

IRRIGACION—Algunas consideraciones jenerales sobre las aguas corrientes.—Discurso leído por don Ismael Renjifo en el acto de su incorporacion, en reemplazo de don Gabriel Izquierdo, a la Facultad de ciencias físicas i matemáticas, en sesion de 15 de agosto de 1875.

Señores:

Me habeis hecho en honor de llamarme a ocupar un asiento al lado de los primeros hombres de ciencia del país, i creeria no corresponder a tan honrosa distincion si me limitara solo a manifestaros mi profunda gratitud: con la constancia en el trabajo i el estudio, me esforzaré en demostraros mis deseos de merecer el puesto de auxiliar en la obra de fecundos e importantes resultados para el progreso del país, que teneis a vuestro cargo.

Estimulado por el respetuoso recuerdo que el señor Gabriel Izquierdo dejó entre los que tubieron la fortuna de oír sus lecciones en el Instituto Nacional, he hecho cuanto estaba de mi parte, al succederle en las clases que allí desempeñaba, para realizar los fines que su amor a la ciencia le inducia a buscar; la nueva honra que vosotros me habeis dispensado, me impondrá igualmente el deber de esforzarme por llenar una parte siquiera del espacio que en este recinto ha quedado vacío por su prematura e irreparable pérdida.

El señor Izquierdo dió a conocer desde temprano sus raras aptitudes: su vida de estudiante fué una serie no interrumpida de triunfos proclamados por hombres como Gorbea, Valdivia, Solar, Moesta. Este último supo desde temprano aprovechar sus méritos, llamandolo a su lado como ayudante del Observatorio Astronómico, endonde se dió bien pronto a conocer por su laboriosidad i el empeñoso celo desplegado en sus trabajos.

Sus conocimientos científicos i elevacion de carácter le granjearon un alto aprecio entre sus compañeros i discípulos, durante el tiempo que estuvo consagrado a la enseñanza de diversos ramos de matemáticas. Llamado después a dirigir los liceos de San Fernando, Valparaíso i La Serena, siguió prestando señalados servicios, cuyos frutos seria fácil descubrir aun i se conservan en la tradicion de aquellos establecimientos.

En su empeñoso interés por la instrucción científica, procuró que sus lecciones llegasen mas allá de sus oyentes, escribiendo textos de enseñanza de un mérito especial. Su tratado de *Aritmética*, uno de los mas completos que conozco, está escrito con toda la claridad i precision que requiere un libro de este jénero, i desde hace dieziseis años se utiliza con gran provecho de los jóvenes que tratan de profundizar esta ciencia. Su *Cosmografía*, en la cual se encuentran desarrolladas todas las leyes i teorías astronómicas, con sencillez i sin salir de los métodos elementales, ha servido por largos años de texto de enseñanza, hasta que se juzgó prudente reemplazarla por la correcta i elegante traducción de la obra de Guillemin, hecha por él mismo.

Como miembro del cuerpo de ingenieros civiles, hizo comprender que la esfera de sus conocimientos alcanzaba mas allá de la parte abstracta de las ciencias, desempeñando con todo acierto importantes i delicadas comisiones. La última de ellas fué la de estudiar los diversos proyectos presentados con el objeto de surtir de agua potable a la ciudad de Valparaíso, sobre los cuales presentó un luminoso informe que haría honor a cualquier ingeniero dedicado a la práctica de esta clase de trabajos.

La vida del señor Izquierdo ha sido, pues, una continuada labor, en que ha podido desplegar, al mismo tiempo que sus dotes eminentes como hombre de ciencia, su amor a la enseñanza i su vivo interés por la difusión i ensanche de las luces. Escritor, maestro, miembro del cuerpo de ingenieros, le hemos visto desarrollar, en este triple carácter, aptitudes, laboriosidad i constancia no comunes, dignas de todo elogio i de servir como estímulo i ejemplo a los que deseen marchar por igual senda.

Aunque un análisis detenido de las obras del señor Izquierdo me habria dado materia mas que suficiente para completar este discurso, i habria servido para hacer resaltar los méritos de mi ilustre antecesor, me limito a esta sucinta enumeracion de sus trabajos científicos, para rogáros me permitais llamar vuestra atención hácia una de las cuestiones que mas preocupan en el día, por su interés práctico i por las consecuencias tan trascendentales que envuelve. Me refiero a la extraccion, conduccion i distribucion de las aguas de regadío i a las dificultades i peligros que

su acertada solución ofrece. En las breves consideraciones que voy a permitirme desarrollar ante vosotros, me limitaré solo a exponer, cuáles son en mi concepto las causas de esos peligros y dificultades, i cuál es la dirección que debe darse al estudio para salvarlos: el término de esos trabajos reclama un campo mas estenso que el que me sería lícito recorrer en este momento.

