

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

MEMORIA

RELATIVA Á LA

DISTRIBUCIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO GUADALQUIVIR

PARA EL RIEGO DE SU VEGA

por los Sres. BUCKLEY y BROWN, Ingenieros ingleses.

(Traducida al español por el intérprete D. JUAN MARTÍNEZ DE LAIVA.)

(CONCLUSIÓN)

Comparación de la temperatura de Andalucía con las de la India y Egipto.

VII

36. La temperatura ordinaria de Sevilla en invierno, es la misma que la del Cairo (Egipto); la de todo el año se diferencia en un grado más bajo, poco más ó menos.

| LOCALIDADES  | Temperatura (centígrados). |              |              |
|--------------|----------------------------|--------------|--------------|
|              | PROMEDIOS                  |              |              |
|              | Invierno.                  | Verano.      | Todo el año. |
| Cairo.....   | 11,9 (Enero)               | 29,1 (Julio) | 21,3         |
| Sevilla..... | 11,8 "                     | 28,1 "       | 19,6         |

Alejandro y Assuan pueden ser tomados como los dos puntos que proporcionan las variaciones de temperatura en Egipto. El término medio de las cifras de estas dos poblaciones representan su temperatura. Jaén, como punto céntrico de Andalucía, puede elegirse para efectuar la comparación.

| LOCALIDAD           | Temperatura (centígrados). |              |              |
|---------------------|----------------------------|--------------|--------------|
|                     | PROMEDIOS                  |              |              |
|                     | Invierno.                  | Verano.      | Todo el año. |
| Alejandro.....      | 14,4 (Enero)               | 23,2 (Julio) | 20,6         |
| Assuan.....         | 16,7 "                     | 34,9 "       | 26,7         |
| Término medio ..... | 15,5                       | 30,5         | 23,6         |
| Jaén.....           | 8,3                        | 25,4         | 16,1         |

De estas cifras se deduce que la temperatura de Egipto es considerablemente más elevada que la de Andalucía.

37. El siguiente cuadro compara la temperatura en Sevilla con las que rige en aquella parte de la India donde se cultiva el trigo y la cebada al estilo de España.

| LOCALIDAD   | Temperatura (centígrados.)      |                               |              |      |
|-------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|------|
|             | PROMEDIOS                       |                               |              |      |
|             | Invierno.<br>—<br><i>Enero.</i> | Verano.<br>—<br><i>Julio.</i> | Todo el año. |      |
| Sevilla.... | 11,8                            | 28,1                          | 19,6         |      |
| India. {    | Uraballa.....                   | 12,0                          | 29,5         | 23,4 |
|             | Lahore.....                     | 11,7                          | 31,7         | 23,7 |
|             | Delhi.....                      | 14,4                          | 30,2         | 25,0 |

Según se notará, la temperatura del invierno en la India no difiere mucho de la de Sevilla, mientras que la del verano es mucho más alta.

Los aforos del río Guadalquivir y la zona regable con sus aguas.

VIII

38. Existen en la oficina de la División de trabajos hidráulicos del Guadalquivir, en Córdoba, estados de lectura de escalas y de aforos de este río, que comprenden veintidós años (1877 á 1898); los correspondientes á los once primeros no son muy completos, pero los referentes á los últimos (1888 á 1898) están recopilados y catalogados y contienen gran número de detalles. Esto representa considerable trabajo y constituye un poderoso auxiliar para estudiar la cuestión de riegos con agua del Guadalquivir; esto no obstante, conviene prevenirse y no admitir á ciegas todas las cifras sentadas, por cuanto, aparte de los errores de copia, hay otros que hacen dudar de la certeza de los datos apuntados y relacionados con algunas localidades importantes: por ejemplo, en Palma del Río las lecturas referentes al mes de Diciembre de 1898 arrojan el siguiente resultado:

| FECHA             | LECTURA de la escala. | AFORO EN M. C. por segundo. |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 27 Diciembre..... | 0,75                  | 57.62)                      |
| 27 idem.....      | 0,74                  | 67.565                      |

Esto es un aforo de diez metros cúbicos por segundo mayor, siendo la lectura de la escala menor, la que forzosamente no puede ser exacta. De nuevo en 1889 se estampan las siguientes cifras:

| FECHA          | AFORO EN M. C. POR SEGUNDO |             |
|----------------|----------------------------|-------------|
|                | Palma del Río.             | Cantillana. |
| Julio 1.º..... | 69.403                     | 43.665      |
| 2.....         | 65.690                     | 37.148      |
| 3.....         | 63.744                     | 35.125      |
| 4.....         | 60.158                     | 30.148      |
| 5.....         | 56.655                     | 22.213      |
| 6.....         | 55.734                     | 21.705      |
| 7.....         | 54.819                     | 21.705      |

Palma del Río se encuentra á unos 80 kilómetros más arriba de Cantillana, y sin embargo el aforo, en la localidad más elevada, es mucho mayor durante la primera quincena de Julio, que en el punto más bajo. El volumen anotado al paso por Cantillana, desde el 1.º al 16, es de unos 30 millones de metros cúbicos, y pasando de Palma del Río duplica esta cifra, en la misma época. Esto no es posible.

39. Tomando las cifras según constan en los estados, los siguientes cuadros dan á conocer las importantes deducciones que hemos sacado de ellas. La localidad más baja en que los aforos están recopilados, es Cantillana, que se halla á unos 41 kilómetros, siguiendo el curso del río más arriba de Sevilla. El volumen señalado como haber pasado por dicho sitio, en cada uno de los años anotados, fué:

| AÑOS      | VOLUMEN según aforo. Millones de metros cúbicos |
|-----------|-------------------------------------------------|
| 1883..... | 14.030                                          |
| 1889..... | 4.685                                           |
| 1890..... | 3.918                                           |
| 1891..... | 4.653                                           |
| 1892..... | 8.131                                           |
| 1893..... | 2.798                                           |
| 1894..... | 2.468                                           |
| 1895..... | 9.204                                           |
| 1896..... | 2.723                                           |
| 1897..... | 5.957                                           |
| 1898..... | 2.639                                           |

40. Es evidente, según los estados de aforos que existen en la oficina de Córdoba, que una gran cantidad de riego puede realizarse desde el Guadalquivir, sin emplear embalse alguno, extrayendo el agua directamente del río. La columna A del Apén-

dice C señala el promedio del volumen, en m. c. por segundo, que pasó por Cantillana, en el transcurso de los referidos quince días consecutivos en las épocas en que el aforo estaba más bajo. Como raramente es necesario regar más de una vez cada quince días, es fácil calcular el término medio del volumen correspondiente á dicho período. La columna B señala el minimum de los meses, tal como consta en los estados de aforo. Las siembras de invierno exigen ser regadas, en mayor ó menor cantidad, durante seis meses, Diciembre á Mayo inclusive. El cuadro que va á continuación es demostrativo de las extensiones que el río puede regar en invierno si el agua es conducida directamente desde el mismo por una serie de canales. La provisión de agua para la repetida estación ha sido calculada en un m. c. por segundo, para 2,000 hectáreas, como aplicable á un largo canal con varios distribuidores.

| AÑOS      | Término medio del aforo más bajo durante la estación en cualquier período de quince días. Metros cúbicos por segundo. | Area de siembra de invierno que pudiera haber sido regada por canales tomando el agua directamente del río, sin embalse. Hectáreas. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1883..... | 126                                                                                                                   | 252.000                                                                                                                             |
| 89.....   | 86                                                                                                                    | 162.000                                                                                                                             |
| 90.....   | 73                                                                                                                    | 146.000                                                                                                                             |
| 91.....   | 73                                                                                                                    | 146.000                                                                                                                             |
| 92.....   | 130                                                                                                                   | 260.000                                                                                                                             |
| 93.....   | 62                                                                                                                    | 124.000                                                                                                                             |
| 94.....   | 57                                                                                                                    | 114.000                                                                                                                             |
| 95.....   | 79                                                                                                                    | 158.000                                                                                                                             |
| 96.....   | 38                                                                                                                    | 76.000                                                                                                                              |
| 97.....   | 70                                                                                                                    | 140.000                                                                                                                             |
| 98.....   | 35                                                                                                                    | 70.000                                                                                                                              |

Pudiera alegarse que estos resultados justifican el aserto de que un sistema de canales construído para conducir un aforo de 35 metros cubicos por segundo, regaría, sin pantano alguno, 70.000 hectáreas de sembrados de invierno en cualquier año; sin embargo, es posible que fuese insuficiente para un año pésimo, como fué el de 1905, que resultó peor todavía que los de 1896 y 1898 por la escasez de lluvias en Febrero y Marzo.

41. Considerando luego la estación de verano, Junio, Julio, Agosto y Septiembre, los aforos apuntados en el Apéndice C arrojan las siguientes cifras, suponiendo una provisión de un metro cúbico por segundo, tomado á la cabeza del canal, para cada 1.000 hectáreas.

| AÑOS      | Término medio del aforo más bajo durante la estación de cualquier período de quince días. Metros cúbicos por segundo. | Area de siembra de verano que pudiera haberse regado por un canal directo desde el río, sin obra alguna de embalse. Hectáreas. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1883..... | 114                                                                                                                   | 114.000                                                                                                                        |
| 89.....   | 20                                                                                                                    | 20.000                                                                                                                         |
| 90.....   | 43                                                                                                                    | 43.000                                                                                                                         |
| 91.....   | 30                                                                                                                    | 30.000                                                                                                                         |
| 92.....   | 55                                                                                                                    | 55.000                                                                                                                         |
| 93.....   | 65                                                                                                                    | 25.000                                                                                                                         |
| 94.....   | 21                                                                                                                    | 24.000                                                                                                                         |
| 95.....   | 65                                                                                                                    | 65.000                                                                                                                         |
| 96.....   | 19                                                                                                                    | 19.000                                                                                                                         |
| 97.....   | 11                                                                                                                    | 11.000                                                                                                                         |
| 98.....   | 11                                                                                                                    | 11.000                                                                                                                         |

Por lo tanto, si los aforos que constan en los estados de la oficina de Córdoba se aceptan como exactos, parece lógica la construcción de un sistema de canales, capaces de conducir 35 metros cúbicos por segundo, y que dicho sistema, sin embalses de clase alguna, puede regar:

En la estación de invierno.. 70.000 hectáreas.  
En la de verano..... 11.000 ídem en años malos, y 35.000 ídem de buenos aforos.

Estos canales, desde luego, podrían construirse en un solo punto ó en varios, en el curso del río, con tal de que su emplazamiento permita aprovechar la totalidad del aforo del río, á su paso por Cantillana.

