

Lecciones de Física Farmacéutica

Por el Profesor Matías González

(Extractado de la Revista
Ph, Año 1921 N.º 6)

Luz polarizada. — Se dice que la luz está polarizada cuando después de reflejada o refractada se modifica de manera tal que no puede reflejarse o refractarse de nuevo en determinadas condiciones.

La designación de luz polarizada tiene su origen en la antigua teoría de la emisión en la que se suponían a las moléculas con polos del mismo nombre dirigidos en el mismo sentido.

La luz blanca natural puede ser considerada como la rápida sucesión de rayos polarizados rectilíneos cuyo plano de vibración varía en todas direcciones alrededor de la línea de propagación.

Si hacemos variar con rapidez la dirección del plano de vibración de un polarizador rectilíneo obtendremos un rayo luminoso con las mismas propiedades que un rayo de luz natural.

Causas. — La luz polarizada es debida a las vibraciones transversales del éter, supuestas orientadas en un solo plano.

No podría considerarse vibraciones longitudinales, es decir, dirigidas como el rayo mismo, puesto que, en tal caso, serían idénticas en todo su contorno.

Tampoco pueden considerarse vibraciones oblicuas al rayo luminoso, pues de serlo así cada vibración oblicua se descompondría forzosamente en dos vibraciones componentes, según la regla del paralelogramo de la velocidad, una transversal que sería perpendicular al rayo y la otra longitudinal que no podría ser extinguida.

No pudiendo, entonces, la vibración, ser paralela u oblicua al rayo, ha de ser perpendicular.

Como consecuencia de la experimentación y del raciocinio se admite entonces que la luz es el resultado de las vibraciones transversales del éter.

En la luz blanca las vibraciones se efectúan al mismo tiempo y en todas direcciones alrededor del rayo.

En la luz que se ha reflejado o refractado en determinadas condiciones o que ha atravesado a un cristal birrefringente, las vibraciones transversales están orientadas en una sola dirección y es ese el carácter y causa del rayo polarizado.

Ángulo de polarización. — Con este nombre se designa al ángulo formado por el rayo incidente con la normal cuando el rayo reflejado sale completamente polarizado.

El ángulo de polarización del vidrio es, según Brewster, de $54^{\circ}35'$, el del diamante $21^{\circ}52'$ y el del cuarzo $32^{\circ}38'$.

Malus considera también al ángulo formado por el rayo incidente y la superficie reflejante; así, el ángulo del vidrio es $35^{\circ}25'$.

La amplitud del ángulo de polarización varía con la sustancia que se emplea y con la longitud de onda de la luz incidente.

Brewster ha observado que el ángulo de polarización correspondiente a cada sustancia puede determinarse por la ley siguiente: "la tangente del ángulo de polarización es igual al índice de refracción":

$$\text{tang } p = \frac{\text{sen } p}{\text{cos } p} = n = \frac{\text{sen } p}{\text{sen } r}$$

Y por lo tanto, $\text{cos } p = \text{sen } r$, que equivale a decir "que el rayo de luz re-

fractado bajo el ángulo de polarización es perpendicular al rayo reflejado”.

Medios de obtención. — Puede obtenerse la luz polarizada por tres medios: 1.º, por reflexión; 2.º, por simple refracción, y 3.º, por doble refracción.

1.º **Por reflexión:** es el caso en que se hace llegar a una superficie pulimentada un haz de luz natural con una incidencia igual al ángulo de polarización.

Este hecho fué constatado por primera vez por el físico francés Malus, observando desde su casa la luz reflejada por los cristales del palacio de Luxemburgo.

2.º **Por refracción simple:** La refracción de un haz de rayos luminosos que atraviesen oblicuamente a una lámina de vidrio transparente produce una polarización parcial del haz de rayos refractados.

Si los rayos luminosos sufren una serie de refracciones a través de varias láminas de vidrio superpuestas (pila de vidrios) el haz de rayos emergentes queda completamente polarizado en un plano perpendicular al plano de incidencia.

3.º **Por doble refracción.** — Cuando se hace atravesar a la luz por un prisma birrefringente de espató calizo o de Islandia por cada rayo incidente se producen dos rayos emergentes: uno llamado **rayo ordinario** y el otro **rayo extraordinario**.

El rayo ordinario sigue las leyes de la refracción mientras que el rayo extraordinario no las sigue, como puede comprobarse por la experiencia llamada de los **nícoles** cruzados, debida a la observación de Bartholin, ampliada por Huygens.

Esta propiedad, conocida con el nombre de doble refracción y en la que aparece duplicada la imagen del cuerpo luminoso, la poseen todos los cristales que no pertenecen al sistema cúbico.

Designase con el nombre de ejes ópticos, a las direcciones según las cuales la refracción es simple.

Los cristales del sistema romboédrico y del prisma recto de base cuadrada pre-

sentan un solo eje óptico que coincide con el eje cristalográfico.

Llámase **sección principal** del cristal a todo plano que pasando por el eje es perpendicular a una de las caras del cristal.

A los sistemas indicados pertenecen el espató de Islandia, la turmalina y el cuarzo.

Los cristales pertenecientes a los otros sistemas cristalográficos presentan **dos ejes**.

Como los rayos luminosos al salir de un cristal birrefringente están polarizados en planos perpendiculares, fácilmente pueden aislarse y son los empleados en los aparatos de polarización.

El rayo ordinario y el rayo extraordinario tienen un índice de refracción distinto y distinto también para cada radiación; en algunos cristales el índice de refracción del rayo extraordinario es mayor que el índice de refracción del rayo ordinario. Fresnel llamó a estos cristales **positivos**, y **negativos** a aquellos en que el índice de refracción del rayo ordinario es mayor que el índice de refracción del rayo extraordinario.

El espató de Islandia, la turmalina, el záfiro, la esmeralda, el rubí, la mica, el prusiato de potasio y el fosfato de cal son negativos.

El cuarzo y el circonio, son positivos.

Fresnel, para explicar la doble refracción, propuso una teoría según la cual se supone que en cada cristal hay un elipsoide de tres ejes desiguales que se cortan en un punto central O, que presenta las características siguientes: suponiendo que OP sea una de las direcciones según la cual se trasmite la luz en el cristal; y suponiendo que cortamos el elipsoide por un plano normal a esta dirección OP, la intersección sería una elipse cuyos ejes serán OM y ON. Por experiencia sabemos que cuando la luz atraviesa el cristal según OP, sólo se transmiten las vibraciones luminosas que están dirigidas según OM o según ON, vibraciones de velocidad diferente, puesto que la vibración paralela

a OM, se mueve con una velocidad proporcional a $\frac{I}{OM}$ y la paralela a ON con

una velocidad proporcional a $\frac{I}{ON}$, por cuya razón este elipsoide teórico se llama elipsoide **óptico inverso**.