La hidráulica es una ciencia tan vasta i de tan variadas aplicaciones, que está íntimamente relacionada con la mayor parte de las cuestiones encomendadas a la competencia del ingeniero. Tanto el ingeniero mecánico, encargado de la construcción de motores hidráulicos, como el ingeniero de minas, que necesita con frecuencia hacer uso de bombas i de máquinas ventiladoras, deben conocer a fondo las importantes teorías de esta ciencia. Ellas no son menos útiles al ingeniero civil para la construcción de puentes, diques i represas. El ingeniero agrícola, cuyo campo de acción es tan vasto en Chile como el territorio entero, mal podría trazar un canal o distribuir sus aguas, desconociendo las leyes i principios que rigen en el movimiento de las aguas en canales descubiertos.

Esta última cuestión, ligada íntimamente con la agricultura, tiene grande interés en Chile, i ha sido por este motivo el objeto de mi constante preocupación en mi corta vida profesional.

Los beneficios de la irrigación son bien conocidos. El agua es un agente indispensable para la vida de los vegetales, i contribuye poderosamente a facilitar la serie de acciones químicas efectuadas en la nutrición de las plantas, sobre las cuales se ha dicho con razón que son un verdadero laboratorio donde la naturaleza solo procede por la vía húmeda. Ninguna clase de vegetación puede existir donde la humedad falta por completo, i donde es insuficiente, debe procurarse artificialmente.

Los agricultores no han esperado por cierto que Boussingaul, Berthelot i Bouchardat dieran a conocer los secretos prodijios de la nutrición de los vegetales para comprender que el uso prudente de las aguas les permite obtener de sus tierras productos abundantes i variados, con la regularidad que no podrían esperar de un cultivo ordinario.

La utilidad de regar los campos ha sido comprendida en todo

tiempo, i los pueblos de mas remota antigüedad supieron apreciar las ventajas del riego artificial.

En la edad moderna i al presente es sin disputa en la Italia septentrional donde ha existido i existe mas perfeccionado el arte de la irrigacion. Es en la Lombardia donde, segun M. Buffon, encargado de estudiarla en este sentido por el gobierno francés, «existen, tanto bajo el punto de vista teórico como en el de la práctica, todas las enseñanzas aplicables a los perfeccionamientos que se hacen desear en las irrigaciones efectuadas en todos los países del globo.»

Si el sistema del regadío italiano puede ofrecer enseñanzas útiles i provechosas a los países mas adelantados, ¿qué no nos enseñará a nosotros, que hasta aquí hemos mirado con tanto desprecio todas las cuestiones relativas a la conduccion de las aguas i su uso, i que manifestamos tan poco interés por penetrar las delicadas teorías de la química agrícola, relacionadas con esta cuestion i los importantes problemas de la hidráulica? Son muy pocos los que ven una cuestion científica en la conduccion i distribucion de las aguas, i muchos menos los que ven un arte en sus aplicaciones a la agricultura.

Ohile es, sin embargo, uno de los países donde mas se hace sentir la necesidad de regar artificialmente los campos. Aquí llueve muy poco en primavera i casi nunca en verano, i es precisamente en estas épocas cuando el agua debe prodigarse para la jeneralidad de los cultivos. La providencia se ha encargado de satisfacer esta necesidad dando a las montañas una altura suficiente para que en ellas puedan conservarse las nieves del invierno, que no son fundidas sino cuando las reclama la agricultura, es decir, cuando el calor es suficiente para calentar el aire enrarecido de esas rejiones.

Por este motivo, el valor de los terrenos cultivables depende casi únicamente del de las aguas que los riegan. No conozco localidad en que el terreno seco, aunque sea plano i de la mejor clase pueda valer mas de 50 pesos la hectárea, a pesar de que el precio del terreno regado con agua suficiente, llega en varias localidades hasta 600 i 700 pesos la hectárea. Si el valor de las tierras es muy poco superior al de las aguas que las sirven, es porque casi nada producen sin el riego artificial.

Se ha dicho i repetido que el porvenir de Chile es el de su agricultura; con mas propiedad podria decirse que no solo la prosperidad del país sino tambien su subsistencia depende de las aguas de riego.

La comparacion del precio de las aguas de riego en Chile con el que tienen en otros países, puede dar idea de su importancia. Las aguas mas comerciables son entre nosotros las de la Sociedad de los canales de Maipo, i puede estimarse en 5000 pesos el precio corriente de cada regador; i aunque el gasto efectivo de esta unidad es completamente indeterminado, todos están de acuerdo en considerarla suficiente para el cultivo de diez cuadras de terreno o de quince hectáreas. De modo que la propiedad esclusiva del agua necesaria para el riego de una hectárea vale 333 pesos.