42. Según se observará en el cuadro que figura en el párrafo 39, el año 1894 fué el que suministró el menor aforo desde el cauce, y, sin embargo, no el que proporcionó el menor volumen aprovechable para el riego directo. Á saber:

| AÑOS       | Aforo alto del río.<br>—<br>Metros cúbicos. | AREA REGABLE SIN EMBALSES |            |
|------------|---------------------------------------------|---------------------------|------------|
|            |                                             | Invierno .                | Verano.    |
|            |                                             | Hectáreas.                | Hectáreas. |
| 1894.....  | 2.468.000.000                               | 114.000                   | 24.000     |
| 1897.....  | 5.957.000.000                               | 140.000                   | 11.000     |
| 1898. .... | 2.639.000.000                               | 70.000                    | 11.000     |

Lo cierto, probablemente, es que el año en que el aforo del río es pequeño, el flujo del agua es más regular debido en parte á la absorción de las lluvias, á la formación de manantiales y á su igual distribución por los terrenos. El año 1894, como se observará en el Apéndice C, puede citarse como uno en que no hubo inundaciones; y, sin embargo, tomado como ejemplo para riego directo del río, da mejores resultados que el de 1898, ep que hubo numerosas avenidas, aunque no de gran importancia.

43. Ahora bien; mayor sería la capacidad del río para regar si los diversos aforos se regularizan mediante un sistema de embalses que se acomoden á las exigencias de los sembrados. El año 1894 proporcionó el menor aforo, de los once que enumeran los estados; fué indudablemente un año malo. El volumen que atravesó Cantillana figura en los cuadros, sumando 2.468 millones de metros cúbicos. Si un perfecto sistema de embalses hubiera existido en aquella época, dicha cantidad, deducido un 15 ó 20 por 100 por evaporación y absorción en los pantanos, se habría aprovechado para regar, ó sean unos dos millones de metros cúbicos. Suponiendo que 8.600 metros cúbicos, tomados á la cabeza del canal, fuera el volumen medio para cada hectárea de riego actual (dos de siembra de invierno á una de verano) la extensión regable hubiera sido de unas 240.000 hectáreas; 160.000 de sembrados de invierno y 80.000 de verano; y esta cantidad, opinamos, es la capacidad máxima del río con ilimitados embalses en un año malo; pero estos no son posibles, y el único medio para regar esta extensión consistiría en construir uno grande en la parte baja de la misma vega, pantano que recogería y embalsaría todo el líquido procedente de los pequeños arroyos que fluyen directamente dentro del río principal; pero esto no es posible por cuanto la superficie de 240.000 hectáreas es mucho mayor que la extensión de terreno llano en la vega que se puede regar.

Quizás se diga que 105.000 hectáreas prácticamente son regables. Si la totalidad de esta extensión se cosechara todos los años pudiera haber 70.000 hectáreas de sementera de invierno y 35.000 de verano. Si se estudian los estados contenidos en los párrafos 40 y 41 se verá que el aforo solo del río sin pantanos fué suficiente por espacio de once años para regar 70.000 hectáreas de sembrados de invierno, y que en cuatro de estos once años (1888, 1890, 1892 y 1895), podrá, además, regar arriba de 35.000 de verano; pero en siete años (1889, 1891, 1893, 1894, 1896, 1897 y 1898), hubiera dejado en mayor ó menor grado, de rogar el terreno ocupado por la sementera de verano; de donde se deduce que si una superficie de 105.000 hectáreas sembradas fuese regada cada año, el caudal de agua del río sólo tal como consta en los estados de aforos únicamente necesitaría ser adicionado con embalses para la cosecha de verano y no para la de invierno.

44. Los referidos estados de aforo demuestran qué cantidad

de agua habría que almacenar. El Apéndice F da á conocer mes por mes, durante once años, el volumen y el cuadro que va á continuación hace ver los aforos día por día en Cantillana en el verano de 1898:

| DIA | Junio.                      | Julio.                      | Agosto.                     | Septiembre.                 |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|     | M. <sup>3</sup> por segundo | M. <sup>3</sup> por segundo | M. <sup>3</sup> por segundo | M. <sup>3</sup> por segundo |
| 1   | 42,0                        | 23,3                        | 15,1                        | 12,2                        |
| 2   | 42,0                        | 20,9                        | 15,1                        | 12,2                        |
| 3   | 37,8                        | 20,2                        | 1,2                         | 11,8                        |
| 4   | 37,8                        | 19,0                        | 13,3                        | 11,8                        |
| 5   | 35,9                        | 19,0                        | 12,6                        | 12,2                        |
| 6   | 34,8                        | 18,2                        | 12,6                        | 12,2                        |
| 7   | 30,2                        | 18,2                        | 12,6                        | 12,6                        |
| 8   | 30,8                        | 17,7                        | 12,6                        | 12,6                        |
| 9   | 30,8                        | 17,7                        | 11,8                        | 12,2                        |
| 10  | 30,5                        | 17,1                        | 12,2                        | 12,9                        |
| 11  | 27,5                        | 17,1                        | 12,6                        | 12,9                        |
| 12  | 24,1                        | 17,7                        | 13,3                        | 12,9                        |
| 13  | 23,3                        | 17,7                        | 12,6                        | 12,9                        |
| 14  | 22,4                        | 17,7                        | 12,2                        | 12,9                        |
| 15  | 22,4                        | 17,1                        | 12,2                        | 14,2                        |
| 16  | 34,8                        | 16,0                        | 11,8                        | 14,2                        |
| 17  | 34,8                        | 15,6                        | 11,8                        | 15,1                        |
| 18  | 37,8                        | 15,6                        | 11,8                        | 38,8                        |
| 19  | 35,9                        | 15,6                        | 11,8                        | 24,1                        |
| 20  | 33,7                        | 15,6                        | 11,8                        | 55,2                        |
| 21  | 31,9                        | 15,1                        | 11,0                        | 38,8                        |
| 22  | 31,9                        | 15,1                        | 11,0                        | 27,5                        |
| 23  | 29,1                        | 15,1                        | 11,8                        | 24,1                        |
| 24  | 26,5                        | 15,1                        | 11,8                        | 24,9                        |
| 25  | 26,5                        | 14,7                        | 12,2                        | 24,9                        |
| 26  | 24,9                        | 14,7                        | 12,2                        | 24,9                        |
| 27  | 23,3                        | 14,7                        | 12,2                        | 71,8                        |
| 28  | 23,3                        | 14,7                        | 11,8                        | 50,3                        |
| 29  | 23,3                        | 14,7                        | 11,8                        | 50,3                        |
| 30  | 23,3                        | 15,1                        | 11,8                        | 38,8                        |
| 31  | "                           | 15,1                        | 11,8                        | "                           |

El aforo grande que pasó Cantillana, fué:

En Junio de ..... 79 millones de metros cúbicos.

En Julio de ..... 45

En Agosto de ..... 33

Del 1.º al 26 de Septiembre de 43

Total en 118 días ..... 200

Este volumen es el peor aforo que en verano se nota, en los once años á que los estados de Córdoba se circunscriben. En el transcurso de 118 días, 35.000 hectáreas exigieran un aforo 35 metros cúbicos por segundo, ó lo que es igual, un volumen de 357 millones de metros cúbicos; por consiguiente, si un embalse capaz de aforar 357 millones de metros cúbicos, durante estos 118 días, hubiera existido en el año 1898, 35 000 hectáreas de sementeras de verano hubieran podido ser regadas, aunque, prácticamente hablando, es imposible regular los aforos con exactitud matemática. Pantanos de capacidad suficiente para surtir un volumen de 200 millones de metros cúbicos deben hacerse.

45. Nuestra opinión es, que si tales embalses, situados en puntos adecuados de los afluentes del Guadalquivir, se construyen, canales alimentados directamente del río podrán regar 70.000 y 35.000 hectáreas de siembras de invierno y de verano, respectivamente.

El fango en las aguas del Guadalquivir.

## IX

46. La cantidad y naturaleza del cieno que arrastra las aguas del Guadalquivir, son puntos que merecen tenerse muy en cuenta; su calidad, porque influye en los cultivos regables, su cantidad, á los proyectos de pantanos y canales. Si su naturaleza es provechosa para la sementera, conviene que los canales lleven la mayor parte posible á los campos; si el volumen es

grande, será difícil impedir el deterioro de los embalses, á menos que la fabricación principal y los canales se hagan basándose en principios exactos; existe gran peligro de que sean cegados por los sedimentos.

47. Desgraciadamente parece ser que contadísimas observaciones se han llevado á efecto acerca del fango del Guadalquivir. El Sr. Molini, bajo la autoridad del Ingeniero Sr. Ezcurdia, dice, que en las grandes avenidas el agua en Sevilla contiene un 4 por 100 en volumen, y D. Manuel Vázquez, nos manifestó que varía de 1 á 4 por 100 en diferentes épocas del año; no pudimos obtener más antecedentes. En Córdoba examinamos nueve veces este fango, cuyos resultados constan en el Apéndice G, pero nuestros estudios nada dicen del volumen del cieno en tiempo de riadas, porque no ocurrieron durante nuestra estancia en Andalucía, pero abunda mucho más en época de avenidas. Cuatro por ciento,  $\frac{1}{25}$  de fango por volumen, significa, que un metro cúbico de agua contiene 0,04 metros cúbicos de cieno húmedo, que seco pesa 32 kilogramos; de modo que la proporción entre fango seco y agua en inundaciones es de  $\frac{1}{3}$ , cifra extremadamente elevada. Un solo ejemplo conocemos en Bengala del Este en que la proporción igualó la cifra apuntada. El máximo en el río Sutlej (India) es el de  $\frac{1}{34}$ , en el Sone  $\frac{1}{152}$ ; Sir William Wilcocks concede al Nilo (volumen)  $\frac{1}{470}$ , y el doctor Letherby, al mismo río (peso)  $\frac{1}{644}$ ; Humphreys y Abbot, al Misisipi  $\frac{1}{512}$  etcétera, etc. Dudamos que el agua del Guadalquivir, en tiempo de crecida contenga un 4 por 100 de fango, por volumen, pero si los datos son veraces, el hecho es verdaderamente notable.

48. Nuestras propias observaciones, sin embargo, son suficientes para demostrar que el volumen de cieno en el río es grande. En el Apéndice G se notará que el 30 de Marzo del presente año, la proporción de fango seco con el agua, fué de  $\frac{1}{334}$  y el 22 de  $\frac{1}{602}$ . Cayeron constantes lluvias (122 milímetros en seis días) con anterioridad á nuestro primer estudio (78 milímetros en cinco días); poco antes de nuestro examen del 22 de Abril; las aguas estaban muy rojizas. Estas proporciones son muy parecidas á las del Nilo, y son una prueba de la gran importancia que hay que prestar al proyectar las obras, á fin de evitar la acumulación de cieno.

