CURSO DE HIDRÁULICA AGRÍCOLA

Por el profesor ingeniero agrónomo SEBASTIAN GODOY

Aplicación de la Mecánica á los flúidos

CAPITULO I

Hidrostática

CONSIDERACIONES SOBRE LOS FLÚIDOS

Los *flúidos* son cuerpos caracterizados por la movilidad extrema de sus moléculas, de modo que un esfuerzo, por insignificante que fuere, las separa unas de otras.

Teniendo en cuenta la resistencia que pueden presentar los flúidos á la separación de sus moléculas, resistencia llamada *cohesión*, se han dividido en dos clases: los *líquidos* y los *gases* (1).

En los primeros, la cohesión es muy pequeña; en los segundos, nula; además sus moléculas constantemente tienden á separarese unas de otras, debido á una fuerza llamada *fuerza expansiva* ó *elástica*. Distínguense también estos flúidos, por ser los *líquidos* casi *incompresibles;* mientras los gases son esencialmente *compresibles*, pero una vez dejada de accionar la fuerza de compresión, se difunden por todos los espaciosq ue los rodean; de aquí, se llama á los primeros *flúidos incompresibles* y á los otros *fluidos elásticos*.

La ciencia que trata del estudio de las condiciones de equilibrio de los líquidos, de las presiones que ejercen en masa, ó sobre las paredes de los vasos que los contienen, se llama *Hidrostática;* y cuando se refiere á los gases, *Neumostática*. El estudio dinámico de los flúidos, llámase *Hidrodinámica* é *Neumodinámica*, según trate de los líquidos ó de los gases.

El conjunto de la Hidrostática y Hidrodinámica, denomínase *Hidráulica;* y á la reunión de la Neumostática y Neumodinámica, *Neumática*.

Algunos llaman al arte de elevar y conducir las aguas, *Hidráulica*.

En lo sucesivo debemos admitir como si fuera nula la resistencia que presentan los flúidos al desplazamiento de sus moléculas; ó que dichas moléculas pueden deslizarse *sin frotamiento* las unas sobre las

(1) Se sabe ya, que todos los gases son vapores.

otras, y sobre las paredes de los vasos; es decir pueden separarse sin gasto de trabajo alguno. El flúido teóricamente considerado, es caracterizado por la ausencia de toda viscosidad y de todo frotamiento.

Tambien debemos considerar como si los líquidos fueran *completamente* incompresibles, lo que no causaría ningún error de consideración, dado los límites de presión entre los cuales entramos á estudiarlos.

Tanto los principios de la Hidráulica como los de la Neumática, son aplicables á todos los líquidos y á todos los gases, pero como el *agua* y el *aire* son los dos más comunes y abundantes en la naturaleza, nos referimos en adelante á estos flúidos para aplicar y demostrar las proposiciones que en el curso de la obra encontraremos.

Supondremos los flúidos sustraidos á la acción de la gravedad para establecer los principios fundamentales de las condiciones de equilibrio.

TEOREMAS FUNDAMENTALES SOBRE EL EQUILIBRIO DE LOS FLÚIDOS

I—La presión ejercida por un flúido en cada punto de la pared del vaso que lo contiene, es normal á esta pared.

En efecto: si no fuese así, se podría descomponer la presión P (fig. 1) en otras dos P' y P'', la primera normal á la pared, la segunda, situada en el plano de ésta; P'', haría deslizar la molécula en el sentido de su dirección, por lo que hemos supuesto ausencia de frotamiento en los flúidos, y éstos estarían contínuamente en movimiento, lo que es un absurdo.

II—La presión en un punto dado de una masa flúida es la misma en toda dirección al rededor de este punto.

Si esto no se realizara, el punto se pondría en movimiento en el sentido de la presión mayor, ó de la resultante de todas las presiones que actúan al rededor de dicho punto.

III—Principio de Pascal.—Todo líquido trasmite íntegramente, en todos los sentidos y en todas sus partes, la presión ejercida en un punto cualquiera de su masa.

Para desmostrar este teorema, admitiremos tres casos: 1° cuando el vaso es cilíndrico; 2° de forma cualesquiera; 3° atendiendo á las superficies sobre las cuales se ejerce la presión.

1°— Sea una masa líquida encerrada dentro del cilindro ABCD (fig. 2), y que en AB se ejerza un presión P, bajo cuya acción, en un tiempo infinitamente pequeño θ, se traslada en la posición A'B' con movimiento uniforme; como es incompresible, DC tambien se trasladará y ocupará la posición D'C', recorriendo AB y DC espacios iguales.

