

Con lo cual hemos pasado de los puntos desconocidos á puntos conocidos en número inferior. Pues apóyase en éstos el señor Krahe por transformaciones geométricas perfectamente determinadas y sumamente sencillas, como son traslaciones, inversiones, giros y transformaciones de homotecia, cambia aquel polígono de los afijos en otro elemental, todavía desconocido, que será en las ecuaciones de segundo grado el conjunto de dos puntos simétricos respecto al origen, y en las de tercer grado serán los tres vértices de un triángulo equilátero, y en las armónicas del grado n se habrán convertido en los vértices de un polígono regular, y en las ecuaciones de cuarto grado en los vértices de un polígono correspondiente á una ecuación recíproca.

Nada más elemental, y agreguemos nada más ingenioso: nada que hable más y con más elocuencia al sentido geométrico.

El método, en pocos términos, se condensa; casi en tres:

- 1.º Determinación de los puntos característicos.
- 2.º Transformaciones elementales que son de primer grado, enteras ó fraccionarias; y
- 3.º Resolución de una ecuación binomia ó recíproca.

Y este método geométrico da sentido, da significación y firmeza y rumbo seguro al método analítico, porque cuando se aplican las transformaciones analíticas sabemos de antemano, que han de ser eficaces y conocemos el término á que hemos de llegar: de otro modo iríamos transformando la ecuación á la gracia de Dios y á lo que resultase.

El procedimiento del nuevo académico, sólo con lo que precede, se comprende que puede ser fecundo, y, además, por él se da fuerza intuitiva á los métodos históricos de este problema.

Amplíemos las anteriores consideraciones con un ejemplo:

En el orden analítico, las ecuaciones de quinto grado se han resuelto por funciones elípticas, y entre todos los métodos que siguen esta orientación, podemos citar uno, el de Halphen.

A la manera que muchas ecuaciones se reducen á ecuaciones binomias, que es como decir á la división del período trigonométrico, ó sea de la circunferencia, en partes iguales, las ecuaciones de quinto grado pueden hacerse depender de la división de los períodos de las funciones elípticas en cinco partes iguales, ó sea de la ecuación elemental que determina esta división del período. Y puede conseguirse esta dependencia por una serie determinada de transformaciones; mas por ingeniosas que sean, ¡qué largas!, ¡qué enojosas!, ¡qué áridas para el principiante..... y aun para el que, sin ser principiante, tenga en Matemáticas sentido artístico de orden y armonía!

Cuando estas transformaciones alcancen una significación geométrica, como en el método del Sr. Krahe, todo este problema se iluminará, por decirlo así, al destello de una idea superior.

Ya el Sr. Krahe tenemos entendido que trabaja en este nuevo y arduo problema.

**

Y con lo dicho pudiéramos terminar, en rigor, este discurso; pero los trabajos del Sr. Krahe son tan interesantes, son tan sugestivos, que una idea llama á otra, y el horizonte se ensancha, y no quisiera terminar mi tarea sin apuntar, siquiera sea de paso, algunas consideraciones que me ocurren.

Más de un crítico descontentadizo, que no sería crítico de pura raza si no lo fuese, pudiera decirnos al Sr. Krahe y á mí, que en esta materia por pecador me confieso, que al fin y al cabo este problema de resolver ecuaciones es un problema de importancia muy relativa y de puro alarde matemático.

El que así piense se equivoca, no de medio á medio, sino de

entero á entero; porque la resolución de las ecuaciones es un problema de inmensa importancia, no sólo en la ciencia pura, en la que hay también otros problemas que por otras relaciones se expresan, sino muy principalmente en la Física matemática, en la Física experimental, y, además, en todas las ciencias de aplicación, y, por lo tanto, en toda la industria.

Las ecuaciones expresan acaso más de la mitad, y digo la mitad por decir algo, de toda la ciencia matemática; y se desarrollan en serie que no acaba y que cada vez se eleva á términos de mayor complicación y sublimidad. Empezando por las sencillísimas ecuaciones de primer grado; elevándose á las de grado superior; pasando al campo sin límites de las ecuaciones trascendentes; saltando á otra región aún más extensa, la de las ecuaciones diferenciales; dilatándose en época moderna hasta abarcar las nuevas teorías de las ecuaciones integrales, como, por ejemplo, la de Fredholm, en que ya no basta con que estén complicadas las incógnitas y los datos con relaciones algebraicas, ó trascendentes, ó diferenciales, sino que aquellas incógnitas y sus derivadas mismas aparecen bajo el signo integral: sólo con esta enumeración tendría yo infinitos espacios que recorrer. Pero aquí pongo término, no porque termine la materia ó porque haya llegado al límite del horizonte, que á este límite no se llega nunca, sino por no hacer interminable el recuento y no fatigar con exceso la atención con que me honran mis oyentes.

