Memoria leida en el Congreso Científico Latino Americano de Buenos Aires por Valentín Martínez.

HIDRÁULICA APLICADA A LA AGRICULTURA.

Medida i distribucion de las aguas de riego de caudal variable en las provincias centrales de Chile.

JENERALIDADES.

La nocion del riego es inseparable de la abundancia o escasez de las aguas i de la manera como está constituida su propiedad.

Por lo jeneral las aguas de riego son un elemento por demas contingente, puesto que su abundancia o escaséz depende de múltiples causas metreolójicas de que no es dado disponer a la mano del hombre. Este puede sinembargo en muchos casos regularizar su aprovechamiento por medio de obras de arte que retardan en su camino esas eternas viajeras que del mar pasan a la atmósfera en forma de vapor, de ahí a las cumbres en forma de nieves i a la tierra en forma de lluvia i por fin nuevamente al mar.

Impedir por medio de canales, represas, etc., que esas aguas vuelvan al mar sin ser utilizadas, es el ideal del mejor aprovechamiento de las aguas en agricultura.

En Chile, la distribucion de las aguas metoórica de lluvias o deshielos es bastante caracterizada en las diferentes estaciones del año i según la latitud. Por demás escasas en las provincias del norte i por demás abundantes en las del sur, ellas son suficientes en las centrales, aunque su condicion sea una estrema variabilidad. Su medida i su distribucion deben, pues, obedecer a esta circunstancia sea

que la entrega i consumo se haga sin limitacion de tiempo, sea que la escasez obligue a recurrir a turnos o tandas.

Las siguientes líneas van encaminadas a manifestar como podria hacerse un equitativo reparto, base fundamental de toda distribucion.

Trataré primero:

De la medida i distribucion de las aguas de los canales de caudal variable por medio de canales secundarios.—Marcos.

I en seguida:

De la medida i distribucion de las aguas de los rios de caudal variable por medio de canales derivados.—Marcadores.

PROCEDIMIENTO TEÓRICO ESPERIMENTAL PARA LA CONSTRUCCION DE UN MARCO.

Diversas clases de movimiento que pueden animar una masa líquida.

El movimiento de un líquido puede ser permanente, variado o uniforme.

Es permanente cuando la velocidad de una molécula no depende sino del lugar que ocupa, es decir, que todas las moléculas que pasan por un punto cualquiera del espacio ocupado por la masa líquida tienen la misma velocidad en ese punto, en intensidad i direccion.

Es variado en el caso contrario.

Es uniforme cuando concurren las tres circunstancias siguientes:

1.° Que el líquido se mueva en un lecho prismático;

2.° Que este lecho sea inclinada al horizonte;

3.° Que la superficie líquida sea paralela al fondo.

Resistencias que se oponen al movimiento de una masa líquida.

1. El agua no goza de la fluidez perfecta de los líquidos considerados en la hidrodinámica; ella posee cierto grado de viscosidad i

las cosas se pasan como si entre las moléculas líquidas hubiese una pequeña fuerza que las mantiene ligadas entre sí. Esta fuerza hipotética es lo que llamamos *cohesion*.

2. Las paredes en contacto con el líquido se mojan, i las cosas se pasan como si entre las moléculas líquidas i la pared mojada hubiese cierta fuerza. Esta fuerza hipotética es lo que llamamos *adherencia*.

3. Todo cuerpo abandonado libremente en el espacio cae como si una fuerza lo atrajese hácia el centro de la Tierra. A esta fuerza hipotética la llamamos *gravedad*.

4. Todo cuerpo abandonado sobre un plano inclinado al horizonte i perfectamente liso, resbala en él como si estuviera sometido en el sentido de su movimiento a una fuerza igual a la gravedad multiplicada por el seno del ángulo del plano; pero si el plano no es perfectamente liso el movimieto es contrariado como si hubiese una fuerza en sentido contrario. Esta fuerza en los líquidos la llamaré *perturbacion de las paredes*.

5. Ahora bien, pongámonos en presencia de un canal a cielo descubierto i veremos desarrollarse en él a todas estas fuerzas, unas acelerando el movimiento, las otras retardándolo. En efecto, el fondo del canal es un verdadero plano inclinado en el cual las moléculas líquidas tienen que moverse en virtud de la gravedad. Como esta fuerza es constante, el movimiento sería uniformemente acelerado; pero todos sabemos que esto no sucede i que. a poco andar, el movimiento se ha hecho permanente. Esto que todos vemos se esplica fácilmente, es la accion retardatriz de la cohesion, de la adherencia i de la perturbacion de las paredes.

