, una radiación secundaria, constituida

(1) Varias son las hipótesis que se han ideado para explicar el oscuro problema de la desintegración radioactiva, cuyo proceso no se ha conseguido por ningún medio ni físico ni químico acelerar o retardar; pero con el fin de ilustrar mejor el punto de que vengo tratando, he creído conveniente adoptar el que acabo de exponer.

por rayos β , que son los que tienen mayor eficacia terapéutica; pues, al atravesar los tejidos enfermos, y al dispersarse dentro de los mismos, los destruye, dando origen, como ya dijimos, a rayos β .

Los tres grupos de rayos mencionados, es decir, α , β y γ , no son perceptibles a simple vista, y se distinguen entre sí por su distinto poder de penetración; así, los más débiles en este sentido son los rayos α , los cuales no son capaces de atravesar una plancha de aluminio de 0.02 m. m. de espesor, ni tampoco una hoja de papel delgado; en el aire recorren trayectorias apenas de 3 a 7 centímetros, debiendo anotarse que hasta ese término, poseen la propiedad de ionizar los gases y de actuar sobre la placa fotográfica, sin advertirse en ellos disminución de intensidad; es decir, que el detenerse esta radiación no es debido a un debilitamiento de los rayos, por absorción gradual, sino a que se verifica una desaparición repentina.

Los rayos β son mucho más penetrantes que los α , pues atraviesan metro y medio de aire o una lámina de aluminio de algunos milímetros de espesor.

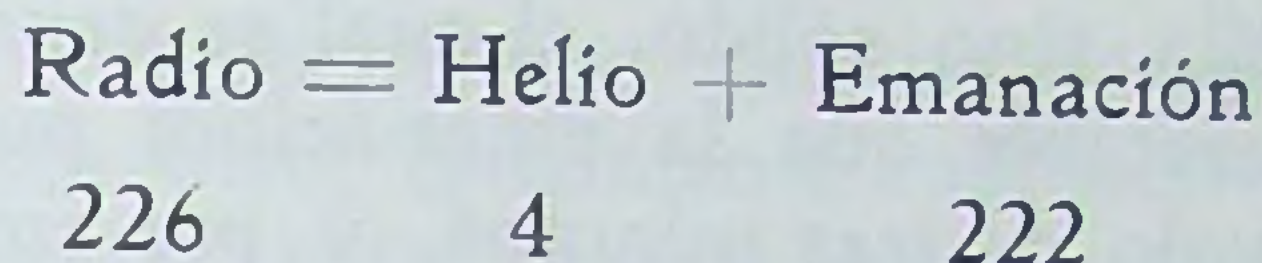
Por último, los rayos γ son unas 10.000 veces más penetrantes: éstos pueden atravesar 8 centímetros de aluminio sin perder la mitad de su intensidad.

La desintegración de los átomos pesados, o sea la radioactividad, se efectúa con extraordinario desarrollo de energía cinética y de fuerzas vivas demostradas por las sorprendentes velocidades de las partículas desprendidas, comparables con la de la luz. Estos hechos nos revelan la existencia imprevista, no sospechada, de colosales fuerzas, de incalculables energías ocultas en el interior del edificio atómico y que son las que lanzan a los espacios esos infinitos proyectiles de velocidades increíbles, que conocidos con los nombres de rayos α , β y γ , son los productores de tantos y tan variados fenómenos de gran interés científico.

Fijado el concepto de la radioactividad e interpretado como desintegración atómica, vamos a exponer el proceso según el cual se verifican las desintegraciones radioactivas:

Este proceso comienza por la pérdida de mínimas porciones del núcleo atómico, pérdida que modifica la constitución de la masa atómica y da lugar a la formación de dos nuevos elementos gaseosos llamados helio y emanación; es decir, que el átomo de radio, mediante la pérdida de una

nueva partícula α , o sea de un átomo de helio, se transforma en un nuevo átomo —llamado emanación— de propiedades también radioactivas y que difiere en cuatro unidades, en su peso atómico, del átomo generador:



El átomo de emanación no conserva invariable su actividad; es decir, no es un producto estable, sino una sustancia de actividad transitoria, que se debilita con el tiempo en progresión geométrica, tardando 3,85 días, en perder la mitad de su valor primitivo, o sea en reducirse a su mitad; en otros 3,85 días, esta mitad se habrá reducido nuevamente a su mitad, etc., de manera que al terminar cada uno de estos periodos 1, 2, 3, 4,, solamente queda la mitad, la $\frac{1}{4}$ parte, la $\frac{1}{8}$, etc. de la totalidad de la emanación considerada. (Fig. 3).

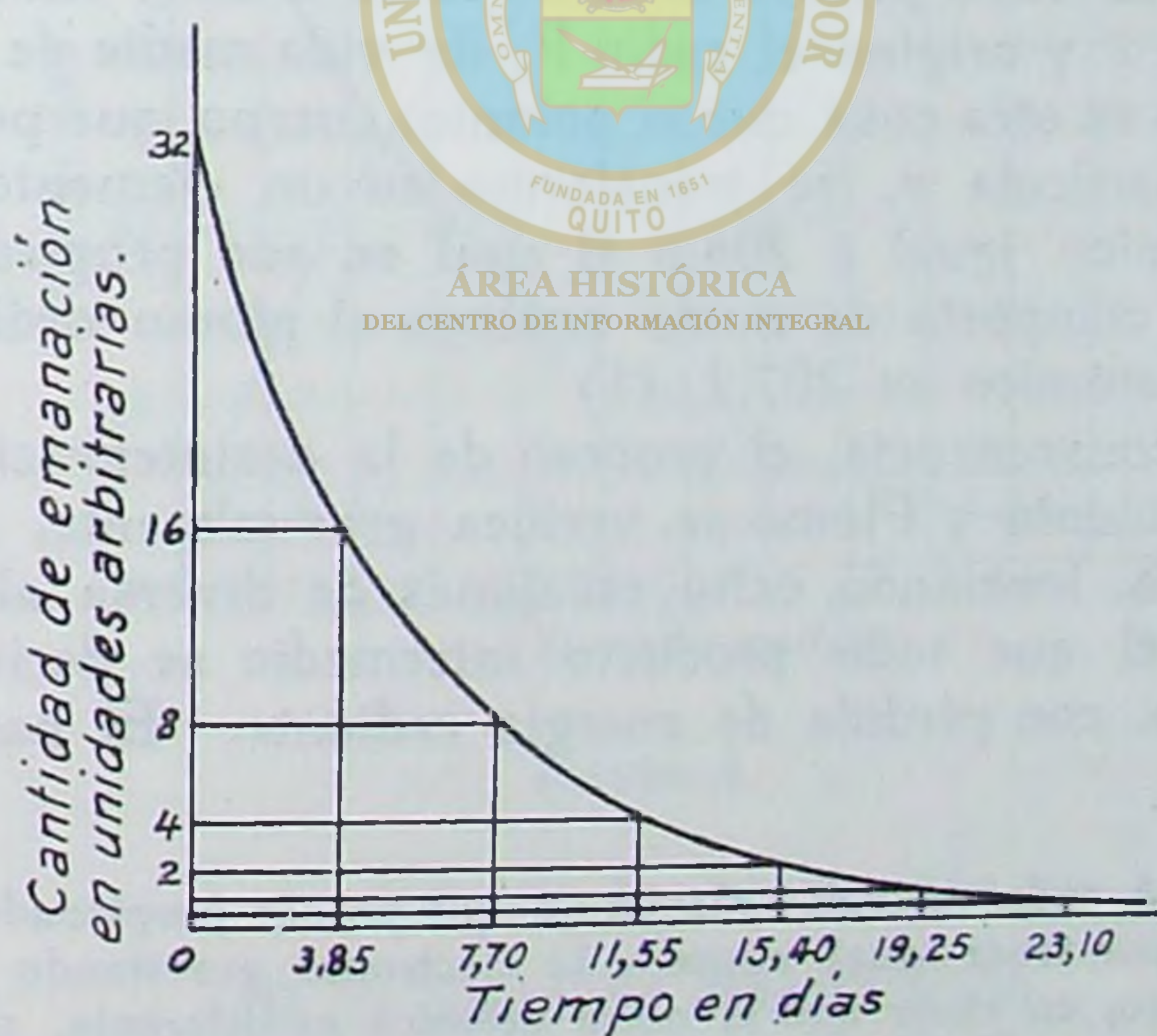


FIGURA 3

El intervalo de tiempo en que una cantidad determinada de sustancia se reduce a su mitad, es lo que se llama vida media de un elemento, la cual tratándose de la emanación del radio se la puede representar por la curva (fig. 3), en la que

puede verse además con claridad, que la actividad de la emanación, como dejamos ya dicho, disminuye en su mitad en tiempos sucesivos iguales.

Por separación de una partícula α , se descompone la emanación, a su vez, en un nuevo elemento que ya no es gaseoso como élla, sino sólido, el cual se denomina radio A, producto más inestable que la emanación; pues la mitad de éste, en el intervalo de tres minutos, y por emisión de rayos α , se transforma en una sustancia, también sólida, llamada radio B. Este cuerpo, cuya vida media es de 26,8 minutos, emite rayos β y γ y se convierte en radio C, de vida media de 16,6 minutos.

