

PLANEACION, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CANALES PARA FINES DE IRRIGACION

POR EL ING. JOSE GOMEZ GARCIA

DEL DEPTO. DE PROYECTOS DE LA C. N. I.

(Conferencia sustentada por el autor el 15 de enero de 1944, en el local que ocupa la Oficina de Nuevos Centros de Población Agrícola del Departamento Agrario).

El tema que voy a tratar se refiere a canales para obras de irrigación, pues hay canales destinados a otros fines, tales como los de navegación, que tendrían aplicación, especialmente en los Estados del sureste, Tabasco y Campeche, cuya construcción sería de gran importancia para el desarrollo de nuestra República.

Entre los canales de navegación, en el extranjero, podemos citar los de comunicación interoceánica, tales como el Canal de Panamá y el Canal de Suez. El Canal de Panamá, por tener que elevar a cierta altura las embarcaciones, está dotado de un dispositivo de esclusas. Asimismo, podemos citar el Canal de Corinto, en Grecia, y el Canal de Kiel, en Alemania, que comunica al Báltico con el Mar del Norte, cuyos fines son militares.

Antes de tratar de los canales para riego, diremos que hay canales que se emplean para desviar el agua de sus cursos naturales y obtener caídas destinadas a aprovechamientos hidroeléctricos, o bien para abastecer de agua a poblaciones.

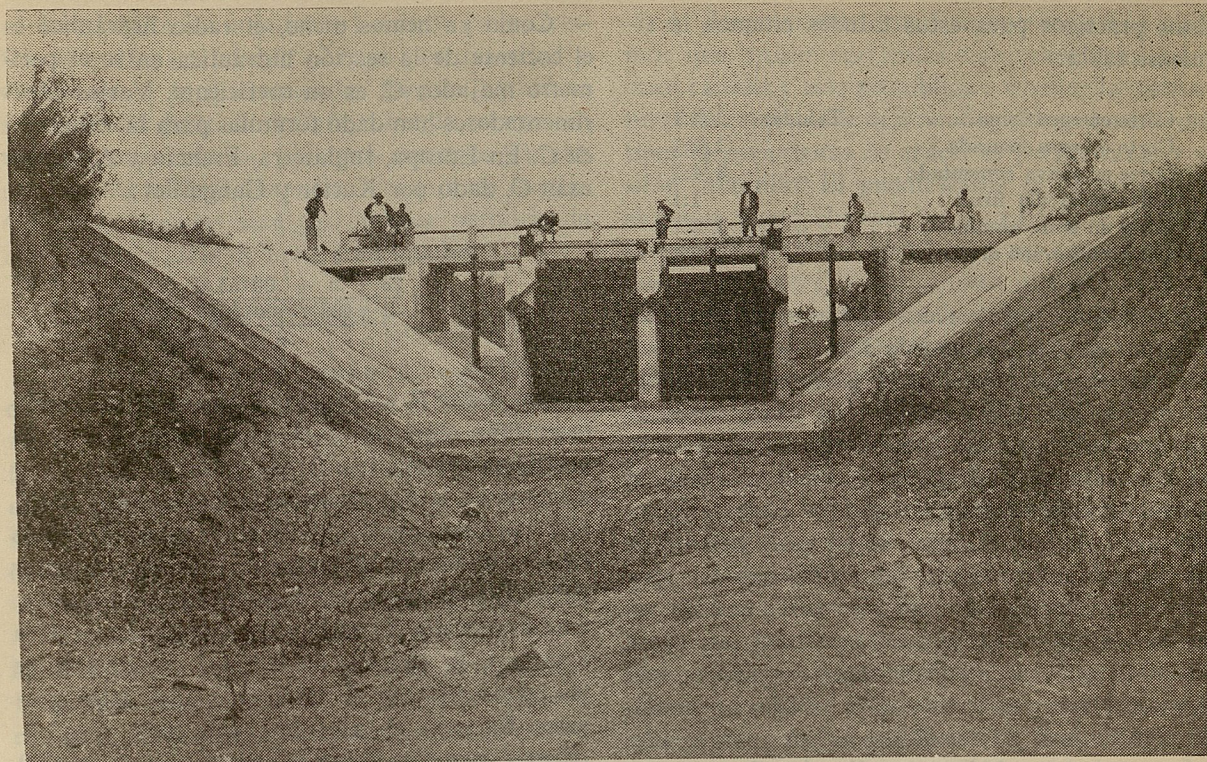
En el caso que nos ocupa, o sea los canales para fines de irrigación, los hay de enormes dimensiones, tales como el All-American, en los Estados Unidos, que existe cerca de la frontera entre las dos Californias.

Para planear una red de canales, debemos contar con planos topográficos, agronómicos e informaciones geológicas de la región. Con el plano topográfico podemos indicar, aproximadamente, el curso del canal, siguiendo las laderas del valle con una pendiente gobernadora; en canales de tierra, aproximadamente, la pendiente varía de 10 a 50

centímetros por kilómetro. Para el estudio de cualquier línea llevamos una poligonal preliminar, en la cual apoyamos el levantamiento de la zona contigua a ella, ya sea por secciones transversales tomadas a una equidistancia dada sobre la línea, o bien, tomando las secciones donde los accidentes del terreno nos lo indiquen. Cuando el terreno es muy plano, basta tomar la configuración por el método de estadia, tomando tanto los ángulos horizontales como los verticales. Una vez en posesión de la topografía del terreno, en el gabinete estudiamos la localización de la línea del canal, uniéndolo los alineamientos rectos con curvas, generalmente circulares; úsanse curvas espirales de transición para unir los tramos en tangente con las curvas circulares. Un estudio de curvas espirales de transición, cuyo autor es el señor ingeniero don Carlos Ramírez Ulloa, actual Vocal Ejecutivo de la Comisión Federal de la Electricidad, se publicó en uno de los números de la Revista IRRIGACION EN MEXICO, el año de 1931.