Con la cohesion la molécula *a*, por ejemplo, que está encima de la molécula *b*, está retardada en su movimiento i esta accion retardatriz crece con la velocidad relativa de cada una de ellas.

Con la adherencia, el fenómeno es completamente análogo, aunque depende de la velocidad absoluta de la molécula en contacto con las paredes.

Por fin, con la perturbacion de las paredes, las moléculas en

contacto con ellas no solo están desviadas por las asperezas sino que muchas reciben velocidades opuestas, i esta perturbacion, considerable á veces i que se trasmite a toda la masa, depende tambien de la velocidad absoluta de las moléculas que chocan las asperezas.

Todo esto forma una suma de acciones retardatrices de crecimiento mas rápido con la velocidad que la accion aceleratriz i por esto es que, a poco andar, el equilibrio entre unas i otras tiene lugar i con él movimiento permanente.

Si no hubiera paredes laterales, las velocidades de todas las moléculas situadas sobre un mismo plano horizontal serían iguales; pero su necesaria existencia lleva consigo una perturbacion lateral que hace que las moléculas situadas sobre un mismo plano horizontal tengan velocidades crecientes de los lados hácia el centro de la corriente i esto constituye toda la dificultad del problema de una exacta reparticion de las aguas en los canales descubiertos. Lo que hace difícil encontrar la lei de la distribucion de las velocidades, es que ella varía con todos los elementos que pueden variar en el lecho como igualmente con el volúmen de agua, las circunstancias aceleratrices de aguas arriba i las retardatrices de aguas abajo.

Hasta aquí nos hemos puesto en el caso de un movimiento variado permanente; es el caso que sin escepcion tiene lugar en nuestros canales i tambien en nuestros rios, por lo ménos en un corto espacio de tiempo.

Es el movimiento uniforme el que se trata de obtener siempre i el que se toma en cuenta en la redaccion de un proyecto de canal o rio canalizado; pero varias circunstancias concurren para que no se tenga el resultado que se desea.

1.° La pronta modificacion del lecho, modificacion que toma a veces proporciones considerables.

2.° La variabilidad del gasto. Por esta causa no se tendrá el movimiento uniforme que se ha previsto sino cuando el gasto sea el que se tomó en cuenta al proyectar la obra.

3.° Lo imprevisto de las cantidades filtradas i evaporadas hacen que no se tenga el gasto que se consideró en el proyecto.

4.° En fin, la dificultad de dar a las circunstancias aceleratrices de arriba i las retardatrices de abajo un valor conveniente.

El réjimen de nuestros canales es, pues, permanente. Es de notar tambien que no se tiene la altura del movimiento uniforme dada por la fórmula si las causas aceleratrices de arriba i las retardatrices de abajo no tienen valores determinados. Para no dejar duda sobre la verdad de esta asercion voi a esplicarme con un ejemplo. Supongamos que tenemos un canal de seccion rectangular i de fondo A B (fig. 2) inclinado al horizonte. Supongamos que este canal esté alimentado por una compuerta tras de la cual tenemos una altura de carga *c* tan grande como se quiera.

Es evidente que esta disposicion puede traducir cualquiera circunstancia aceleratriz de aguas arriba por una mayor o menor altura del orificio i de una mayor o menor altura de carga. Supongamos tambien que el canal desemboca en un depósito cuyas aguas pueden ocupar la altura que se quiera. Es evidente tambien que esta disposicion puede representar cualquier causa retardatriz de aguas abajo.

Supongamos ahora, por un momento, que las circunstancias de arriba quedan las mismas; esto equivale a suponer un gasto constante por el orificio de la compuerta; con este gasto i con la pendiente i seccion del canal la altura del movimiento uniforme queda determinada por la fórmula. Sea H H el eje de ese movimiento; se ve que no había movimiento uniforme si el agua del depósito inferior no se encuentra al nivel *d* i aun así, la porcion del eje H H, que se une por un resalto al eje de abajamiento *a b*, sería mas o ménos limitada segúu la intensidad de las causas aceleratrices de arriba. Se necesitaría, pues, que las circunstancias de abajo tuviesen un valor determinado i su relacion con las de arriba.

Yo no supondré que el movimieuto uniforme se realiza sino que la distribucion de las velocidades es la misma, sea que se trate de una altura de agua que pertenezca al movimiento uniforme o al movimiento permanente. Esto no quiere decir, como se ha creido hasta ahora, que el gasto por dicha seccion sea el mismo por mas que

la seccion i las pendientes sean idénticas. Inútil me parece decir que la hipótesis en que voi a fundarme está admitida por todos los hidráulicos, en el estado actual de la ciencia.