El trabajo de P es igual á $P \times \overline{AA'}$ y de la contrapresión Q, $Q \times \overline{CC'}$; estando el líquido en equilibrio, tendremos:

$$P.\overline{AA}-Q.CC'=0 \quad (1)$$

pero $\overline{AA'}=\overline{CC'}$, por lo dicho anteriormente, luego la ecuación (1) se puede escribir:

$$(P-Q)\overline{AA'}=0$$

$\overline{AA'}$ no es *cero*, luego $P-Q=0$, esto es

$$P=Q. \quad (a)$$

a) nos dice que la presión es igual á la contrapresión, luego:

Si sobre una masa líquida en equilibrio encerrada en un cilindro, se ejerce uua presión normal á una de las bases, se trasmite íntegramente á la otra base.

2º—Consideramos un vaso M (fig. 3) lleno de líquido, ejerciéndose una presión P, en una porción de su pared, normal á dicha sección; en otra CD, igual al anterior, actúa la contrapresión Q. Si suponemos la parte exterior del cilindros líquido ABCD solidificado, no modificará el estado de equilibrio de la masa y nos encontramos en idénticas condiciones que el caso anterior. Luego:

La presión ejercida normalmente sobre un elemento de la superficie de un vaso, se trasmite íntegramente á toda superficie equivalente en el mismo vaso.

3º—Supongamos dos secciones AB y CD (fig. 4) de un vaso, en que CD sea igual al triple de la primera; cualquier presión P que se ejerza en AB se trasmitirá con la misma intensidad á cada una de las secciones elementales D*a*, *ab*, *b*C; por lo tanto habrá una presión total $Q=3P$; en general tendremos:

$$\frac{AB}{CD}=\frac{P}{Q} \text{ ó } \frac{S}{S'}=\frac{P}{Q} \quad (2)$$

Luego, el principio de Pascal, puede enunciarse así:

Si se ejerce una presión perpendicularmente sobre una sección, en la superficie exterior de un vaso, se trasmite á todo elemento superficial del mismo, en proporción directa, de la razón del área del primero al segundo.