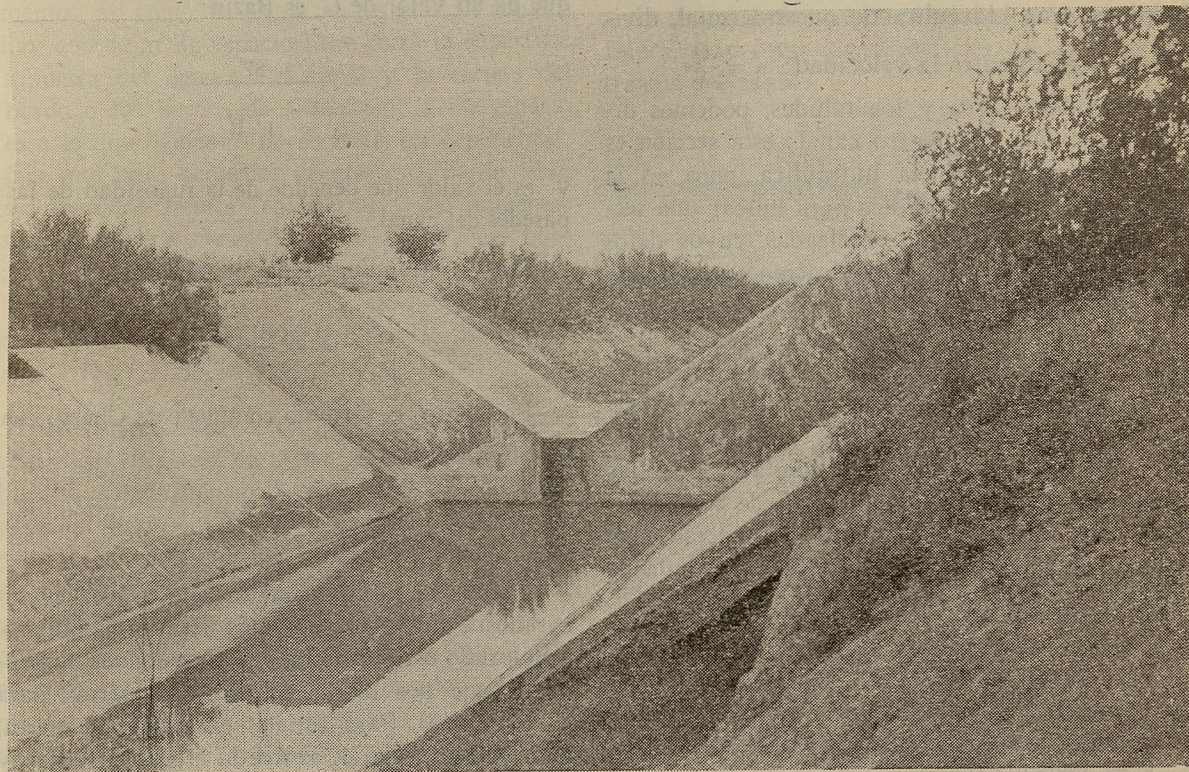
Los datos agronómicos nos sirven para valorar el caudal que vamos a conducir por el canal, debiendo constar de la superficie por regar y de la clase de cultivo a que se va a dedicar, a fin de obtener el gasto por unidad de superficie regada. Así, si nuestro canal va a servir para regar una superficie de extensión A , cuyo gasto unitario sea q , el gasto del canal Q lo obtenemos por la siguiente fórmula: $Q = A q$, con esto ya hemos obtenido el caudal que conduciremos por el canal.

Los datos geológicos nos sirven para determinar la inclinación de los taludes con que excavamos el canal, ya que la inmensa mayoría de los canales excavados son de sección trapecial. Como



DISTRITO DE RIEGO DE DON MARTIN, COAH. y N. L.

Km. 76.2 canal principal. Represa con compuertas radiales. Hay que hacer unos rellenos y revestimientos al lado aguas abajo de la represa.



DISTRITO DE RIEGO DE DON MARTIN, COAH. y N. L.

Caída vertical, Km. 77.9 en el canal principal. Dicha caída está ubicada 800 metros aguas arriba de la caída redonda y tiene una altura algo mayor que la caída redonda con menores desperfectos.

datos prácticos para estos taludes citamos la siguiente tabla:

Corte en roca firme.....	Taludes	1/4:1
Corte en roca fisurada.....	„	1/2:1
Corte en grava cementada...	„	3/4:1
Corte en arcilla firme.....	„	1:1
Corte en lama arenosa.....	„	1 1/2:1
Corte en terreno arenoso flojo.	„	2:1

y por último, en terrenos sumamente arenosos, podemos emplear taludes de 3:1.