(Continuará.)

Canal de Aragón y Cataluña

NOTA DE

D. RAFAEL DE LA ESCOSURA

Ingeniero de la explotación

QUE REDACTÓ CON MOTIVO DE LA VISITA EFECTUADA Á DICHAS OBRAS POR LOS QUE ASISTIERON AL I CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS

Historia.

Los primeros estudios técnicos de este canal datan del año 1783, en que D. Manuel Inchausti los comenzó, presentándose ya, en 1806, un proyecto completo suscrito por D. Francisco Rocha.

El año 1834 se otorgó una Real cédula para la construcción del canal, que entonces era de navegación; pero á pesar del sin número de beneficios que se le concedían no pudo realizarse la obra, y en el 1864, el Ingeniero Barry presentó otro proyecto, ya de riego, que fué aprobado; pasando la Sociedad que se formó para su ejecución varias vicisitudes, sin conseguir ningún fin práctico ni ejecutar más que obras aisladas; tanto que, en 1896, el Estado tuvo necesidad de incautarse de la obra y ejecutarla por su cuenta, quedando terminada, salvo revestimientos y obras auxiliares en 1909, siendo Director el Ingeniero D. R. Inchaurreandieta; sin embargo, los beneficios se empezaron á notar desde 1906, pues el agua comenzó á darse por tramos sucesivos, á medida que se fueron terminando obras, para que el país recibiera cuanto antes las ventajas del riego.

Traza del canal.

En la escarpada vaguada del río Essera, á 5 kilómetros de su desembocadura en el Cinca y enclavada en el término de La Puebla de Castro, está situada la presa; de ella arranca el canal

principal, con 35 metros cúbicos por segundo de dotación, y, después de recorrer accidentados 5 kilómetros dentro de aquella cuenca, penetra en la abierta y amplia del Cinca para empezar a poco su misión fertilizadora.

Pasa en su kilómetro 10 por Estada, deja á su izquierda los altos de Estadilla y de Fonç, y salvando victoriosamente los 6 kilómetros del tramo yesoso de Valfría, aparece en el término de La Almunia, para llegar en el kilómetro 31 de su trazado al Sosa, cuya importante depresión cruza con el puente Sifón de este nombre.

Al recobrar de nuevo su sección, atraviesa el canal principal los altos de la Menudilla, y poco después sufre en el Partidor de Zaidín la sangría de 15 metros cúbicos por segundo, dotación del canal de Zaidín, primer canal derivado que, al cabo de sus 48 kilómetros, muere en la Clamor de Zaidín, después de haber fertilizado 30.000 hectáreas.

Continúa con los 20 metros cúbicos restantes de dotación el canal principal, atravesando por los términos de Binéfar y de San Esteban, y llega en el kilómetro 52 á la villa de Tamarite, que por largo tiempo le dió su nombre.

Salva después el canal la depresión de Albelda con otro sifón y cruza Coll de Foix, penetrando en la región catalana, término de Alfarráz, y llegando en el kilómetro 82 á términos de Alguairre, donde acaba, dando nacimiento en su continuación al canal de Escarpe, segundo de los canales derivados, de 13 metros cúbicos por segundo de dotación; simétrico casi del de Zaidín, respecto á la Clamor Amarga, y que mide 42 kilómetros de longitud y llega en su desagüe al Segre.

De los canales anteriores, siguiendo la dirección de las divisorias secundarias, arrancan las distintas acequias de riego que el Estado ha construido; San Sebastián, Orlíols, La Mola, La Magdalena, Coll de Foix, Vilanova de Alpicat, Alguaire y Almacellas, toman sus aguas del canal principal; Vallcarca, Esplús y Ripoll derivan del canal de Zaidín, y Monreal, Valmanya y Soses, del de Escarpe.