De lo expuesto resultará que cuando un rayo luminoso atraviese un medio cristalino tal, se descompondrán en dos rayos de vibraciones rectangulares entre sí, o lo que es lo mismo, que están polarizados en planos perpendiculares y como tienen diferente velocidad de propagación seguirán distinta dirección y si el espesor del cristal es suficiente saldrán separados y paralelos a la dirección del rayo incidente.

Estas consideraciones teóricas unidas a las de simetría de los cristales permiten deducir que cada eje binario de simetría de un cristal ha de coincidir con un eje del elipsoide y de ello se deduce que teniendo los cristales del sistema cúbico seis ejes iguales de simetría, como un elipsoide sólo tiene tres ejes, el elipsoide óptico inverso de los cristales cúbicos ha de ser una esfera necesariamente y en la cual todas las direcciones tienen iguales propiedades ópticas, propagándose las vibraciones en todos sentidos, como en los medios amorfos, siendo por lo tanto cristales **monorrefringentes**.

En los cristales del sistema romboédrico hay dos ejes binarios en un mismo plano perpendicular al eje principal, coincidiendo, cada uno de ellos, con un eje del elipsoide, o lo que sería igual, con un eje de la elipse perpendicular al eje principal. Como esta elipse no puede tener más de dos ejes, forzosamente tiene que ser un círculo y, por consiguiente, el elipsoide óptico de esos cristales es de revolución alrededor del eje principal de simetría. Todo rayo al penetrar en el cristal y siempre que siga una dirección paralela a este eje se propagará sin desdoblarse, puesto que el éter está uniformemente repartido a su alrededor como en un medio homo-

géneo, resultando así un cristal unirrefringente según la dirección del eje principal. En otra dirección cualquiera, el plano perpendicular a ella que corta el elipsoide es una eclipse, por lo tanto, el rayo se bifurcará, estando esta bifurcación en razón directa del ángulo que forme con el eje óptico, hasta llegar al máximo, que será cuando son perpendiculares.

En el espato de Islandia el eje máximo del elipsoide es el eje de revolución siendo el cristal negativo.

Llámase cristales positivos, a aquellos como en el cuarzo, en los que el eje de revolución es el eje mínimo.

Los cristales del sistema rómbico y clinorómbico tienen uno o tres ejes binarios de simetría que coinciden con los ejes del elipsoide que no son de revolución. Estos elipsoides tienen dos planos que le cortan dando círculos cuyo radio es igual al eje medio, siendo perpendiculares respectivamente a los ejes máximo y mínimo. Los rayos luminosos al penetrar en el cristal según la dirección de estos últimos ejes se encuentran con un medio homogéneo alrededor del eje propagándose sin dividirse como en un medio monorrefringente, por esto es que los cristales llamados biaxiscos tienen dos direcciones en que son unirrefringentes, siendo en las otras birrefringentes.

Expresada así, a grandes rasgos, la doble refracción, enunciaremos las cualidades ópticas del espato de Islandia para enumerar los distintos prismas empleados en polarización y sacarimetría.

El espato de Islandia es un romboedro de $105^{\circ}5'$ cuyos ángulos obtusos de las caras son de $101^{\circ}55'$ y los agudos de $78^{\circ}5'$.

Los dos ángulos sólidos culminantes constan de tres ángulos planos obtusos iguales y los seis ángulos sólidos laterales restantes están formados cada uno por un ángulo obtuso y dos agudos.

La línea que une a los dos ángulos obtusos culminantes es el eje principal cristalográfico y según esta dirección la refracción es simple.

El espato de Islandia es un cristal negativo cuyo índice ordinario es n 1,654 y cuyo índice extraordinario es n 1,483.

La polarización del rayo ordinario tiene lugar en el plano de la sección principal y la del rayo extraordinario en un plano perpendicular a esta sección, como ya se ha explicado.

Como polarizador o analizador puede servir todo romboedro de espato de Islandia colocado de manera que pueda interceptarse uno de los rayos por medio de un diafragma, pero como este procedimiento exige cristales de alguna magnitud, cosa que no es fácil proporcionarse, se sustituye con ventaja por los prismas entre los cuales enunciaremos el prisma birrefringente, el prisma de Nicol, el prisma de Foucault.

Prisma Birrefringente o prisma de espato acromatizado. Está constituido por dos prismas triangulares rectangulares, uno de espato de Islandia tallado de manera tal que sus aristas sean paralelas al eje óptico y el otro de **crown glass** con un índice medio lo más cercano posible al índice mínimo del rayo extraordinario (según Malus N.º 1.48) del espato.

Estos prismas están contenidos en una armadura metálica ennegrecida en el interior.

Todo rayo luminoso al caer normalmente sobre una de las caras del prisma de crown penetra sin refractarse hasta encontrar la cara de separación de los dos prismas pasa al segundo prisma de espato donde se bifurca, pero como el índice del rayo extraordinario es casi el mismo en el crown y en el espato, lo atraviesa sin desviación, saliendo por un plano perpendicular a las aristas del prisma.

El rayo ordinario separándose de la normal sale divergente y es absorbido por la superficie ennegrecida porque su índice es mayor en el espato que en el vidrio.

Prisma de Nicol. — Para construirle, se toma un romboedro de espato de Islandia de 20 a 30 milímetros de largo, por 8 a 9

de ancho y se escinde en dos siguiendo un plano perpendicular al plano de las grandes diagonales de las bases y pasando por las cumbres obtusas más cercanas; luego se unen las dos mitades, igualmente orientadas, con bálsamo de Canadá. El paralelepípedo resultante constituye el llamado prisma Nicol.

Como el índice de refracción del bálsamo de Canadá es más pequeño que el índice ordinario del espato de Islandia pero más grande que su índice extraordinario, resulta que cuando un rayo luminoso penetra en el prisma el rayo ordinario sufre, sobre la cara de unión, la reflexión total, mientras que el rayo extraordinario sigue en dirección horizontal.

Prisma de Foucault. — Este prisma es una modificación del Nicol, que consiste simplemente en reemplazar la capa de bálsamo de Canadá por una capa de aire.

Polarización cromática, circular y elíptica. — Si colocamos dos nícoles de manera que sus secciones sean perpendiculares y observamos a través del analizador no notaremos luz transmitida, pero si interponemos una lámina birrefringente observaremos una serie de colores brillantes que constituyen la llamada polarización cromática, cuya causa es debida a la polarización elíptica o circular.

La polarización cromática varía según que el haz de rayos luminosos esté formado por rayos paralelos o por rayos convergentes.