Una vez que tenemos el gasto, para conocer la sección hidráulica de nuestro canal debemos ver qué velocidad sea la conveniente, pues debe ser una velocidad tal que ni erosione al canal, ni lo azolve; esto depende tanto de la clase de terrenos que atraviesa el canal, como de la calidad de las aguas que conduce, pues mientras en roca una gran velocidad no causa ninguna erosión, en terrenos blandos esa misma velocidad nos causa erosiones que, en algunos casos de canales mal diseñados, han convertido estos canales en verdaderas barrancas, debiendo tener en cuenta, además, que un canal de aguas limpias tiene mayor poder erosivo que un canal que lleva materiales en suspensión.

Ya elegida la velocidad adecuada, podemos definir el área hidráulica de nuestro canal, dividiendo el gasto entre la velocidad: $a = \frac{Q}{V}$

Teniendo el área y los taludes, podemos diseñar la sección de nuestro canal; esta sección es la de máxima eficiencia hidráulica, pero no la empleamos sino como índice para buscar una sección de las comúnmente empleadas, cuyos datos para la estimación de las cubicaciones se encuentran tabulados en los manuales. Es de recomendarse el Manual de la Comisión Nacional de Irrigación. Si por la sección de máxima eficiencia hidráulica, obtenemos que la plantilla es de 1.03 metros, tomaremos la sección de plantilla de un metro, que es la que está tabulada, pues las diferencias de excavación no serán de consideración. Para obtener la pendiente que necesitamos darle al canal, empleamos la conocida fórmula de Chezy;

$$V = C \sqrt{R \cdot S}$$

donde:

- V = Velocidad.
- R = Radio hidráulico.
- S = Pendiente hidráulica del canal.

Como ya hemos dicho, el radio hidráulico es el cociente de la sección hidráulica entre el perímetro mojado; C, es un coeficiente. Varios experimentadores han dado fórmulas para la valuación de C. En Europa, Inglaterra, Francia y Alemania usan C, dado por Kutter y Ganguillet:

$$C = \frac{1}{\frac{23 + \frac{1}{n} + .00155/S}{S} \sqrt{\frac{n}{R}}}$$

Las letras R y S, como ya hemos visto, respectivamente representan el radio hidráulico y la pendiente del canal; n, es el coeficiente cuyo valor depende de la rugosidad de las paredes del canal. Así, para un canal que tenga la plantilla y los taludes revestidos de concreto, n, tendrá un valor de .015, y para un canal excavado en tierra, n, tendrá un valor de .0225. Hay manuales que para ayudar a la elección de n, traen fotografías de las corrientes, con el valor de n que debe aplicarse. En roca, el valor de n sería .030, y en corrientes naturales llegamos a tener valores de .040 a .050. El libro *Low Dams*, publicado por el Reclamation Service de los Estados Unidos, trae estas fotografías. Otro experimentador francés, que da un valor de C, es Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

v es el valor que depende de la rugosidad de las paredes del canal.

Por fin, Manning da para C el valor de:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

Por tanto, la fórmula completa de Chezy, con este coeficiente es:

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Esta es la fórmula que más se emplea en los Estados Unidos y la que más usamos en México. Empleando esta fórmula, podemos deducir la pendiente que nos da la velocidad requerida para nuestro canal. Para canales excavados en tierra, una velocidad que ni azolve ni erosione, Kennedy da la siguiente fórmula: $V = .548 d^{.64}$. d es el tirante de la sección hidráulica. (Anexo número 1.)

Los canales secundarios se localizan en las crestas, lo cual hace posible el riego por gravedad y el drenaje se facilita, pues las mismas barrancas sirven de conducto de desagüe. Cuando estamos en terrenos muy planos, ponemos nuestros canales secundarios a igual distancia, lo que hace que las superficies regadas sean casi iguales, permitiendo que las estructuras de toma sean iguales.

BORDO LIBRE

Hay veces que el coeficiente de rugosidad no es el que supusimos en nuestros cálculos; puede ser la rugosidad mayor que la supuesta y, por tanto, nuestra velocidad en el canal será menor que la calculada, y para obtener el gasto es necesario tener un área hidráulica mayor, lo que nos obliga a un mayor tirante.

Los depósitos de azolve reducen la capacidad del canal, y el desarrollo de la vegetación en el canal reduce la capacidad y aumenta la rugosidad. Es posible que por error en el control de la toma, el canal conduzca gastos mayores que los previstos, o bien que por crecientes en el río donde está la toma del canal, haya cargas muy grandes que obliguen a que el escurrimiento en el canal sea mayor del previsto. Para protegernos de estos aumentos, así como del oleaje, en los grandes canales hay que dejar un espacio libre entre la superficie supuesta del agua en el canal y la corona del bordo o los bordos de protección; a ese espacio es a lo que llamamos bordo libre. La experiencia, fija que para pequeños canales este bordo libre sea de unos treinta centímetros y así aumenta, según las dimensiones del canal, hasta tener bordos libres de 1.20.

ANCHO DE LA CORONA DE LOS BORDOS DE PROTECCION

Este ancho debe ser tal que si parte de la sección hidráulica está en el bordo de protección, la línea de saturación no llegue a cortar este bordo, pues la filtración podría causar el desastre del canal al llevarse el agua al bordo de protección. Asimismo hay que considerar la conveniencia de que al canal lo siga un camino carretero, propio para usar camionetas, que facilite su inspección, en cuyo caso el ancho de la corona del bordo de protección queda fijado por el ancho necesario de la superficie de rodamiento, que es, aproximadamente, de 3.60 m.