Fig. 9

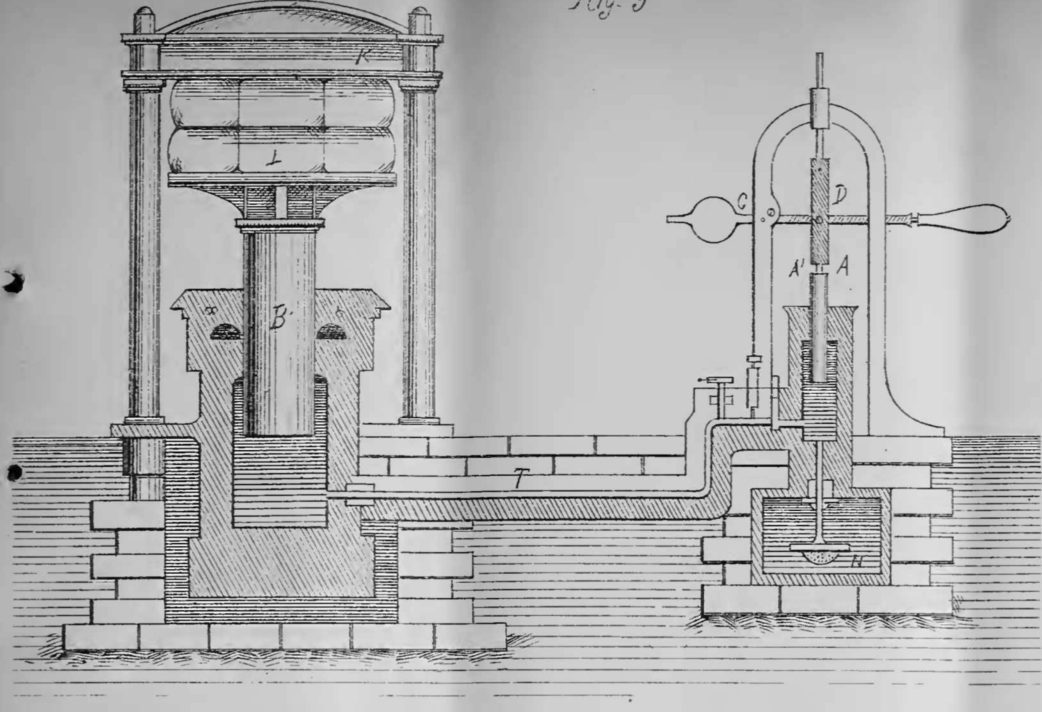


Fig. 10

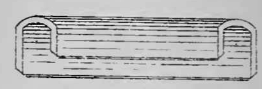


Fig. 6

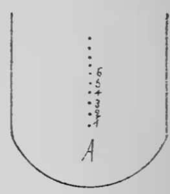


Fig. 7

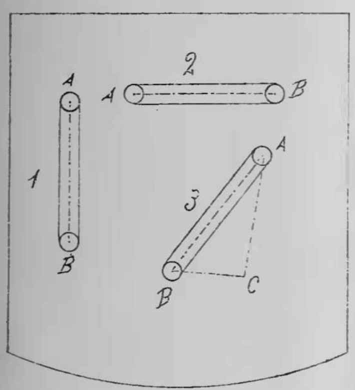


Fig. 12

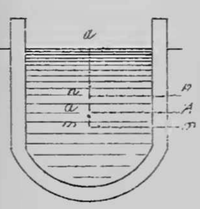


Fig. 4

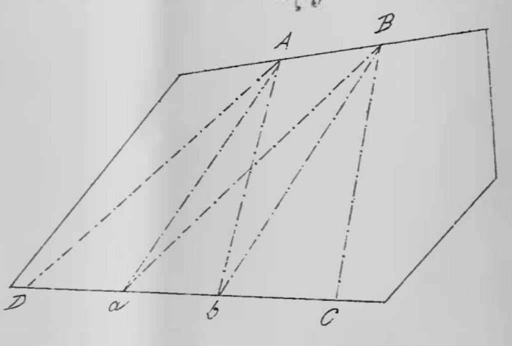


Fig. 11

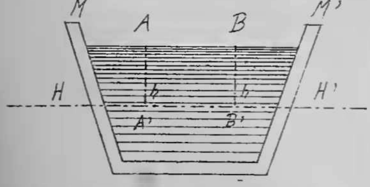


Fig. 1

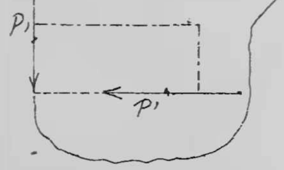


Fig. 3

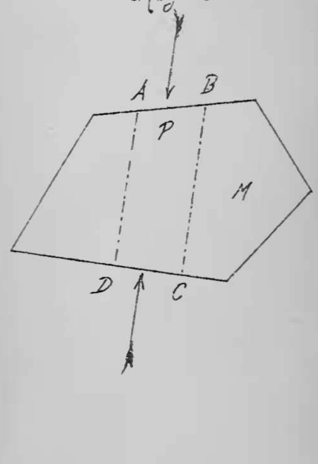


Fig. 5

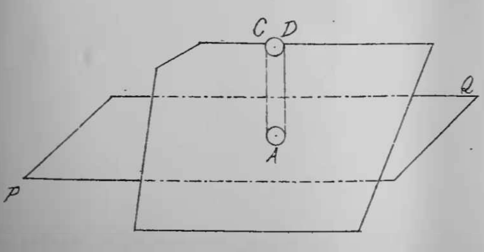
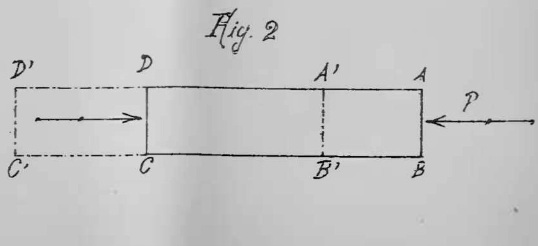


Fig. 2



Presión por unidad superficial—Si en una superficie S se ejerce una presión P, la presión por unidad superficial estará expresada por $\frac{P}{S}=p$.

Presión en un punto dado—El principio de Pascal como lo hemos expuesto, se refiere á puntos que pertenecen á la superficie externa de la masa líquida; en realidad tiene más extensión.

Se refiere también á secciones determinadas en el interior de la masa.