Esta red de acequias, de dotaciones variables, llegando á ser en algunas de 3.400 litros por segundo, componen una longitud de canalización de 139.073 kilómetros.

Por último, las exigencias que la regulación del agua en red tan extensa (311 kilómetros entre canales y acequias) lleva consigo, así como la necesidad imperiosa de hacer frente á cualquier entorpecimiento ó avería, limitando su campo todo lo posible, han obligado á la construcción de cauces artificiales de desagüe, necesarios para alcanzar los naturales existentes en toda la comarca: El Ciego, La Mesa, Valfría, Sosa, Rivabona, Faleva, Orlíols, Colomina, Albelda y Coll de Foix (este último uniendo el canal principal al Noguera Ribagorzana) juntos á los de Binaceta, Casasnovas y demás desagües finales de los canales derivados y acequias, componen una longitud total de 100 kilómetros próximamente.

En el canal principal sólo existe un salto denominado de Agua Salada, cuya altura es de 3,50 metros y el desnivel total de su perfil es de 36,13 metros.

Los longitudinales de Zaidín y Escarpe salvan desniveles totales de 174 y 296 metros, respectivamente, debidos á los descensos bruscos de las divisorias en que ambos se asientan, que han obligado á la construcción de diferentes saltos y rápidos, algunos hasta de 23 metros de altura.

Zona regable.

Siendo 149.000 hectáreas la superficie total encerrada entre el canal y los ríos Essera, Noguera Ribagorzana y Segre, y elevándose á 23.000 el número de hectáreas regadas antes y á

21.000 la extensión que naturalmente no puede regarse con los canales y acequias, resulta para la superficie regable la cifra de 105.000 hectáreas, de las cuales existen hoy cerca de 80.000 dominadas por las tomas, construidas en número de 193 y que suscriben actualmente más de 53.000 hectáreas.

El incremento extraordinario de los riegos se demuestra con el siguiente estado, en el que figuran, á partir de 1906 á la fecha, las hectáreas suscritas y el agua suministrada:

AÑOS	Hectáreas suscritas.	AGUA SUMINISTRADA
		Metros cúbicos.
1906....	5.989	1.876.484
1907....	10.932	13.525.008
1908....	11.782	12.343.598
1909....	18.716	26.772.116
1910....	30.531	42.855.636
1911....	40.787	84.394.061
1912....	47.392	124.386.872
1913....	53.953	70.000.000

Falta en este último año casi todo el riego para la siembra de cereales, no siendo, por tanto, extraño que con el mes y medio que resta de riego exceda de 130 millones de metros cúbicos el agua suministrada.

A esta marcha, verdaderamente excepcional, han contribuido la facilidad con que se ha dado el riego y las tarifas que rigen, las cuales son para los suscriptores de una peseta los 1.000 metros cúbicos hasta el año 1916 y de 0,50 en los restantes.

Obras del canal y acequias.

En su largo recorrido hay construidos: medio kilómetro de muros de sostenimiento en parte con cajero de hormigón armado, un túnel artificial del mismo material, 31 tajeas, 14 grupos de éstas, 22 acueductos, 10 sifones, 305 caños, 30 grupos de dos y tres caños, 19 alcantarillas, 20 pontones, 366 pasos superiores, 43 túneles con una longitud de 12.669,27 metros, 159 saltos, 110 rápidos, 52 edificios para la explotación y guardería y 13 almenaras de desagüe.

En la imposibilidad de detallarlas todas, por no ser este sitio apropiado, sólo mencionaremos algunas de ellas, las más visitadas.

Presa.

La sección de la presa es trapezoidal en los 30 metros de su longitud, siendo su altura máxima de 4,50 metros, y llegando hasta cifra análoga la profundidad de sus cimientos; ejecutada en su interior y cimientos de hormigón en masa, se ha coronado y paramentado de conglomerado calizo, verdadero mármol, procedente de canteras próximas.

La cimentación se hizo sobre roca caliza, aprovechando en algún punto la existencia de grandes bloques desprendidos de las laderas, que han quedado sepultadas en el interior de la presa, formando parte de ella.

En su estribo derecho se apoya la presa sobre un desprendimiento de la ladera, llegando á empotrarse en ésta; los huecos del desprendimiento proporcionaron durante la construcción camino rápido á los obreros para elevarse desde el cauce á la parte superior de las márgenes.