Luz paralela. — Colocando entre dos nícoles, cuyas secciones principales coinciden, a una lámina birrefringente delgada, podremos observar una luz coloreada con un tinte que variará con el espesor y la refringencia de la lámina.

A espesor constante, para un mismo cuerpo, el color es uniforme, pero al variar el espesor varía también el color.

Estas coloraciones que se observan pueden explicarse porque el haz de luz que ha atravesado al polarizador se divide en dos rayos, uno de los cuales viene retra-

sado en algunas semilongitudes de onda con relación al otro y como los dos rayos vibran en planos paralelos al salir del analizador pueden interferir y anular el color cuya longitud de onda corresponda al retardo producido por la lámina.

Luz convergente. — Si en vez de hacer llegar a la lámina un haz luminoso procedente del infinito, interponemos entre el polarizador y la lámina uno o varios lentes convergentes de manera que obtenemos un haz cónico de luz al colocar la lámina de un cristal **unieje**, tallada de manera que sus caras sean perpendiculares al eje óptico, veremos una serie de anillos circulares, concéntricos, y coloreados atravesados por una cruz negra en el caso que el analizador y el polarizador estén cruzados y una cruz blanca cuando el analizador y polarizador son paralelos, apareciendo el anillo central blanco en el primer caso y negro en el segundo.

Cuando la lámina que se interpone es de un cristal **bieje** los anillos son ovales, deprimidos, formando una especie de curva plana en figura de ocho (lemniscata), atravesadas con una cruz blanca con dos ramas hiperbólicas cuando el plano de los ejes gira 45°.

Polarización rotatoria. — La polarización rotatoria fué descubierta por Arago y estudiada por Biot; consiste en la particularidad que poseen algunas sustancias llamadas activas que hacen desviar o girar al plano de polarización de un rayo polarizado rectilíneo.

Así, si entre un polarizador y analizador colocados de manera que no haya luz transmitida para el observador colocamos una lámina de cuarzo tallada perpendicularmente al eje, la luz reaparece y para extinguirla de nuevo será necesario hacer girar al analizador cierto número de grados que nos indican la amplitud angular que ha girado el plano de polarización.

Al principio este fenómeno se observó solamente en el cuarzo, expresando que

tenía un poder especial exclusivo llamado **poder rotativo**, pero más adelante observóse la misma particularidad en diversos sólidos, cinabrio, clorato y bromato sódicos, y en algunas sustancias orgánicas sólidas y líquidas, en la mayor parte de las esencias, como en las de naranja, limón, trementina, etc.; en las disoluciones de ácido tártrico y de los tártratos; en diversos azúcares, dextrina y en las sales de varios alcaloides.

Algunas sustancias activas desvían el plano de polarización hacia la derecha, en el sentido del movimiento de las agujas del reloj, y se llaman **dextrógiras** y otras desvían al plano de polarización en sentido contrario o sea hacia la izquierda, por eso se llama **levógiras**.

En general la desviación dextrógira se representa con el signo + y a la desviación levógira con el signo —.

El poder rotativo ha sido estudiado con detención en algunas sustancias amorfas y en otras que cristalizan en el sistema cúbico.

Algunos, muy raros, cristales de un eje y en la dirección de él, tienen poder rotatorio, lo que hace suponer que no puede existir la birrefringencia simultáneamente con dicho poder.

Teóricamente se distingue el poder rotatorio molecular propio de la sustancia y que ésta conserva aunque pase al estado amorfo o de disolución del poder rotatorio debido a las moléculas agrupadas para formar el cristal.

Podemos citar algunos casos relativos a esta diferenciación.

El clorato de sodio al disolverse y el cuarzo al fundirse pierden su poder rotativo.

El ácido tártrico cristalizado no desvía el plano de polarización, pero fundido o amorfo tiene poder rotatorio. La solución de los cristales es activa a la luz polarizada. Con esto se demostraría que el poder rotatorio de esa sustancia es inherente a la molécula y que se anularía por la cristalización.

Si se hace cristalizar, por evaporación, una solución inactiva de clorato de sodio, los cristales son activos, unos levógiros, otros dextrógiros. Si se vuelven a disolver separadamente obtenemos soluciones inactivas, lo que nos indicará que la rotación es causada por la disposición de las moléculas en el cristal y no inherente a la molécula misma.

El sulfato de estriquina cristaliza en prismas rectos de base cuadrada con 13 moléculas de agua de cristalización y su poder rotario es debido a las dos causas mencionadas antes, puesto que goza de poder rotatorio acentuado al estado cristalizado y que lo conserva cuando se disuelve.

Para poder explicar el poder rotatorio de los líquidos como en la esencia de trementina, hay que recurrir a consideraciones de orden químico.

Leyes de la polarización rotatoria. — Las leyes de la polarización rotatoria halladas por Biot, pueden enunciarse de la manera siguiente:

1.^a A igualdad de luz simple, la rotación derecha o izquierda es sensiblemente igual para el mismo espesor de las láminas del cuarzo.

2.^a En placas de la misma sustancia la desviación crece proporcionalmente al espesor.

3.^a Superponiendo placas diferentes, dextrógiros y levógiros, la rotación total es igual a la suma algebraica de las rotaciones parciales correspondientes a cada una de ellas.

4.^a La desviación del plano de polarización aumenta con la refrangibilidad de los rayos próximamente en razón inversa del cuadrado de la longitud de onda será mínima en el rojo y máxima en el violeta.

Por la cuarta ley se explica, que en la experiencia de los nicoles cruzados, cuando se emplea la ley blanca, no puede tener lugar la extinción sino un cambio de tinte

en el disco observado, puesto que al girar el analizador para conseguir la extinción del color, el amarillo generalmente, quedará la mezcla de los demás colores, o lo que es lo mismo, el color complementario, que es un tinte rosa pálido de flor de albérrchigo, que se llama tinta sensible porque al girar en un sentido se ve el azul y en sentido contrario el rojo, lo que son bien visibles y ofrecen contraste.

Poder rotatorio específico. — Como consecuencia de las leyes anteriores, Biot estableció el poder rotatorio específico, llamando así a la desviación producida por la sustancia activa bajo la unidad de espesor (decímetro), reducida a la unidad de densidad.

Si llamamos a a la desviación, o ángulo de desviación para un espesor l , para una densidad d , el poder rotatorio específico A de la sustancia estará dado por la fórmula:

$$A = \frac{a}{l d}$$

de donde podemos deducir que el ángulo de desviación a , es:

$$a = A l d$$

fórmula que se emplea para los sólidos o para los líquidos.