La presión en un punto dado de la masa líquida, realmente no tiene significación en sí, pues, un punto no tiene dimensiones. Tomemos en la masa líquida M (fig. 5) un plano PQ y un punto A; el plano divide á la masa líquida en dos partes, una superior y otra inferior; si consideramos un elemento superficial S al rededor de A, la presión en A es la presión media que se ejerce sobre el elemento aislado, si es diferente, la que pueda ejercerse en los diversos puntos del elemento.

Es fácil probar que se verifica el principio para el elemento de área S y de centro A.

Supongamos la parte inferior del plano solidificado y la parte superior en estado líquido, lo que se puede, sin modificar el equilibrio. El elemento viene á ser sección exterior, por lo tanto recibe la presión ejercida en CD.

PRESIONES EN LÍQUIDOS PESADOS

Para conseguir los resultados anteriores hemos supuesto los líquidos sustraidos á la acción de la gravedad, pero en realidad se debe tener en cuenta esta fuerza.

Podemos suponer en el interior de una masa líquida un elemento de volúmen, aislado del resto y solidificado. Sea el elemento A (fig. 6), los puntos 1, 2, 3, etc., que se encuentran en la misma vertical que pasa por A, por la acción de la gravedad, actuarán uno sobre otro; el peso de cada uno es soportado por el inferior inmediato; la carga que resiste A depende de la mayor ó menor cantidad de puntos materiales que se encuentran sobre él.

Variación de las presiones de un punto á otro—Consideremos dos puntos A y B (fig. 7) en una masa líquida en equilibrio; tracemos AB y tomemos éste como eje de un cilindro cuyas bases sean círculos muy pequeños y cuyos centros son A y B.

Admitamos que dicho cilindro esté aislado, quedará en equilibrio, prueba que en el interior de la masa, sobre las bases, existen presiones iguales y contrarias.

A—Demos á este cilindro la posición horizontal (2), es decir, coloquemos el eje AB normalmente á la dirección de la gravedad. Si suponemos actuando esta fuerza, no modificará el equilibrio del cilindro, las bases A y B antes en equilibrio permanecerán en este estado. En efecto: si no fuese así, las bases A y B se moverían horizontalmente, movimiento que sería debido á una fuerza vertical, lo que es un absurdo (ver dinámica); luego, si A y B no se mueven, están en equilibrio y la presión en A es igual á la presión en B. Luego: En una masa líquida en equilibrio, todos los puntos que pertenecen á un mismo plano horizontal sufren presiones iguales.

B—Demos al cilindro la posición vertical (1), el peso de todos los puntos materiales que vienen sobre B accionará sobre éste; por lo tanto tendremos que sumar á la presión en A, una cantidad equivalente al peso de la columna líquida que descansa encima, para encontrar la presión total ejercida en este punto.

$$P_B = P_A + VD$$

siendo V el volúmen de la columna líquida y D la densidad del mismo.

Si hacemos $V = Sh$, representando s la sección y h la altura, tendremos:

$$P_B = P_A + ShD$$

si $S = 1^{cm^2}$

$$P_B = P_A + hD$$

fórmula general; para el agua $D = I$, luego

$$P_B = P_A + h$$

C—Demos al cilindro la posición inclinada (3), tracemos por B una línea horizontal y por A una vertical que se corten en el punto C, segun el principio A, tendremos:

$$P_B = P_C$$

de donde

$$P_C = P_A + hD$$

En general podemos escribir:

---

(1) ¿La sección de A y B se supone igual á 1 cm.?

$$P_B = P_A + hD$$

segun que el punto A esté encima ó debajo de B.

Para el agua

$$P_B = P_A + h$$

por ser $D = 1$.

Modificaciones del principio de Pascal, cuando se trata de un líquido pesado.

El principio de Pascal no es cierto, sinó para líquidos sustraidos de la acción de la gravedad.

Es necesario hacer modificaciones si se considera dicha fuerza.

Si en el punto A (fig. 7) de una masa líquida se ejerce una presión, se trasmite á B, aumentada con el peso de la columna líquida que tiene por base B y por altura la distancia vertical h que separa los dos puntos ó elementos considerados:

$$P_B = P_A + hD \quad (a)$$

Ejemplos—Cuál es la presión total que existe en B, siendo el líquido contenido en el vaso mercurio, y h igual á 5 cm. y la presión en A igual á 6.500.

