

MEMORIAS CIENTÍFICAS I LITERARIAS.

HIDRÁULICA.—El regador chileno i el regador de Maipo i su medida, seguido de un procedimiento para la distribucion de las aguas de riego, basado en un trabajo esperimental por don Valentín Martínez.

PRIMERA PARTE.

EL REGADOR CHILENO I EL REGADOR DE MAIPO.

El regador chileno.—Si la palabra regador pudiera definirse, pasaríamos inmediatamente a nuestro principal objeto, que es la medida i la distribucion de las aguas de regadio en Chile, tal como se hace i tal como debiera hacerse consultando la estricta equidad.

Desgraciadamente, esa palabra que todos comprendemos como destinada a ser la unidad de medida del agua en agricultura, del mismo modo que la onza milanese, el módulo de Henares, el módulo de Marsella, etc., llenan igual objeto en otras 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 Exelentísimo 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 quince pulgadas, el que se aprecia en 750 pesos, cuya venta solo se verificará en dinero de contado; previniéndose que así como al que necesitare mas cantidad de agua que la que corresponde a un regador se le puede vender en mayor número los regadores, así al que necesitare ménos, 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 éstos podrán

convenirse con el propietario. I para que llegue a noticias de todos, insértese en la *Gaceta ministerial*.—O'HIGGINS.—*Cruz*»

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

Se ha creído interpretar la lei haciendo cero la longitud 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 inadmisibile. No puede admitirse, en efecto, que haya estado en la mente del Senado-consulta, 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 gasto 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 ménos, de un canal a otro. Pero aun suponiendo conocida la lei de variacion de la unidad, lo que ya seria inestricable, 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 quince 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? Nó, porque el Senado-consulta no habria dicho quince pulgadas donde la altura puede variar de cero u ochenta centímetros o mas, sea que se trate de un mismo canal, sea que se pase de un canal a otro.

La única interpretación 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, subentendiendo la palabra *cuadra*.

Dicha pendiente en las aplicaciones de la práctica no ofrece tampoco ningún inconveniente, por que la pendiente jeneral de nuestros valles es superior a quince 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 somos, pues, partidarios de los que creen que la lei del Senado-consulta es una lei vacía de sentido, necesitando solo una interpretación; i creemos que la que hemos dado nos permite definir lo que es el *regador chileno* o unidad legal, diciendo que es el gasto de una corriente de régimen constante, cuya sección es de una sesma de alto (0.139^m), i una cuarta de ancho (0.209^m), i cuyo desnivel es de quince pulgadas (0.348^m) repartidos en 150 varas (125^m).

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 volúmen de agua que se llama *regador*. A este fin observaremos que, debiendo hacerse la construcción del medidor en prevision de su mayor duracion, se necesita que sus paredes sean de albañilería enlucida; por consiguiente, el valor del regador es dado por las fórmulas:

$$q = \omega u$$

$$\frac{Ri}{uz} = 0.00015 \left(1 + \frac{0.03}{R} \right)$$

en que q es igual al gasto o valor del regador ω —la sección=0.139 \times 0.209=0.029 m.²

U —la velocidad media de la corriente.

$$R = \text{radio medio} = \frac{\text{Sección}}{\text{perímetro mojado}} = 0.059.$$

I —pendiente por metro=0.0027.

Hecho el cálculo resulta:

$$q = 22 \text{ litros.}$$

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 lejos de estar formada, i por consiguiente, cuanto aparato se dé para medir esa unidad i sus múltiplos, solo puede tener un grado de perfeccion relativa, susceptible de mejorarse cada día.

No conocemos aparato alguno que tenga por objeto medir el regador chileno, unidad legal; i 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.

El regador de Maipo no es de ninguna manera una unidad de medida por que es esencialmente variable i no puede ser, por consiguiente, representacion de una cantidad esencialmente fija.

Creemos que en este punto se ha establecido una verdadera confusion, que ha dado orijen, talvez, a una infinidad de pleitos i otras tantas soluciones injustas. ¿Creyó la sociedad del canal de Maipo interpretar la lei cuando dió, por medida del regador chileno, el regador de Maipo? En tal caso ella erró i autorizó por lo mismo una medida sin sentido alguno. ¿Se propuso hacer simplemente la distribucion proporcional de las aguas del canal de Maipo? En tal caso su procedimiento no tiene mas reproche que el de una mala distribucion, pero nada tiene que ver con el regador legal, si no es el ilusorio punto de contacto de que la seccion máxima del regador de Maipo es la misma que la del regador chileno.

Las dificultades de la práctica tienen su orijen en la interpretacion que se ha dado al regador legal, confundiéndolo con el regador de Maipo.