49. En cuanto á la calidad del fango había muy poca arena en las muestras que analizamos y todo induce á creer que el légamo es muy beneficioso para los terrenos. Sería muy conveniente que muestras del agua fuesen examinadas, al ocurrir avenidas, para averiguar la cantidad de barro y arena suspendidas en las aguas del río á distintas profundidades. Si el agua en épocas de crecida es introducida dentro de los canales, desde la superficie—principio actualmente adoptado en la India en varios casos—y si los canales son convenientemente contruidos, teniendo en cuenta los principios hoy adoptados en la India, opinamos que es factible llevar á los campos el fertilizador fango que contiene el río. Probablemente será necesario, al sobrevenir grandes riadas, cerrar las canales por espacio de uno ó dos días; esto se efectúa con frecuencia en la India, para impedir el ingreso de la gran cantidad de cieno que casi siempre acompaña á las grandes crecidas.

#### Consideraciones acerca de los embalses en la vega del Guadalquivir.

#### X

50. Bien sabido es que la fertilidad de Egipto se debe, principalmente, al fango depositado en sus campos por el Nilo, distribuyendo sus aguas «rojizas» hasta donde es factible. Consideramos que lo idéntico debe hacerse en Andalucía; ya hemos dicho que esto se efectúa con mayor eficacia, si los canales arrancan directamente del río y evitando todo lo posible, el hacer uso del líquido procedente de embalses.

51. El fango que permanece en suspensión en las aguas del

Guadalquivir, creemos es, en su mayor parte, barro y una infima cantidad de arena, aunque es evidente que lo misma en el Guadalquivir que en la mayoría de los ríos, hay un importante movimiento de avance de arenas á lo largo de sus lechos. Si se construyera un pantano en la vega del Guadalquivir, tendría dos inconvenientes: 1.º, impediría el arrastre de las materias pesadas por su lecho, y 2.º, sería causa de que se depositara una muy considerable cantidad de las materias fertilizantes que se hallan en suspensión en sus aguas, siendo ambos extremos sumamente nocivos para el embalse, por cuanto aminorarían su capacidad, y además, el segundo, perjudicaría los terrenos regables, puesto que no recibirían el depósito, tan esencial para los mismos, si han de ser productivos.

52. Se nos dirá, acaso, que en Egipto (donde todos los canales emanan directamente del Nilo, sistema que recomendamos se adopte en el Guadalquivir), el gran pantano de Assuan se encuentra en el mismo río principal, y que toda el agua que se distribuye pasa por él; así es, en efecto, y verdad también que lo idéntico sucede con el pantano de Bhatghur, en Bombay, pero existen enormes diferencias entre estos dos casos y el del Guadalquivir. En Egipto hay grandes respiraderos, en la presa de Assuan, y las avenidas que arrastran cantidades de cieno, pasan á través de él, á un nivel inferior, y las aguas siguen su curso para enriquecer las tierras bajas. Ciertamente es, en el caso del pantano de Assuan, que una vez desaparecidas las grandes crecidas, queda suficiente agua en el río para llenar el embalse hasta los bordes. Lo mismo acontece con el de Bhatghur (India), más no hay que olvidar que las riadas del Nilo son graduales y que tiene una temporada después de la inundación, en que sus aguas son claras, sin señales de fango. En dicha época hay un sobrante suficiente para llenar el pantano de Assuan. En lo referente al Guadalquivir la cuestión es distinta; sus aguas contienen un considerable volumen de fango, aun en el mes de Abril (1), y cuando el agua del río está clara, ó sea en los meses calurosos del verano, toda ella es necesaria para los riegos; por consiguiente, no sería posible almacenar agua exenta de cieno.

53. Según se ve en los Apéndices C y F, las crecidas en el valle del Guadalquivir ocurren en fechas distintas, desde Noviembre á Abril, y que en 1888 las hubo durante la mayor parte de los meses de Mayo y Junio. Luego, para asegurar el lleno de un pantano será necesario embalsar las aguas del río, lo más tarde, en los primeros días de Abril; si un pantano se construyera en la vega del río, siguiendo el método adoptado con los de Assuan y de Bhatghur (es decir, con compuertas á un bajo nivel), no sería posible pasar todas las grandes riadas por las compuertas á un nivel bajo, porque pudiera suceder, y sucedería en algunos años, que la avenida sobreviniera estando el embalse repleto, siendo preciso conservarlo lleno ó casi lleno, pues de lo contrario, todo el líquido almacenado se desperdiciaría.

54. Existe otro hecho que dificultaría la construcción de un pantano en el valle del Guadalquivir; las inundaciones además de ser erráticas, son en ocasiones repentinas. La crecida en Assuan, cuando la gran avenida de 1878, no excedió de 1,3 m. en cinco días; el Guadalquivir algunas veces sube paulatinamente, pero otras alcanza hasta seis metros en un solo día (Apéndice H), por lo que sería sumamente difícil y costoso hacer esclusas en una presa, tratándose de tan rápidas crecientes.

55. Debido á estas razones, aconsejamos se riegue, en cuanto sea factible, la vega del Guadalquivir, directamente del río, y que cualquier pantano necesario para regular sus aforos sea emplazado en sus afluentes.

56. Los Apéndices B y H encierran datos de la mayor impor-

(1) Los experimentos que hicimos en Córdoba, en el mes de Abril, demostraron (Apéndice G) que la proporción entre el cieno seco y el agua (peso) varió de  $\frac{1}{636}$  á  $\frac{1}{555}$ . El día 32 del mismo mes la proporción fué de  $\frac{1}{308}$ ; aquel día se aforó del río en Córdoba (escala 125) fué de unos 236 metros cúbicos por segundo, y el volumen de agua en las veinticuatro horas, arrastró cerca de 40.000 metros de fango húmedo.

tancia relacionados con la cuestión de embalses. Hay que tener muy en cuenta que la pérdida de las cosechas en la vega del Guadalquivir, se debe mucho más á la falta de lluvias en los momentos críticos de la existencia del grano sembrado, que á cualquiera deficiencia de grandes lluvias durante toda la época del cultivo. Se asegura, por ejemplo, que el año 1905 ha sido, en el espacio de muchos años, el peor para los campos, y, sin embargo, el Apéndice B demuestra que no lo fué tocante á lluvias; la fatalidad consistió en que faltó el agua llovediza en el estío de aquel año; así mismo los grandes flujos desde el valle no se regulan tanto por las lluvias caídas en el año, como por la incidencia de las mismas. El año en que hay temporal, durante varios días, hay más flujo que en el que las lluvias son más regulares; así se verá (párrafo 39 y Apéndice H) que el flujo total, desde el río, fué menor en el año 1894, en que las lluvias midieron 586 milímetros, que en el de 1896 que midieron 553.

57. Tratándose de proyectos de embalses, es costumbre muy generalizada calcular el volumen de agua, que se supone ha de entrar en el pantano, tomando como dato un tanto por ciento de las lluvias caídas. Hubo uno ó dos casos, en la India, en que se embalsó más de 50 por 100 de la lluvia, pero esto es rarísimo y son casos en que las lluvias eran mucho más abundantes que lo son en España. En Bombay (Presidencia) existen numerosos pantanos en los que cae casi toda la lluvia (unos 600 milímetros) durante cinco meses consecutivos del año, habiéndose calculado en un 25 por 100 la que se aprovechaba; dicho cálculo ha resultado erróneo en múltiples ocasiones, pues casi siempre esta cuarta parte queda reducida á un 10 por 100. En la vega del Guadalquivir, en que todo el año cae aproximadamente la misma cantidad de lluvia que en Bombay en cinco meses, es muy probable que ni aun alcanzara la citada cifra de 10 por 100. En 1894, en que el flujo resultó extraordinariamente reducido, el volumen que pasó fué, en cinco casos, de ocho, inferior al 10 por 100, y exceptuando en algunos muy contados, es seguro que el repetido flujo variará desde 9 á 35 por 100 de la lluvia. Este tanto por ciento se refiere á grandes zonas, siendo probable que en extensiones menores fuera mayor; pero no se debe contar, aun tratándose de regiones más reducidas—supongamos de 1.000 á 2.000 kilómetros cuadrados—, con un aprovechamiento mayor de un 10, ó á lo sumo de un 15 por 100 de la lluvia caída en todo un año malo. Otra razón que nos abona para dudar si una mayor cantidad que la apuntada pudiera almacenarse en un pantano, consiste en que hay años en que constituyen las lluvias pequeñas chubascos. En Sevilla, en 1890, llovió 69 veces, siendo la más copiosa, en un día solo, de 42 milímetros, y el término medio de las lluvias caídas en los citados 69 días de 7, 3 milímetros. En 1898, no hubo un día en todo el año en que las lluvias excedieran de 27 milímetros.

58. El cuadro que se halla al final del Apéndice H dá á conocer el flujo, durante varios años, en ocho puntos distintos de la vega del Guadalquivir. Las cifras dan la profundidad, en milímetros del agua que entró en el río en los mismos. Las profundidades, como es natural, varían según las condiciones de las lluvias, en los diferentes años. Año en el cual el flujo es pequeño no conviene calcular mayor volumen que el de 60 milímetros, como máximo, de profundidad, por cuanto el flujo de los ríos Guadalquivir y Guadiana fué menor de 50 milímetros en un año.

59. Presumimos que en una zona extensa, regable, habrá anualmente dos hectáreas de sementeras de invierno y una de verano, de cada tres regables. Suponiendo una cantidad, á la cabeza del canal, de 2.000 hectáreas, por metro cúbico por segundo, en invierno, y la mitad en verano, cada tres hectáreas de siembra regada exigirían:

Sementera de invierno: 2. x. 7.776 = 15.552 m. c. á la cabeza del canal.  
» de verano: 1. x. 10.363 = 10.363

Total..... 25.920

es decir, 8.600 m. c. son necesarios, término medio, á la cabeza del canal para cada hectárea sembrada. Este volumen de agua equivale á una profundidad de 860 milímetros por hectárea de terreno. Por consiguiente, si damos por sentado que la totalidad de los 60 milímetros en profundidad se conservan, se deduce que ( $\frac{860}{60}$ ), unas 14 hectáreas de extensión de embalse serían necesarias para cada sembrada, pero todo el agua no es posible retenerla, debido á las pérdidas por evaporación y absorción en el pantano, que varía según la profundidad del líquido en el embalse, y á otras circunstancias que deben tenerse en cuenta en cada caso particular, pero, como regla general, puede asegurarse que el volumen aprovechable á la cabeza del canal no será mayor de  $\frac{1}{10}$  de aquel que entra en el pantano; por lo tanto, para cada hectárea sembrada es necesario disponer de ( $14 \times \frac{10}{1}$ ) unas 16 hectáreas de embalse, como extensión mínima.