En el estribo izquierdo de la presa está la toma de agua, que se realiza por medio de seis compuertas metálicas, cuyos mecanismos de maniobra van alojados en la casa de compuertas; la altura de su piso es de 5,50 metros sobre la coronación de la

presa, nivel que nunca, hasta el presente, llegaron á alcanzar las aguas.

A la entrada del agua en el canal existe un doble cierre de viguetas formando un desagüe de fondo, que sirve además para la limpieza de la embocadura, evitando el consiguiente aterramiento; inmediatamente después se esconde el canal en el primer túnel de su trazado, con cuya longitud de 1.070 metros llega á Agua Salada.

Túnel de Gorgafonda.

Especial y única esta obra en el canal proporciona un ejemplo de lo que con el hormigón armado puede llegar á alcanzarse.

Al ejecutar las excavaciones para la apertura del canal principal en el sitio denominado Gorgafonda, kilómetro 5, se vió la naturaleza detritica del terreno, compuesto de grandes bloques desprendidos de la parte superior de las laderas, envueltos en sus corrimientos por las tierras y demás productos detriticos; la inestabilidad del conjunto, causa de algún accidente tristísimo, impuso como solución el construir un túnel artificial, calculado de manera que toda la obra resistiera como un puente-tubo, para luces de 10 metros, longitud de socavaciones parciales que sin peligro alguno puede en consecuencia sufrir la solera.

Sifones del Sosa y Albelda.

Constituyen ambos las obras del hormigón armado más importantes. Sus longitudes son de 1.090 metros y de 720 metros, respectivamente, y soportan una carga máxima de 25 y 30 metros; el sifón del Sosa se compone de dos tubos de 3,80 metros de diámetro interior y 0,20 de espesor, y el de Albelda está formado por un solo tubo de igual espesor, de 4 metros de diámetro en su interior; guardando estas secciones relación con sus gastos; éstos son, para la pérdida de carga normal, de 35 y 17 metros cúbicos por segundo, respectivamente.

Difieren ambos sifones en su disposición general. El del Sosa, compuesto de dos ramas, salva las depresiones de ambas por medio de puentes construídos en los cauces del Sosa y Rivabona; el sifón de Albelda, de una sola rama, se apoya directamente sobre el valle, quedando enterrado en el fondo del mismo.

Proyectados bajo principios distintos, difieren esencialmente en su estructura interior; en uno se persiguió la impermeabilidad absoluta desde el primer momento, adoptando para conseguirla la camisa metálica (chapa de acero de 0,003 de espesor) y ejecutando el tubo de hormigón armado por trozos unidos con juntas especiales; en Albelda, el tubo es de estructura metálica discontinua y se ejecutó sin juntas, alcanzándose la impermeabilidad por colmatación de los poros del hormigón.

El sifón del Sosa salva este río con un acueducto de cinco arcos de 15 metros de luz, ejecutado de hormigón en masa; material que, con exclusión de otro distinto, entra también en la cimentación de los estribos y pilas.

El sistema de cierre empleado en las bocas de los sifones, tanto para los tubos como para los desagües, está formado por viguetas metálicas de doble T, que entran en ranuras practicadas en las pilas de los claros y provistas de pitones en sus extremos para el más fácil manejo.

Con tal disposición para los cierres se hace frente á los temores de accidentes que una falsa maniobra pudiera ocasionar en los tubos. Tanto el muro divisorio de las dos cámaras de entrada como la pasadera y piso sobre ellas existentes, son de hormigón armado.

Cajeros y acueductos.

A tres tipos pueden referirse las numerosas obras de esta clase construídas en el canal: cajeros apoyados sobre fábricas ordinarias (muros y bóvedas); cajeros con solera sobre palizadas, constituyendo los verdaderos acueductos de hormigón armado, y cajeros-vigas sobre apoyos de fábrica.