Cuando los canales son muy profundos, para evitar derrumbes de los taludes se hacen bermas.

Al llevar nuestro canal encontramos que tenemos que cruzar corrientes naturales, caminos u otros canales y esto nos obliga a diseñar las estructuras de cruce; consideraremos principalmente dos tipos de estructuras de cruce: el puente-canal y el sifón invertido. El puente-canal es un puente en el que se apoya el canal y a esta parte se le llama la cubeta; el sifón no es sino un tubo forzado, que se lleva en el terreno hasta una profundidad suficiente para no ser deteriorado por las erosiones posibles en la corriente natural cruzada. Para los caminos carreteros y vías férreas, se hace el cruce, ya sea mediante puentes, y si es corto, pueden ser alcantarillas, o también con sifón invertido. El sifón deberá llevarse a la profundidad que fijan las especificaciones tanto de caminos como de ferrocarriles, para dejar un colchón de tierra que haga repartir las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos que transiten sobre el sifón. Tanto porque con nuestro canal cambiemos de terreno, como por pasar a alguna estructura que nos obligue a cambiar de sección, este cambio no debe hacerse brusco, sino por medio de transiciones. La forma de diseñar estas transiciones, dada por Julián Hinds, es unir la superficie del agua en los dos tramos del canal por medio de curvas, que sean tangentes a estas superficies. Generalmente usamos arcos de parábola; supongamos que en la siguiente figura, sean éstas las superficies del agua en los tramos del canal:

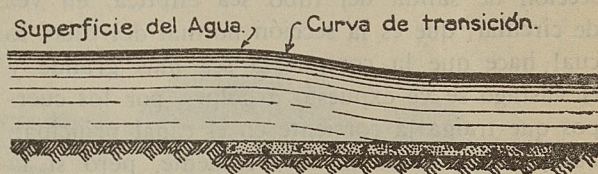


FIG.- 1

Si se supone que en el tramo de la derecha la velocidad es mayor que en el tramo de la izquierda, y que el agua corre de izquierda a derecha, habrá habido un abatimiento de la superficie del agua para dar el incremento de velocidad, además del necesario para vencer las fricciones, de manera que, en un punto intermedio podemos suponer la pérdida, debido a la fricción, y medir desde este punto el abatimiento del manto de la superficie del agua, esto nos dará la carga que ha incrementado la velocidad. Teniendo la velocidad en un punto determinado, en dicho punto podemos conocer el área hidráulica, dividiendo el gasto, que es constante, por la velocidad. Si la variación también ha sido en los anchos de planti-

lla, los fijamos con curvas arbitrarias, pero que llenen la condición de ser tangentes a los tramos antes y después de la transición en el canal; esto es, que para un punto dado de la transición tengamos un ancho de plantilla y conociendo el ancho y el área, es perfectamente posible determinar los taludes en ese punto; siendo éste el modo de diseñar una transición alabeada, en el caso de que la velocidad en vez de ser incrementada fuera disminuída, en lugar de tener abatimiento de la superficie del agua tendríamos elevaciones.

TOMA

Otra de las estructuras que se nos presentan en la construcción de canales es la de toma para los canales secundarios. Hay varios tipos de estas tomas: desde el muy simple de una toma granja, en que en un macizo de mampostería se apoyan agujas. También tenemos la toma que consiste en un tipo de compuerta deslizante del lado del canal principal, como se ve en la figura:

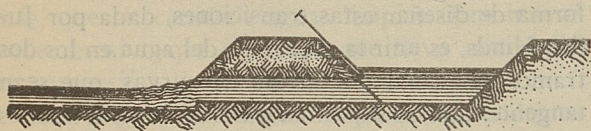


FIG.-2

en que el vástago es inclinado; esto hace que la sección de salida del tubo sea elíptica, en vez de circular, que es la sección normal del tubo, lo cual hace que la compuerta sea más grande y el vástago se ve expuesto a golpes, por los cuerpos que traiga la corriente en el canal principal, aunque esto es lo menos frecuente, pero si la toma está en una corriente natural, el vástago estará expuesto a los golpes de los cuerpos que arrastra la corriente. Una modificación a este tipo de toma es el siguiente:

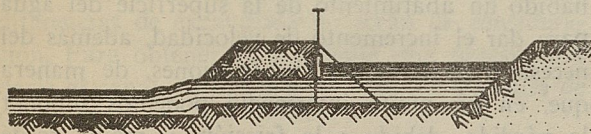


FIG.-3

que consiste en el mismo tubo, y, en vez de salir hasta el talud del canal principal, se corta verticalmente, como indica la figura, y se sostiene la tierra por un muro de cabeza y dos aleros; esto da la ventaja de proteger al vástago y de hacer

la compuerta más chica y de forma circular, pues es más fácil obtener compuertas circulares que elípticas. Para proporcionar el diámetro de los tubos de estas tomas, empleamos la siguiente fórmula: $Q = c A \sqrt{2gh}$