60. Adoptamos esta proporción entre la extensión de embalse de un pantano y su zona regable, como la más apropiada á la verdad; pero es necesario no olvidar que está fundada en consideraciones generales de la totalidad de la vega del Guadalquivir, pudiendo suceder que embalses aislados dentro del valle dieran mejores ó peores resultados, es completamente seguro que la proporción ha de variar. También es muy importante recordar que la proporción está basada tratándose de un año malo, debiéndose tener presente tales condiciones para calcular la zona que pueda ser eficazmente regada por un pantano, puesto que es en los años malos que son más necesarios; con todo, exponemos que si se da suficiente capacidad á un pantano emplazado en determinado embalse, en un año bueno regaría una mayor extensión que la que hemos señalado en estos cálculos, por más que en tales años no sería esencial para las cosechas.

#### Distribución de las aguas del río Guadalquivir con objeto de regar.

#### XI

61. Las proposiciones que hasta el día se han formulado para utilizar las aguas del Guadalquivir con el fin de regar, según nuestras noticias se apoyan principalmente en el almacenamiento del líquido en pantanos como medio de surtimiento; mas este sistema tiene dos graves inconvenientes: primero, que ningún proyecto ha sido ideado hasta ahora, que impida que el pantano se inutilice cegado por la arena, fango y demás materias que forzosamente han de entrar en el mismo. Ya hemos dicho en el párrafo 52 de esta Memoria, que el plan seguido en Egipto en el pantano de Assuan es inaplicable al Guadalquivir y sus tributarios; el segundo inconveniente se refiere á la calidad del líquido el cual, esté claro ó no, á su ingreso en el pantano, saldrá de él limpio después de depositar su cieno; pero en este caso los campos regados directamente de un pantano, recibirán agua clara, mas no el depósito fertilizador.

62. Proponemos que el principal manantial de aprovisionamiento para riegos sea el río mismo, y que los pantanos sean subsidiarios. Llamamos especialmente la atención sobre este punto. Según los cálculos hechos para el completo desarrollo de los cultivos de verano en las zonas objeto de nuestros estudios, los aforos naturales del río necesitan únicamente ser adicionados hasta cierto límite; pero los riegos de invierno deben sólo ser suplidos por el río, y esto todos los años. Los canales propuestos están destinados á extraer sus provisiones directamente del río, conduciendo sus aguas saturadas de cieno á los sembrados. Estos canales estarán provistos de pendientes y secciones transversales tales, que produzcan una velocidad de flujo suficiente para conservar las partículas de fango en suspensión, hasta que el agua se extienda sobre los campos.

Aun cuando los pantanos suplementarios están llamados á auxiliar los aforos del río durante el verano, los canales llevarán mas ó menos barro, porque el agua clara procedente del

pantano, recogerá cieno á su paso por el lecho del río, por el cual fluye en su marcha hacia los canales.

63. Describiremos ahora sucintamente los proyectos que patrocinamos para los riegos de terrenos en la vega del Guadalquivir, enumerándolos por su orden de importancia.

64. Primeramente viene el del margen izquierdo del río, desde Lora á Sevilla y tierras comprendidas en él y á orilla de las Marismas, más abajo de Sevilla; proyecto que, como hemos indicado al principio de esta Memoria, parece haber sido ya propuesto por Ingenieros españoles, quizás en más de una ocasión, en forma muy semejante á la nuestra. El proyecto (plano núm. 2) consiste en la construcción de un canal que parta á corta distancia entre la unión del Genil con el Guadalquivir, en Palma del Río, cruzando al río principal; más abajo de la cabeza del canal se emplazará una elevadora y el agua entrará en el canal por una gran compuerta que admitirá el líquido de la superficie y excluirá el inferior, que es el que arrastra el fango más pesado.

El canal habrá de hacerse como los hoy existentes en la India, para impedir se deposite el cieno en su álveo, debiendo las aguas llegar á la superficie del terreno en un punto enfrente de Lora del Río; estará situado de manera que riegue convenientemente la zona que domine. Su álveo ha de llevar á la cabecera 24 metros cúbicos por segundo, aforo bastante para regar 47.000 hectáreas de cultivos de invierno ó 24.000 de verano. El canal se construirá á lo largo del margen exterior del terreno regable hasta llegar á Sevilla, y más allá, á lo largo también del margen exterior de las Marismas, tan lejos como domine la zona á propósito para cultivarse.

65. Desde un sitio fronterizo á Alcalá del Río el canal tendrá otro lateral, á la derecha, capaz de aforar 7 m. c. por segundo. Este ramal cruzará el río mediante un acueducto ó sifón para el riego de las 18.500 hectáreas situadas á la derecha del río. Esta extensión comprende el terreno regable entre Alcalá del Río y Sevilla, el de más abajo de Sevilla á la derecha de las marismas, y aun parte de las mismas marismas susceptibles de ser cultivadas. Los canales, en cualquier parte de las citadas marismas, Sevilla abajo, se harán fuera de los límites alcanzados por las mayores crecidas registradas, á fin de que no puedan ser perjudicados por las inundaciones; tendrán además otros laterales que lleguen á la Isla Menor, á la izquierda del álveo navegable y hasta la Isla Mayor, situada entre el Brazo de la Torre y Caño de Guadiamar, á la derecha.

Estos canales secundarios acaso padezcan algo en épocas de inundaciones, pero como su sección será muy reducida el daño se remediará fácilmente y á poco coste. Precauciones especiales deberán adoptarse para impedir que las crecidas perjudiquen la primera sección del brazo derecho, desde su comienzo en el canal principal hasta la orilla derecha del Guadalquivir, puesto que estas crecidas, como aconteció en 1892, inundan el terreno sobre el cual ha de pasar el canal y alcanzan un nivel tan alto como el propuesto para el agua en el canal. Con el sistema que recomendamos, la provincia de Sevilla contará con agua suficiente para regar la más importante zona del lado derecho del río, sin necesidad de un canal que atravesase los puntos difíciles que existen en la orilla derecha del río en y más arriba de Alcalá del Río.

66. Colocando la elevadora y canal principal más abajo de la confluencia de los ríos Genil y Guadalquivir, los aforos de todos los afluentes, más allá de dicho punto, contribuirán á alimentar el canal. La total extensión del río, por encima del sitio destinado á la elevadora, es casi de 40.000 kilómetros cuadrados, es decir, el 73 por 100 de la cuenca entera, y si por otro lado se procura que el canal reciba parte de los aforos de los ríos Corbones, Guadaira y Huelva en los puntos de cruce, unos 4.000 kilómetros cuadrados más ayudarán á aumentar el caudal para regar. Los aforos del Huerna y Viar, el agua procedente de regiones menores, y las marismas, desaguando dentro del río principal (zona aproximadamente de 10.000 kilómetros cuadrados), sólo servirán para riegos locales.

67. Después de Sevilla viene Córdoba. El problema para regar los campos de esta provincia ha sido de muy difícil solución por cuanto los terrenos que pueden ser beneficiados por los riegos están situados de modo tal, á lo largo de las orillas del río, que no es materia fácil idear un proyecto para su riego que resulte económico. Como pensamos, ya lo hemos indicado, que es más preferible regar los campos, donde esto sea posible, por medio de canales alimentados desde el río, que directamente desde pantanos, con minucioso cuidado examinamos el río, más arriba de Córdoba, desde Montoro abajo, para asegurarnos de si era factible llevar á la práctica nuestro pensamiento, y encontramos que los terrenos de la orilla derecha del río ofrecen serias dificultades, tanto, que la construcción de un canal en la mencionada orilla, sólo podría verificarse mediante un costosísimo túnel, y además las vegas que ha de atravesar son numerosas y bastante profundas. Los campos, en el margen opuesto, presentan menos dificultades, pero, por desgracia, la mayor extensión de campo se halla en la orilla derecha, más abajo de Alcolea, por cuyo motivo es de todo punto necesario un acueducto, que resultaría carísimo, que lleve el agua á través del Guadalquivir. El proyecto que proponemos se ve en el Plano núm. 3. Habrá que verificar en sitio conveniente, donde exista roca, y á cosa de un kilómetro más arriba de donde el Arenoso desemboca en el río principal, una elevadora, desde la que se arrancará un canal, en la orilla izquierda, el cual irá bajo un túnel de unos tres kilómetros de largo que travesará las cumbres de las vertientes en que se halla sentado el pueblo de Pedro Abad. Después del túnel el canal seguirá, á lo largo del margen exterior de las llanuras, al borde del río; cruzará entre el Carpio y el río y continuará, paralelo al camino de hierro, por alguna distancia. Otro túnel, de un kilómetro de longitud, lo llevará á través de la colina La Siervezuela, é inmediatamente después cruzará el Guadalquivir por un acueducto y seguirá por la orilla derecha hasta Alcolea, atravesando el Guadalmellato por otro acueducto.

68. A catorce kilómetros arriba de Almodóvar, el canal se dividirá en dos brazos; el de la derecha correrá por el pie de las cuestas para regar los campos del margen derecho del río hasta Almodóvar; el de la izquierda pasará por debajo del ferrocarril, para regar las tierras de aquel lado, hasta llegar á la curva del río, cerca de Posadas, donde el Guadalquivir corre debajo de rocas escarpadas con una frente casi vertical, por las cuales no se podría conducir un canal de no construir uno de kilómetro y medio de longitud.

69. El proyectado canal de Córdoba dominará una zona de 14.400 hectáreas, á saber:

|                                                               | Hectáreas. |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| En la orilla izquierda del río á El Carpio.....               | 850        |
| En el brazo izquierdo del canal, frente á Alcolea..           | 1.900      |
| En la orilla derecha de Alcolea á Almodóvar.....              | 9.700      |
| En el brazo de la orilla izquierda, más abajo de Alcolea..... | 1.950      |
| Total.....                                                    | 14.400     |

70. El tercer proyecto (Plano 4.º) es para el riego de los llanos y terrenos de suave pendiente en ambos lados del río, más arriba y más abajo de Andújar (Jaén). Este proyecto exige la construcción de una máquina elevadora en el río Guadalimar, á dos kilómetros más arriba de su unión con el Guadalquivir. En este punto existe una peña que probablemente ofrecerá facilidades para emplazar la máquina destinada á elevar el agua. La entrada principal del canal estará en la orilla derecha, paralela al río, tan cercano á él como se pueda, sin peligro, en una distancia de unos doce kilómetros, atravesando el Guadiel en el kilómetro 15. En la estación de Mengíbar acaso convenga llevar el canal en un túnel de un kilómetro á través del terreno alto, detrás de la estación. En el kilómetro 19 el canal atravesará el Guadalquivir al margen izquierdo, utilizándose un acueducto, y

volverá á la orilla derecha por otro situado á dos kilómetros y medio de distancia. Entre los dos arrancará del canal un tercer brazo para regar los campos de la izquierda del río. El agua llegará á la superficie de las tierras antes de alcanzar este punto. Adoptando esta combinación de canales no hay necesidad de de emplazar acueductos para cruzar el Guadalquivir en su punto de unión con el Guadalimar, encima del Guadalbullón y el Rumblar, obras que habrían que ejecutarse si canales á derecha é izquierda partieran desde más arriba de la elevadora para regar los campos de ambos lados del río; es decir: este proyecto, provee para el riego de ambos, empleándose dos grandes acueductos, en lugar de tres que serían necesarios con cualquier otro proyecto. Un túnel de un kilómetro de longitud será preciso para conducir el brazo derecho por las «Terreras Altas» algo más abajo de Villanueva de la Reina.