Se modifica esta fórmula cuando se trata de un cuerpo sólido disuelto en un líquido inactivo. Así, si suponemos que el poder rotativo de las moléculas del cuerpo disuelto es independiente de la dilución o distancia a que se encuentran unas de otras las moléculas del cuerpo activo en el líquido inactivo, entonces la fórmula $a = A l d$ nos dice que el ángulo de desviación es directamente proporcional al poder rotatorio de la sustancia, al espesor y a la densidad, deduciéndose, en nuestro caso, que será proporcional a la concentración de la dilución y llamando d a la densidad que en ella tiene la sustancia activa y que será, según la fórmula de las densidades, igual a su peso p , dividido por el volumen que ocupa en la disolución

que es el volumen v ; de esta $d = \frac{p}{v}$ y podemos transformar la fórmula

$$A = \frac{a}{ld}$$

cuando se trata de disoluciones, en

$$A = \frac{a}{lp} = \frac{av}{lp}$$

de donde deducimos:

$$a = A \frac{lp}{v} \quad \text{y} \quad p = \frac{av}{Al}$$

Esta última fórmula nos permite encontrar la proporción de sustancia activa en un volumen dado de disolución, cuando se conoce su poder rotatorio y se mide el ángulo de desviación por una longitud dada de columna líquida.

Al expresar el poder rotatorio siempre se coloca como exponente la letra que exprese la vibración a que se refiere o mejor la raya de Fraunhofer correspondiente, puesto que el poder rotatorio varía con las longitudes de onda, siendo tanto mayor cuanto más refrangibles son los rayos.

Biot observó que en el cuarzo la rotación está en razón inversa del cuadrado de la longitud de onda.

El poder rotatorio varía con la disolución y con los disolventes aumentando o disminuyendo y hasta cambiando de signo como en algunos alcaloides; varía también con la temperatura, como lo ha observado Gernez.

Dispersión rotatoria. — Dada la distinta rotación, que para un mismo cuerpo sufren los rayos luminosos según su longitud de onda, sucede que cuando una sustancia activa es atravesada por un rayo de luz blanca, polarizada rectilíneamente, cada vibración se separa formando ángulo distinto, fenómeno que Biot llamó dispersión rotativa.

Poder dispersivo. — Entiéndese por poder dispersivo de una sustancia activa a

la relación existente entre su poder rotatorio para los rayos rojos y los amarillos medios

$$\frac{A^r}{A^a}$$

variando esta relación para cada cuerpo.

Aparatos de polarización. — Para la determinación del poder específico molecular del poder rotatorio o para la dosificación de sustancias ópticamente activas, se emplean los aparatos llamados **polarímetros** y **sacarímetros**.

Con los polarímetros se mide la amplitud del ángulo de polarización mediante los cambios angulares de un prisma de nicol llamado el analizador.

Con el sacarímetro se aprecia la acción de la sustancia activa oponiéndole otra sustancia también activa de rotación contraria, pero que tenga la misma ley de dispersión, es decir, que las acciones rotatorias se **compensan** y vuelven las vibraciones al plano primitivo.

Entre los polarímetros citaremos el de Biot, que ha sufrido algunas modificaciones en su tipo primitivo.

Polarímetro de Biot. — Consta, esencialmente, de un prisma polarizador delante del cual se orienta una luz monocromática; un tubo de polarización, tubo de vidrio con sus extremos cerrados por láminas de vidrio de caras paralelas y cuya longitud puede ser de 1, 2, 3, 4 y 5 decímetros; un segundo prisma unido a un círculo graduado y que por sus cambios angulares hace apreciar la desviación del plano de polarización por cuyo motivo se le llama prisma analizador, y finalmente de un antejojo o luneta de Galileo para facilitar las observaciones.

Cuando las secciones principales de los espátos son paralelas se percibe, observando con la luneta de Galileo, la imagen de la mira luminosa, que recibe el nombre de **imagen ordinaria** y haciendo girar sobre sí mismo el analizador en un plano perpendicular al eje del aparato, se observa

otra imagen que gira simétricamente alrededor de la primera y que se llama **imagen extraordinaria**.

Bartholin y Huygens estudiaron detalladamente la intensidad de ambas imágenes, constatando que su brillo varía progresivamente a medida que el ángulo de las dos secciones toma mayor amplitud. Así, de 0° hasta 90° la imagen extraordinaria adquiere cada vez más brillo, mientras que la imagen ordinaria lo pierde gradualmente. A 45° las dos imágenes tienen la misma intensidad; de 90° a 180° se representa un fenómeno análogo pero en orden inverso.

Para practicar una lectura con este polarímetro se empieza por colocar a unos 15 centímetros del nicol polarizador una luz blanca y estando vacío el tubo de polarización, se observa qué imagen se produce cuando se hace coincidir el cero de la alidada con el cero del círculo graduado. Si aparecen las dos imágenes se modifica la posición del analizador hasta que se extinga la imagen extraordinaria.

Se comprueba girando la alidada a todo el círculo graduado y que, la extinción de la imagen ordinaria tiene lugar a los 90° y 270° y que la de la extraordinaria se verifica en 0° y 180° .

Se llena el tubo con el líquido activo teniendo la precaución de que no quede interpuesta ninguna burbuja de aire y se coloca entre el polarizador y analizador.

Obsérvese por la luneta de Galileo el efecto que produjo la interposición del líquido activo y si nada ha cambiado indica que la sustancia es inactiva, pero si aparecen ambas imágenes teñidas de colores distintos es porque la sustancia posee poder rotatorio. Entonces se gira el analizador hasta que aparezca en la imagen extraordinaria la tinta sensible y se anota el ángulo recorrido.

Se gira de nuevo al analizador para saber qué color aparece después de la tinta sensible; si es el azul, es porque la sustancia es levógira; es si el rojo, es porque es dextrógira.

Conocido el ángulo o la amplitud del ángulo de polarización y por la aplicación de las fórmulas ya enunciadas, hallamos el poder rotatorio molecular.

Polaristobómetro de Wild. — Consta esencialmente este polarímetro de un prisma de Nicol polarizador y analizador a la vez, merced a los cambios angulares a que está sujeto, puesto que va unido a un círculo graduado en grados de arco, 360 para los segesimales y 400 para los centesimales.

Este prisma está colocado detrás de un diafragma que se orienta hacia una luz que puede ser monocromática.

La luz, después de atravesar al prisma polarizador sigue al tubo de polarización y de allí a un polariscopio de Savart, para luego encontrar un segundo prisma fijo que completa la polarización. Además, el aparato lleva una luneta de observación de Galileo con dos retículos cruzados en forma de X.

El polariscopio de Savart, que está destinado a producir bandas o franjas de interferencias, está constituido por dos láminas de cuarzo de 20 mm. de espesor, talladas bajo un ángulo de 45° , según el eje óptico del cristal y cruzadas en ángulo recto.