A partir de este producto, la serie de transformaciones se prosigue con gran lentitud, y por tanto, los efectos radioactivos son muy débiles; así por ejemplo, el radio C, que emite las radiaciones β y γ , engendra el radio D, que tarda 16,5 años en reducirse a la mitad. Es decir, el radio D es un cuerpo estable, que se convierte muy despacio en radio E, mediante la pérdida de rayos β , que es difícil de observar. El radio E, cuyo período de vida es de 5 días, emite también partículas β y origina el radio F, de vida media de 135 días, y que no es otra cosa que el polonio, cuerpo que por pérdida de una partícula α , se transforma en un elemento con un peso atómico igual a 206,6 el cual en sus propiedades químicas se comporta de modo análogo al plomo ordinario, cuyo peso atómico es 207,2. (1)

En consecuencia, el proceso de la desintegración del radio en Polonio y Plomo se verifica gradualmente, a manera de cascada, formando ocho escalones de diversa altura, proceso en el que todo producto intermedio se deriva de los anteriores, con pérdida de energía radiante. El paso al ele-

(1) A todos aquellos elementos que poseen propiedades químicas idénticas, por tener igual número de electrones gravitando al rededor de su núcleo, en tanto que la masa atómica es diferente, se los denomina Isotopos. Todos ellos, a consecuencia de poseer el mismo número atómico, ocupan un mismo lugar en la clasificación periódica; tales son por ejemplo:

El torio, p. at. 232.1; el Uranio I, p. at. 230; el radiotorio, p. at. 228; el ionio, p. at. 230; el Uranio X, p. at. 234, cuyo número atómico es el mismo, o sea 90. Otro grupo similar forman el radio G, p. at. 206; el plomo, p. at. 207.2; el radio D, p. at. 210; el torio B, p. at. 212.1; los cuales tienen por número atómico 82, etc., etc.

mento siguiente se verifica con pérdida de enormes cantidades de energía de naturaleza cinética, mecánica, térmica, química y eléctrica; el elemento resultante es de naturaleza cada vez más estable, hasta llegar por último a la formación de los elementos comunes que conocemos.

Como al mismo tiempo que un cuerpo radioactivo se destruye aparece otro, igualmente radioactivo, se puede, asimismo, representar gráficamente este proceso de reactivación, tomando para ello como abscisas los tiempos, y, como ordenadas, las actividades; de esta manera se obtiene una curva igual a la que representa la destrucción radioactiva, sólo con la diferencia de que en este caso la curva resultante, en lugar de ser decreciente será creciente. (Fig. 4).

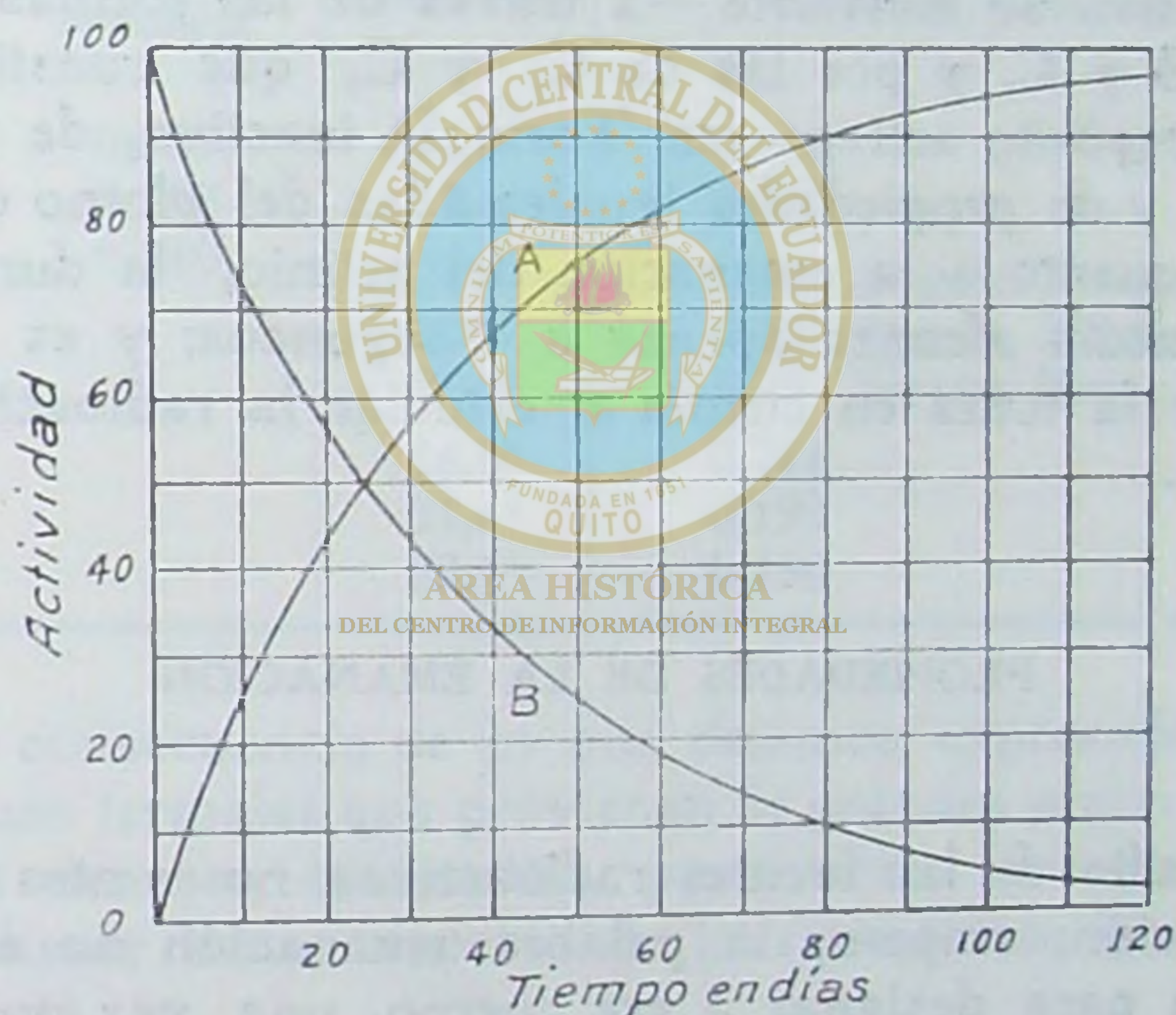


FIGURA 4

A = curva de reactivación

B = curva de desactivación

Fenómenos análogos a los provenientes de la desintegración del Uranio se producen, si bien es cierto con menos intensidad, con los cuerpos radioactivos torio y actinio, los cuales dan asimismo lugar a una serie de transformaciones, cuyos productos emiten, durante el proceso de su desintegración, radiaciones de la misma especie que las producidas por

el Urano, con la diferencia de que los elementos radioactivos derivados del torio son mucho menos estables; así, la marcha del fenómeno de desintegración del torio es como sigue: por emisión de partículas α , se convierte en otro cuerpo, asimismo sólido, llamado Mesotorio I, el cual, sin emitir aparentemente (1) radiaciones de ninguna naturaleza, origina, a su vez, el Mesotorio II; éste, por desprendimiento de partículas β , se convierte, en Radiotorio producto de vida relativamente corta, que mediante dos transformaciones α , se convierte, en primer lugar, en torio X, y luego en emanación de Torio, que es todo semejante a la de radio, aunque de duración mucho más corta, pues su vida media es de tan sólo 54 segundos.

Dicha emanación, a semejanza de la del radio, es, asimismo, un cuerpo gaseoso e inestable que, por desintegración sucesiva se convierte —a través de las formas del Torio A, B y C, y por las de C_1 y C_2 que constituyen el llamado depósito activo— en Torio D, inactivo, de peso atómico 208 y de propiedades iguales a las del plomo ordinario.

En cuanto a la emanación del actinio, la duración de su vida media alcanza apenas a 4 segundos; y es por esto que no se la toma en cuenta al estudiar la radioactividad de las aguas.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

PROPIEDADES DE LA EMANACION

El radio de las fuentes radioactivas, no es otra cosa que la emanación; empero, la palabra emanación no es la más apropiada para designar a ese cuerpo, una vez que el término «emanación» indica tan sólo procedencia, origen; significa irradiación o exhalación material desarrollada por los cuerpos radioactivos, y por estas razones, se ha propuesto llamarla «nitón» (2)

(1) Decimos «sin emitir aparentemente», porque en realidad, es posible que se trate en este caso de radiaciones β , difíciles de observar a causa de su poca penetrabilidad.

(2) A las emanaciones del radio, torio y actinio se ha convenido, asimismo, en llamarlas Radón, Torón y Actinón, para recordar con ello las analogías de estos gases con los gases nobles Neón, Argón, Criptón y Xenón.