71. La extensión que dependerá de este sistema de canalización es de 8.300 hectáreas, según apuntamos (párrafo 35); dos terceras partes se cosecharán en invierno y la otra en verano. El canal principal, desde su comienzo al arranque del brazo izquierdo, transportará, por lo tanto,  $2\frac{3}{4}$  m. c. por segundo para regar 5.500 hectáreas de sembrados de invierno y 2.750 de verano. El aforo queda reducido á  $1\frac{3}{4}$  m. c. más abajo de la toma del brazo izquierdo, pues éste conducirá solamente un m. c. por segundo. Los terrenos más arriba y más abajo de Andújar, á la derecha del río, se dividirán por pequeñas depresiones de desagüe; distribuidores, desde el canal principal, alineados entre dichos desagües, efectuarán convenientemente los riegos.

#### Provisión de agua para los tres proyectos.

### XII

72. Volvemos ahora á tratar de cómo se podrá tener el agua para hacer frente á los tres proyectos de Andújar, Córdoba y Sevilla. El canal de Andújar está ideado para extraer su provisión del Guadalimar. No existen antecedentes en Córdoba de los aforos de este río, pero si estados de aforos de once años del Guadalquivir; en Menjíbar, pueblo situado siete kilómetros por bajo de la máquina elevadora propuesta en el Guadalimar, desde la que los canales de Andújar recibirían su caudal; y es fácil calcular el aforo aproximado del repetido río teniendo á la vista los datos conocidos de los aforos en Menjíbar.

73. La extensión total de la cuenca más arriba de esta localidad (mapa núm. 1), es de 15.216 kilómetros cuadrados y la cuenca del Guadalquivir de 4.888; de manera que el aforo de este río puede estimarse en una tercera parte de el del Guadalquivir, en Menjíbar. El Apéndice E es un compendio de los aforos en el repetido pueblo, según el cual, se ve que el menor aforo diario en cualquiera quincena, durante la época de las sementeras de invierno, es de 14 metros cúbicos por segundo, y en las de verano de 4; sabiendo esto, se puede calcular que el volumen aprovechable del Guadalimar, en un año malo, para surtir los canales de Andújar, no será inferior á 4,6 metros cúbicos por segundo en invierno, y de 1,3 en verano; esta cantidad es muy suficiente para la primera de las citadas estaciones, puesto que 2,75 metros cúbicos bastan, pero no sucede lo mismo tratándose del verano en que se necesita igual volumen; así es que había que construir un pantano en el Guadalimar para suplir la deficiencia.

74. El bloque de Córdoba recibirá el agua de un canal que parta de una elevadora situada más abajo de Montoro. El aforo que pasa por aquel punto, puede deducirse de los estados de Menjíbar. La extensión de la cuenca del Guadalquivir (Montoro arriba) es de 20.672 kilómetros cuadrados, y de Menjíbar arriba de 15.216; por consiguiente, el aforo en Montoro será de  $2\frac{2}{3}$ , y cerca de  $1\frac{1}{2}$ , el de Menjíbar. El aforo mínimo durante quince días en esta última localidad, en invierno, es de 14 metros cúbicos, de modo que 19 ó 20 metros cúbicos pasarán por Montoro en un año malo; de esta cantidad 3 metros cúbicos serán para el bloque de

Andújar y los 16 ó 17 restantes para el de Córdoba; en el verano el aforo mínimo en Montoro puede estimarse en ( $1\frac{1}{2}$  veces 4) unos 5 metros cúbicos en años malos.

Los dos bloques de Andújar y Córdoba exigen 7,75 metros cúbicos, y por lo tanto, habrá que construir pantanos en uno ó varios puntos más arriba de Montoro, con el fin de suplir la falta de agua fluvial en verano.

75. En lo relativo á Sevilla, hay que tener en consideración los aforos en Cantillana, pueblo situado más abajo de Peñafior, que se halla próximo á las obras más importantes del canal proyectado para el bloque de Sevilla. Entre Peñafior y Cantillana, una extensión de 3.572 kilómetros cuadrados, desaguará en el río, y el líquido procedente de esta cuenca bajará por el río al mar; pero existe otra extensión de cuenca de 4.448 kilómetros cuadrados que corresponde á los tres ríos Corbones, Guadaira y Huelva, desde los cuales recomendamos se establezcan canales que ayuden á alimentar á los principales. Como la extensión en que desaguar estos ríos es mayor que los arroyos que van al Guadalquivir, entre Peñafior y Cantillana, la provisión de agua para los canales será casi idéntica á la que consta pasa por Cantillana.

76. En el párrafo 40 y Apéndice C de esta Memoria, hemos demostrado que el volumen mínimo que pesa por Cantillana, en cualquier período de quince días de invierno de un año malo, es de 35 metros cúbicos por segundo, que quedarían reducidos á 27 por el volumen sustraído del río en aquella época por los canales para los bloques de Andújar y Córdoba. El volumen necesario para Sevilla es de 24 metros cúbicos, así es, que en el invierno el agua del río basta, más para el verano no es igual (veáanse párrafos 43 y 44) y añadimos, que pantanos hasta cierto punto, serán necesarios para los bloques de Andújar y Córdoba, y en mayor escala para el de Sevilla.

#### Efectos de estos proyectos en molinos, saltos de agua y en la navegación, Sevilla abajo.

### XIII

77. Si se llevan á cabo nuestros proyectos, algo, muy poco, padecerá el funcionamiento de los molinos enclavados á lo largo del Guadalquivir; todos los situados más allá de la elevadora del canal de Sevilla, al contrario, mejorarán; sólo los que se encuentran más abajo de ella, desde Peñafior á Sevilla, sufrirán. Debido á la construcción de los pantanos para aumentar el aforo del río, los molinos de Peñafior arriba contarán con un caudal de agua más permanente y en verano más abundante; los otros, ó sean los de Peñafior abajo, padecerían, porque la cantidad de agua será menor que actualmente; de todos modos, somos de opinión que el beneficio que reciban unos será bastante mayor que el daño que se infiera á los otros. Las obras que habrán de emprenderse en los canales de Córdoba y Sevilla exigen la construcción de declives para llevar el agua á un nivel conveniente, con objeto de conducirla á través del río, cerca de Almodóvar y de Alcalá, respectivamente. Las vertientes de Almodóvar proporcionarán un aumento de 40 metros, siendo el aforo de un metro cúbico por segundo, y las de Alcalá de 10 metros y un aforo de seis metros cúbicos. El agua de estas caídas sumará una fuerza de 1.300 caballos, poder que se podrá disminuir y resultará una importante fuente de ingresos. Ignoramos el actual valor de esta fuerza; pero consta en la página 115 de la obra «Irrigation in Southern Europe», de Moncrieff, que se propuso arrendar esta fuerza motriz en el canal de Henares, á razón de 10 libras (250 pesetas) por poder de caballo y año; si éste es su precio, representará un ingreso anual de 13.000 libras (325.000 pesetas).

78. Con el Ingeniero Jefe del puerto de Sevilla tratamos prolijamente, acerca de si la reducción de las aguas del Guadalquivir afectaría nocivamente á la navegación, y su opinión fué

que no habría en ella lugar á perjuicio alguno y que con la amioración de los aforos se mejorarían sus condiciones; abrigamos la misma convicción.

#### Riego de los campos próximos á Palma del Río.

#### XIV

79. Los proyectos bosquejados en este informe no hablan de las dos comarcas que se encuentran en ambas orillas del Genil, cerca de Palma del Río, cuya parte superior comprende 3.300 hectáreas y se extiende desde la Peña, más abajo de Posadas hasta el Genil, y la parte inferior 3.000 hectáreas, situadas entre el Genil y el punto casi enfrente de Lora del Río, en que las aguas del canal de Sevilla han de regar primeramente los campos. El proyecto del pantano del Guadalquivir, de que trataremos más adelante, se supone que servirá para regar el precitado bloque de 3.300 hectáreas, haciendo que el canal del margen izquierdo continúe en un túnel á través de la colina de obstrucción.

No hemos querido incluir este túnel en nuestro proyecto, debido á lo costoso que resultaría, no sólo sería caro, sino que exigiría que se aumentaran las dimensiones del canal y de sus registros desde el comienzo, para que pudiera pasar el aforo adicional necesario para estos terrenos.

Hay, á nuestro entender, dos medios practicables para atender al riego de las 6.300 hectáreas antes mencionadas; el primero consiste en prolongar el canal *cordobés* de la orilla izquierda en un túnel á través de la colina detrás de la Peña de Posadas, y continuando hasta los campos del otro lado del Genil, que cruzaría por un acueducto; el segundo medio es construyendo una elevadora en sitio adecuado del río, alimentando los canales que habían de regar los terrenos en ambas orillas del Genil, desde más arriba de la elevadora. Examinamos detenidamente este río en una extensión de unos 20 kilómetros más allá de su embocadura, y sacamos en conclusión que tal proyecto es realizable; pero que un túnel, por lo menos, es preciso, como igualmente uno ó más acueductos, y aquí y allá profundas cortaduras. El coste de lo proyectado pudiera resultar demasiado oneroso, dada la extensión de la zona regable; lo idéntico decimos del otro proyecto. Proponemos que si lleva á efecto la construcción del canal de Córdoba se tenga en cuenta los dos proyectos relativos á los de Palma del Río, y se estudie cuál de ellos ofrece mayores ventajas; si se escoge el de la prolongación de los canales de Córdoba, las obras desde su principio abajo deben ser calculadas para conducir un aumento de aforo de 2 metros cúbicos sobre el señalado en el proyecto ya descrito.