Este doble cuarzo forma con el analizador, el polariscopio completo.

Si cuando la sección del analizador es paralela a la bisectriz del ángulo que forman las secciones de los cuarzos, hacemos caer un haz de rayos luminosos polarizados por el otro nicol, aparecerán una serie de franjas rectilíneas y paralelas a la sección principal del analizador que desaparecerán cuando las secciones principales del analizador y del polarizador estén paralelas o cruzadas en ángulo recto y que aparecerán en su mayor intensidad cuando formen entre sí un ángulo de 45° .

El cero de la graduación tiene que corresponderse a la desaparición de las franjas, cosa que se repite cuatro veces de 90° en 90° .

Para practicar una lectura con este instrumento, se empieza por llevarle al cero, para lo cual por medio de un piñón lateral que hay paralelo al eje del aparato, se orienta al prisma hasta que coincida el cero del círculo graduado con una señal o graduación de partida que haciendo no nio existe al lado del disco graduado.

En este estado de cosas, no deben aparecer las bandas o franjas de interferencias.

Colocando ahora una sustancia ópticamente activa, tiene lugar la aparición de las bandas, que serán alternativamente oscuras y brillantes con la luz monocromática y de colores con la luz blanca. Haciendo girar nuevamente al primero, llegará un momento en que las franjas han desaparecido; entonces, se lee en el círculo graduado con auxilio de un microscopio simple, que también corre paralelo al aparato.

El grado leído expresa la amplitud del ángulo de polarización.

En algunos casos, debido a la coloración de los líquidos, no puede hacerse desaparecer completamente las bandas o franjas, contentándose con que desaparezcan las bandas centrales.

Con los polarímetros podemos determinar:

- 1.º El poder rotatorio molecular de un líquido activo.
- 2.º El poder rotatorio de una sustancia activa en disolución.
- 3.º El **porcentaje** de una sustancia activa en disolución.

Para determinar el poder rotativo molecular de un líquido activo, llenamos un tubo de polarización de dos decímetros, teniendo cuidado de no dejar interpuesta ninguna burbuja de aire y medimos la amplitud del ángulo de polarización en la forma ya indicada y establecemos la fórmula conocida. Para mayor claridad transcribimos el ejemplo de Sigalás: la esencia de trementina, cuya intensidad es 0,870 y cuya amplitud angular para tubo de dos

decímetros observada a la luz monocromática del sodio, 69°30'

$$A^D = \frac{69^{\circ}50'}{2 \times 0.87} = 39^{\circ}94'$$

Para la determinación del poder rotativo de una sustancia activa en disolución, aplicamos la fórmula citada antes y para mayor aclaración citamos aquí el mismo ejemplo de Sigalás.

Para determinar el poder rotatorio molecular de la lactosa se hace una solución que contenga 20 gramos de esta en 100 cc. de agua destilada y se observa en un tubo de 2 decímetros practicando la lectura del ángulo de desviación, que supongamos que sea 20°8

$$A^D = \frac{20^{\circ}8 \times 100}{2 \times 20} = 52^{\circ}$$

Para determinar el porcentaje de una sustancia activa en disolución (la sacarosa, por ejemplo), llenamos un tubo de polarización de 2 decímetros con las precauciones indicadas y observamos en el polarímetro la amplitud del ángulo de desviación y conociendo la equivalencia numérica de los grados sacarimétricos con los polarimétricos, tendremos por una operación simple el título de la solución observada.

Sacarímetro de Soleil. — Este aparato sirve para la dosificación de los azúcares contenidos en un líquido, basándose esta medida en el principio ya anunciado en la compensación.

Consta este aparato de un prisma de nicol que actúa como **polarizador**; de una placa **bicuarzo** o placa de dos rotaciones; del tubo de polarización, del **compensador**, del analizador, del **productor** de tintas sensibles y de una luneta de observación.

El polarizador es un nicol colocado de manera tal que orienta, según el eje del aparato, al rayo extraordinario, que al salir del prisma encuentra a la lámina bicuarzo o de dos rotaciones.

Esta placa está compuesta por dos láminas de cuarzo del mismo espesor, de

rotación contraria unida por su línea diametral, disposición que permite poseer e medio más delicado para llevar al 0° al analizador del sacarímetro, es decir, a su posición de extinción.

Las placas de cuarzo tienen un espesor fijo, 7.5 mm., y como un milímetro de cuarzo hace girar a la vibración amarilla media 24° , una placa 7,5 mm. hará girar a la misma vibración $24^\circ \times 7,5 = 180^\circ$.

180° y 0° es el todo en los movimientos de orientación de un analizador, puesto que los dos azimutes están diametralmente opuestos en un círculo.

Suponiendo que el prisma analizador tenga la posición de extinción para la luz blanca, si el bicuarzo se halla interpuesto, la radiación amarilla será extinguida por los dos cuarzos y la imagen aparecerá coloreada con un tinte complementario del amarillo. Cualquier cambio angular del nicol, por pequeño que sea, hace desaparecer a esta tinta sensible.

Tubos de polarización. — Son simples tubos cilíndricos de cristal o de metal cerrados en sus extremos por placas de vidrio de caras paralelas y cuyas longitudes pueden ser de 1, 2, 3, 4 y 5 decímetros.

Hay también tubos de 22 centímetros de longitud para las soluciones que han necesitado ser decoloradas para su observación y tubos que tienen un agujero lateral o abductor para colocar el termómetro cuando se observan líquidos con sustancias a las que se han hecho sufrir la inversión.

Compensador. — El compensador está formado por dos cuarzos de rotaciones contrarias; uno de ellos es fijo, levógiro y de una sola pieza, mientras que el otro es dextrógiro y está escendido diagonalmente, de modo que forma dos prismas agudos que puede deslizarse el uno sobre el otro por medio de una cremallera. Con tal disposición el espesor del segundo cuarzo puede variar desde el cero hasta tener un espesor un poco superior al primer

cuarzo, con lo que se consigue la compensación.

La función del compensador podría expresarse diciendo que si tenemos al cuarzo móvil en el cero de la graduación, como este, tiene entonces el mismo espesor que el primer cuarzo y como sus rotaciones son inversas se compensarán siendo su efecto nulo sobre el plano de polarización de la luz. Interpuesta una sustancia ópticamente activa, entre el compensador y la placa bicuarzo, ésta ejercerá una desviación del plano de polarización, hacia la derecha si es dextrógiro o hacia la izquierda si es levógiro, desapareciendo la tinta sensible que teñía uniformemente a los dos semidiscos del campo de la visión. Si fuera dextrógiro la placa del cuarzo, lo mismo que la sustancia activa interpuesta, como el cuarzo móvil es levógiro, habría necesidad de aumentar su espesor para anular la acción de desviación debida al cuerpo activo y si la ley de dispersión rotatoria fuera la misma en la sustancia que en el cuarzo, volvería la tinta sensible en ambos semidiscos. Así, por el espesor que hemos dado al cuarzo, podemos deducir la desviación producida por la sustancia.