La emanación en sus propiedades, se comporta como el helio, esto es, como un gas químicamente indiferente o inerte. A semejanza de los otros cuerpos radioactivos la emanación es un compuesto bien definido, con todas las propiedades características de un elemento.

La emanación se deja condensar a bajas temperaturas, en la misma forma que cualquier otro gas; por ejemplo, el aire, el ácido carbónico, etc.; asimismo, se disuelve parcialmente en el agua de la misma manera que lo hacen los otros gases, esto es, en razón inversa a la temperatura del agua; por lo tanto, el agua fría disuelve mayor cantidad de emanación que la caliente, como puede verse del siguiente cuadro:

Temperatura	Coeficiente de solubilidad	Temperatura	Coeficiente de solubilidad
0,0°	0,507	14,0°	0,303
5,7°	0,398	17,6°	0,280
10,0°	0,340	20°	0,34 (según Trautenberg)
		20°	0,33 (según Mache)
		20,3°	0,25 (según Boyle)
		26,8°	0,266
		31,6°	0,193
		39,1°	0,160

Como consecuencia de lo que dejamos expresado resulta que las aguas termales que provienen de grandes profundidades son menos ricas en emanación, pues, como dejamos dicho, el agua caliente tiene, respecto de la emanación, menor poder disolvente.

Asimismo, la emanación es más soluble en el agua pura que en la cargada de sales; de este modo, el agua de mar, a la temperatura de 15°, tiene un coeficiente de solubilidad tan sólo de 0,165. Y por esta misma razón, las aguas cargadas de una gran cantidad de gases y considerablemente mineralizadas suelen ser poco activas.

En los líquidos orgánicos se disuelve la emanación en cantidad mayor; por ejemplo:

Disolvente	Temperatura	Coeficiente de solubilidad
Alcohol	14°	7,340
Alcohol	18°	6,170
Eter	18°	15,080
Cloroformo	18°	15,080
Petróleo	18°	9,550

En la sangre, el coeficiente de absorción, según Ramsaner y Holthusen, es de 0,3; lo cual quiere decir, que si se pone en contacto íntimo una cantidad de aire cargado de emanación con otra cantidad igual de sangre, entonces, un 30% de la emanación del aire pasa a la sangre, y como el factor de 0,3 es constante, resulta que la cantidad de emanación que disuelva la sangre dependerá únicamente de la que se encuentre en el aire.

El peso atómico de la emanación es de 222; es decir, es un gas más pesado que el plomo, cuyo peso atómico es de 206. En estado de difusión sumamente tenue, se conserva durante un tiempo más o menos largo flotando en la atmósfera; mas, cuando ésta se halla en reposo, se reúne y se extiende sobre la superficie del suelo, de la misma manera que el gas carbónico.

En virtud de su estado gaseoso, la emanación puede extenderse sobre cualquier espacio y superficie e impregnarlos con su precipitado invisible, pero fuertemente radioactivo, comunicándoles la radioactividad inducida. Este precipitado sólido y activo que se forma, a manera de barniz invisible sobre la superficie de un cuerpo cualquiera, al contacto de la emanación, ha recibido el nombre de depósito activo y a éste, y particularmente al radio B y C, debe la emanación su radiación penetrante.

La emanación se halla libre en todos aquellos lugares donde existen sustancias radioactivas, y como éstas se encuentran sumamente diseminadas en la naturaleza —pues las contienen todas las rocas, todos los minerales, todas las tierras, todas las aguas, naturalmente en proporciones diferentes— resulta que la emanación proveniente de la desintegración de los cuerpos radioactivos, se encuentra en todas partes, en el suelo y en el subsuelo. Mas, es evidente, que existen en la naturaleza minerales y rocas que son esencialmente, radioactivos, como sucede, por ejemplo, con la Ura-

nita, que es un mineral con un 65-74% de Uranio y 4-10% de Torio, y la Torianita, cuya riqueza en Torio es de 65-74% y de 4-10% en Uranio.

Además de los minerales anteriormente citados, existe una serie de rocas que son fuertemente radioactivas, como sucede principalmente con las volcánicas, tales como el

	Contenido de Radio por gramo de roca
Granito	$4,78 \times 10^{-12}$
Leucita	$3,33 \times 10^{-12}$
Angita	$1,86 \times 10^{-12}$
Olivina	$1,32 \times 10^{-12}$
Basalto	$1,26 \times 10^{-12}$
Serpentina	$1,00 \times 10^{-12}$

Las rocas sedimentarias, por el contrario demuestran una radioactividad bastante débil, como puede deducirse de las siguientes cifras.

Creta	$0,78 \times 10^{-12}$
Mármol	$0,52 \times 10^{-12}$
Arenisca	$0,4 \times 10^{-12}$
Arcilla	$0,4 \times 10^{-12}$

En cuanto al radio que contienen ciertas arcillas en cantidad apreciable, se debe a la propiedad que tienen esos cuerpos de retener las sustancias de las aguas activadas que pasan por ellos.

La presencia de la emanación en las aguas se explica por el hecho de que éstas, al pasar por entre grietas y hendiduras de los terrenos que contienen minerales de Uranio o de Torio, o por rocas fuertemente radioactivas, como las volcánicas, se radioactivan, disolviendo la emanación en pequeña cantidad; pero manantiales de elevada radioactividad no se encuentran sino cuando en la naturaleza se reúne toda una serie de condiciones que es difícil hallar y estas vienen a ser, entre otras, la fragmentación extensa de la roca radioactiva, que dejando numerosas y finas grietas, ofrezca a las aguas filtrantes una amplia superficie con cu-

yo contacto puedan enriquecerse, hasta cierto límite, en emanación. Desde luego, el radio mismo, contenido en las rocas, no entra en disolución o al menos no lo hace sino en forma de indicios mínimos.

Muchas veces la emanación contenida en ciertas aguas puede también provenir de otras capas de terrenos de constitución diferente a la de aquellos que se encuentran en contacto directo con dichas aguas, pero en tal caso la emanación se ha difundido a través de las hendiduras o grietas del terreno por donde corre el agua.

La emanación disuelta en las aguas minerales se desprende en su mayor parte, tan pronto como el agua se pone en contacto del aire: de manera que si se deja abandonada al aire una porción de agua durante algunos minutos, ésta pierde completamente su actividad.

Si las aguas contienen gases disueltos a presión, éstos, al emerger las aguas, se desprenden y como al borbotar se pone el agua en íntimo contacto con el aire, pierde rápidamente su emanación.



UNIDAD DE LA EMANACION

ÁREA HISTÓRICA

DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

El Congreso de Radiología celebrado en Bruselas el año de 1910, convino en elegir como unidad internacional para la medida de la emanación del Radio, el «Curie»; esta unidad no es otra cosa que la cantidad de emanación que permanece en equilibrio con un gramo de Radio-elemento en un recipiente cerrado.

Por cantidad de emanación en equilibrio se entiende la que se desprende al cabo de un mes, de una sal de radio en un recipiente cerrado. En tales condiciones se establece, en todo momento, una compensación entre la cantidad de emanación que desaparece y la nueva que se forma a consecuencia de la desintegración del Radio.

El volumen de emanación a 0° C. y a la presión atmosférica, que corresponde a la unidad «Curie» es de 0,66 milímetros cúbicos. Si esta cantidad de emanación estuviese disuelta en un millón de litros de agua, tendría una radioactividad de 2.700 unidades Mache.

El mili «Curie», que es la milésima parte o sea 10^{-3} «Curie», es la cantidad de emanación en equilibrio con un miligramo de Radio-elemento.

El micro «Curie», que corresponde a 10^{-6} «Curie», es la cantidad de emanación en equilibrio con una milésima de miligramo de Radio-elemento.

La unidad «Eman» está poco divulgada y equivale a 10^{-10} «Curie».

En tanto que la unidad «Curie» representa volumen, si bien es cierto pequeño y apenas imaginable, la unidad «Mache»,—que es la que nosotros adoptaremos y que se la representa por el símbolo U. M.—, es la medida de efecto y corresponde a la intensidad de la corriente de saturación, corriente que es producida por la emanación que contiene un litro de agua o de gas. Dicha intensidad se expresa en unidades electrostáticas (U. E. S.), y se multiplica después por 1000 para evitar cifras demasiado pequeñas; por consiguiente:

$$1 \text{ U. E. S.} \times 1.000 = 1 \text{ U. M.}$$

La unidad «Mache» se utiliza únicamente en la medida de la emanación, mas no en la de los compuestos sólidos de Radio.

La relación que existe entre las tres diferentes unidades es ésta:

1 U. M. corresponde a $3,64 \times 10^{-10}$ «Curie» por litro = $3,64 \times 10^{-7}$ mili «Curie» = 3,64 Eman.

$$10^{-10} \text{ «Curie»} = 1 \text{ «Eman»}$$

$$1 \text{ U. M.} = 3,64 \text{ «Eman»}$$

MEDIDA DE LA EMANACION

Los métodos encaminados a determinar la radioactividad de los cuerpos y la emanación, en general, se fundan en la propiedad que poseen, tanto los rayos α y β , como también los γ , de ionizar el aire o cualquier otro gas, al atravesarlos volviéndolos más o menos conductores.