#### Observaciones acerca del proyecto de pantano del Guadalquivir.

#### XV

80. Entendemos, sin embargo, que ha sido aprobado el proyecto contenido en un folleto de D. Antonio Rivas Mantilla para el riego de las tierras de la provincia de Córdoba; dicho proyecto aconseja la construcción de un pantano en el Guadalquivir, el cual, con la ayuda de un arroyo próximo, dice, regará 17.552 hectáreas de terreno situado entre Alcolea y Palma del Río, en ambas orillas del Guadalquivir. (Para otros detalles véase el mencionado folleto.) Á algunas de las aseveraciones que encierra el mismo exponemos: que, según el Apéndice H de esta Memoria, el Guadiana menor, con una cuenca de 7 ó 24 kilómetros cuadrados, y el Guadalquivir, con otra de 4.884, han, en ciertos años solamente, dado un aprovechamiento de 35, 45 ó 48 milímetros de las lluvias caídas; es más, el Guadalquivir ha proporcionado en distintos puntos, únicamente 51, 54 y 56 milímetros desde su cuenca; esto en los primeros años.

No hay que echar en olvido que en los años malos es cuando el agua es más necesaria; quizá la cuenca del Guadalquivir pueda ofrecer mejor resultado que el que acabamos de citar, pero no hay certeza para ello. Suponiendo que un aprovechamiento

de 60 milímetros, en profundidad, se obtiene desde la cuenca, el Guadalquivir (1.200 kilómetros cuadrados) en un año malo, sólo daría 72 millones de m. c.; esta cantidad, deduciendo la que se desperdiciaría por evaporación, etc., sólo basta para regar 8.000 hectáreas, por cuyo motivo no creemos que el proyecto de pantano del Guadalquivir sea tan eficaz como construyendo un canal que arrancara directamente del río, lo cual sería mucho más seguro y llevaría á los campos fango fertilizador en vez de agua clara. Somos de opinión que este último proyecto dará mejores resultados, aunque cueste algo más por hectárea, que el del pantano.

81. El completo desarrollo de los planes de riegos propuestos en esta Memoria, como hemos indicado en el párrafo 44, exige la construcción de embalses capaces de almacenar 200 millones de metros cúbicos.

En el folleto á que antes nos hemos referido hay un párrafo que dice:

«La misma naturaleza del terreno, su constitución geológica, su dureza é impermeabilidad, es una garantía del éxito de la obra, en la cual no serán de temer los aterramientos. Las condiciones en que ha de establecerse el pantano permiten mantener la corriente en curso permanente y verificar, con facilidad las limpiezas, en caso necesario».

Si esto es cierto, el pantano proyectado será una poderosa ayuda para el total desenvolvimiento de nuestra idea, puesto que contribuirá con 60 ó 70 millones de m. c. de agua almacenada de los 200 millones necesarios. En apoyo de lo expuesto manifestamos por nuestra cuenta, que el día 12 de Abril, fecha en que el Guadalquivir arrastró una gran cantidad de cieno, el agua del Guadalquivir era completamente clara.

82. La cuenca del Guadiato es de la misma naturaleza que la del Guadalquivir, por lo que el primero de los citados ríos ofrece favorables condiciones para la construcción de un segundo pantano. Juzgando por los planos de curvas, existe un sitio muy á propósito para la presa, en Puente Nuevo, algo más arriba de donde cruza la curva 400, al Este de Villaviciosa. La cuenca del Guadiato, por encima de este punto, es de 1.000 kilómetros cuadrados; será muy conveniente construir en el mismo un pantano capaz de contener 60 millones de m. c.

83. Pantanos edificadas en estos dos ríos proporcionarán 120 millones de m. c. de los 200 que exigen los tres proyectos contenidos en este informe. Poco importa los sitios en que se han de emplazar, siempre que el volumen de lo embalsado, necesario para las zonas de Andújar y Córdoba, se halle en uno ó varios puntos por encima de las cabezas de los canales propuestos para esas localidades; con todo, conviene construir numerosos pequeños pantanos en lugar de unos cuantos grandes, porque así se asegura más y se aumenta la provisión de agua; las lluvias podrán faltar en un afluente, pero no en todos. No hay dificultad alguna en encontrar sitios adecuados para establecer pequeños pantanos en diferentes puntos de la gran cuenca del Guadalquivir, emplazamientos que ya han sido indicados varias veces por distintos Ingenieros. Estos pantanos, además de ayudar á los tres canales principales, probablemente serán útiles para las necesidades locales de los pueblos construídos al lado de los ríos respectivos. Si las extensiones de las cuencas son suficientes, en cada caso, es mejor colocar los pantanos lo más alto posibles, en los afluentes, pues el terreno ocupado por ellos valdría menos.

#### Las Marismas más abajo de Sevilla.

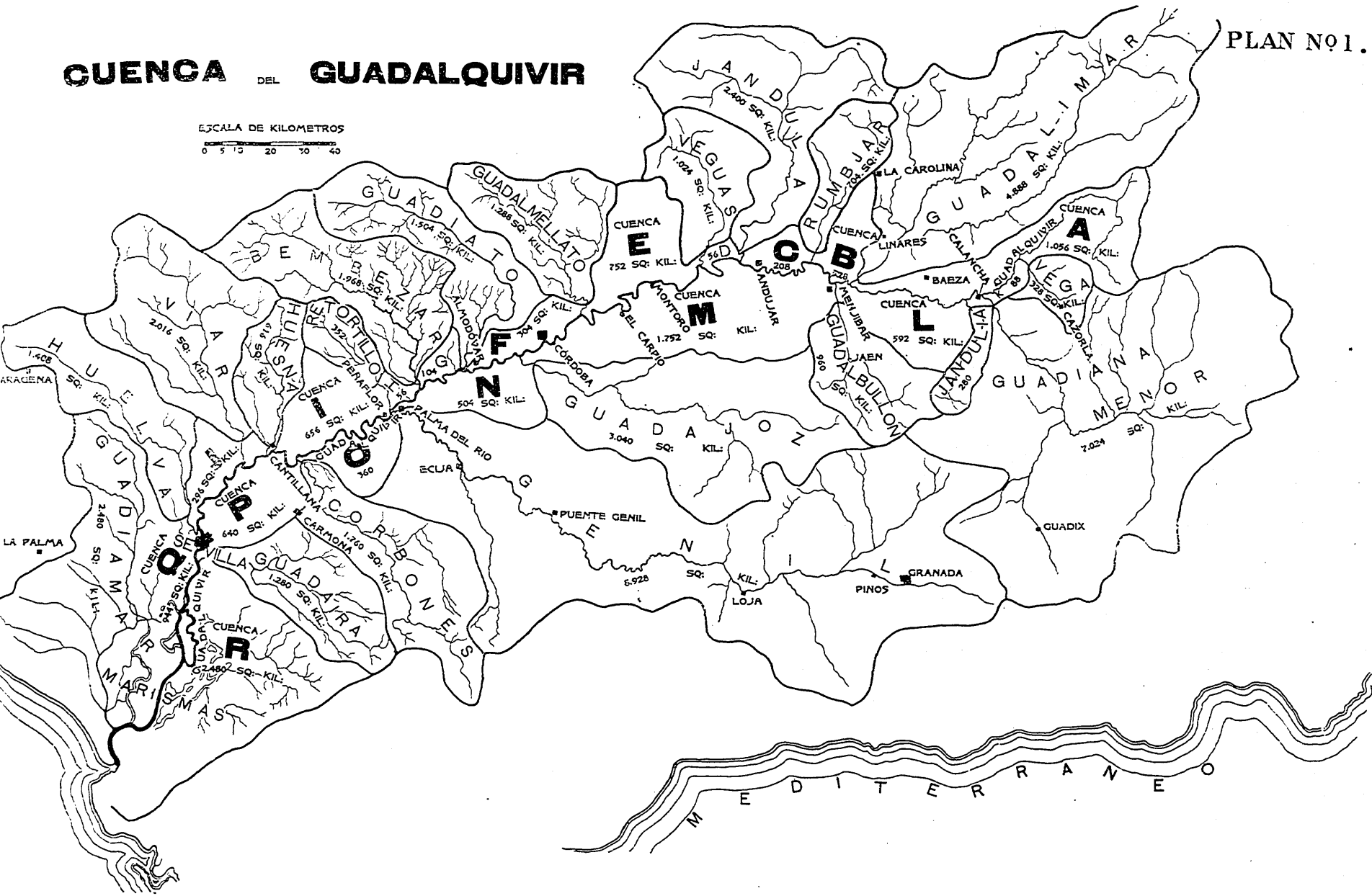
#### XVI

84. Hay otro dato relacionado con el posible desenvolvimiento de los cultivos de Andalucía que para el porvenir merece tenerse en cuenta.

Hemos incluido en nuestro proyecto, respecto á Sevilla, únicamente aquellas partes de las Marismas que se cultivan en la actualidad, pero existe otra considerable proporción de ellas que puede ser reformada y cultivada; estos terrenos que se encuen-

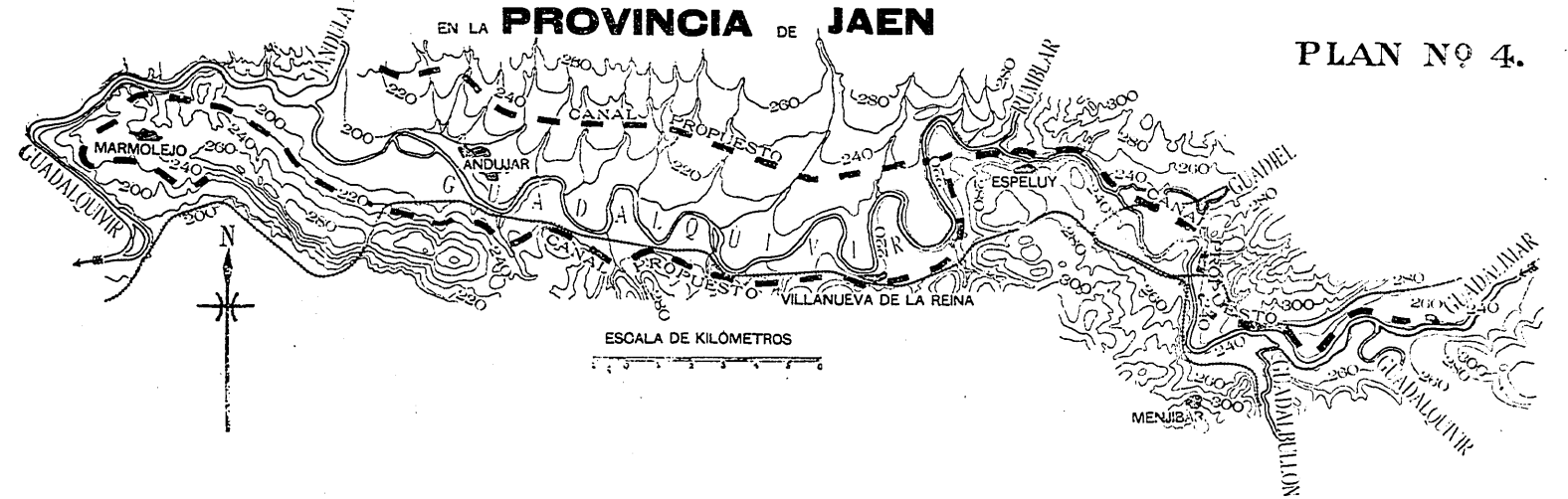
# GUENCA DEL GUADALQUIVIR

PLAN N<sup>o</sup> 1.