Del tipo primero es el construído en el canal principal, kilómetro 70, para salvar la Coma de Capdevila: bóvedas de hormigón en masa paramentadas con sillares artificiales sostienen el cajero de estructura metálica. A este tipo pertenecen también: el cajero de la Cueva del Moro, construído sobre muros cuya cimentación sustituyó, en 20 metros, airoso arco de esta luz; el de Perera, apoyado en cinco arcos de hormigón en masa de 15 metros de luz, que forman el hermoso puente de este nombre; el de Coll de l'oi, el construído sobre el paso superior del ferrocarril de Zaragoza á Barcelona en el Canal de Zaidín, etc., etc. En este grupo puede comprenderse asimismo el cajero de Agua Salada, sobre muros laterales en cuyos bordes interiores se apoya la solera de hormigón armado.

Como modelo de acueductos de hormigón armado podemos citar el del Nou (canal principal, kilómetro 54), formado por un cajero sobre palizada del mismo material. De igual tipo son el acueducto de la sexta hondonada de Valfría, el de Faleva y el de Pirla.

En el tercer grupo de obras que se citan está el acueducto de Monreal (canal de Escarpe, kilómetro 21). El cajero todo, paredes laterales y solera, está calculado para resistir á la flexión originada por su peso y el del agua, al salvar la luz de las pilas de fábrica en que se apoya.

Partidor de Zaidín.

Para dividir las aguas entre el canal principal y el de Zaidín. Se compone de 11 compuertas metálicas de un metro de ancho, agrupadas en número de seis y cinco, respectivamente, á la entrada de cada uno de aquéllos.

Instalaciones auxiliares.

Cuenta el canal con una serie de instalaciones auxiliares, tales como dos observatorios meteorológicos, uno en el Sosa y otro en Benasque, y hasta ocho garitas con pluviómetros, termómetros, psicrómetros y evaporímetros repartidos en la zona; una red telefónica de 400 kilómetros de longitud, con una central en el partidor, seis subcentrales y 38 estaciones, que pone en comunicación los diferentes puntos del canal con el servicio de riegos y explotación; un laboratorio para ensayo de materiales; talleres de telefonía, herrería y carpintería; almacenes generales en Monzón; y 24 viveros, distribuídos en las cercanías del canal, que cuentan en la actualidad con 366.761 árboles de 53 especies diferentes, al objeto de estudiar cuáles sean las que se aclimatan mejor en el país. Se dedica cuidado preferente al arbolado, existiendo actualmente plantados, entre canal, acequias y cauces, 148.748 árboles, algunos ya corpulentos.

Además, hay establecida una sección de aforos y se han comenzado estudios en el Pirineo para el establecimiento de vertederos en el nacimiento del Essera, previendo que el incremento de los riegos, sobre todo de los cultivos intensivos, exija aprovechar el agua que se pierde en la sima del Toro y el establecimiento de algún pantano regulador.

Coste de las obras.

Las obras, terminadas en 1910, costaron al Estado 31.940.000 pesetas. Para obtener su valor deberían añadirse 2.433.661 pesetas procedentes de la fianza de la concesión rescindida y que en el canal se invirtieron. Además, en trabajos complementarios y consolidaciones se han gastado próximamente 2.600.000 pesetas más hasta fin del año 1912. En suma, casi 37 millones de pesetas.

Beneficios.

Este canal, como todos los análogos, se ha ejecutado con el objetivo primordial económico de beneficiar las tierras cuanto antes. Por consiguiente ha de ocurrir, como ya viene sucediendo, que durante una primera época de la explotación deberán ejecutarse obras complementarias y numerosas consolidaciones, á medida que los servicios de agua lo exijan. Además, en nuestro caso, que es el de todos los canales españoles de alguna importancia, se impondrá asegurar una dotación de estiaje superior al caudal de estiaje del Essera, v. gr., ejecutando pantanos en la cuenca alimentadora. Si tales complementos se requieren con urgencia, deberemos felicitarnos, pues será señal de que el regadío se extiende ó intensifica en la zona; de todas suertes se habrá evitado un adelanto prematuro de fondos públicos.

Supongamos que, todo acabado, el coste se eleva á 500 pesetas por hectárea, cantidad superior al coste medio de canales en España (446 pesetas según datos estadísticos presentados al Congreso de Riegos), y que el coste total ascienda por consiguiente á 52.500.000 pesetas. Pues bien, en un pueblo de la zona, Monzón, la contribución por hectárea de secano es media de 7,35 pesetas, y de 22,50 pesetas la media por hectárea de regadío. Aplicando la diferencia de 15,25 pesetas á la zona de 105.000 hectáreas regables por el canal, resultaría aumento de 1.600.000 pesetas por contribución de propiedades rústicas, que representa 3 por 100 del capital invertido por el Estado.