En la Lombardía el agua no tiene ni la sexta parte de este valor. La onza milanese, de un gasto efectivo de 42 litros por segundo, vale solo 2400 pesos i se considera suficiente para regar 42 hectáreas de terreno destinado a cualquier cultivo, con escepcion del arroz. La adquisicion del agua necesaria para el cultivo de una hectárea vale por consiguiente 57 pesos solamente. En el Piemonte el agua de riego vale todavía mucho menos. (1)

Solo las aguas de las cloacas de las grandes ciudades, que salen cargadas con todas las deyecciones de la poblacion i que se utilizan como abono para el cultivo de tierras áridas, tienen precios mayores que las nuestras. M. de Freycinet (2), después de tomar las aguas de las cloacas de algunas grandes ciudades de Inglaterra i Bélgica, llega a establecer para esas aguas el precio medio de 3 centavos por metro cúbico, lo que da origen a un gasto anual de 300 pesos en la adquisicion de los 10,000 metros cúbicos que se reputan necesarios para el cultivo de una hectárea; esto es, una cantidad muy poco menor que la que se necesita entre nosotros para adquirir permanentemente las aguas comunes de riego para la misma estension de terreno.

El valor real de las aguas de nuestros rios es sorprendente; basta tomar como ejemplo las del Maipo. En el curso superior de es-

(1) Nadol de Buffon—*Hi. d'agriculture agricole*.

(2) *Annales des mines*—Bouquet Desoaux d'égout et en agriculture, t. VI, 1869.

te río tienen origen veinte canales de riego, sin incluir en este número los que solo gozan del derecho de proveerse en la temporada de abundancia, i reúnen entre ellos un total de 7548 regadores, la mitad de los cuales pertenecen a la Sociedad de los canales de Maipo. Los 3774 regadores de esta Sociedad se reparten entre 2232 accionistas (1), i como es sabido, cada acción vale en la actualidad 5000 pesos; de modo que la mitad de las aguas del Maipo representan un valor de 11.160,000 pesos i la totalidad de ellas mas de 22.000,000 de pesos. I esto sin tomar en cuenta las aguas que se estraen en el curso inferior después que el río se rehace, ni las que se sacan de los ríos Colorado, Velasco i otros afluentes, antes de llegar al valle central.

Parece que todas las circunstancias se han unido en Chile para dar grande interés a la irrigación. Se comprende fácilmente que el uso frecuente de las aguas claras tiende a debilitar el terreno; no solo porque, provocando el aumento de la vejetación, ésta se nutre de las materias asimilables que no son sustituidas por las aguas, sino tambien porque, al filtrarse al través de las tierras, las lava o despoja del humus i de la parte soluble que contienen. De aquí la necesidad de abonar artificialmente los campos, sin lo cual muy poco producen la mayor parte de ellos. Esta necesidad no se hace sentir, sin embargo, entre nosotros, las aguas mismas se encargan de este trabajo. Muchos de nuestros ríos arrastran gran cantidad de sedimentos fertilizantes, que esparcidos en los campos por medio del riego, constituyen su mejor abono; i en los ríos de aguas claras de la parte sur del territorio, llevan tal cantidad de sales en disolución, que producen efectos no ménos benéficos.

Estas observaciones manifiestan claramente el grande interés con que debemos mirar todas las cuestiones que se relacionan con el riego de los campos. Creo que la jeneralidad de los agricultores están penetrados de su exactitud i convencidos de que sus campos nada valen si no poseen las aguas necesarias para su cultivo; pero son muy pocos los que se preocupan en mejorar la irrigación. Esto proviene, a mi juicio, de que se consideran estas cuestiones como

(1) Los otros canales que salen del Maipo tienen un número de accionistas igual al de regadores a que ascienden sus derechos, i aun hai canales que tienen mas acciones que regadores.

de fácil solución, cuando por el contrario no hai una sola que pueda resolverse a priori sin el auxilio de conocimientos especiales i estudios detenidos, i la que parece mas elemental es talvez la mas compleja i delicada.

¿Quién no se cree entre nosotros capaz de construir una toma? Para ello basta colocar un pretil con el objeto de desviar las aguas del curso natural i dirigir las al canal de derivación, que casi siempre está en su origen al mismo nivel del río o estero de donde nace. Conozco la derivación de la mayor parte de los canales que salen de Maipo, i todos sin escepcion, tienen sus tomas arregladas de este modo.