Fórmulas del movimiento uniforme i otras de que puedo necesitar.

1.° Paredes mui lisas (albañilería enlucida madera acepillada):

$$\frac{R\,I}{U^2} = 0{,}000\,15\ \left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$$

2.° Paredes lisas (albañilería sin enlucir, tablas simplemente aserradas):

$$\frac{R\,I}{U^2} = 0{,}00019\ \left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$$

3.° Paredes formadas de piedra de bolón simplemente debastadas.

$$\frac{R\,I}{U^2} = 0{,}00024\ \left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$$

4.° Paredes de tierra (acequias, canales, arroyos):

$$\frac{R\,I}{U^2} = 0{,}00028\ \left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$$

5.° Para corrientes que arrastran piedras:

$$\frac{R\,I}{U^2} = 0{,}0004\ \left(1 + \frac{1{,}75}{R}\right)$$

6.° Para la velocidad media:

$$U = V - 14\sqrt{R\,I}$$

En estas fórmulas:

$$R = \text{radio medio} = \frac{\text{seccion mojada}}{\text{perímetro mojado}} = \frac{(w)}{x}$$

I = pendiente = seno del ángulo del fondo con el horizonte.
U = velocidad media.
V = velocidad máxima.

Fórmulas para determinar la altura media de un orificio cualquiera abierto en pared vertical. (fig. 1)

1.° Para un trapecio de bases horizontales:

$$\sqrt{K} = \frac{4}{15} \cdot \frac{5\left(H_1^{\frac{3}{2}} - H_0^{\frac{3}{2}}\right)\left(p.H_1 - q\,H_0\right) + 3\left(H_1^{\frac{5}{2}} - H_0^{\frac{5}{2}}\right)\left(q-p\right)}{\left(p+q\right)\left(H_1 - H_0\right)}$$

2.° Para orificio a flor de agua:

para el trapecio, $K = H\left(\frac{4}{15} \cdot \frac{(2p+3q)}{(p+q)}\right)^2$

para el paralegramo, $K = \frac{4}{9} H$

En estas fórmulas K es la altura del filete medio bajo el nivel del líquido.

3.° Para un polígono cualquiera:

$$w\sqrt{2gK} = w_0\sqrt{2gK_0} + w_1\sqrt{2gK_1} + \ldots\ldots$$

4.° Para el gasto de un orificio vertical en pared delgada:

$$q = 0.967\ w.\sqrt{2gK}$$

RESOLUCION DEL PROBLEMA DE LA CONSTRUCCION DE UN MARCO

Descripcion de un marco.—Hasta ahora, entre nosotros, un marco es una construccion de albañileria de ladrillo destinada a

repartir el gasto variable de un canal, llamado *matriz o tronco*, en una razon dada, por medio de otros dos canales que toman los nombres de *pasante* el uno i de *saliente* el otro.

Me limitaré a describir el tipo adoptado por la Sociedad del Canal de Maipo, mas jeneralmente conocido entre nosotros. Por lo demas la solucion de nuestro problema no pierde nada de su jeneralidad porque dejo indeterminadas las circunstancias que permiten pasar de un marco de cierto tipo a otro de tipo diferente,

Segun los estatutos de la Sociedad del Canal de Maipo, en la construccion de un marco deben observarse las prescripciones siguientes:

"Art. 55.—Para establecer un marco debe formarse en el canal un emplantillado de piedra o de ladrillo de 8 varas de largo sin desnivel, con tres puentes colocados en el suelo uno a cada uno de los estremos del emplantillado, i otro en el medio, debiendo ser cada uno de ellos del ancho del ladrillo. Los costados i paredes del canal se harán tambien de cal i ladrillo con dos ladrillos de ancho. En el centro de este emplantillado debe colocarse el marco partidor.

"Art. 56.—Desde el emplantillado debe formarse al canal un plano de 50 varas en línea recta para arriba i con doce pulgadas de desnivel.

"Art. 57.—Al fin del emplantillado tendrá una caida igual el marco saliente a la del marco pasante, cuya caida no debe exceder de un tercio de vara.

"Art. 59.—Los marcos que se hagan nuevo i los que estén destruidos o mal colocados, se construirán con una punta de diamante de piedra que forme un ángulo de 15° con el resto de la tijera; por la base de atrás de la tijera será de una vara i cuarto. En la misma forma se construirán todos los marcos que fuese necesario rehacer.

"Art. 60.—A cada marco deberá ponerse detrás de la punta de diamante, a la media vara, una escala que señale la demarcacion.

"Art. 61.—Los marcos deben ser de una vara de alto i de pulgada i media por regador, arreglados al modelo del plano que existe en la Junta de Directores.