Regador de Maipo.—El regador de Maipo, como construccion, está definido en el art. 6.º de los estatutos de la sociedad del canal de Maipo, publicados en 1859, que dicen:

«Art. 55. Para establecer un marco debe formarse en el canal un emplantillado de piedra o de ladrillo, de ocho varas de largo (6.^m684), sin desnivel, con tres puentes colocados en el suelo, uno a cada uno de los extremos del emplantillado, i otro en el medio, i debiendo ser cada uno del ancho de un ladrillo. Los costados o 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 partidior.

«Art. 56. Desde el emplantillado debe formarse al canal un plano de cincuenta varas (41.^m775), en línea recta para arriba, i con doce pulgadas de desnivel.

«Art. 57. Al fin del emplantillado, tendrá una caída igual el marco saliente a la del marco pasante, cuya caída no deberá exceder de una tercia de vara. (0.^m278).

«Art. 58. Todos los canales pasantes deben ir en línea recta, i los salientes en línea oblicua.

«Art. 59. Los marcos que se hagan nuevos, 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 i cuarta varas (1.^m044). En la misma forma se construirán todos los marcos que fuere necesario rehacer.

«Art. 60. A cada marco deberá ponerse detrás de la punta de diamante, a la media vara (0.^m418), una escala que señale la demarcacion.

«Art. 61. Los marcos deben ser de una vara (0.^m835) de alto i de pulgada i media (0.^m035) por regador, arreglados al modelo del plano que existe en la junta de directores.

«Art. 62. Todo marco debe tener, además, un plano inclinado de veinte varas (16.^m710) despues del horizontal, con un desnivel de doce pulgadas (0.^m278) o ménos, segun la localidad de los marcos.»

Segun esto, el regador de Maipo parece ser una construcción perfectamente determinada i propia para dar la medida del agua con cualquiera altura de ésta delante de la punta partidora; pero en esto se padece un grave error. ¿Qué clase de movimiento tiene lugar en el marco?

Ha sido costumbre suponer en el marcador un réjimen uniforme, i como las paredes pueden suponerse que entran en la segunda categoría que distingue Mr. Bazin, resulta como medida del regador del canal de Maipo con la altura de 0.^m836, 10 litros por segundo; pero este resultado no es mas que una deducción teórica, basada en una hipótesis imposible en la práctica i con una sola las mil alturas que el agua puede tomar. Es, en efecto, imposible realizar en la práctica en el regador de Maipo el movimiento uniforme (1); el verdadero movimiento es el variado permanente, i debo declarar que he hecho mas de trescientas series de experimentos repartidos en veintiocho marcos, i no he encontrado jamás dos marcos que determinen el mismo movimiento permanente. Des-

(1) *Anales de la Universidad*, año 1879, t. 55, p. 147, canales de riego por V. Martínez.

pues de tantos experimentos que he llevado a cabo, puedo asegurar que no se puede decir que un marco de uno o mas regadores tenga tal medida con tal altura de agua delante de la punta partidora; es necesario estudiar cada marco en particular i decir: *para el marco tal, con tal altura de agua, delante de la punta partidora el gasto es tal*. Se comprende que variando la altura del agua por grados insensibles de cero a 0.^m836; el número de experimentos sería infinito. Para obtener, sin embargo, la medida con cualquiera altura del agua delante de la punta, he imaginado un procedimiento gráfico que paso a exponer.

He operado con toda la precision posible, valiéndome del tubo de Darcy, que puede dar velocidades tan próximas cuanto se quiera con cuatro i a veces cinco alturas diferentes del agua delante de la punta partidora.

Para cada caso he determinado el gasto, i con estos cuatro o cinco valores he construido una curva que llamaré la *curva de los gastos*, tomando por ordenadas, en una escala dada, las alturas del agua delante de la punta i por abscisa los gastos correspondientes por regador.

Si hubiera representado los gastos de cada saliente habria tenido una gran diversidad de escala a trueque de emplear una hoja de papel diferente para cada marco; pero fijándome en que cualquiera que sea la diferencia que exista entre el pasante i el saliente, como igualmente entre dos marcos diferentes, hai una parte alícuota, el gasto por regador, que puede representarse gráficamente casi por la misma curva, he adoptado estos valores como las ordenadas de la curva.

Así, por ejemplo, si un marco divide en la proporción de 1 a 500; para la misma altura de agua las ordenadas deberian guardar esta misma relación, es decir, la ordenada del pasante sería 500 veces mayor que la del saliente; mientras que si se toma por ordenadas los gastos por regador, la ordenada del pasante será próximamente igual a la del saliente.