Analizador. — El analizador es un prisma de nicol.

Productor de tintas sensibles. — Tiene por objeto presentar en el campo de la visión los distintos colores del espectro, entre los cuales el observador elige el que más se adapte a su vista para apreciar la igualdad de tinta de los dos semidiscos.

Está formado por una plaqueta en la cual se dispersa la luz y un nicol que detiene las vibraciones normales a su sección principal, pero que deja pasar a las demás.

Luneta de observación. — Es sencillamente una luneta de Galileo con ocular de poca ampliación.

Escala Sacarimétrica. — La escala del sacarímetro está formada por dos regletas de marfil que hacen nonius y dividi-

das en centésimos de milímetro a partir de un cero común.

La escala sacarimétrica está basada en la observación de Clerget que se expresa: una lámina de cuarzo dextrógiro, tallado perpendicularmente al eje, de un milímetro de espesor, produce una rotación angular igual a $21^{\circ}40'$ ó $21^{\circ}66'$ a la temperatura de 7° C.

Ese ángulo se ha dividido en 100 partes iguales, de manera que cada división corresponde a un grado sacarímetro.

Valor del grado. — Puede entonces enunciarse que el grado sacarimétrico equivale a la centésima parte de la desviación que imprime a la luz polarizada, raya de un milímetro de cuarzo dextrógiro tallado perpendicularmente al eje y teniendo en cuenta que el poder rotatorio específico molecular de la sacarosa a la temperatura de 20° C. es $66^{\circ}5'$, por un razonamiento sencillo llegamos a la determinación del llamado **peso normal** o **carga máxima** del sacarímetro.

Definiríamos el **peso normal** diciendo que es la cantidad de sacarosa pura y desecada que disuelta en 100 c.c. de agua destilada produce una desviación igual al total de la escala sacarimétrica cuando se observa con un tubo de 20 centímetros.

Para la escala Soléil el peso normal es igual a 16 gramos 29; en efecto,

$$a = \frac{A v}{l p}$$

según hemos visto anteriormente y de donde deducimos que:

$$A v = a l p$$

y que

$$p = \frac{A v}{a l}$$

y si $A = 21^{\circ}666'$,

$$p = \frac{21^{\circ}666' \times 100}{66,5 \times 2} = 16 \text{ gr. } 29$$

Es decir, que 100 grados sacarimétricos equivalen a 16 gr. 29 de sacarosa por 100 c.c. bajo un espesor de 20 centíme-

tros o a 162 gr. 29 de sacarosa por 100 cc. observados bajo el mismo espesor, siendo por lo tanto el valor sacarimétrico del grado igual a 1 gr. 629.

Técnica experimental. — Dado el caso supuesto de que se trata de un líquido incoloro o débilmente coloreado y de concentración mediana y de que la escala del sacarímetro haya sido verificada de antemano, como dijimos, al tratar este asunto en la práctica para efectuar una determinación sacarimétrica, empezaremos:

1.º Por llenar con agua destilada el tubo de 20 cm. que colocaremos entre el bicuarzo y el compensador, orientando al aparato delante de un foco luminoso y enfocando con el ocular hacia percibir con nitidez la línea de separación de los dos semidiscos que aparecen en el campo de la visión.

2.º Accionando el piñón del compensador hasta conseguir la igualdad de tinte

3.º Buscaremos la tinta más sensible a nuestra vista, para la cual movemos la virola del productor de tintas sensibles.

4.º Observamos si los dos ceros de la escala graduada coinciden; en caso contrario hacemos girar a uno de los tornillos laterales para practicar esa coincidencia, con lo cual queda arreglado el instrumento.

5.º Vaciamos el tubo y le llenamos con el líquido a observar, teniendo la precaución de no dejar interpuesta ninguna burbuja de aire.

6.º Practicamos la observación y notaremos la desigualdad de tintas en los semidiscos. Accionamos, entonces, al piñón de la escala hasta que se produzca la igualdad de coloración y leemos el número de milímetros de espesor del compensador, que nos expresan grados sacarimétricos y sólo nos resta multiplicar a ese número por el valor sacarimétrico del grado para obtener el porcentaje de sacarosa.

Cuando los líquidos son de poca o excesiva concentración se emplean tubos de 1 ó de 5 decímetros.

Cuando los líquidos son coloreados se procede a su decoloración, dando preferencia al subacetato de plomo.

Si sospechamos que el líquido observado contenga otras sustancias ópticamente activas, procedemos a la llamada inversión óptica de la sacarosa por medio de una ebullición de veinte minutos o adicionando al líquido 1/10 de ácido clorhídrico y llevando su temperatura a 80° durante 10 minutos. La sacarosa se hidroxila y transforma en glucosa dextrógira y fructosa levógira cuya mezcla se conoce como azúcar intervenido.

Para la determinación del peso del azúcar contenido en el líquido es necesario entonces practicar dos observaciones: una antes de la inversión óptica y otra después de haber practicado esta inversión y aplicar la fórmula de Clerget:

$$P = \frac{200 \times S}{200 - T}$$

en la cual P nos da la proporción de azúcar cristizable, S nos representa la suma en dos lecturas sacarimétricas, antes y después de la intervención, y T, la temperatura.

Fácilmente interpretaríamos esta fórmula así: una solución de sacarosa pura y desecada que contenga 16 gr. 30 por 100 cc., de azúcar, marca en el sacarímetro a la temperatura de 15°

antes	de la inversión	100°
después	" " "	36°7
		136°7

deducimos de ello que, 136°7 equivalen a 100° y si tenemos una solución en la que hemos disuelto 16 gr. 30 de sustancia azucarada, practicando las lecturas antes y después de la inversión y sumando a las dos, podremos llegar a saber a cuántos grados equivalen con solo hacer la proporción siguiente:

$$136^{\circ}7 : 100 :: S : x$$

de donde

$$x = \frac{100 \times S}{136^{\circ}7}$$

fórmula que sería exacta cuando la temperatura es de 15°, pero no para otra temperatura, por cuanto el poder rotatorio del azúcar invertido varía en sentido inverso a el de la temperatura.

Cada aumento de dos grados de temperatura se traduce por una disminución en el poder rotatorio igual a un grado sacarímetro.