"Art. 62.—Todo marco debe tener ademas un plano inclinado de veinte varas despues del horizontal, con un desnivel de doce pulgadas o ménos, segun la localidad de los marcos."

Como se ve, por estas disposiciones se han suprimido por completo las influencias retardatrices de aguas abajo i por consiguiente el eje hidráulico está debajo del movimiento uniforme.

Se ve igualmente que la Sociedad da por medida del agua el *regador*. Justo es, pues, que le dediquemos una palabra a esta unidad de medida como igualmente al *regador legal* o regador chileno del cual aquel se deriva.

El regador chileno.—Esa palabra que todos comprendemos como destinada a ser la unidad de medida del agua en agricultura, del mismo modo que la onza milanesa, el módulo de Henares, el módulo de Marsella, etc., llenan igual objeto en otros paises, fué mal definida por el Senado-consulto de 18 de noviembre de 1819 que le dió fuerza de lei.

"Conformándome con lo acordado por el Excelentísimo Senado en 5 del corriente," dice aquella lei, "vengo en declarar por regla jeneral, que el regador, bien sea del canal de Maipo o de cualesquiera otros rios, se compondrá en adelante de una sesma de alto i de una cuarta de ancho con el desnivel de 15 pulgadas, el que se aprecia en 750 pesos, cuya venta solo se verificará en dinero de contado; previniéndose que asi como al que necesitare mas cantidad de agua que la que corresponde a un regador se le puede vender en mayor número los regadores, asi al que necesitare menos nunca podrá bajar de la mitad; que los marcos i boca-tomas serán de cuenta del comprador, quedando al cuidado del Gobierno nombrar personas de su satisfaccion que señalen el lugar donde debe fijarse el marco i abrirse la boca-toma con el declive indicado. Tambien se declaran libres los rasgos o tránsito de las aguas por cualquier terreno que pasen o sean convenientes al comprador, a no ser por aquellos donde haya plantas, en cuyo caso estos podrán convenirse con el propietario. I para que llegue a noticias de todos, insértese en la *Gaceta Ministerial*.—O'Higgins.—*Cruz*."

Como se ve por el testo de la lei, el regador es la cantidad de agua que suministra una corriente que se ha creido determinar fijando su seccion i su desnivel; pero no se dice en qué lonjitud debe repartirse ese desnivel.

El gasto o caudal de una corriente en un tiempo dado depende de su seccion i de su velocidad o camino recorrido por el líquido en ese tiempo, i como es fácil comprender, dejar indeterminada la lonjitud en que debe repartirse el desnivel que se ha fijado equivale a dejar indeterminada la velocidad. En efecto, la fuerza aceleratriz que produce la velocidad de un líquido es la componente de la gravedad paralela al plano inclinado en que tiene lugar el movimiento, i su intensidad depende, por consiguiente, de la inclinacion de ese plano o sea de la lonjitud en que debe repartirse el desnivel dado.

Se ha creido interpretar la lei haciendo cero la lonjitud en que tiene lugar el desnivel de 15 pulgadas; es decir, que se supone practicado en las paredes del canal un orificio de una sesma de alto i de una cuarta de ancho con una presion de 15 pulgadas sobre el orificio.

Esta interpretacion me parece completamente inadmisible. No puede admitirse, en efecto, que haya estado en la mente del Senado consulto, que esa carga de 15 pulgadas sobre el orificio quedaria siempre constante, conociendo como han debido conocer la gran variacion de la altura del agua en nuestros canales. Pero se dirá que se ha tenido en vista dar al regador el valor de cantidad variable, como lo es el gàsto o caudal de agua de nuestros canales. Tal argumento no tiene fuerza alguna porque toda unidad debe ser por su naturaleza determinada i constante i no tendria sentido alguno una unidad variable segun una lei desconocida o variable por lo menos de un canal a otro. Pero aun suponiendo conocida la lei de variacion de la unidad, lo que ya seria inesplicable, quedaria subsistente la no proporcionalidad entre las partes; porque ¿dónde colocaríamos el orificio en las paredes del Canal de Maipo, por ejemplo, en que la altura del agua puede variar de cero a dos metros i mas? ¿Seria a 15 pulgadas de la superficie máxima? Pero en tal caso el orificio estaria casi todo el año en seco, ¿Seria en el

fondo o a cualquiera otra altura? No, porque el Senado-consulto no habria dicho 15 pulgadas donde la altura puede variar de cero a 80 centímetros o mas, sea que se trate de un mismo canal, sea que se pase de un canal a otro.