Con pequeñas variaciones despreciables en la práctica todos los puntos obtenidos se han encontrado en una línea continua que da la ley de variación del gasto con la altura del agua.

Trazadas estas curvas, me ha sido fácil formar un cuadro, en que la primera columna vertical contiene las alturas del agua i al lado en las columnas siguientes los gastos que corresponden al marco que encabeza la respectiva columna.

Se comprende fácilmente que este cuadro puede contener las alturas de centímetro en centímetro si se quiere, i dar, por consiguiente, la medida del agua en el marco con solo observar la altura que ella toma.

Con el objeto de llamar la atención de mis honorables colegas en Hidráulica, sobre la gran diferencia que puede existir entre un regador del canal del Maipo tomado aquí i un regador del mismo canal tomado mas allá, preparo los datos para la construcción de estos cuadros, correspondientes a todos los canales que tienen su oríjen en el Maipo i las ramificaciones de estos.

Por ahora me limito a dar una idea de lo que pasa en los marcos que se llaman *marcos modelos*, uno en el canal del Cármen, otro en el canal San Francisco, i, por fin, otro en el canal San Carlos.

El marco Lémus, del Cármen, da 11 litros por regador con aguas máximas i 5 litros escasos con aguas medias.

El marco Rafael Rossel, del San Francisco, da 72 litros con aguas máximas i 25 con aguas medias.

El marco Gandarillas, del San Carlos, da 61 litros por regador con aguas máximas i 35 con aguas medias.

SEGUNDA PARTE.

DISTRIBUCION EQUITATIVA DE LAS AGUAS.

La equidad en la distribución de las aguas, tan sentida en Chile i tan poco buscada, se hace tanto mas necesaria cada dia cuanto que los terrenos cultivables aumentan, miéntras que nó puede decirse igual cosa de las aguas disponibles.

Las aguas de riego tienen en Chile su principal fuente en los ríos, cuyas aguas son en la mayor parte del año insuficientes para el cultivo de las tierras que es posible regar, siendo en muchas ocasiones insuficientes para dar a las tierras que actualmente se cultivan la humedad indispensable que necesita un cultivo racional.

La base de una buena distribución de las aguas de riego está, pues, en una asignación proporcional a las tierras que exclusivamente domina cada canal, atendida su extensión, su calidad mas o ménos vegetal, su permeabilidad, su inclinación, su esposición, i, finalmente, la clase de cultivo a que se las destina.

La primera distribución, sea simplemente proporcional en tiem-

pos de abundancia, sea acumulativa, o como se dice ordinariamente, por turnos en tiempos de escasez, es la que se hace por los canales derivados o que tienen sus boca-tomas en el río mismo del cual toman las aguas por medio de una obra permanente, que permite en todo tiempo dar al canal o a los canales que sirve su dotación correspondiente.

Esta distribución está confiada en la actualidad a los jueces de agua i no hai medio de comprobar su exactitud siempre que lo desee el propietario de un canal.

La distribución que he estudiado para el canal San Carlos i que luego espondré, es perfectamente aplicable a la distribución de las aguas de los ríos por canales de derivación, salvo las obras de arte necesarias que aseguran la distribución.

A este propósito insinuaré la idea de limitar en lo posible las derivaciones, por ejemplo: la sociedad de los canales de Maipo tiene necesidad, para asegurar la dotación de sus canales, de construir 2 malecones o prétilos, i según tengo entendido, pronto tendrá necesidad de construir 3, muy próximos unos de otros. Si a esto se agrega el malecon que necesita el canal de Pirque, tenemos cuatro obras permanentes de derivación (que tarde o temprano las leyes impondrán) en un espacio relativamente corto.

Estas cuatro obras, que construidas separadamente costarian unos doscientos mil pesos, podrian sustituirse por una sola, colocada frente a la primera toma, con grande economía, pues solo bastaria ensanchar el primer tronco de canal de la sociedad del canal de Maipo i establecer partidores en terreno firme.

Otro ejemplo. A los canales del Maipo sigue una serie de no ménos de 15 canales que tienen sus boca-tomas distribuidas en una i otra ribera i en un corto espacio relativo. Todos estos canales podrian ser servidos por una sola obra permanente, frente a las boca-tomas de los canales Ochagavia i Lo Jara. En este caso la economía crece extraordinariamente.

Distribucion por canales secundarios.—Esta distribución que no puede ménos que ser proporcional con cualquiera altura de agua, se hace por márcos cerrados o por márcos abiertos. No es indiferente la elección de uno u otro sistema.

Para satisfacer las necesidades del turno o del préstamo se hace necesario la adopción de márcos cerrados, es decir, provistos de compuertas i de un medidor de la cantidad de agua que se quiere sacar.