Se hace intervenir a la temperatura en la fórmula anterior planteándola así:

$$x = \frac{100 \times S}{136^{\circ}7 + 75 - T} = \frac{100 \times S}{144 - T}$$

que multiplicado por 2 nos dará la fórmula de Clerget:

$$x = \frac{206 \times S}{288 - T}$$

fórmula que Landolt modifica en algo:

$$x = \frac{200 \times S}{284,8 - T}$$

Con el sacarímetro podemos, también, dosificar a la glucosa o a la lactosa contenidas en las soluciones, practicando lecturas análogas y teniendo en cuenta el valor en glucosa o en lactosa del grado sacarimétrico, lo que se consigue por un cálculo simple conociendo el poder rotatorio específico molecular correspondiente.

Así, para hallar el valor glucosimétrico del grado sacarimétrico no tenemos más que multiplicarle por el cociente que resulta de la división del poder rotatorio de la sacarosa por el poder rotatorio la glucosa:

$$1 \text{ gr. } 629 \times \frac{66,5}{52,5} = 2 \text{ gr. } 062$$

Y para hallar el valor lactosimétrico del grado sacarimétrico haremos una operación análoga, es decir, multiplicar el grado sacarimétrico por el cociente que resulta de la división del poder rotatorio de la sacarosa por el valor del poder rotatorio de la lactosa:

$$1 \text{ gr. } 629 \times \frac{66,5}{52} = 2 \text{ gr. } 0831$$

en los dos semidiscos.

EJEMPLO DE UN TRABAJO PRACTICO

Dosificación, por método óptico, de la sacarosa contenida en una solución.

Aparato empleado. — Sacarímetro de Soleil.

Descripción sucinta del instrumento y función de cada una de las partes de que está constituido. — Consta esencialmente de:

- Un polarizador.
- Un disco bicuarzo o placa de dos rotaciones.
- Un tubo de polarización.
- Un compensador.
- Un analizador.
- Un productor de tintas sensibles.
- Una luneta o antejojo de Galileo.

Polarizador. — El polarizador, que se orienta delante de un mecheró de gas ordinario, está formado por un prisma birefringente de espato de Islandio; es decir, por un romboedro escindido siguiendo un plano perpendicular a su sección principal (plano oblicuo inclinado $41^{\circ} 37'$ sobre el eje del cristal) y unidas, luego, sus dos mitades por medio de una capa de bálsamo del Canadá, cuyo índice de refracción es intermedio entre el índice de refracción del rayo ordinario y el índice de refracción del rayo extraordinario.

Las caras laterales del prisma están ennegrecidas para evitar las reflexiones interiores.

En condiciones tales, el rayo ordinario es eliminado por reflexión total, porque llega a la capa de bálsamo del Canadá con una incidencia superior al ángulo límite, $n_{\text{bálsamo}} = 1.549$ — $n_{\text{cristal}} = 1.66$.

El rayo extraordinario es el único que atraviesa el cristal por llegar menos oblicuamente a la superficie de separación.

Así el Nicol nos da un solo rayo, el extraordinario, polarizado perpendicularmente a la sección principal.

Disco bicuarzo o placa de dos rotaciones. — El rayo polarizado (extraordina-

rio), a su salida del polarizador encuentra a la placa bicuarzo, constituida por dos semidiscos de cuarzo de igual espesor, tallados perpendicularmente al eje del cristal.

Una de estas placas es levógira y la otra destrógira; tienen un espesor igual a 7,5 mm. o 3 mm. 75.

Como cada mm. de cuarzo hace girar 24° a la vibración amarilla, la placa de 7,5 mm. la desvía una cantidad de $24 \times 7,5 = 180^{\circ}$ ó de $24 \times 3.75 = 90^{\circ}$ en el segundo caso.

Recibida por el analizador la luz que ha atravesado la placa, se observa una tinta sensible en sus dos mitades porque la sección principal del analizador es perpendicular al plano primitivo de polarización.

En este caso las dos mitades de la imagen ofrecen una coloración idéntica y el efecto observado es como, si el disco fuera homogéneo en sus dos partes.

Una desviación angular pequeña del analizador hace que aparezca uno de los semidiscos coloreado en violeta y el otro semidisco en rojo.

Tenemos, pues, en la igualdad de tintas imitadas un punto de partida excelente, por su nitidez y precisión, siempre y en cualquier momento el plano de polarización del rayo amarillo o la compensación exacta con auxilio del cuarzo.

Tubo de polarización. — Es un simple tubo, en el caso actual, de 20 centímetros de longitud cerrado en sus dos extremidades por dos láminas de cristal de caras paralelas.

Compensador. — Está constituido por dos placas superpuestas de cuarzo de rotaciones contrarias, una de las cuales es fija, de espesor constante, levógira, de una sola pieza y tallada perpendicularmente al eje; la otra está dividida diagonalmente en dos prismas agudos que se deslizan uno sobre el otro por medio de una cremallera y un piñón.

Debido al deslizamiento, la segunda placa, que es dextrógira, presenta al rayo un espesor variable, desde cero hasta un grueso.

so superior al del primer cuarzo con lo cual llegamos a la compensación exacta y apreciamos variaciones mínimas de espesor merced a las divisiones de una regla que mide el desplazamiento de ambos prismas.

Esta regla lleva otra menor, paralela, cuya graduación hace nonius con ella, encuéntrase dividido hacia la izquierda y hacia la derecha a partir de un cero común y mide en centésimas de milímetro el espesor del cuarzo en el sitio que le atraviesan los rayos luminosos.

El cero de la graduación corresponde a la igualdad de espesor de la segunda placa con la primera.

Las divisiones que van de izquierda a derecha sirven para el caso de una sustancia levógira y las que van de derecha a izquierda para el caso de una sustancia dextrógira.

Colocados los dos cuarzos movibles en el cero de la graduación, como su espesor, en este caso, es igual al de la placa fija, siendo sus rotaciones inversas, se compensan y sus efectos sobre el plano de polarización son nulos.

Interpuesta la sustancia ópticamente activa (en nuestra experiencia es dextrógira), ésta ejerce sobre el plano de polarización una desviación hacia la derecha, dando origen a la desigualdad de tintas en los semidiscos.

Para lograr, nuevamente, la igualdad de tintas, será necesario aumentar el espesor de la segunda placa, que es levógira, con lo que se compensa la acción de sustancia activa si la ley de dispersión rotatoria es igual a la del cuarzo.

Analizador. — Es un simple prisma birrefringente.

Productor de tintas sensibles. — Consta de un Nicol y una placa de cuarzo tallada perpendicularmente al eje del cristal; su objeto es eliminar el campo de la visión con una serie de tintes, entre los cuales puede elegirse aquel que mejor se adapte a la vista del observador para poder per-

cibir diferencias pequeñas en la coloración de los semidiscos.

El productor de tintas sensibles, también, neutraliza el efecto producido por la coloración del líquido o no de la luz empleada, cuando no es fácil llegar a la tinta sensible.