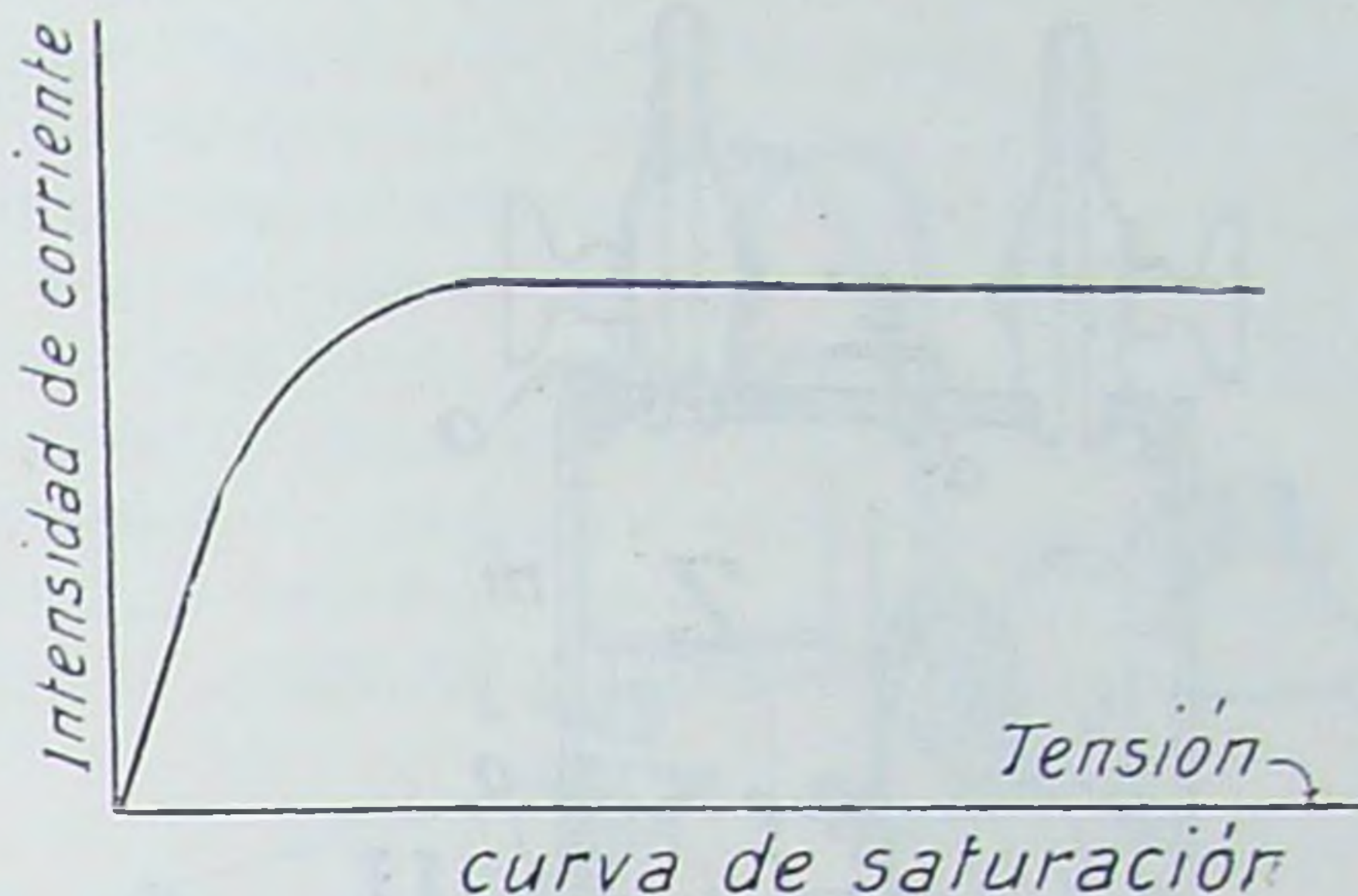


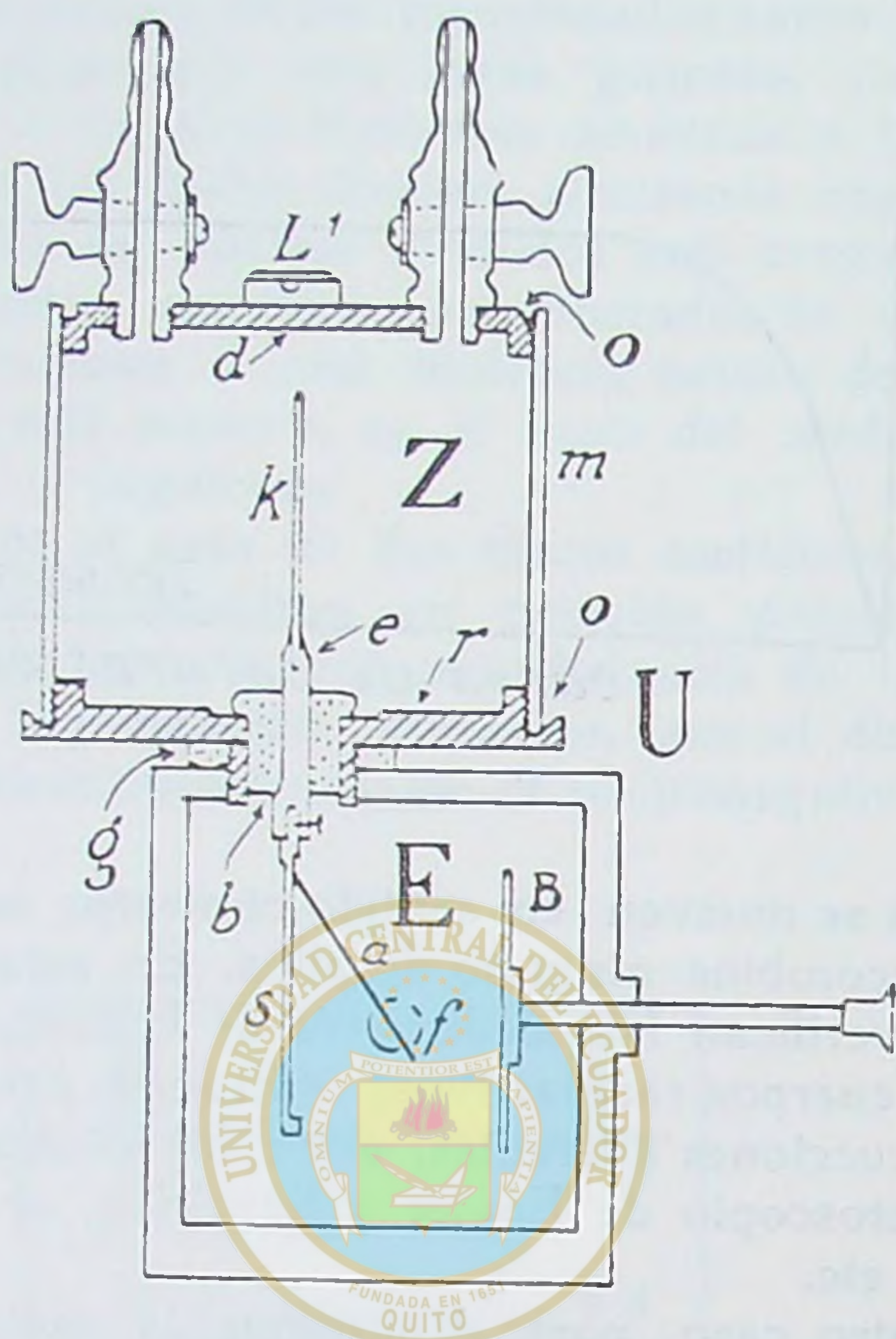
FIGURA 6

nes formados se mueven en sentido contrario unos de otros, sin que se recombine ninguno de ellos. En estas condiciones es como se verifican las mediciones de la ionización producida por los cuerpos radioactivos, utilizando para ello aparatos de construcciones diferentes, entre los cuales se puede citar el Fontactoscopio de Engler y Seveking, el Electrómetro de Schmidt, etc.

En nuestro caso, para determinar la radioactividad de las fuentes ecuatorianas nos hemos servido del método de agitación, utilizando para ello el electrómetro del Profesor Schmidt, representado en la sección transversal por la Fig. 7, el cual es fácilmente transportable, y permite realizar el ensayo con exactitud junto a la misma fuente.

Su construcción y funcionamiento en términos generales es como sigue:

En dicho electrómetro se han combinado la cámara de ionización Z y el electroscopio E , en un solo aparato. La envoltura m del vaso de ionización Z , está constituida por un cilindro de latón atornillado al fondo r , y cerrado en su parte superior por la tapa metálica d . En el borde r y d , se encuentran las ranuras o o , que se llenan con precaución de un mastic formado a base de parafina y cera de abeja, a partes iguales, con lo cual se evita toda pérdida de aire cargado de emanación que pudiera originarse durante el funcionamiento del aparato. La tapa d , lleva un nivel de burbuja L , y dos llaves que cierran herméticamente.