La única interpretacion posible es la de quince pulgadas por cuadra, pues, siempre se ha medido en Chile el desnivel de un canal diciendo: tantas pulgadas por cuadra, o simplemente tantas pulgadas, una palabra sub entendiendo la palabra *cuadra*.

Dicha pendiente en las aplicaciones de la práctica no ofrece tampoco ningun inconveniente, porque la pendiente jeneral de nuestros valles es superior a 15 pulgadas, de suerte que tal pendiente tiende a llevar las aguas a la superficie, lo que es mui racional i poco dispendioso, pues, el canal en que el propietario debe conservar la pendiente legal puede ser mui corto, pudiendo en el resto de su acequia guardar la pendiente que mas le convenga.

No soi, pues, partidario de los que creen que la lei del Senado-consulto es una lei vacia de sentido, necesitando solo una interpretacion, i creo que la que he dado nos permite definir lo que es el *regador chileno* o unidad legal diciendo que "es el gasto de una corriente de réjimen constante, cuya seccion es de una sesma de alto (0, m 139) i una cuarta de ancho (0, m. 209) i cuyo desnivel es de 15 pulgadas (0, m 348) repartidos en 150 varas (125 metros)."

Su medida.—Para tener la medida en litros del regador chileno necesitamos, segun las nuevas esperiencias de Mr. Bazin, determinar la clase de canal por donde se escurre el volumen de agua que se llama *regador*. A este fin observaremos que debiendo hacerse la construccion del medidor en prevision de su mayor duracion, se necesita que sus paredes sean de albañilería enlucida; pero como el caso práctico es que la albañilería esté desde largo tiempo en servicio tomaré un promedio entre la 1.ª i la 2.ª fórmula de Mr. Bazin. De esta manera resultará para el valor del regador: *22 litros por segundo*.

El medidor o marcador de los veintidos litros de la unidad legal no lo determinó ni debió determinarlo el Senado-consulto, porque

esto es del dominio de una ciencia nueva que está léjos de estar formada; i por consiguiente, cuanto aparato se de para medir esa unidad i sus múltiplos, solo puede tener un grado de perfeccion relativo, susceptible de mejorarse cada dia.

Lo que se llama regador de Maipo no es mas que una construccion o aparato de distribucion de las aguas del canal de Maipo, adoptado por la sociedad de este nombre con el objeto de distribuir las aguas de un modo automático; pero tanto la unidad como sus múltiplos no representan de ninguna manera ni el regador legal ni mucho menos los múltiplos de esta unidad. En efecto, el único punto de contacto que el regador de Maipo tiene con el regador legal es el haberle dado la misma seccion de escurrimiento o sea 54 pulgadas cuadradas, sin tomar en cuenta para nada el *radio medio* el cual introducido en la fórmula da para el regador de Maipo solo *10 litros por segundo.*

Por otra parte es imposible realizar en la práctica en el regador de Maipo el movimiento uniforme; el verdadero movimiento que se produce en él es el variado permanente, como he podido observarlo, sin escepcion. en mas de trescientas series de esperimentos que he practicado en diversos marcos.

Respecto de los múltiplos de la unidad el error de concepto es todavia mayor por haber dado como medida del volúmen la seccion de escurrimiento sin tomar en cuenta el radio medio. Bástenos citar un ejemplo: Para entregar 10 regadores se da por medida una seccion diez veces mayor que la de un regador i lo que asi se entrega en realidad es el volúmen correspondiente a *20 regadores.*

No es, pues, por la simple acumulacion de la seccion de un regador como podemos representar los derechos de agua de un pasante i de un saliente en la construccion de un marco; se necesita buscar en las secciones una relacion que con la misma altura de agua, cualquiera que esta sea, en el pasante i en el saliente se escurran por ellas volúmenes que correspondan a aquellos derechos. Tal es el objeto de la investigacion del *perfil de proporcionalidad constante* en la construccion de un marco.

CONSTRUCCION

Se sabe que la mala reparticion de las aguas de caudal variable por medio de marcos proviene de tres causas principales que son:

1.° El haber dado la seccion por medida del volúmen sin tomar en cuenta el radio medio o sea la relacion entre la seccion líquida i el perímetro mojado.

2.° El haber inclinado solo el saliente.

3.° No haber tomado en cuenta que el saliente que está alimentado por hileros de menor velocidad que el pasante, es decir, no haber tomado ninguna disposicion que compense el menor gasto o volúmen que por esta causa resulta.

1.° Es evidente que la correccion de las secciones puede hacerse modificando el perfil de una sola de ellas i en estas de uno solo de sus paramentos.