Distribucion por marcos abiertos.—Si esas necesidades no se hacen sentir, basta la distribucion por marcos abiertos, los cuales deben hacer la particion proporcionalmente a los derechos i con cualquiera altura de agua, sin la intervencion de ningun agente, es decir, que la particion debe ser automática.

Una práctica larga i continuada en los canales i el estudio prolijo sobre mas de 30 marcos, unos cerrados, otros abiertos, me han conducido a modificar algun tanto la solucion que de este problema he dado en los *Anales de la Universidad* del año 79.

La modificacion radical consiste en suprimir la caída que tiene una influencia mui variable, i en hacer movible el primer elemento de la punta partidora, la cual debe quedar completamente fija despues de una esperiencia. Tiene esta disposicion por objeto anular la influencia oblicua de los hileros, i ella permite sacar el saliente a angulo recto si se quiere, lo cual en la práctica tiene una grande importancia.

Para la determinacion del perfil pueden consultarse los *Anales de la Universidad* del año 1879. (Canales de riego.)

Distribucion por marcos cerrados.—Tomaré como ejemplo el canal San Carlos. No hai que hablar de la manera arbitraria como ahora se hace la distribucion de sus aguas. Es cierto que el procedimiento adoptado es mui sencillo, consistiendo únicamente en levantar o bajar la compuerta hasta tener delante de la punta del contramarco la misma altura de agua en todos los marcos, altura que determina el medidor de caída en el Mapocho.

Aparte del error mui grande que tiene esta manera de proceder, pues que las partes no son de ninguna manera proporcionales a los derechos, tiene el inconveniente de no poder un propietario verificar la exactitud de la distribucion.

El método que he imaginado i que ya he espuesto mas arriba, es por demas sencillo i solo requiere por una vez la intervencion del ingeniero hidráulico, sin modificar en lo mas mínimo los marcos actuales, si no es la sustitucion de las compuertas de madera por otras de palastro.

El procedimiento consiste en dar a cada particular un cuadro que contenga en una columna las alturas del agua delante de la punta, variables de centímetro en centímetro, por ejemplo, i en frente la medida, en litros, correspondiente a la dotacion de su canal, o bien, a esta dotacion aumentada con el préstamo que le hace otro propietario.

La dotacion en litros de cada saliente, en un día cualquiera, depende de la que lleva el canal tronco, la cual es dada tambien por la altura que toma el agua de centímetro en centímetro en el medidor de caída del Mapocho, cuya altura se publicaria cada día en todos los diarios de la ciudad.

Este procedimiento, sujeto a una comprobacion rigurosa, evitaria la injusta distribucion que ahora existe i permitiria al propietario saber de qué cantidad de agua dispone cada día para sus cultivos, lo cual es un paso no despreciable en Agricultura i el dato indispensable para la solucion de la importante cuestion promovida por el Consejo universitario i propuesta como tema en el año de 1875.

BIBLIOGRAFIA AMERICANA: *Jurisprudencia canónica.*
«Coleccion de Bulas, Breves i otros documentos relativos a la iglesia de América i Filipinas, dispuesta, anotada e ilustrada por el padre Francisco Javier Hernaiz de la Compañia de Jesus, i concluida por los padres de la misma Compañia, Balbino Garrastazu i José Eujenio de Uriarte.» 2 vols., 4.º may., de 988 pájs. el 1.º i de 1076 el 2.º, 1879, Bruselas.—Noticias acerca de esta obra importantísima.

Llegada a Chile hace poco tiempo, nos ha parecido que no debiamos dejar que trascurriera mas sin darla de algun modo a conocer de nuestra jente estudiosa.

Desde el siglo pasado se hacia sentir la necesidad de un libro que compilase las gracias, privilejios i otras concesiones de la Silla Apostólica a la América española; porque, si bien existen compilaciones de este jénero, son ya muy antiguas; no han podido contener los documentos posteriores, i con particularidad los que se refieren a la época siguiente a nuestra emancipacion política, los cuales, correspondiendo a las nuevas exigencias de nuestra situacion de naciones soberanas, completamente desligadas de la madre patria, son de mucho interes para nosotros. Avendaño escribió, en 1668, su *Thesaurus indicus*; la *Brasilia pontificia* del padre Márquez, traducida en nuestros días e ilustrada con importantes notas por el reverendo padre Aracena de la orden de predicadores, vio la luz pública por primera vez en 1749, es decir, en la mitad del siglo pasado; i el mas célebre de estos trabajos, *Fasti Novi Orbis* de Morelli, se publicó en 1776. Estos autores trataron la materia como convino a su época, i con respecto a ella sus obras son de