ÁREA HISTÓRICA
FIGURA 7
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

La parte central del fondo r se prolonga hacia abajo formando una pieza cilíndrica, que tiene en su parte anterior una rosca, la cual, con interposición del empaque g , penetra en la parte superior de la caja del electrómetro E .

El fondo r , que es perforado, lleva una pieza de ámbar, que aísla y sujeta el dispersor metálico K , el cual se une, mediante un tornillo pequeño, a la varilla s , provista de una lámina de aluminio a . La lectura de la posición de la hoja se facilita por medio de un hilo de cuarzo, muy fino, fijado al extremo de ella, y se efectúa mediante un microscopio de lectura, a través de dos ventanitas circulares de vidrio f , opuestas entre sí y fijadas en la cara anterior y posterior del electrómetro. Por ellas se observa el punto de intersección del borde derecho del hilo de cuarzo, con las diferentes divisiones de la escala micrométrica grabada en el ocular del anteojo.

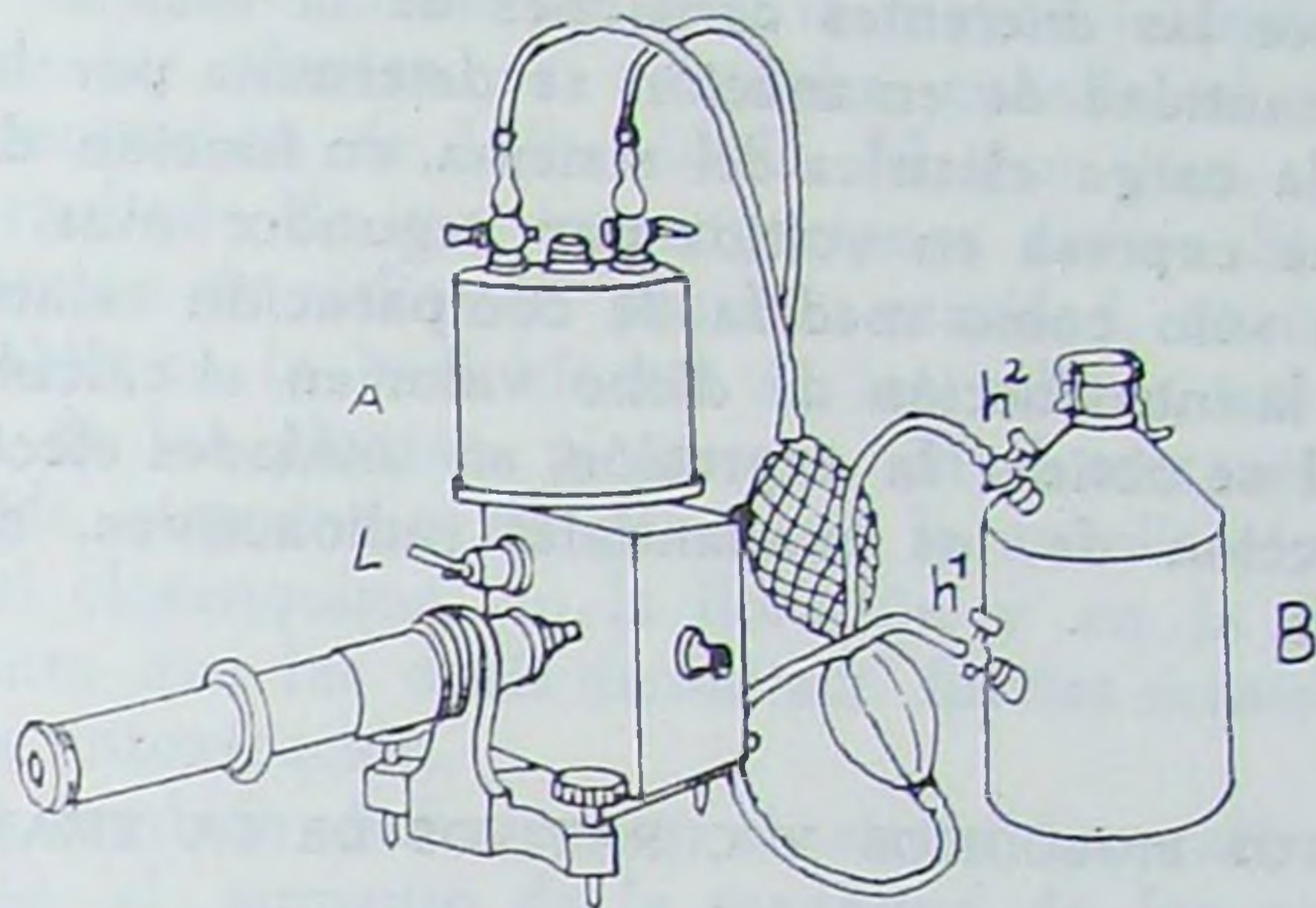


FIGURA 8

La carga del dispersor h , se realiza frotando una varilla de ebonita y aplicándola luego al dispositivo giratorio de latón L . (fig. 8), de forma apropiada, el cual se encuentra aislado por una pieza de ámbar y atraviesa la pared anterior de la caja del electrómetro.

Para determinar la radioactividad del agua que se trata de investigar, se vierte ésta, con toda precaución, en la botella metálica B , hasta que su nivel enrasc con la llave h_1 ; después se cierra la botella y se la agita durante $1\frac{1}{2}$ minutos, con lo cual se desprende, en el aire de la botella, la emanación gaseosa contenida en el agua, poniéndose rápidamente en equilibrio con la existente en el aire del agua que se investiga. Se conectan luego los tubos y pera de caucho con las llaves del instrumento, de la manera representada en la Fig. 8, se abren enseguida todas las llaves y se pone en circulación el aire cargado de emanación mediante la pera de caucho, al mismo tiempo que se deja en marcha un reloj cronométrico. El aire impulsado por la pera de goma pasa así rozando por la superficie del líquido contenido en la botella, sale por la llave h_2 , luego penetra en la cámara de ionización y vuelve al recipiente B , para recorrer nuevamente el trayecto descrito. Después de $\frac{1}{2}$ minuto a 1 minuto, cuando ya la emanación se ha repartido uniformemente en el circuito, se suspende la insuflación, se

cierran las llaves y se comienza la lectura del electroscoPIO cargado un momento antes, observando el paso del hilo de cuarzo por las diferentes divisiones de la escala.

La cantidad de emanación se determina por la disminución de la carga eléctrica del sistema, en función del tiempo, lo cual se expresa en voltios por segundo; mas, este valor sirve tan sólo como medida de comparación relativa. Únicamente la introducción de dicho valor en el cálculo mediante el cual se obtiene la expresión, en unidades electrostáticas, de la acción de los manantiales radioactivos, da valores utilizables.

EFECTOS BIOLOGICOS Y CURATIVOS DE LA EMANACION

La acción biológica que ejercen la emanación y los productos a que da origen al transformarse, se debe únicamente a las radiaciones que emiten todos esos cuerpos durante el proceso de la desintegración.

Desde el punto de vista biológico, es de suma importancia el distinguir y diferenciar entre la acción que produce la emanación y las que ejercen las sales fijas de radio, cuando son introducidas en el organismo; así, la emanación tiene una afinidad especial por los órganos que contienen lípoides y especialmente por el sistema nervioso. Las sales de radio, por el contrario, actúan selectivamente sobre la médula ósea y los órganos linfáticos y permanecen en el organismo largo tiempo antes de ser expulsados por los riñones e intestinos y una pequeña parte por la piel, como puede comprobarse en el sudor. Por lo tanto, es comprensible que las acciones biológicas de la emanación y de las sales de radio presenten ciertas diferencias.

Numerosos autores han demostrado el influjo favorable que ejercen pequeñas cantidades de emanación sobre la energía germinativa de las semillas; asimismo, se observó que bajo su influencia se intensificaba el crecimiento de las plantas y aumentaba la producción de las semillas. Por el contrario, fuertes dosis de emanación impedían el crecimiento o destruían completamente los procesos vitales de las plantas.

Demostró también Stoklasa que la disociación del anhídrido carbónico y la asimilación del oxígeno por las plan-

tas, aumentaba considerablemente en la luz diurna por influencia de cantidades no exageradas de emanación; así, por ejemplo, se pudo observar que la mayor intensidad de respiración de las plantas se efectuaba cuando el aire tenía una concentración de 150-160 U. M. por litro.

Como resultado de sus investigaciones dedujo Stoklasa que la emanación de radio, en pequeña cantidad, ejercía una acción favorable en la kariokinesis de las células, en el desarrollo total de las plantas, y, además, en el mecanismo de los cambios de materias y de gases; en la asimilación fotoquímica en el clorenquima, en la floración y en la fructificación; en tanto que las dosis demasiado fuertes ocasionaban fenómenos de intoxicación.

Observó también dicho autor el efecto favorable de la emanación en el aumento de la magnitud de los cambios energéticos de la levadura, lo cual atribuyó el autor a una activación de las enzimas.