Las fatales consecuencias de semejante sistema se comprenden fácilmente: estando el plan del canal al mismo nivel que el del río, i continuando el cauce de aquél con una gran pendiente, a veces mayor que la del río mismo, como he tenido ocasion de observarlo, se introducen naturalmente al canal, no solo la arena, sino tambien el ripio i aún los grandes guijarros que en tanta abundancia corren por nuestros ríos. Los últimos sedimentos se depositan en el primer curso del canal, obstruyéndolo casi por completo, i las arenas van a detenerse en el curso inferior i a esparcirse por los campos juntamente con el limo fecundante.

No tengo datos suficientes para apreciar lo que se gasta anualmente en desaterrar los canales i sus ramificaciones, ni para calcular la estension de las valiosas tierras de labranza invadidas por los desmontes acumulados de año en año; pero es indudable que representan gruesos capitales, que podrían ahorrarse por medio de obras no muy costosas dirigidas convenientemente.

No es posible desconocer que la construcción de una toma es una de las cuestiones mas complicadas, i que nunca serán demografiados los datos que se recojan para proyectar una obra de este género. Además, las dificultades se multiplican tratándose de ríos tan torrentosos como son la jeneralidad de los nuestros; circunstancia que dificulta notablemente la construcción de trabajos estables.

Las derivaciones de nuestros canales merecen por estos motivos un estudio especial i detenido, para no esponerse a perder trabajos a veces costosos i difíciles de reparar. Al proyectarlas, es nece-

sario tratar de evitar en cuanto sea posible que los gruesos sedimentos se introduzcan al canal, mal tan comun entre nosotros i que causa tan graves perjuicios.

Un hecho intimamente relacionado con la construccion de las tomas, es el poder que tienen las aguas corrientes de arrastrar, no solo la arena, sino tambien cuerpos mas voluminosos. La jeneralidad de los autores especiales solo reconocen en las aguas corrientes facultad o poder para arrastrar por el fondo del lecho los gruesos sedimentos. Mas, por mis propias observaciones, he llegado a convencerme de que en los cursos de agua existe cierta facultad que llamaré, como Dupuit, *poder de suspension de las aguas corrientes*, por medio del cual el ripio i grandes guijarros corren suspendidos en la masa misma del liquido, i a veces, a considerable altura sobre el fondo del lecho.

A primera vista parece imposible que cuerpos mas densos que el agua puedan mantenerse suspendidos en este liquido. El fenómeno es realmente inexplicable considerando el agua en reposo o suponiendo que todos los filetes de una corriente estén animados de la misma velocidad; pero, si se toma en cuenta que la velocidad crece del fondo a la superficie, el hecho es perfectamente aplicable.

Supóngase sumerjido en una corriente un cuerpo cualquiera colocado verticalmente en el sentido de su mayor longitud. Este cuerpo se moverá con una velocidad intermédia entre las que tienden a comunicarle los filetes líquidos que lo impulsan por su parte superior e inferior; de modo que la velocidad del cuerpo sumerjido será mayor que la de los filetes líquidos que lo tocan por la parte inferior i menor que la de los filetes superiores; esta diferencia de velocidad será tanto mayor cuanto mas largo se suponga el cuerpo. Los filetes líquidos inferiores tienden necesariamente a detener el cuerpo sumerjido oponiéndose a su marcha; la masa líquida superior, mas veloz que el cuerpo mismo, tiende por el contrario a dejar un vacío adelante del cuerpo en esta parte, facilitando el movimiento hácia el punto donde encuentra menos resistencia. De aquí el nacimiento de una presión que empuja el cuerpo hácia los filetes animados de mayor velocidad, i que se ejercerá, por consiguiente, de abajo a arriba.

El poder de suspension de una corriente no depende, pues, de la velocidad absoluta de la masa líquida, sino de la diferencia de velocidades entre los filetes inmediatos. I como, según las experiencias de M. Darcy, que tendré ocasion de citar mas adelante, esta diferencia de velocidades es mayor para los filetes situados en el fondo, sucederá que los sólidos de volúmenes diferentes se distribuyen en la corriente según su magnitud. Las capas superiores conducirán los cuerpos mas pequeños; porque los filetes tienen en esta parte velocidades próximamente iguales, i los cuerpos mayores descenderán hasta encontrar en las capas inferiores, filetes animados de tan diversas velocidades que puedan producir un empuje de abajo arriba capaz de equilibrar su peso. De aquí se deduce inmediatamente que un canal poco profundo solo podría arrastrar materias muy tenues suspendidas en el agua.