Está claro que produciendo el canal un aumento de cosechas y de población aumentarán todos los demás tributos en la localidad, guardando las respectivas relaciones con el antes expresado; en definitiva, el aumento global de tributos en la zona, triplicará por lo menos la cifra dicha, es decir, que el beneficio excederá de 9 por 100.

Refiriéndonos á tributos cuyo porvenir es siempre de alza, y tratándose de rentas á perpetuidad, resulta evidéntísimo el negocio del Estado. Lo cual, por otra parte, no es sorprendente.

Esto, en cuanto al Estado como industrial. En cuanto á la mejora en el orden superior nacional no hay para qué repetir consideraciones que huelgan para los iniciados y no cabrían para los demás en los límites de esta nota, limitándonos á calcular ligeramente el beneficio obtenido por el país.

El objeto principal del canal es asegurar la cosecha de cereales, y si á él nos atenemos y prescindimos de la riqueza que implicará el desarrollo de los cultivos intensivos, podemos fácilmente calcularlo. En la Litera antes de los riegos no se podía contar más que con una cosecha buena cada cuatro años, con un producto de unas 14 simientes, siendo sólo de dos simientes en los otros tres años; es decir, una producción media máxima de unos 11 hectolitros por hectárea y año, mientras que con los riegos puede asegurarse la de 10 simientes anuales, ó sean 22 hectolitros por hectárea y admitiendo como precio medio el de 20 pesetas por hectolitro, tendremos un aumento de 220 pesetas por año y hectárea, ó sean unos 23 millones de pesetas anuales cuando se riegue toda la región.

En cuanto al aumento en el valor de las tierras es fácil deducirlo, resulta de los datos de una de las fincas mejor preparadas de la zona (Bencillón) que es preciso un gasto de 330 pesetas 75 céntimos por hectárea para una perfecta preparación distribuidas en esta forma:

	Pesetas.
Construcción de acequia principal secundaria y brazales de riego.....	37,15
Nivelación de tierras.....	212,35
Construcción de edificio.....	81,25

resultando para las 105.000 hectáreas 36.049.250; y tendrá

	Pesetas.
Diez mil hectáreas de terreno de secano á un precio máximo de 200 pesetas.....	21.000.000
Preparación de las tierras.....	36.049.250
	57.049.250

y como de los datos oficiales de la Dirección de Agricultura la hectárea de riego que vale menos en España cuesta 1.200 pesetas, el valor de

	Pesetas.
Ciento cinco mil hectáreas de riego á 1.200, serán.....	126.000.000
Ganancia en el valor de las tierras.....	68.950.570

es decir, 69 millones de pesetas en números redondos.

No se tiene en cuenta para nada lo que puede producir la fuerza motriz de los diversos saltos del canal, que se eleva á unos 20.000 caballos, ni la riqueza creada con el arbolado, aparte de los beneficios que para la salud pública representa que algunos pueblos, como lo ha hecho ya Almenar, se abastezcan de agua del canal, desterrando el sistema de balsas, de las que personas y caballerías usaban indistintamente.

CANAL DE ARAGÓN Y CATALUÑA

Mercancías recibidas y expedidas en las estaciones ferroviarias de la zona del Canal el año de 1906, primero de riegos, y el último, de 1912

Estaciones.....	FERROCARRIL DE ZARAGOZA Á BARCELONA, POR LÉRIDA				
	Monzón.	Binéfar.	Tamarite.	Almacellas	Raimat.
<i>En 1906:</i>					
Tonelaje total...	7.064	11.564	487	3.153	539
Productos agrícolas.....	2.289	7.206	362	2.836	528
<i>En 1912:</i>					
Tonelaje total.....	8.812	25.680	1.222	9.819	1.766
Productos agrícolas....	3.505	15.268	960	7.077	931

Se han considerado productos agrícolas: aceite, azúcar, frutas, legumbres, paja y forrajes, trigo y demás cereales, vino y vinagra.—(Datos de la Compañía de ferrocarriles del Norte.)

RIEGOS DEL ALTO ARAGÓN

Se ha consultado al Consejo de Obras públicas la forma en que debe cumplirse la ley especial de Riegos del Alto Aragón.