La marcha que adoptaremos será la siguiente: tomaremos en primer lugar con el molinete, tubo de Darcy u otro instrumento aforador la distribucion de las velocidades en un perfil del canal en el punto en que debe establecerse el marco. Construiremos un depurado en el cual marcaremos la seccion trasversal del canal, la altura del agua i la posicion de los hileros cuya velocidad se ha determinado. Si suponemos que los derechos deben guardar la razon de 1 a 4, por ejemplo, dividiremos la seccion líquida por medio de una vertical en otras dos cuyos gastos o caudales sean entre sí como los números 1 i 4.

Jamas sucederá que las secciones resulten entre si como dichos números i en el caso que suponemos bien podrian resultar como los números 1 i 3 por ejemplo. Esto quiere decir que si el agua debe conservarse a la misma altura en el saliente que en el pasante, es preciso que las secciones guarden la razon de 1 a 3 con la altura de

agua considerada, Repetiremos esta operacion con dos o mas alturas del agua en el canal i como es evidente que con la altura cero la razon es la de los derechos, esto es de 1 a 4, resulta que con una construccion jeométrica sencillísima podemos hallar, para cualquiera altura del agua, el incremento de la seccion de construccion sobre la seccion dada por la relacion de los derechos.

Con tal artificio correjimos la 3.ª causa de error en la particion. La 1.ª queda igualmente correjida dando a la seccion del saliente el perfil que paso a buscar en la hipótesis de haber determinado para cada altura del agua la razon de las secciones que realizan la particion.

Sea *a b c d* (fig. 5) la seccion del canal pasante qne dejaremos sin tocar i que resulta de separar del canal tronco la parte alícuota correspondiente. Sea *a' b' c' d'* (fig. 6) la seccion del saliente que tratamos de modificar en vista de la consideracion del *radio medio*.

Démosnos una altura cualquiera *h* del agua en el canal pasante. A esta altura corresponde cierto gasto o volúmen *q* que se obtiene por la fórmula.

$$I = \frac{A\,u^2}{R} \text{ o bien } I = \frac{A}{R}\left(\frac{q}{w}\right)^2$$

en que todo es conocido menos *q*.

En el canal saliente con la misma altura de agua h deberemos tener un gasto q'. Introduciendo este valor en la fórmula anterior tendremos como incógnita *w* que podemos despejar, i como la altura *h* es conocida nos será fácil encontrar la base *b' e*. Tomemos en seguida el punto medio de *e i*. unámoslo con *c'* i prolonguemos hasta encontrar *g i* prolongado en *f*. El trapecio *g b' c' f* que tiene la misma superficie que el rectángulo *g b' e i*, desde el punto de vista del escurrimiento del líquido son tambien equivalentes.

Démosnos otra altura h_1. Con esta altura tendremos en el pasante un gasto q_1 que se determina por la misma fórmula de arriba. En el canal saliente con la misma altura de agua deberemos tener un gasto o volúmen q_1' i el rectángulo de altura h_1 que produce este

gasto se obtiene del mismo modo que anteriormente. De su superficie que llamaremos w'_1 quitaremos la del trapecio $g\ b'\ c'\ f$ que representaré por w' i la diferencia $w'_1 - w'$ la convertiremos en un trapecio cuya base inferior sea $g\ f$ i su altura $h_1 - h$, lo cual no ofrece dificultad, pues, basta dividir $w'_1 - w'$ por $h_1 - h$. El cociente lo aplicaremos desde g hasta k. El punto medio de la vertical $k\ l$ unido con f i prolongado hasta m nos dará el trapecio que buscamos.

De esta suerte se determinarán tantos puntos como se quiera del nuevo perfil.

2.° Otro punto que hemos anotado mas arriba i que debe llevar tambien su correccion es la desviacion del saliente.

La figura 3 muestra la disposicion ordinaria.

Parece inútil probar que la disposicion que consiste en desviar solo el saliente, es absurda.

Desde luego es evidente que esa oblicuidad viene a retardar las moléculas líquidas en su marcha; se pierde, pues, una gran parte de su fuerza viva en un trabajo molecular interior cuyo resultado es disminuir el gasto en el canal saliente.

El haz de hileros que tiene que cambiar de direccion es el que viene a chocar la punta partidora desde p hasta d; i como éstos ejercen su accion perturbatriz sobre el total de hileros que pasan al saliente, la accion que retarda un hilo líquido estará medida por el cociente de los primeros divididos por los segundos. Para que el pasante i el saliente resulten igualmente afectados será, pues, necesario que el mismo retardo relativo afecte tambien al pasante; luego es preciso que la proyeccion de $c\ p$ sobre una normal al canal tronco i que pase por la punta, guarde con $a\ p$ la misma relacion que $p\ e$ guarde con $p\ b$; (fig. 4) pero como ya $b\ p$ i $a\ p$ guardan entre sí la relacion de 1 a 3 se sigue que $p\ e$ i $p\ f$ guardan tambien la misma razón.