Por lo demás, cualquiera que sea el valor de las anteriores observaciones, es necesario no desconocer la exactitud de los hechos a que ellas se refieren. Fácil es observar muchos fenómenos que diariamente se repiten i que no tendrían esplicacion satisfactoria sin admitir la existencia de un principio de movimiento como el que indico, o alguna lei análoga que sea la causa eficiente de aquellos hechos. ¿Cómo esplicar, por ejemplo, que durante una crece nocturna se depositaran sobre la canaleta de un riel colocado horizontalmente en el desagüe de una toma en el río Maipo, a 1^m. 20 del fondo del río, piedresillas de 2 i 3 centímetros de diámetro? Este hecho, que he comprobado por mí mismo, observando al día siguiente de la crece la existencia de esos cuerpos, no podría tener esplicacion satisfactoria admitiendo solo la fuerza de traccion por el fondo que se reconoce en las aguas corrientes; preciso es convenir en que una fuerza distinta ha debido elevar las piedresillas a mayor altura.

No me habria detenido en detallar i esplicar un hecho que parece haber sido despreciado por los autores mas minuciosos, si no creyese que debi tenerse muy presente en la construcción de las tomas, de cuya disposicion depende, no solo el buen régimen i seguridad de un canal, sino tambien su conservacion, entre notorias mas notosa que en cualquiera otra parte.

Si la buena disposicion de la toma es una circunstancia que

contribuye poderosamente al buen arreglo de un canal, no es por cierto la única que debe tomarse en cuenta al proyectar una obra de este género. El trasado del canal tiene una importancia especial. Es cierto que en Chile, por las condiciones del terreno, no se necesita muchas veces ningún estudio para abrir un cauce por donde corra el agua con mas o menos facilidad; pero de aquí a trazar un canal arreglado a las prescripciones legales i consultando la economía i las necesidades actuales i futuras de las tierras que va a servir, hai una enorme diferencia. Aquélla es una cuestion que puede ser resuelta sin preparacion alguna, i ésta necesita el auxilio de vastos conocimientos teóricos i prácticos.

No es éste el lugar de resumir siquiera las consideraciones que deben tenerse presentes al proyectar un canal; pero una buena parte de ellas se deduce de la fórmula de Prony, que tiene por este motivo grande importancia. Voi a permitirme hacer un ligero análisis de ella, que escusaria si solo me dirijiese a vosotros; pero que considero de algun interés para aquellos que, no conociendo a fondo las teorías de la hidráulica, se imaginan que por el hecho de existir una fórmula, pueden aplicarla como infalible en todos los casos particulares; i no faltan aún autores modernos, consultados con frecuencia por los jóvenes ingenieros, que la aceptan sin restriccion alguna. (1)

Fundándose M. de Prony (2) en consideraciones bien conocidas sobre la resistencia que las moléculas líquidas experimentan cuando cambian de posicion con respecto a las vecinas, i sobre la resistencia que experimentan al resbalar sobre las paredes sólidas en contacto con ellas, llegó a establecer entre el radio medio R (3), la pendiente por metro I, i la velocidad en el fondo W, la siguiente relacion:

$$R I = F (W)$$

Comprendiendo la necesidad de hacer entrar en la fórmula en

(1) Morin, en su texto de *Hidráulica*; Valdés en su *Manual del Ingeniero*, i otros autores no menos populares, aceptan la fórmula de Prony i aun basan en ella los calculos mas delicados.

(2) *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes.*

(3) El radio medio es la razon entre la seccion transversal i el perimetro mojado.

lugar de la velocidad en el fondo, la velocidad média U , que es casi siempre dato o incógnita, i fundándose en algunos experimentos directos, M. de Prony, estableció en sustitucion de la anterior, la siguiente relacion:

$$R I = F(U)$$

En la cual se manifiesta la primera causa de error; porque comprende implicitamente la falsa suposicion de que la velocidad média es una funcion de la velocidad del fondo, independiente de la figura, de la magnitud i del desnivel del canal.

Basta ahora desarrollar $F(U)$, segun las potencias ascendentes de su variable, para tener la fórmula final:

$$R I = a U + b U^2$$

Este matemático consideró como constantes los coeficientes a i b ; i con el auxilio de treinta experimentos de Dubat i uno de Chezy, comprendidos entre límites muy estrechos, pues en ninguno de ellos la velocidad média pasó de 83 centímetros por segundo, ni el perímetro de 16 metros, ni la seccion de 29 metros cuadrados, llegó a fijar para dichos coeficientes los siguientes valores:

$$a = 0,000044$$

$$b = 0,000309$$

Mas tarde Eytelwin (1), tomando en cuenta las experiencias de Dubat, juntamente con cincuenta i cinco experimentos de varios hidráulicos alemanes, asignó a estos coeficientes los valores:

$$a = 0,000024$$

$$b = 0,000366$$

Últimamente Saint Venant (2), con el objeto de hacer esta fór-

(1) *Memorias de la academia de Berlin*, año 1811.