Posteriores investigaciones acerca de la propiedad que posee la emanación de activar los fermentos efectuó Skolowski, quien observó que disminuye la acción del fermento lipolítico del suero sanguíneo, si se lo somete a una fuerte irradiación; en tanto que una irradiación débil, proveniente, por ejemplo de la emanación, provoca una acción activadora en el mencionado fermento.

En cuanto al comportamiento de la emanación en el organismo, se encontró que produce un efecto sedante sobre el sistema nervioso en general y que su acción sobre casi todos los factores del metabolismo es intensa, pues influye en los cambios gaseosos respiratorios, elevándolos de nivel; excita la descomposición de la albúmina; produce, asimismo, un aumento en la combustión del azúcar, en los casos en que aumenta el coeficiente respiratorio; produce, además, una disminución de la tensión arterial, una reducción del ácido úrico que circula en la sangre y un aumento de eliminación de ese ácido.

Según los experimentos realizados por Bechold, la emanación no tiene propiamente ninguna acción directa sobre el ácido úrico y los uratos ya precipitados, pero sí sobre los disueltos, evitando su precipitación y facilitando, así, su expulsión del organismo.

Además, tanto la emanación como los demás cuerpos radioactivos se caracterizan por el gran poder catalítico de

reactivación de las diastasas y como la destrucción del ácido úrico ya formado y su probable transformación en úrea, es únicamente el resultado de acciones diastásicas, se desprende de todo esto, la gran importancia del fenómeno de reactivación; pues no a otra cosa se debe la posibilidad de sustraer a los tejidos los depósitos de purinas, en virtud de transformaciones moleculares sucesivas, hasta terminar en compuestos de fácil eliminación (ácido úrico, urea). Son asimismo las diastasas las que materialmente solubilizan los tofos de ácido úrico, facilitando su eliminación; la destrucción de estos tofos va acompañada en muchos casos de una reacción.

En resumen: la emanación en cantidad no excesiva, posee una acción biológica estimuladora, mediante la cual se activan los fermentos del organismo, mejora la función estomacal, se facilita la diuresis, aumentan los cambios respiratorios, es influenciado el metabolismo de las purinas, acrecentando la eliminación del ácido úrico; por último, como ya hemos dicho, ejerce una acción sedante intensa sobre el conjunto del sistema nervioso.

Ya con pequeñas dosis la acción sobre el corazón y el sistema vascular se manifiesta en un aumento de la función cardíaca, y con dosis más elevadas, en una reducción de la presión sanguínea.

Gudzent comprobó que en numerosas personas intoxicadas desaparecía el ácido úrico de la sangre, después de inhalaciones de emanación; observó, además, al comienzo del tratamiento, la aparición de fuertes intoxicaciones que después desaparecían.

También otros muchos investigadores notaron al principio de la cura por la emanación del radio, un agravamiento de los dolores provenientes de la llamada reacción, lo cual no quiere decir que se trate siempre de un signo previo a la mejoría, pues en muchas de las curas que se verifican con éxito no se presenta ninguno de los síntomas de «reacción». Con frecuencia, la «reacción» puede, asimismo, manifestarse al final de la cura o también después de que haya transcurrido algún tiempo de verificada.

Como consecuencia de esto último debe aceptarse que la cantidad del precipitado radioactivo que se almacena en el organismo, esto es, el radio A hasta F, continúa obrando de

un modo activo posteriormente; por esta razón, no se puede emitir un juicio decisivo sobre el resultado de una cura, sino después de que hubieren transcurrido 8 a 10 semanas de ella.

EMANO - TERAPIA

Las vías utilizadas para introducir la emanación del radio en el torrente circulatorio son principalmente la digestiva y pulmonar y, después, aunque en pequeña proporción, la cutánea.

Cuando la emanación del radio se encuentra disuelta en un líquido, y éste es ingerido en forma de bebida, pasa, a través del tractus gastro-intestinal, a la circulación de la vena porta, que la conduce al hígado y luego al corazón derecho, al cual llega también otra pequeña porción de emanación que es arrastrada hasta este órgano por el sistema linfático. Tan sólo una cierta parte de la emanación que es expelida por los pulmones queda retenida en el aire alveolar y es reabsorbida por los alvéolos al hacer la inspiración, difundiéndose de esta manera en la circulación general y por lo mismo en todas las partes del organismo, aún en las células individuales, donde ejerce su actividad.

Tan pronto como se suspende en el tractus gastro-intestinal el abastecimiento de emanación, en corto tiempo queda la sangre libre de esta sustancia.

Por el contrario, cualquiera que sea la forma bajo la cual haya penetrado la emanación en el organismo, los productos sólidos de su transformación, es decir el radio A hasta F, y que constituyen la llamada actividad inducida, son retenidos por el cuerpo durante largo tiempo; y si el organismo continúa ingiriendo nuevas proporciones de emanación, llega a formarse en él un cierto almacenamiento de los productos activos, cuya eliminación se verifica lentamente por el riñón e intestino.

Un proceso semejante siguen en el organismo las emanaciones de torio, que llegan por inhalación a los pulmones y la sangre, con la diferencia de que, a consecuencia de su vida relativamente corta, se descomponen antes de ser expelidas por la respiración; mas, los productos sólidos resultantes de esta descomposición, y cuya actividad secundaria es

mucho más larga y enérgica que la del radio, se almacenan en el organismo, conservándose largo tiempo, antes de ser expulsados con las deyecciones.

Para que el agua radioactiva produzca un efecto terapéutico, es necesario que se la administre tan pronto como brote a la superficie, ya que la emanación, como es sabido, pierde la mitad de su eficacia después de transcurridos 3, 5 días. Y es ésta una de las causas por la que las aguas minerales, en su origen radioactivas, después de un tiempo relativamente corto se vuelven inertes, o a lo sumo conservan sólo vestigios de su actividad primitiva.

Strassburger, Spartz, Kemen y otros, fueron los primeros que fijaron la base para conseguir un resultado eficiente, en la cura por ingestión de las aguas radioactivas. Con este fin propusieron que a intervalos cortos, comprendidos más o menos entre 5 y 10 minutos, se administraran pequeñas porciones de agua, con el propósito de conservar al organismo, el mayor tiempo posible, bajo la influencia de la emanación.