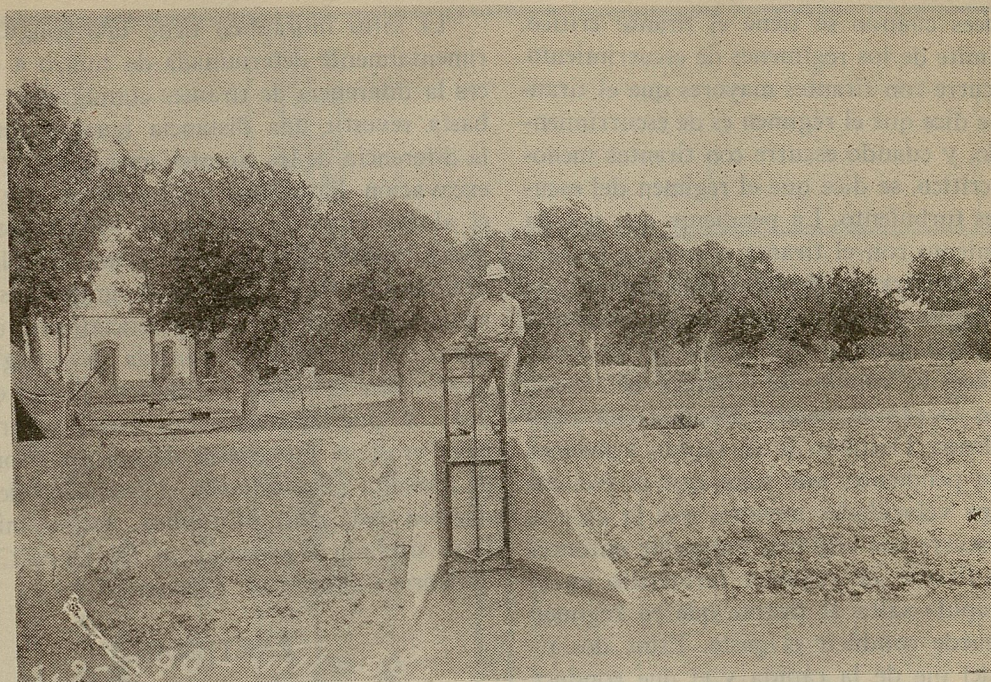
La experiencia ha demostrado que h , es como de 15 cm. y el coeficiente, c , varía alrededor de .8; por tanto, conociendo el gasto, podemos determinar el área y, por consideraciones geométricas del valor del área, se deduce el valor del diámetro del tubo de la toma. Como es muy probable que esta toma no nos dé un valor de tubos comerciales, hay que tomar el diámetro comercial próximo mayor.

REPRESAS

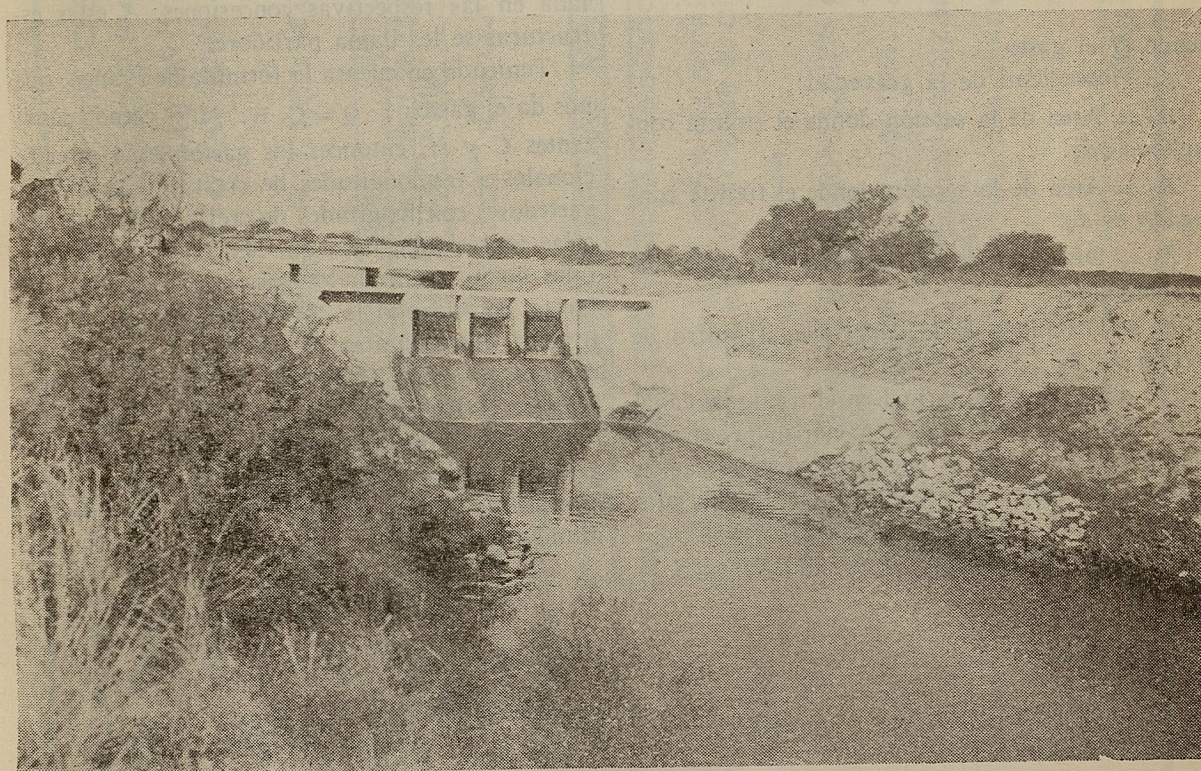
Algunas veces sólo necesitamos regar con una de nuestras tomas laterales, lo cual da un gasto pequeño en el canal principal, lo que obligaría a tener en el canal principal un tirante muy pequeño, que impide la derivación del gasto por la toma lateral y para evitar esto colocamos obstáculos en el canal principal a efecto de conducir el gasto pequeño con velocidad menor y tener un tirante que permita hacer la derivación. Este obstáculo es al que llamamos represa. La represa, generalmente, se forma de un revestimiento de la plantilla y taludes del canal y una serie de pilas, que nos permiten apoyar en ellas agujas que obturan el canal y para facilitar la maniobra de estas agujas sobre las pilas, apoyamos un puente de maniobra. Estas estructuras pueden ser de concreto armado o de mampostería, y, en algunos casos de pocos recursos económicos, se puede hacer el puente, para maniobrar las agujas, con simples tablones de madera. (Anexo N^o 2).