(2) *Traité de métrique rationnelle*.

mula aplicable al cálculo de los logaritmos i evitar las molestias de una interpolacion, le dió la forma monomia:

$$R I = 0,000401 U_{II}^{21}.$$

I aún se ha llegado a simplificar escribiendo solamente

$$R I = 0,0004 U^2.$$

Como todas estas fórmulas no son mas que variaciones de la primera, adolecen de los errores apuntados en aquélla i dan en la práctica resultados casi equivalentes. Todas ellas suponen constantes los coeficientes a i b , lo que debe mirarse como una segunda causa de error, mas trascendental que la primera. I aunque ello fué notado por el mismo Prony i posteriormente por muchos otros autores, entre los cuales podria citar a Dupuy, Poncelet, Buffon, Minar i Sonnet, han sido Darcy i Bazin, los que, apoyados en numerosas observaciones recojidas con la mayor paciencia i recopiladas con el mayor órden i habilidad, han tratado últimamente de remediar esta causa de error.

Con el título de *Recherches Hydrauliques* ha publicado Bazin, continuador de las esperiencias de Darcy, un interesante libro en el cual se encuentran detallados gran número de esperimentos relativos al movimiento de las aguas en canales descubiertos. De ellos se ha servido él primero para establecer, entre otras deducciones importantes, que el valor de los coeficientes a i b varia notablemente con la naturaleza de las paredes del canal, i a tal punto, que llega a declarar que, “variando la resistencia hasta el infinito con el estado de las paredes, es imposible establecer una fórmula única aplicable a todos los casos que puedan presentarse,” i agrega que “las fórmulas de Prony i de Eytelwin solo pueden conducir en la práctica a los mayores errores i deben ser abandonadas por completo.” Para estimar en lo que vale esta severa condenacion, vasta observar que el coeficiente b , factor de U^2 puede variar de 13 hasta 250 cienmilésimas, i está mui lejos por consiguiente de tener el valor constante de 31 cien milésimas que le da Prony.

No solo de la resistencia de las paredes dependen los valores

de a i b ; varían con forma de perfil transversal. Sin embargo, los experimentos hechos en canales rectangulares, trapezoidales i triangulares, han dado resultados casi iguales; solo se han hallado diferencias apreciables para el caso de canales semicirculares.

De la pendiente dependen en tercer lugar las cantidades a i b . Permaneciendo el gasto igual, estas cantidades crecen con la pendiente, i en consecuencia, con la velocidad. Así lo prueban los experimentos hechos en un mismo canal con pendientes variables desde 0,0015 hasta 0,0283 por metro.

Mr. Darcy trató de eliminar estas causas de error reconocidas en la fórmula de Prony, i apoyado en numerosos datos recibidos por él mismo, aconseja reemplazarla por la fórmula

$$R I = \left(\frac{a}{R} + b \right) U^2;$$

cuya exactitud, o mas bien, la suficiente aproximacion con que resuelve los problemas usuales, ha sido comprobada posteriormente por Bazin.

En la imposibilidad de asignar valores fijos a los coeficientes a i b , ha tratado este último de salvar la dificultad distinguiendo cuatro casos particulares relativos a las cuestiones que mas ordinariamente se presentan en la práctica.

Primer caso. Paredes muy compactas: cemento pulimentado, madera acopiada:

$$R I = 0,00015 \left(1 + \frac{0,63}{R} \right) U^2$$

Segundo caso. Paredes compactas: piedra de talla, ladrillos, planchas:

$$R I = 0,00019 \left(1 + \frac{0,67}{R} \right) U^2$$

Tercer caso. Paredes poco compactas: mampostería ordinaria:

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

Cuarto caso. Paredes de tierra:

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

El uso de éstas fórmulas se ha facilitado por medio de tablas calculadas por el mismo Bazin, colocadas al fin de su obra.

Es cierto que en la aplicación de las relaciones anteriores se presentan las mismas dificultades que hai para aplicar la fórmula que se trata de reemplazar; por cuanto es necesario disponer de un espacio de alguna longitud en que la seccion del cauce i la pendiente sean uniformes, lo que no es siempre posible; pero en la jeneralidad de los casos dan resultados tan aproximados que el error cometido puede sin inconveniente despreciarse.