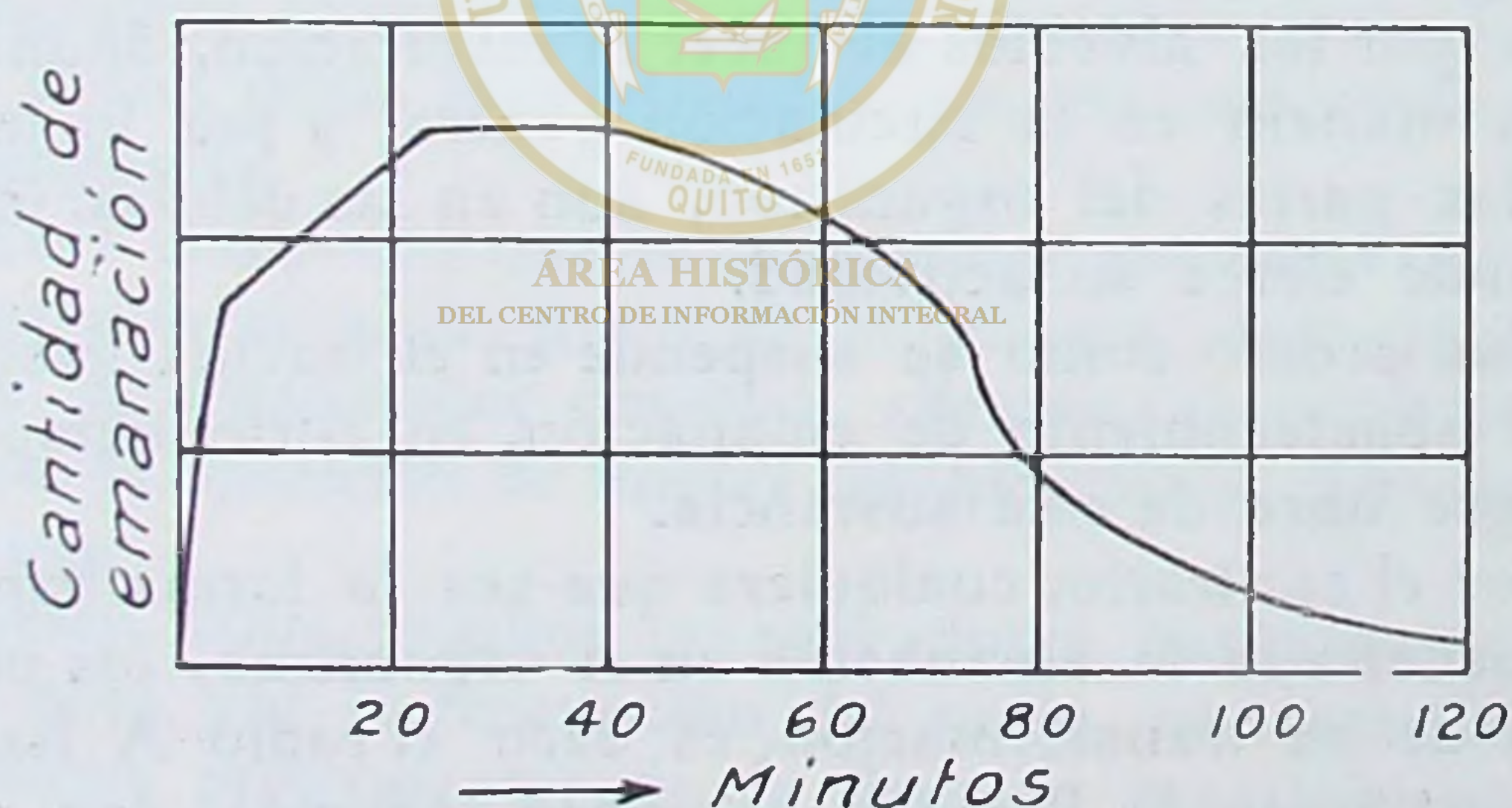


FIGURA 9

El gráfico fig. 9 demuestra el resultado de dicha investigación, en el cual el curso de la curva señala el contenido en emanación del aire expirado, en un ensayo con 1.000 unidades Mache contenidas en 80 c. c. de solución que fueron administradas en esta forma: 10 c. c. en el momento de iniciarse el ensayo y la porción restante, en intervalos de 5 minutos, y cada vez, en porciones de 5 c. c.

Es decir, que al beberse en esta forma, una gran cantidad de emanación permanece en el organismo relativamente constante, durante un tiempo más o menos largo.

La curva del gráfico Fig. 10 representa, por el contrario, el rápido descenso de la emanación en el aire expirado, después de haber ingerido de una sola vez 1.100 U. M. contenidas en 120 gramos de agua.

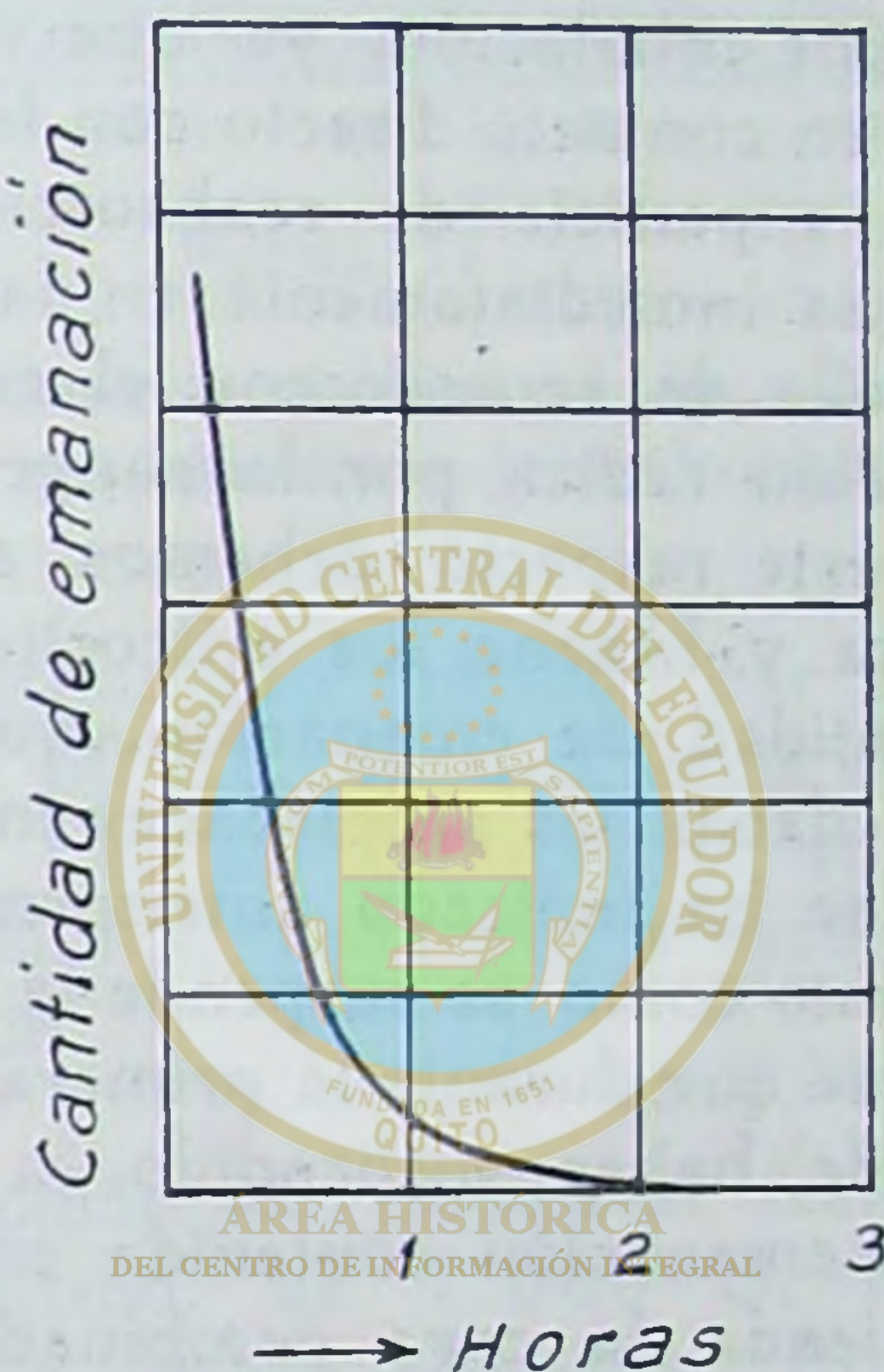


FIGURA 10

El mismo gráfico demuestra cómo, después de una hora, en el organismo no queda ya sino una mínima parte de la emanación ingerida.

También se recomienda tomar las porciones correspondientes de agua activa, inmediatamente después de las comidas, porque, encontrándose el estómago lleno, la reabsorción de la emanación se verifica en una forma más lenta, con lo cual se consigue que la sangre conserve durante un tiempo más largo una cantidad mayor de emanación.

En las investigaciones realizadas por Aicholz a este respecto, pudo observarse que cuando se administra una porción de agua activa y el estómago se encuentra lleno, la emanación abandona el organismo, en su mayor parte, junto con

el aire expirado, después de cuatro horas y otra pequeña parte es desalojada por los riñones, el intestino, el sudor y las glándulas salivales; en tanto que si el estómago está vacío, dicha eliminación se verifica después de 30 a 40 minutos.

INHALACION

La forma más rápida y fácil de introducir la emanación en el organismo es por inhalación, ya que de esta manera se consigue ponerla en contacto directo con los alvéolos pulmonares, cuya gran superficie de reabsorción permite que se incorpore dicho gas inmediatamente en la sangre pulmonar, disolviéndose en ella de acuerdo con el coeficiente de absorción de la emanación radica por la sangre, y cuya cifra es de 0,3. Pero a este respecto debemos advertir que según observaron Kionka y Mache, los eritrocitos de la sangre retienen mayor cantidad de emanación, que el mismo suero sanguíneo; y que dadas las propiedades inertes de la emanación, ésta, como se ha indicado anteriormente, se separa de la sangre, tan pronto como se suspende la inhalación; así, ha podido comprobarse que durante la primera media hora, transcurrida después de haber suspendido la inhalación, queda expulsada toda la emanación contenida en el cuerpo.

Pesch recomienda la cura combinada de inhalación y bebida con el objeto de obtener una acción intensa y duradera; insiste en que por medio de la inhalación se expone el cuerpo entero, y por igual, a la acción de la emanación, mientras que por medio de la cura por bebida, obra de preferencia sobre el intestino, el hígado y los pulmones. Kemen, con el fin de aprovechar lo mejor posible la acción de la emanación, recomienda la combinación de la cura de baño, inhalación y bebida.

Spartz y Strasburger estudiaron comparativamente la eficacia que tiene la emanación cuando es introducida en el organismo por la vía pulmonar, y cuando penetra por la vía digestiva y dichos autores llegaron a demostrar que la cura por bebida demanda una cantidad mucho menor de emanación, que por inhalación, para obtener la misma eficacia, como lo demuestra el gráfico N^o. 11; mas, estas relaciones no deben ser tomadas en cuenta en las curas por aguas termales muy ricas en emanación.