CAIDAS

Algunas veces la pendiente que nos obliga la velocidad en el canal hace que éste llegue con mayor altura de la necesaria para regar los terrenos, entonces nos vemos en la necesidad de proyectar una caída en que el exceso de energía sea disipado, a fin de evitar erosiones en el canal. Para esto se aprovecha el fenómeno conocido con el nombre de salto hidráulico. Una sección de canal puede, con la misma energía, conducir el mismo gasto con distintos tirantes: uno chico y una carga de velocidad grande, y otro tirante grande y carga de velocidad chica. Hay un momento en que estos dos tirantes se confunden



CIUDAD JUAREZ, CHIH.
Toma granja izquierda en el Km. 6+720 del Canal Principal de la 1ª unidad.



DISTRITO DE RIEGO DE DON MARTIN, COAH. y N. L.
Caida, represa y puente a través del lateral de Camarón, Km. 12.58. Es una de las estructuras que necesitan un relleno de piedra, preferentemente por medio de un zampeado, al lado aguas abajo del piso de concreto.

y es entonces cuando se tiene el tirante crítico, que es el límite de los regímenes de escurrimiento. Cuando escurre con tirantes mayores que el tirante crítico, se dice que el régimen es de escurrimiento tranquilo, y cuando escurre con tirantes menores que el crítico, se dice que el régimen del escurrimiento es turbulento. La pendiente que nos da un escurrimiento con el tirante crítico, es la pendiente crítica. Para hacer la caída, damos una fuerte pendiente, que es conocida con el nombre de rápida; en el punto donde se une la pendiente del canal con la rápida, se produce el tirante crítico y en la rápida escurre el agua con régimen turbulento. Después de la rápida volvemos a tener una pendiente, que hace que el escurrimiento tenga velocidades menores que la crítica, o sea que escurre con régimen tranquilo, entonces el pequeño tirante de régimen turbulento en el pie de la rápida salta al tirante que en régimen tranquilo puede conducir el gasto. Estos dos tirantes: el del pie de la rápida y el que conduce el gasto en régimen tranquilo, forman los tirantes conjugados. Los tirantes conjugados deben ser tales que se verifique la ecuación

$$\frac{Q^2}{g A_1} + A Z_1 = \frac{Q^2}{g A_2} + A_2 Z_2$$

siendo Q el gasto

g = intensidad de la gravedad.

A_1 = Area de la sección donde el tirante conjugado es d_1 .

A_2 = Area de la sección donde el tirante conjugado es d_2 .

Z_1 = Distancia de la superficie al centro de presión en A_1 .

Z_2 = Distancia de la superficie al centro de presión en A_2 .

Sucede que el tirante normal en el tramo de canal aguas abajo de la caída, sea menor que el tirante conjugado; entonces se hace una profundización al cauce del canal, hasta que pueda quedar alojado el tirante conjugado.

El salto hidráulico tiene una longitud experimentalmente determinada de cuatro a cinco veces la diferencia de tirantes conjugados; por esto, basta revestir una distancia igual a cinco veces la diferencia de los tirantes conjugados y llevar la excavación hasta una profundidad que permita el alojamiento del mayor de los tirantes conjugados, siendo esto lo que forma el colchón hidráulico. El tirante conjugado grande es siempre menor que el tirante equipotencial para el mismo gasto, y es debido a pérdida de energía en la producción del salto hidráulico, siendo esta pérdida la que aprovechamos para evitar que el agua erosione por exceso de energía. Como obra de consulta para estudiar el fenómeno de la producción del salto hidráulico, se recomienda el libro titulado *Hydraulics of the Open Channels*, de Boris Bakhmeteff. (Anexo N° 3.)

PARTIDORES

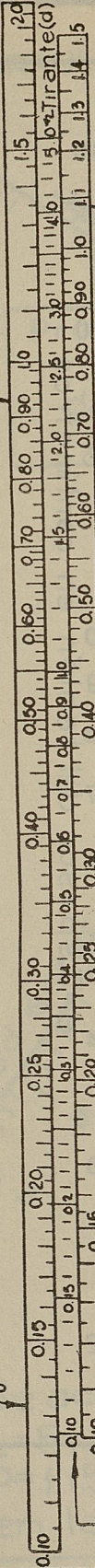
Cuando para los usuarios de cierto canal hay concesiones que fijan el por ciento que a cada grupo de usuarios le corresponde, hay necesidad de colocar una estructura que haga la división proporcional del caudal, de acuerdo con la señalada en las respectivas concesiones. A estas estructuras se les llama partidores.