Para hacer visible la importancia de las modificaciones introducidas por Bazin, me bastará aplicar a un caso particular una i otra fórmula; i para ello no necesito colocarme en casos escepcionales. Sea un canal rectangular de paredes de tierra, de 2 metros de ancho, cargado con un metro de agua i con la pendiente uniforme de 0,005 por metro. Según la fórmula de Prony, la velocidad média será 2,58 por segundo i el gasto 5,186 am. ca. en el mismo intervalo de un segundo; i según la fórmula de Bazin, solo de una velocidad média de 1,505 o un gasto de 3,190 am. ca. por segundo.

Imajínese un proyecto de canal con las dimensiones, i pendientes indicadas, calculadas en la fórmula de Prony, tan usada en estos casos, i destinado a servir una estension determinada de terrenos. Solo después de ejecutado, vendria a notarse que el canal era insuficiente, porque lejos de producir el gasto calculado, produciria solamente poco mas de la mitad.

Las circunstancias de estar las fórmulas anteriores espresadas en funcion de la velocidad média U , cantidad que no puede medirse directamente i que debe ser deducida de la velocidad máxima V , da grande importancia a la cuestion de relacionar estas dos velocidades. M. de Prony estableció con este objeto la ecuacion

$$\frac{U}{V} = \frac{V+2,37}{V+3,15}$$

que ha llegado a simplificarse escribiendo:

$$U=0,8V$$

Se ha considerado, pues, esta relacion como independiente de

la resistencia de las paredes, a pesar de que es bien sabido que la desigual velocidad de los diferentes filetes de una corriente depende únicamente de esta resistencia, i que, desapareciendo ella, todos los filetes avanzarían con la misma velocidad i U sería, por consiguiente, igual a V.

Fundado en el raciocinio i en numerosas observaciones directas, M. Bazin establece, en reemplazo de la relacion anterior, la siguiente ecuacion:

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{1 + 14V \frac{RI}{U^2}}$$

que puede simplificarse escribiendo:

$$V - U = 14 V R I$$

Por medio de esta fórmula se han construido tablas que dan inmediatamente el valor de

$$\frac{U}{V}$$

en cada caso particular. De ellas se deduce que, lejos de ser esta relacion constantemente igual a 0,8, varia desde 0,85 para los canales de paredes muy unidas i lisas, hasta 0,56 para los canales de tierra. Los errores que resultan al aforar una corriente, no tomando en cuenta estas variaciones, pueden ser, en consecuencia, muy graves i trascendentales.

La determinacion de las leyes que rijen en el movimiento de las aguas en canales descubiertos, es, como se ve, una cuestion tan compleja que, a pesar de haber sido estudiada con la atencion que merece por hombres distinguidos en la ciencia, está muy lejos de alcanzar una solucion satisfactoria. Aún la fórmula de Bazin, tan estudiada i comparada con los hechos prácticos, no llena, como pudiera creerse, todas las necesidades, ni puede considerarse como general o aplicable a todos los casos particulares.

Desgraciadamente no es éste el único problema de este género que espera una solucion conveniente. La distribucion de las aguas

de un canal en partes determinadas es otra cuestion tan importante como aquélla, i que se halla en el mayor atraso, no solo entre nosotros sino en los países mas adelantados. Con escepcion de la Italia septentrional, no tengo noticias de que haya otro país donde se distribuya el agua de riego con alguna regularidad o por métodos racionales. En la Francia misma se reparten todavía las aguas por medio de simples compuertas; sistema que se presta mas que otros a todo género de abusos, i solo últimamente se ha tratado de introducir allí el sistema usado en Lombardia, el menos imperfecto de todos los conocidos, segun la opinion unánime de los autores especiales que conozco.

El módulo milanés i cualquiera otro construido sobre la misma base, llena en efecto todas las necesidades de una distribucion destinada a dividir un caudal constante i determinado, en proporciones dadas. Por medio de una fácil i segura construccion se puede estraer un caudal fijo de 42 litros por segundo, o cualquier múltiplo o submúltiplo de esta unidad.

Mas, la constancia de este surtidor, cualidad que lo hace apreciar en los países donde el agua sobra en todas las épocas del año para las necesidades de la agricultura i de la industria, es precisamente para nosotros un inconveniente. Es cierto que podría usarse con ventaja en las provincias del sur, donde hai sobrantes de agua en los rios i cada canal puede llevar la misma dotacion durante todo el año. Mas en las provincias del norte i del centro, los canales absorben en el otoño i primavera todas las aguas de los rios, experimentando todas sus variaciones, i en el verano, época de la abundancia, los rios i canales varían notablemente de la noche a la mañana.