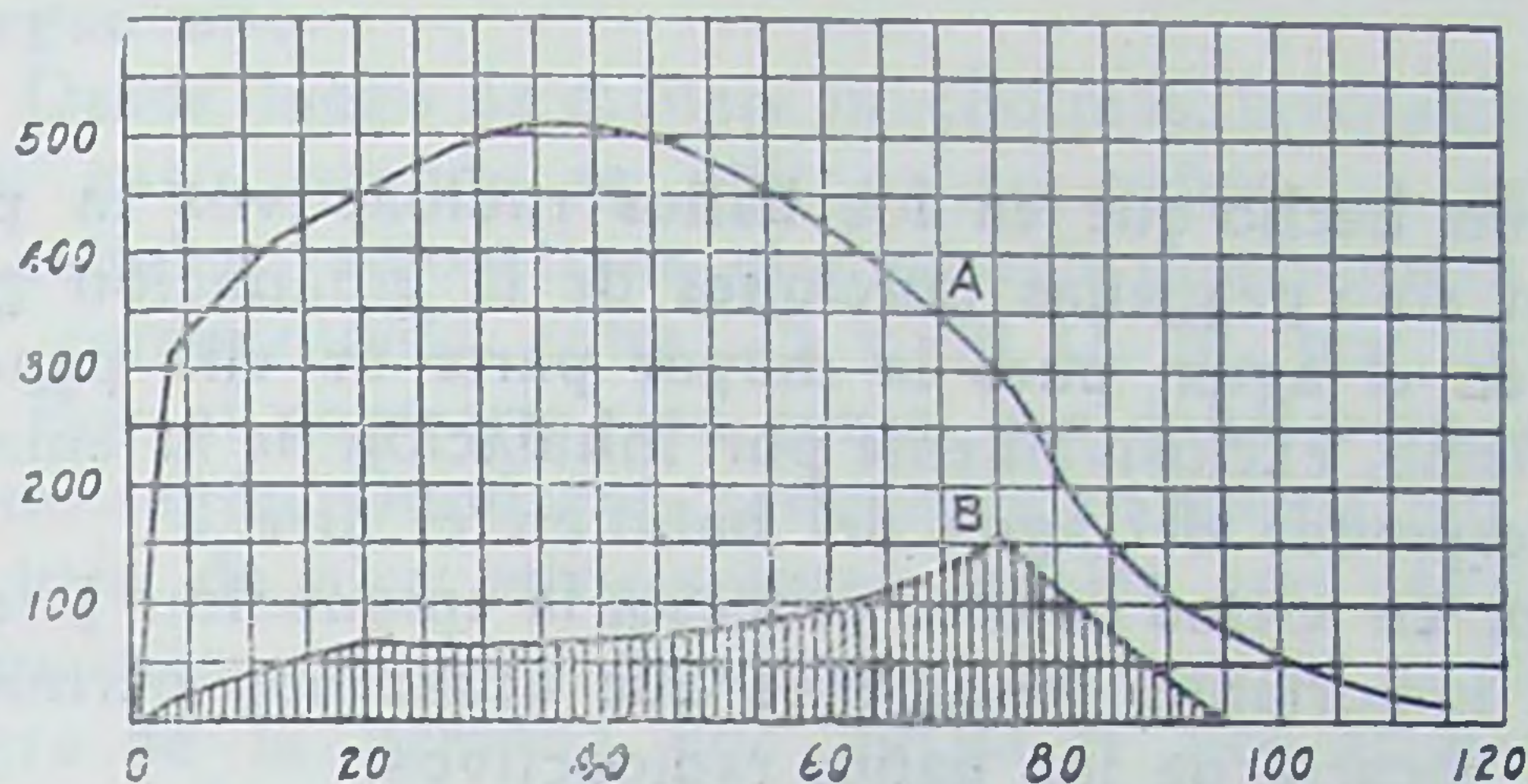


FIGURA 11

Cantidad de emanación existente en el aire expirado después de una inhalación y bebida fraccionada

Curva superior: Resultado obtenido por bebida de 1.000 U. M., contenidas en 80 c.c. de una solución acuosa que fué administrada 10 c.c. al iniciarse el ensayo y luego, en intervalos de 5 minutos, cada vez a razón de 5 c.c. de la mencionada solución.

Curva inferior sombreada: Indica el resultado obtenido por inhalación, asimismo, de 1.000 U. M. contenidas, igualmente, en 80 c.c. de la solución. En este caso, al iniciarse la observación, se pusieron mediante una pipeta, 10 c.c. de la mencionada solución acuosa en el frasco inhalador, y se continuó después adicionando, cada vez, a intervalos de 5 minutos, volúmenes de 5 c.c.

A = momento de suspensión de la bebida.

B = momento de suspensión de la inhalación.

Según los autores arriba citados, las superficies de las dos curvas, para un consumo igual de emanación, se encuentran en proporción de 528 (cura por bebida) a 100 (cura por inhalación).

De esto se deduce, que para conseguir la misma eficacia medicinal, la cura por bebida demanda una cantidad mucho menor de emanación que la por inhalación.

BAÑO

Es un hecho que en los baños radioactivos la piel absorbe tan sólo pequeñas porciones de la emanación gaseosa disuelta en el agua, pues la mayor parte de ella penetra en el organismo, exclusivamente por inhalación de la emanación que se desprende del agua del baño en el aire.

Pero, en virtud de otro proceso, la emanación puede dar origen a importantes fenómenos que acaso nos permitan explicar la eficacia de los baños radioactivos:

Sabido es que la piel es rica en fermentos y enzimas, hecho que le da una participación importante en los fenómenos del metabolismo, en general; y como la emanación tiene la propiedad de activar dichos fermentos, según lo dijimos anteriormente, es natural suponer que esa reactivación vuelva preponderante la acción de la piel en los fenómenos del metabolismo.

Por otra parte, es posible que las radiaciones provenientes del precipitado radioactivo que se deposita en la piel del bañista, durante el baño, puedan ejercer acciones reflejas por medio de la excitación de los nervios de la piel y de los vasos; y este es el motivo por el que se recomienda no secarse completamente después del baño, a fin de que el depósito formado sobre la piel no desaparezca y ejerza su actividad por el mayor tiempo posible. De este modo, la presencia de dicho precipitado puede comprobarse aún después de algunas horas y hasta que se elimina se observa en la piel una producción de rayos alfa y especialmente de rayos negativos beta.

CONCLUSIONES

Para poder atribuir a un manantial un valor curativo es necesario, según el parecer de Gundzent, que sus aguas contengan una riqueza en emanación capaz de suministrar diariamente al organismo, dosis comprendidas entre 2.000 y 10.000 U. M., cuando se lo utiliza en forma de bebida. Mas, son muy pocas las fuentes naturales dotadas de esa actividad y que se encuentran en el caso de facilitar curas por bebida

de esa naturaleza, sin hidratar, al propio tiempo, fuertemente el organismo.

Desde luego de manera mucho más favorable se presenta el caso, cuando se utilizan en baños las aguas de los manantiales radioactivos que poseen una riqueza en emanación comprendida entre 25 y 50 U. M. por litro de agua.

Por el contrario, las curas por inhalación exigen, asimismo según Gundzent, cantidades en emanación de 5 U. M. por litro de aire; otros autores señalan con ese fin 12 U. M. y aún más, por litro de aire, con lo cual se consigue que la sangre de la persona que inhala el aire activado absorba aproximadamente 1,5 a 4 U. M. por litro.

De las consideraciones anteriores se deduce que es preciso que un manantial contenga, no menos de 25 U. M. o mejor 50 U. M. por litro de agua, para que el manantial pueda ser considerado de valor terapéutico radioactivo. Mas, se debe observar que en los baños radioactivos, el resultado de una cura no hay que atribuirlo única y exclusivamente a la riqueza en emanación de los manantiales, sino también a la temperatura del agua, a su composición química y a un conjunto de otras causas.

La riqueza en emanación de las fuentes naturales oscila entre límites muy distantes, como puede verse de las siguientes cifras.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

Nombre del balneario	U. M. por litro de agua
Oberschlenna	5.800
Brambach	2.270
Joachimsthal	300
Gastein	155
Landeck	206
Kreuznach (Gradierhans I)	171
Baden - Baden (Bütterquelle)	126
Teplitz - Schoeneau (Hügelquelle)	76
Gastein (Rudolf - Stollen)	68
Kreuznach (Solquellen)	56
» (Inselquellen)	30
Nauheim (Kurbrunnen)	25
Rothenfelde i. W.	21
Karlsbad (Schlossbrunnen)	20
Wiesbaden	11

Nombre del balneario	U. M. por litro de agua
Warmbrunn	8
Baden - Baden (Ursprungsquelle)	6
Teplitz - Schoeneau (Augenquelle).	3
Tarasp	1
Karlsbad (Sprudel)	0,1

No siempre la actividad de una fuente se debe exclusivamente a la presencia de la emanación, sino que existen, asimismo, otros manantiales que a más de la emanación, contienen en solución pequeñísimas cantidades de sustancias radioactivas, con lo cual, dichas aguas conservan constantemente su actividad. Mas sucede también, en muchas ocasiones, que por pérdida de anhídrido carbónico se precipita una parte de las sustancias activas que se encuentran disueltas en el agua, cuando se la deja algún tiempo en reposo; en cuyo caso las sustancias activas precipitadas bien pueden quedar mezcladas con los sedimentos de la fuente y presentar entonces éstos una actividad permanente y a esto obedece la virtud curativa que se ha reconocido en muchos de los llamados baños de lodo.

(Continuará)