Teniendo en cuenta la fórmula de Francis, que nos da el gasto: $Q = C. H.^{3/2} L$. Siendo constantes C y H , entonces los gastos serán proporcionales a las longitudes de cresta y basta hacer vertedores con longitudes de cresta proporcionales a las concesiones. Para que las contracciones laterales no influyan en los gastos, es necesario evitarlas, encauzando la corriente antes de los vertedores. Para limitar el caudal en el canal, se construyen, poco después de la toma, vertedores laterales, a fin de que los excedentes de agua sean derramados por estos vertedores y un exceso de gasto no perjudique al canal aguas abajo. A estas estructuras se les llama vertedores laterales limitadores.

ESCALAS ADYACENTES PARA OBTENER VELOCIDADES MEDIAS QUE NO PROVOCAN EROSION NI DEPOSITO DE AZOLVES EN CANALES

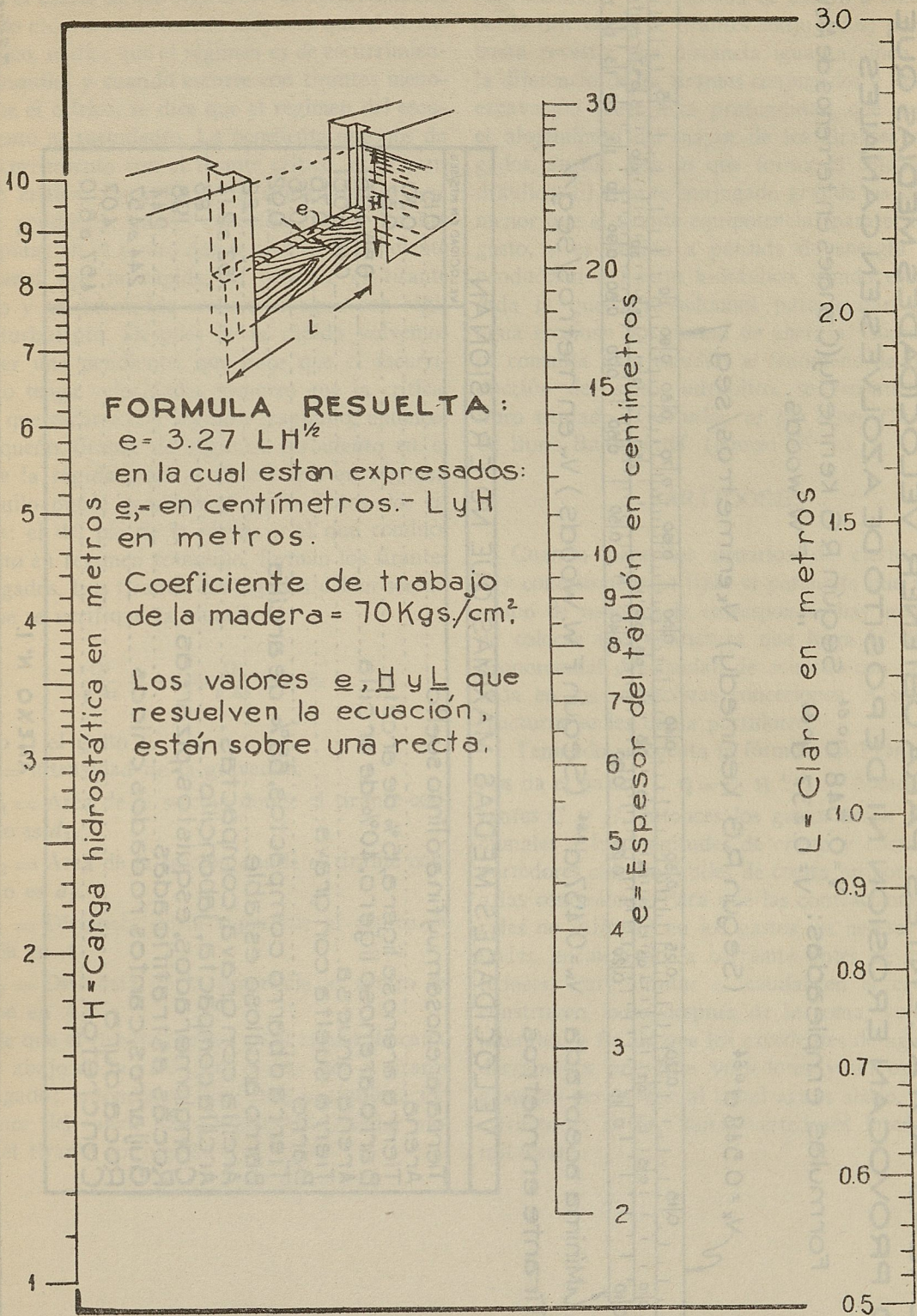
$V = 0.548 d^{0.64}$ Según R.G. Kennedy (Canales en terrenos de Aluvión)
 Formulas empleadas: $V = 0.437 d^{0.64}$ " F.W. Woods.

$V_k = 0.548 d^{0.64}$ (Según R.G. Kennedy) V_k en metros/seg.