La construccion de los ángulos es por demas sencilla: muévase (en un depurado hecho a la escala) la punta partidora en su plano i en torno del punto p, a derecha o a izquierda, hasta que la proyeccion de $p\ e$ i de $p\ d$ sobre una misma recta, guarden la razón de los gastos.

Por el cálculo no es ménos fácil:

$$e\,p = p\,d.\,\cos\,(180° - \phi - a)$$

$$p\,f = p\,c.\,\cos\,a$$

Dividiendo ordenadamente i notando que

$$p\,d = p\,c,$$

$$\frac{e\,p}{p\,f} = \tfrac{1}{3} = \frac{\cos\,(180° - a - \phi)}{\cos\,a} = -\frac{\cos\,(\phi + a)}{\cos\,a} = -$$

$$\frac{\cos\,\phi\,\cos\,a - \operatorname{sen}\,\phi\,\operatorname{sen}\,a}{\cos\,a}$$

$$\tfrac{1}{3} = -\,(\cos\,\phi - \operatorname{sen}\,\phi\,\mathrm{tj}\,a),\ \text{de donde}$$

$$\frac{\tfrac{1}{3} + \cos\,\phi}{\operatorname{sen}\,\phi} = \mathrm{tj}\,a,\ \text{i de ahí}\ a.$$

MARCADORES

La reparticion de las aguas de los rios por medio de canales derivados en proporcion a los derechos o mercedes de agua de cada canal, constitnye un problema análogo al que acabamos de tratar.

Exije no obstante esta reparticion, la intervencion de un juez de aguas para poner a cada canal en posesion de su derecho en los casos de turno, no siendo posible hacerlo automáticamente a causa de la gran dificultad i crecidísimo costo de las obras de arte necesarias para encauzar los rios en sus creces.

El mejor de los sistemas será, pues, aquel que permita al juez de aguas hacer la distribucion por maniobras fáciles i espeditas, i en que los interesados puedan verificar en cualquier tiempo i por sí mismos el equitativo reparto.

Se requiere igualmente que el réjimen de los canales derivados no se altere en manera alguna con la implatacion de las obras destina-

das a la medida de sus aguas, debiendo adaptarse a las condiciones propias de cada canal: seccion, pendiente, caudal, etc.

Esto se consigue con el sistema de *marcadores* que he estudiado por encargo del Ministerio de Industria i Obras Públicas en Marzo del año próximo pasado a propósito de la distribucion de las aguas del rio Maipo.

Descripcion.—Un marcador es una construccion prismática, de seccion rectangular o trapezoidal hecha de mampostería de piedra, de ladrillo o de concreto i establecida lo mas cerca posible de la boca del canal, pero en terreno firme i fuera de la accion de las creces del rio.

Su seccion i su pendiente son las propias del canal en el trozo elejido para establecer la construccion i su lonjitud no debe bajar de 30 metros, habiendo evidente ventaja en que ésta sea tanto mayor cuanto mayor es el caudal, a fin de obtener en lo posible el réjimen del movimiento uniforme.

Con el objeto de igualar la naturaleza de las paredes de escurrimiento, cualquiera que sea el material de que la construccion se ha hecho, los paramentos interiores deben ser estucados con buena mezcla hidráulica.

Un juego de compuertas de fácil manejo, establecido en el oríjen i aguas arriba del marcador está destinado a regular la admision del agua de modo que se realice la altura exijida por la proporcionalidad de los derechos.

Una escala de bronce o fierro esmaltado, dividida en centímetros se halla adherida a uno de los costados del marcador en la mitad de su lonjitud i sirve para dar la altura del agua.

Complementa el sistema de distribucion de las aguas de los rios por medio de marcadores, la construccion de un *vertedero* de cal i piedra establecido a traves del lecho del rio i aguas arriba de la primera toma.

Este vertedero está destinado a dar la medida del agua del rio

en cualquier tiempo por medio de una escala graduada despues de una larga serie de esperimentos.

DETERMINACION DE LOS GASTOS

Conocidas la seccion, la pendiente i la naturaleza de las paredes del trozo regularizado que constituye el marcador, es fácil hallar por el cálculo auxiliado del número de esperiencias que se crea necesarias el gasto en litros que pasa por el marcador con las diversas alturas que el agua puede tomar y que son dadas por escala hidrométrica.