Aplicando la fórmula *(a)* tendremos.

$$P_B = 6^{gr}500 + 13^{gr}6 \times 5 \quad (1)$$

$$P_B = 6500 + 68^{gr}0$$

$$P_B = 6^{kg}568$$

Prensa hidráulica

Un líquido contenido en un vaso fijo, es un verdadero órgano cinemático, por trasmitir igualmente en todo sentido las presiones ejercidas en su superficie, es el *órgano de compresión.*

Con su receptor debe ser considerado como una *máquina*, por designarse en general con este nombre un aparato por medio del cual una fuerza acciona sobre puntos situados fuera de su dirección y ejerce sobre ellos esfuerzos que son amenudo diferentes de su intensidad propia, lo cual se verifica en la figura (4), donde el esfuerzo ejercido en AB produce una presión triple sobre CD.

Tal es el principio de la prensa hidráulica que describiremos detalladamente.

Consta de dos cuerpos de bomba A y B (fig. 9) que descansan sobre una misma base, y que se comunican por medio de un tubo T; el primero está en comunicación con un depósito de agua N ó pozo; lleva un émbolo A' movido por una palanca de segundo género CD, que envía el agua á la bomba mayor, y cuyos brazos l y l' son muy desiguales. El émbolo B' de esta bomba sube elevando con él una plataforma L que resbala en fuertes columnas de hierro ó bronce. Los objetos que se desean comprimir, se colocan sobre dicha plataforma, á cada golpe de émbolo se eleva, aproximándose á otra plataforma fija K.

Relación entre la fuerza que acciona en D *y el esfuerzo que comunica al émbolo menor* A,

Si representamos por F la primera y por X el esfuerzo, por l y l' sus respectivos brazos de palanca, según la teoría de las palancas tendremos:

$$(a) \quad \frac{F}{X}=\frac{l'}{l}; \text{ de donde } X=F\frac{l}{l'}$$

El valor de X está en razon inversa de su brazo de palanca, es por esto que se puede trasladar el punto de apoyo de CD, de m á m'.

Si p es la presión por unidad superficial en cada émbolo; y s, S las secciones respectivas; X y P las presiones totales, en A y B; tendremos:

$$\left.\begin{array}{l} X=ps \\ P=pS \end{array}\right\} \frac{X}{P}=\frac{s}{S} \quad (b')$$

La fórmula (b') nos dice:

Las presiones ejercidas en dos émbolos en equilibrio, están en razon directa de sus secciones.

Como las secciones de los émbolos son círculos, se puede escribir:

$$\frac{X}{P}=\frac{d^2}{D^2}$$

siendo d y D, los diámetros de A y B respectivamente.

Las presiones en los émbolos están en razon directa de los cuadrados de sus diámetros.

Multipliquemos miembro á miembro (a') y (b'), resulta:

$$\frac{F}{P}=\frac{sl'}{Sl} \quad (c')$$

La potencia es á la resistencia, como el producto de la sección del émbolo menor por su brazo de palanca, es al producto de la sección del émbolo mayor por el brazo de palanca de la potencia (1).

Supongamos que se ejerza en D una acción de 20 Kg. y que l sea igual $1^{m}50$; $l'=0^{m}15$; $s=0^{m2}10$ y $S=1^{m2}00$, encontrar el valor de P.

De la fórmula (c')

$$P=\frac{FSl}{sl'}$$

sustituyendo por sus valores

$$P=\frac{20\times1.50\times1.00}{0.10\times0.15}=2.000 \text{ Kgr.}$$

Esta presión, tan grande, obliga al líquido á salir fuera del cilindro B, entre la pared y el pistón, lo que hacía inaplicable el aparato. En 1796 el ingeniero inglés Bramah ideó el modo de salvar este inconveniente, aplicando unas rodajas de suela, plegadas en dos, cuya sección es una U, invertida (fig. 10). Las dos hojas de la pieza se abren bajo la acción de la presión, adhiriéndose más fuertemente á las paredes del émbolo y del cilindro; *ab* (fig. 9).

Existe, una válvula de seguridad y una llave; la primera sirve para impedir se trasmita á B, una presión mayor que la indicada por el constructor, la segunda para desagotar los cilindros.

RELACIÓN ENTRE LAS PRESIONES Y LOS ESPACIOS RECORRIDOS POR LOS ÉMBOLOS

Supongamos que el émbolo menor haya bajado una cantidad h, habrá salido un volúmen líquido igual á sh; el émbolo mayor habrá subido una cantidad h', y entrado en el volúmen sh; como estos volúmenes deben ser iguales, pués no hay razón para que no lo sean, desde que no existe escape de líquido, tendremos:

$$sh=Sh'$$

de donde

$$\frac{h}{h'}=\frac{S}{s} \text{ ó } \frac{s}{S}=\frac{h'}{h} \quad (d')$$

---

(1) Siendo F la potencia y P la resistencia ó esfuerzo que se comunica al émbolo mayor, en este caso B.