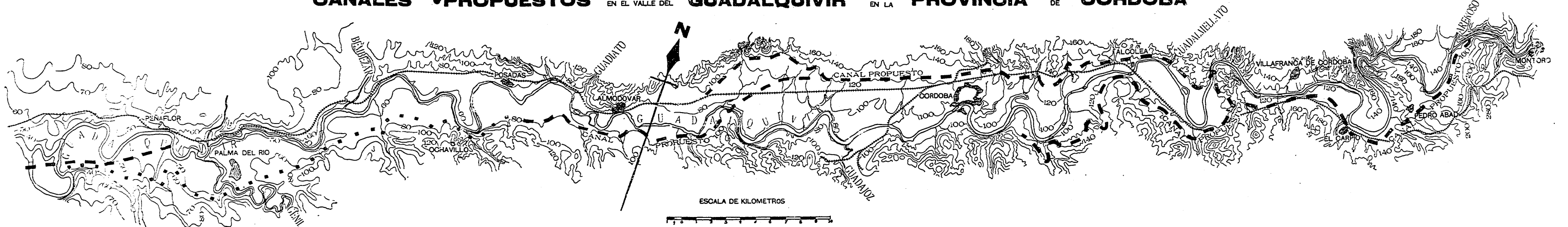
# CANALES PROPUESTOS EN EL VALLE DEL GUADALQUIVIR

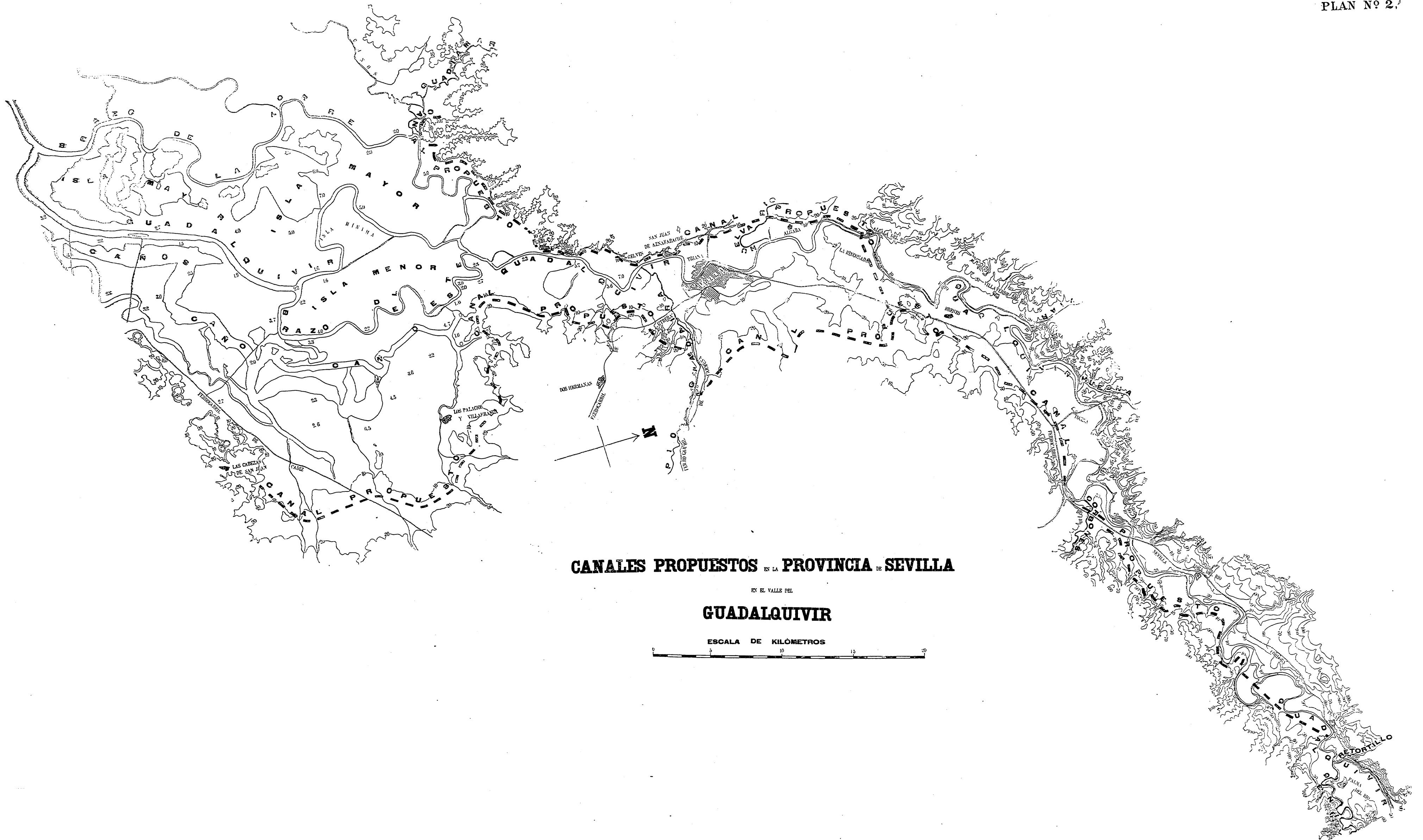
### PLAN N<sup>o</sup> 4.



# CANALES • PROPUESTOS EN EL VALLE DEL GUADALQUIVIR EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

### PLAN N° 3.





tran sobre el nivel de baja marea, son susceptibles de mejoras, sin acudir á la ayuda de bombas.

Presentamos las siguientes observaciones como antecedentes para el futuro, pues el momento aún no ha llegado para proponer proyectos; sin embargo recomendamos que las tierras incultas de las marismas sean modificadas, aplicando á las mismas el sistema egipcio, ó sea, circundando los terrenos por terraplenes que impidan la llegada de las inundaciones del río. En el punto más bajo habrá un escape como término de un sistema de desagüe, que aforará agua desde la región cercada, en época de baja marea; se justará con puertas automáticas, con el fin de permitir la libre salida del agua é impedir toda entrada en tiempo de mareas altas ó de crecidas. En los meses de Octubre y Noviembre, que es cuando hay exceso de agua en el río no utilizada por la serie de canales, las tierras circundadas ó cuencas se llenaran de agua y toda la superficie se inundará, habiéndonos, como es lógico, cerrado el escape por medio de algún aparato regulador. Después de que el suelo esté completamente anegado, el agua que sobre se conducirá fuera y se sembrará el terreno de cereales, siendo muy probable que se necesite más riego. Para inundar éstos y regarlos, si es preciso, habrá que ó ensanchar los canales de Sevilla con objeto de perforar esta extra distribución, ó idear un proyecto independiente de canales. Cuando llegue la ocasión de reformar las tierras incultas de las marismas se podrá estudiar el mejor medio para proporcionarlas el agua sobrante; hoy sería prematuro hacerlo.

Cálculo del coste de los tres proyectos.

XVII

85. El coste exacto á que ascenderán las obras que proponemos, no es posible asegurarlo con certeza sin ulteriores estudios; hemos calculado el probable gasto de ejecución tomando como base los datos facilitados por la Oficina de Obras públicas de Córdoba. El conocimiento de los terrenos que han de cruzar los canales lo adquirimos inspeccionándolos personalmente y por los planos de curvas que pusieron á nuestra disposición. El coste calculado de cada proyecto es anotado separadamente en el cuadro que va á continuación; al de los canales en la vega del río hemos añadido el de la construcción de pantanos. Del estudio del coste de los que actualmente existen deducimos que el desembolso que exigen los embalses asciende á 100.000 pesetas por cada millón de metros cúbicos almacenados. En el párrafo 44 de esta Memoria hemos dicho que un abastecimiento de 200 millones de metros cúbicos, es necesario como adición á los aforos del río, si se ha de atender cumplidamente al riego de 100.000 hectáreas; esto representa un desembolso de 20 millones de pesetas, á lo que es igual, 200 pesetas por hectárea.

El estado que sigue da á conocer el gasto calculado de los tres proyectos, excepción hecha del de pantanos, que es de unos 39 millones de pesetas, y si incluimos este último de 58 millones.

Cuadro demostrativo del coste de los tres proyectos.

| CLASE DE OBRAS                             | Andújar.  | Córdoba.   | Sevilla.   | TOTALES    |
|--------------------------------------------|-----------|------------|------------|------------|
|                                            | Pesetas.  | Pesetas.   | Pesetas.   | Pesetas.   |
| Obras principales.....                     | 691.000   | 560.000    | 2.420.000  | "          |
| Canales (1).....                           | 4.212.000 | 7.550.200  | 8.611.000  | "          |
| Distribuidores.....                        | 582.000   | 1.008.000  | 4.956.000  | "          |
| Desagüe menor.....                         | 58.000    | 100.900    | 495.600    | "          |
| Totales.....                               | 5.543.000 | 9.216.000  | 16.482.600 | 31.244.600 |
| Contingencias 25 por 100                   | 1.385.750 | 2.304.750  | 4.120.650  | 7.811.150  |
| Totales excluyendo pantanos.               | 6.928.750 | 11.523.750 | 20.603.250 | 39.055.750 |
| Gasto adicional para obras de embalse..... | 1.660.000 | 2.280.000  | 14.160.000 | 18.700.000 |
| Totales incluyendo pantanos..              | 8.588.750 | 14.403.750 | 34.763.250 | 57.755.750 |

(1) Comprende los cruces de desagüe en los canales.

| EXTENSIÓN REGABLE                             | 8.300                       | 14.400                      | 70.800                      | 93.500                      |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                               | hectáreas.<br>—<br>Pesetas. | hectáreas.<br>—<br>Pesetas. | hectáreas.<br>—<br>Pesetas. | hectáreas.<br>—<br>Pesetas. |
| Precio, por hectárea, excluyendo pantanos.... | 835                         | 800                         | 291                         | 417                         |
| Precio, por hectárea, incluyendo pantanos.... | 1.035                       | 1.000                       | 491                         | 617                         |

Resultados financieros.