MANERA DE OPERAR LA DISTRIBUCION

La determinacion de los gastos permite formar una tabla en que se encuentren: en una columna los nombres de los canales, al lado de éstos el número de litros que deja pasar correspondientes a las diversas alturas que el agua puede tomar. Por otra parte la escala hidrométrica del vertedero muestra el caudal del rio.

Conocido éste, la particion proporcional a los derechos de cada canal dará el gasto correspondiente, i de ahí la altura de agua que el juez debe dejar en cada marcador con el auxilio de las compuertas arriba mencionadas.

Esta operacion debe repetirse cada vez que el Juez de Aguas crea ha habido variacion en el caudal del rio.

Con este procedimiento, sujeto a una comprobacion rigurosa, cada propietario puede verificar la equidad del reparto i saber de qué cantidad de agua dispone cada dia para sus cultivos, lo cual es un paso no despreciable en agricultura.

V. MARTINEZ
Injeniero.

Fig. 2

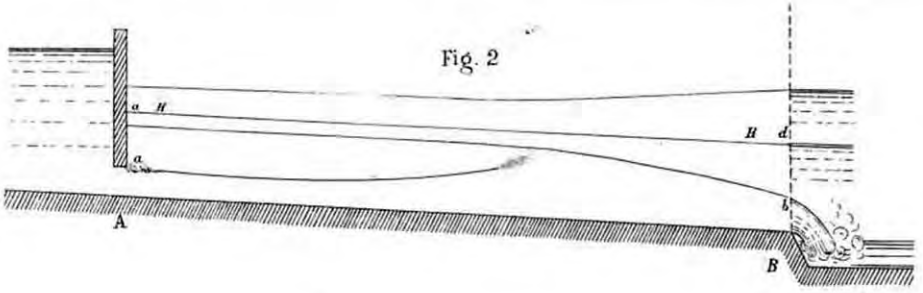


Fig. 1

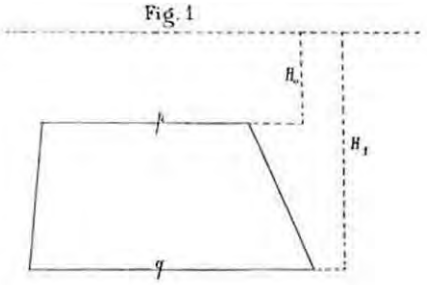


Fig. 3

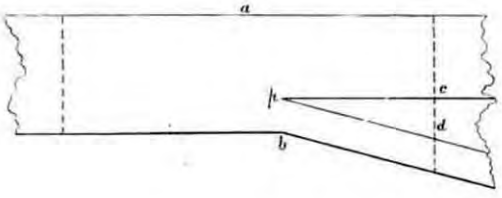


Fig. 4

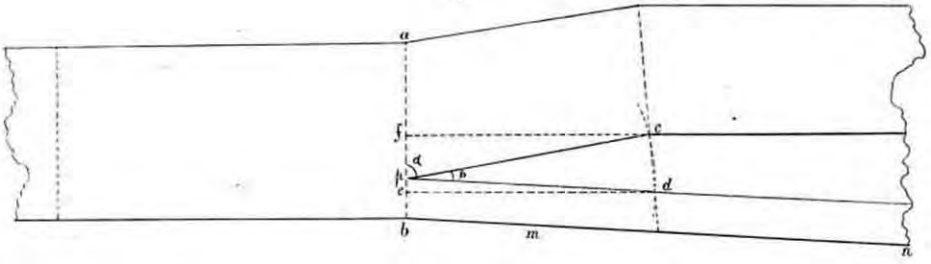


Fig. 5

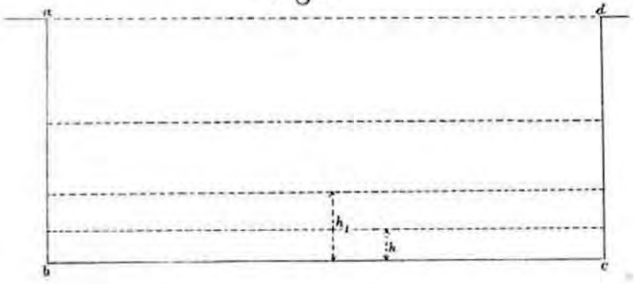
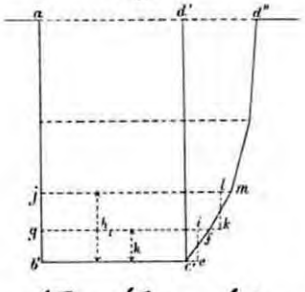


Fig. 6



F. Martinez
Ing.