Esta circunstancia hace imposible la adopcion de cualquier sistema de distribucion que suministre un gasto fijo. Si el caudal de los canales varia, es necesario distribuir las aguas sin tomar en cuenta su gasto efectivo i de modo que en todo caso cada accionista saque la fraccion que le corresponde. Éste es el sistema que se ha tratado de establecer entre nosotros, pero de un modo tan imperfecto, que da oríjen a los errores mas groseros i a los mas graves perjuicios para los interesados.

Los defectos de nuestro sistema son bien conocidos i es inútil

detenerse en detallarlos. A más de otras fáciles de remediar, existe una causa de error en nuestros marcos partidores, que proviene de la diferencia de velocidades con que son arrastrados los filetes colocados sobre una misma capa horizontal, o lo que es lo mismo, de que la velocidad decrece del centro a los bordes de la corriente. No tomando en cuenta esta circunstancia i atendiendo solo al ancho del canal, como se hace entre nosotros, sucederá necesariamente que el boquete más ancho tendrá los filetes animados de mayor velocidad en perjuicio del más angosto.

Eliminada esta causa de error, las demás podrían remediarse fácilmente, por medio de reglas generales relativas a los detalles de la construcción.

Si el centro i los costados de una corriente estuviesen animados de la misma velocidad, la dificultad desaparecería por completo i nada sería más fácil que repartir las aguas en una razón dada; pero si esto no sucede, será indispensable tomar en cuenta la diferencia de velocidades. De aquí dos maneras de llegar a una solución racional: la primera consistiría en tratar de uniformar las velocidades en todo el ancho del cauce; i la otra en estudiar la ley que sigue el decrecimiento de la velocidad de una corriente en los diferentes casos que pueden presentarse, i construir en seguida tablas para calcular el ancho de los marcos en cada caso particular.

No dudo afirmar que el último medio debe desecharse. Si con el auxilio de experiencias bien combinadas, llegara a determinarse una fórmula que permitiera fijar el ancho del marco para una profundidad de la vena líquida, la anchura del marco menor debería aumentarse a medida que creciera la profundidad de la corriente; porque, aumentando el caudal, la velocidad máxima o central crece con mayor rapidez que la velocidad de las paredes (1). Algo semejante pasaría si se tratase de equilibrar el gasto dando al marco pequeño mayor profundidad o mayor pendiente. Es, pues, imposible que semejante procedimiento pueda eliminar esta causa de error en canales de una dotación variable.

El primer medio, es más practicable que este último. Mas, ¿cómo hacer que las velocidades sean sensiblemente iguales en los

(1) Serie 58 i siguientes de los experimentos de Darcy.

diversos ramales de un marco? Es sabido que la velocidad central tiende a igualarse con la de los costados a medida que decrece la velocidad média, i ésta puede fácilmente disminuirse tanto cuanto se quiera, disminuyendo la pendiente del canal, aumentando su anchura o construyendo muros de tranque para producir remansos. Pero ninguno de estos procedimientos es aplicable a la mayoría de nuestros canales, que se embancan tan fácilmente por causa de la gran cantidad de sedimentos que corren envueltos en la corriente.

Desechados estos medios, hai todavía muchos otros que pueden adaptarse a nuestras necesidades; pero me parece inútil seguir discutiendo sobre el particular, porque solo podría fundarme en consideraciones teóricas para apoyar el que creo mas conveniente, i prefiero darme tiempo para hacer las observaciones prácticas que deben acompañar un estudio de este jénero.

La necesidad de resolver cuanto antes esta cuestion se hace sentir imperiosamente, i así lo ha comprendido la Facultad al acordar premio para la mejor memoria que se presente sobre la materia.

En la actualidad es todavía mas urgente su solucion: sin conocer el sistema de distribucion de aguas que mas conviene al país, será difícil establecer en el proyecto de código rural que se estudia al presente, las prescripciones legales que deben rejir sobre este importante asunto, ya sean relativas a la distribucion de aguas entre particulares, o ya se refieran a la manera de extraerlas de los rios de uso público, segun los derechos de cada uno, lo cual no podrá hacerse sin establecer para las aguas corrientes una unidad de medida que pueda rectificarse fácilmente.

Hai comprendidas en esto una serie de cuestiones importantes, sobre las cuales os llamaria la atencion antes de concluir, si no temiera exceder los limites que me he trazado i que solo es posible conceder a un trabajo como el presente.

Me resta, pues, únicamente manifestaros de nuevo mis sinceros agradecimientos por la distincion con que me honrais, i reiteraros la seguridad de que, al aceptar esa distincion, acepto tambien la parte de trabajo que ella me impone i que en la medida de mis fuerzas procuraré realizar.