De las fórmulas (b') y (d')

$$\frac{X}{P} = \frac{h'}{h} \quad (e')$$

Las presiones están en razón inversa de los caminos recorridos por cada émbolo. En otros términos, lo que se gana en presión, se pierde en camino recorrido.

Observación.—De lo expuesto se deduce las ventajas que se consiguen con el empleo de esta máquina, ora para producir extraordinarias presiones, ora para levantar grandes pesos; de aquí sus numerosas aplicaciones en las industrias.

Sirve para prensar paños, papel, heno, paja y en general las sustancias filamentosas que deben ser reducidas á pequeños volúmenes para la facilidad de la circulación. Se emplea para extraer el aceite de los granos oleaginosos y el azúcar de las plantas azucareras. Se usa para los ensayos de las calderas á vapor.

En 1850 Robert Stephenson construyó una prensa hirdáulica que ejercía una presión de 550 atmósferas, ó lo que es lo mismo, en cada centímetro cuadrado de los pistones soportaba una carga de 568 Kgrs.

EQUILIBRIO DE UN LÍQUIDO SOMETIDO Á LA ACCIÓN DE LA GRAVEDAD

TEOREMA I—*La superficie libre de un líquido sometido á la única acción de la gravedad, es horizontal.*

Primera demostración.

Hasta ahora hemos supuesto el líquido encerrado por paredes; si se supone abierto por la parte superior, podemos aplicar los principios anteriormente establecidos al caso presente, si solidificamos la superficie superior libre, no cambiará el estado de la masa, desde que no se ejerce ninguna presión en ella.

Cortamos la masa líquida por un plano horizontal HH', (fig. 11), tomemos sobre él dos puntos A y B', sabemos que $Pa' = Pb'$.

Pero
$$\left.\begin{array}{l} Pa' = Pa + hD \\ Pb' = Pb + h'D \end{array}\right\} Pa + hD = Pb + h'D$$

como en A y B no existe presión alguna, se tiene $h'D = hD$ ó $h = h'$ (m').

La igualdad (m') nos dice: que los puntos A y B, equidistan del plano HH', horizontal HH', luego pertenecen á un plano MM', también horizontal, Segunda demostración.

Supongamos que la superficie libre del líquido tenga una cierta inclinación, y consideremos una molécula situada en dicha superficie. Su peso P, puede descomponerse en dos fuerzas F y F', la primera normal, es destruida por la incompresibilidad del líquido; la segunda F' paralela á la superficie, no existiendo frotamiento, no puede ser anulada. La molécula se pondrá en movimiento hacia la pendiente y pasará en el punto más bajo. Esto se repetirá hasta que todas las moléculas estén situadas en un mismo plano horizontal.

TEOREMA II.—*La superficie libre de una masa líquida sobre la cual existen presiones uniformes, es un plano horizontal.*

Si en la superficie, una presión uniforme, se puede siempre escribir la relación

$$\left.\begin{matrix} Pa' = Pa + hD \\ Pb' = Pb + h'D \end{matrix}\right\} Pa + hD = Pb + h'D$$

las presiones en A y en B, son iguales por hipótesis, luego:

$$hD = h'D \text{ ó } h = h'$$

PRESIONES SOBRE LAS PAREDES Y LOS FONDOS DE LOS VASOS

1º Presiones sobre paredes curvas.

Tomemos un punto A (fig. 12) en contacto con la pared distante de la superficie una cantidad h; un elemento de pared mn, cuyo centro sea A y bastante chico para considerarlo como plano.

Tracemos planos horizontales por sus extremos, se tiene:

(Continuará)

Plantas más perjudiciales á los sembrados y campos de pastoreo de la Provincia

Por el profesor Doctor CÁRLOS SPEGAZZINI.

1. **Abrojo grande** (*Xanthium italicum*).—Por lo general se aplica esta denominación á la planta cuyo nombre científico está indicado arriba. Sin embargo, hay quien lo emplea para indicar otras que poseen frutos provistos de ganchos adhesivos (cepa-caballos, abrojillos, cadillos etc.). El abrojo grande que pertenece á la familia de las Compuestas ó Sinantéreas, es