XVIII

86. La cuestión de si los cultivadores querrán agua, si la han de pagar, es de capital importancia, tratándose de proyectos de riegos. En la India hubo un caso en que se construyeron canales con objeto de regar determinadas sementeras, y los labradores se negaron á utilizar el agua para las mismas; sin embargo, no es común que la gente rehuse hacer uso de ella, aun cuando les cueste dinero.

En España, por regla general, las lluvias bastan para las necesidades de las cosechas de invierno. Un año tan funesto para los labradores, como el de 1903, es excepcional, y ocurre muy de tarde en tarde, por cuyo motivo es muy posible que el labriego, mejor que satisfacer una cuota por el agua, prefiera confiar en la Providencia y en las lluvias. Mencionaremos lo que sucede en Egipto: Antes de que se construyera la presa de Assuan, existía una vasta extensión de terreno que se regaba por el sistema llamado de «cuenca», es decir, aprovechando las crecidas del Nilo para anegar el citado terreno, el cual fué sembrado de habas y alfalfa con éxito. Á consecuencia de haberse mejorado el funcionamiento de dicho sistema, diez ó doce años antes de la presa de Assuan, los referidos terrenos no sólo contaron con su inundación anual; si que también con el fango fertilizador que arrastraban las aguas cenagosas del río, y á pesar de todo esto, resulta más provechoso, tanto para el Gobierno como para los terratenientes, la presa de Assuan. El valor de la tierra antes de existir este pantano, era de 1.250 pesetas la hectárea, hoy es de 3.075, siendo casi seguro que alcanzará el de 5.000 pesetas, pues continúan los trabajos y propaganda con resultados altamente satisfactorios para el Tesoro y los labradores, como lo demuestran las luminosas Memorias de Lord Cromer.

87. La germinación de lo sembrado en invierno depende de las lluvias; éstas á veces faltan, y por otra parte no dejan tras sí depósito fertilizador alguno en la tierra humedecida, como sucede con las crecidas del Nilo, por lo tanto, en lo relativo á las cosechas de invierno; el suelo andaluz se halla en peores condiciones que el egipcio se encontraba antes de que recibieran los riegos periódicos; si éstos han sido provechosos en Egipto, es de suponer, lógicamente hablando, que lo mismo acontecerá en España, cuyo suelo, hasta cierto punto, es de mejores condiciones que fué el de Egipto, antes de contar con el pantano de Assuan.

88. Esta conclusión es categórica, pero no es tarea fácil señalar en números los beneficios que arrojarán estos proyectos de canalización en caso de que se lleven á efecto. En un documento leído el año 1868 por Mr. G. Higgins en el instituto de Ingenieros civiles, sobre «Riegos en España», época en que terminaron las obras de los canales de Henares y Esla, se hizo constar que, por regla general, en toda España, las tierras buenas de secano, en las vegas se adquirirían á un precio que oscilaría entre 150 á 250 pesetas y las de regadio entre 2.000 y 3.000 pesetas por acre (1). Copias registradas de ventas verificadas en Castellón formaron parte de los testimonios en que se basó esta

(1) Dos acres y medio constituyen una hectárea. — (Nota del traductor.)

aseveración, que data de treinta y ocho años, en cuya fecha podía ser verídica, y, sin embargo, no ser así hoy día, por lo que tratamos de indagar cuál es el valor relativo en la actualidad de los terrenos de secano y de regadío, y supimos que precio corriente de tierra cultivada sin riego es de 750 pesetas la fanega, 1.250 la hectárea, lo mismo que el terreno de «cuencas» (bazin), en Egipto.

En otra localidad se nos dijo que el valor (término medio) de las tierras de secano que producen trigo, era de 750 pesetas hectárea, y que si se regara valdría 2.250, ó sea tres veces más. Se nos aseguró igualmente, que aun en años de lluvias abundantes los campos regados producirían un 300 ó 400 más que los de secano. Los Sres. Molini y Vázquez, de Sevilla, nos manifestaron que las tierras de *pan lleoar* de secano producen por cada hectárea, una cosecha valuada en 180 pesetas; que si las mismas se regaban con regularidad, rendirían 400 pesetas ó quizás más; si las dos siembras, la de invierno y la de verano, contarán con agua segura, la hectárea valdría, por lo menos, 600 pesetas. Teniendo en cuenta nuestra propia experiencia, estudios hechos en otros países y antecedentes adquiridos referentes á las provincias andaluzas, podemos afirmar, y afirmamos, que con riegos periódicos el valor del terreno laborable, enclavado en la vega del Guadalquivir y sus afluentes, aumentará y lo mismo sus productos, al principio, en un 150 por 100 y cuando el desenvolvimiento sea completo no será inferior al de 200 por 100.

89. Aplicando estas conclusiones al caso de los proyectos comprendidos en esta Memoria, y haciendo uso de la cifra más baja, de 150 por 100, el resultado financiero será el siguiente:

| PROYECTO | Zona regable. | Valor del terreno.                      |                                                   | Aumento de valor. | Coste calculado de todo el proyecto con pantanos. |
|----------|---------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------|
|          |               | Valor actual, á 1.250 pesetas hectárea. | Valor al ser regado, á 3.125 pesetas la hectárea. |                   |                                                   |
|          | Hectáreas.    | Pesetas.                                | Pesetas.                                          | Pesetas.          | Pesetas.                                          |
| Andújar. | 8.300         | 10.375.000                              | 25.937.500                                        | 15.562.500        | 8.588.750                                         |
| Córdoba. | 14.400        | 18.000.000                              | 45.000.000                                        | 27.000.000        | 14.403.750                                        |
| Sevilla. | 70.800        | 88.500.000                              | 221.250.000                                       | 132.750.000       | 34.763.250                                        |
| Total..  | 93.500        | 116.875.000                             | 292.187.500                                       | 175.312.500       | 57.755.750                                        |

| PROYECTO     | Zona regable. | Valor de las cosechas.                               |                                                          | Aumento en valor. |
|--------------|---------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------|
|              |               | Actual valor de rendimiento, á 200 pesetas hectárea. | Valor de rendimiento si regadas, á 600 pesetas hectárea. |                   |
|              | Hectáreas     | Pesetas.                                             | Pesetas.                                                 | Pesetas.          |
| Andújar..... | 8.300         | 1.660.000                                            | 4.980.000                                                | 3.320.000         |
| Córdoba..... | 14.400        | 2.880.000                                            | 8.640.000                                                | 5.760.000         |
| Sevilla..... | 70.800        | 14.160.000                                           | 42.480.000                                               | 28.320.000        |
| Total .....  | 93.500        | 18.700.000                                           | 56.100.000                                               | 37.400.000        |

90. Estas cifras parecen justificar la ejecución de los proyectos propuestos; de éstos, el más ventajoso es el de los canales ideados para regar la zona situada en el margen izquierdo del río, en la provincia de Sevilla, debido á que la extensión regable es grande y á que la naturaleza de la comarca es sumamente fa-

vorable para la construcción de canales; por consiguiente, aconsejamos que este proyecto sea el primero que se lleve á cabo. Al efectuarse estas obras, ó parte de ellas sucesivamente, la experiencia servirá de nosma para las ulteriores. Aconsejamos que se hagan por el orden siguiente:

- (1) Canales de Sevilla, en la orilla izquierda del río.
- (2) Canal de Córdoba hasta Almodóvar y el brazo izquierdo superior.
- (3) Canales de Andújar.
- (4) Ídem de Sevilla, en la orilla derecha del río.
- (5) Prolongación del canal de Córdoba hasta los terrenos del margen izquierdo del río, frente á Posadas.

91. En tanto se lleve á efecto la ejecución de estos proyectos, la cuestión del mejor emplazamiento para los pantanos puede ser estudiada y prepararse los proyectos para los mismos; también convendrá sean construidos en un programa progresivo, simultáneamente, ó algo más tarde que los canales, puesto que estos últimos, aun sin pantanos, prestarán grandes beneficios. Los aforos naturales del río, sin ayuda de embalses, bastarán para la estación de invierno y en la de verano podrán regar más de 20.000 hectáreas, en ocho años de cada once, como prueban los estados de aforos existentes en la Oficina de Córdoba (1). Además, tan sólo en años malos, se utilizará todo el volumen de 200 millones de metros cúbicos embalsados; por lo tanto, los pantanos, al principio, no son esenciales, pero deben irse construyendo uno á uno y hasta donde la experiencia demuestre sean necesarios.—Firmado: R. B. Buckley.—Hanbury Brown.

Londres 9 de Junio de 1906 (2).

En el ferrocarril del Missouri, Kansas and Texas Ry, se han hecho recientemente las pruebas de un carruaje con motor de gasolina, proyectado por Messrs. Hugh Mathews y W. F. Davis. El motor y los mecanismos fueron construidos en los talleres de Mr. Hugh Mathews, Kansas City, Mo., y el carruaje en los talleres de Parsons, Kan. El coche va montado sobre dos carretones de cuatro ruedas, en uno de los cuales va el motor, que actúa únicamente sobre uno de los ejes del carretón. El motor, que desarrolla una potencia de 170 caballos, consta de ocho cilindros horizontales, sin ningún mecanismo para variar la velocidad, la que se gradúa únicamente con el aparato de admisión. El motor pone en movimiento un árbol sobre el que van grandes ruedas dentadas unidas con bielas á las ruedas posteriores del carretón. Estas ruedas dentadas engranan, además, con un piñón unido al árbol con álabes de la válvula de admisión. Hay, además, un pequeño compresor de aire para los frenos y tanques para gasolina, agua y aire comprimido. El coche tiene una longitud de 18 metros y pesa 34 toneladas. En la actualidad se está construyendo un carretón motor de seis ruedas con una máquina de 800 caballos.—H.

## DIQUES SECOS DE CARENA

Casi todas las diversas ramas de la ingeniería están tan íntimamente ligadas entre sí, que no es posible considerar una de ellas sin que necesariamente haya que tener en cuenta algunas de las otras. La tendencia que hoy se advierte en la construcción naval es una confirmación de la verdad de este aserto. Los barcos se construyen cada día de mayores dimensiones y de mayor calado, de modo que se hace preciso aumentar también las dimensiones de los puertos, la profundidad y el ancho de los canales de navegación, las proporciones de los diques de carena, etc.

Esta última cuestión, la construcción de los diques secos de carena para los modernos barcos mercantes, constituye el tema

(1) Véase párrafo 41 de esta Memoria.

(2) En el número próximo publicaremos los Anejos.