Las distintas coloraciones dadas por el productor de tintas sensibles se debe a que la luz, después de polarizarse en el Nicol se dispersa al llegar a la placa de cuarzo del productor y como el Nicol de este sólo puede detener completamente a las vibraciones normales a su sección principal, deja pasar a las otras que dan una tinta o coloración que varía según la orientación del productor o del Nicol de este con relación al polarizador general del sacarímetro.

Anteojo de Galileo. — Está formado por una lente biconvexa y una lente bicóncava, aproximables o separables entre sí, según la distancia de la visión distinta del observador.

Principio del instrumento empleado. — Con el sacarímetro de Soleil puede determinarse la proporción de azúcar contenida en un líquido, fundándose en que la ley de dispersión del cuarzo es igual a la de los azúcares, pudiendo, entonces, compararse la derivación que sobre el plano de polarización de la luz ejerce la solución azucarada: oponiendo una placa de cuarzo de espesor adecuado y rotación contraria.

Límite de su uso. — El sacarímetro de Soleil sólo nos sirve para dosificar con exactitud los azúcares, pero no nos sirve para la determinación del título de soluciones alcaloides, ácido tártrico, etc., cuyos poderes dispersivos son distintos al del cuarzo.

Arreglo del aparato y comprobación de su escala. — Se efectúa en la cámara oscura.

Orientando el sacarímetro hacia el mechero y colocado el cero se llena el tubo

de polarización, de 20 centímetros de longitud, con agua destilada, cuidando no quede en su interior ninguna burbuja de aire.

Se establece la igualdad de los semidis-cos por medio del piñón.

Si acciona el productor da tintas sensibles hasta conseguir una coloración adaptable a la vista del observador.

Se hacen coincidir los dos casos de las reglas graduadas por medio del tornillo que tienen en su extremo izquierdo, y finalmente procedemos a la comprobación de la escala.

Sabemos que la escala sacarimétrica ha sido graduada con arreglo a la observación de que una lámina de cuarzo dextrógiro, tallado perpendicularmente a su eje y midiendo un milímetro de espesor, produce una rotación igual a $21^{\circ}40'$.

Este ángulo ha sido dividido en cien partes iguales, así cada parte equivale a un grado sacarimétrico.

Se define, entonces, el grado sacarimétrico, expresando que es la centésima parte de la rotación impresa a la luz polarizada (raya D) por un milímetro de cuarzo dextrógiro.

Si disolvemos 16 por 29 (peso normal del sacarímetro), de sacarosa pura y desecada en 100 c. c. de agua destilada, obtendremos una solución que observada, con nuestro sacarímetro, en un tubo de 20 centímetros de longitud nos desvía 100 grados sacarímetros.

Esta solución nos sirve para la comprobación de la escala sacarimétrica, a cuyo efecto practicamos generalmente tres operaciones:

La primera con un tubo de 20 cm. lleno de solución que nos desvía 100° .

La segunda con un tubo de 20 cm. lleno de solución diluida al 50 % que nos desvía a 50° .

La tercera con un tubo de 20 cm. lleno de solución diluida que nos desvía 20° .

Práctica de la determinación. — Agitamos la solución a ensayar y con una porción de ella, enjuagamos el tubo de pola-

rización, que previamente habrá sido lavado con agua destilada; luego, como la solución era incolora, sin necesidad de decolorarla, llenamos con ella el tubo, cuidando de que no se interpusiera ninguna burbuja de aire.

Colocando el tubo en su sitio respectivo, observamos la desigualdad de tintas; accionando el piñón de la cremallera notamos que la igualdad de tintas se produce cuando en las reglas leemos $39^{\circ}50'$.

Ahora bien, si cada grado sacarimétrico equivale a la centésima parte del peso normal del sacarímetro, 16 por 29, la riqueza de la solución, es igual a:

$$39.50 \times 0.162 = 6.399 \text{ ó aproximad. } 6.40$$

Decimos aproximadamente 6.40, porque es regla del cálculo numérico aumentar en una unidad la penúltima cifra cuando la última es mayor de 5.

Cálculo de errores. — Como se nos ha pedido, que descartemos, en nuestras operaciones, los llamados **errores accidentales** que en ellas pudiera haber, procedimos a practicar varias observaciones, con igual meticulosidad y en condiciones idénticas de exactitud, para lograr:

1.º La media proporcional aritmética:

Se obtiene sumando los valores de cada observación y dividiendo la suma por el número de observaciones.

$$1.ª \text{ observ. sacarimétrica} = 39^{\circ}50'$$

$$2.ª \text{ " " " " } = 39^{\circ}80'$$

$$3.ª \text{ " " " " } = 40^{\circ}20'$$

$$39.50 + 39.80 + 40.20 =$$

$$119.50 \div 3 = 39.83 \text{ } 33.$$

Aproximadamente = 38 83.

2.º El error medio de la observación:

Se consigue hallando las diferencias entre la media proporcional aritmética con cada uno de los números obtenidos en cada observación, elevando al cuadrado estas diferencias y dividiendo su suma por el número de observaciones menos una.

Como el número así encontrado es el cuadrado del error medio, la raíz cuadrada de este número será el valor del error medio de una observación:

En la agenda encontramos que el

1. ^a observ.	— 39.83 — 39.50	= 0.33
2. ^a " "	— 39.83 — 38.80	= 0.03
3. ^a " "	— 39.83 — 40.20	= 0.37
cuadrado de la 1. ^a	(0.33)	= 0.1089
" " " 2. ^a	(0.03)	= 0.0009
" " " 3. ^a	(-0.37)	= 0.1369

Suman los cuadrados 0.2464 y divididos por el número de observaciones menos uno (en nuestro caso dividido por dos), nos da la cifra 0.12335, cuya raíz cuadrada, según la misma agenda, es igual a 0.351, que representa el error medio de una observación.

3.º El error medio del resultado:

Lo evidenciamos dividiendo a la cifra que nos representa el error medio de una

observación por la raíz cuadrada del número de observaciones.

Como las observaciones son en número de tres y según la agenda la raíz cuadrada de 3 es igual a 1.7321, este error será:

$$0.351 \% 1.7321 = 0.203$$

4.º El error probable:

Se logra multiplicando el número que expresa el error medio del resultado por

$$0.6745 \text{ o sea } \frac{27}{40} \text{ o aproximadamente}$$

$$\text{por } \frac{2}{3}$$

$$0.203 \times 2 = 405 - 406 \% 3 = 0.135.$$

Señores Consejeros:

Todos los estudiantes de Farmacia, en uso de un legítimo derecho, reclaman una activa dedicación en favor del proyecto García Arricar.