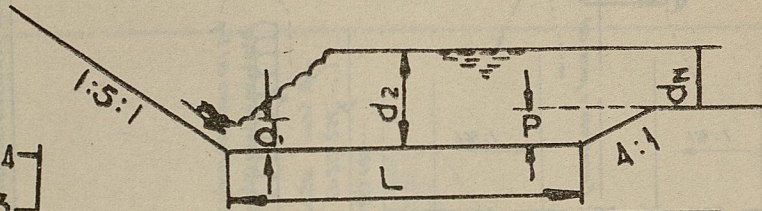


Mínima aceptada: $V_w = 0.437 d^{0.64}$ (Según F.W. Woods.) V_w en metros/seg.
 -d= Tirante en metros

VELOCIDADES MEDIAS MAXIMAS QUE NO EROSIONAN	VELOCIDAD EN MTS/SEG.
Tierra arenosa muy fina o limo suelto.....	0.15
Arena.....	0.30
Tierra arenosa ligera, 15% de arcilla.....	0.37
Barro arenoso ligero, 40% de arcilla.....	0.55 a 0.61
Arena gruesa.....	0.46 a 0.61
Tierra suelta con grava.....	0.76
Barro.....	0.76
Tierra o barro compactos, 65% de arcilla.....	0.92
Barro arcilloso estable.....	1.22
Arcilla con grava, compactas.....	1.52 a 2.14
Arcilla compacta, jaboncillo.....	1.83
Conglomerados, esquistos, pizarras.....	1.98
Rocas estratificadas.....	2.44
Guijarros, cantos rodados chicos.....	2.44 a 4.57
Roca dura.....	4.07
Concreto.....	4.57 a 6.10

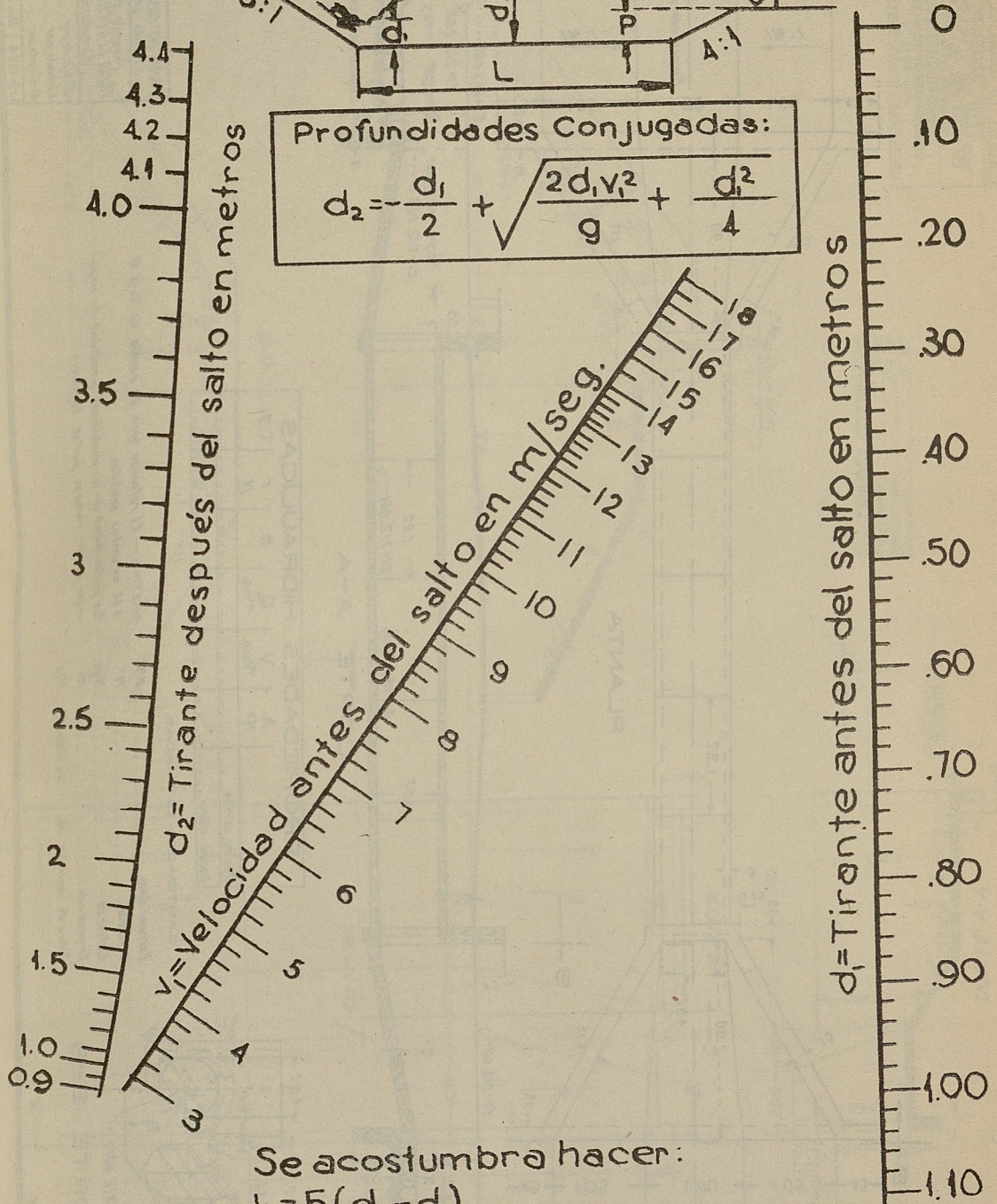


SALTO HIDRAULICO EN CANALES RECTANGULARES



Profundidades Conjugadas:

$$d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{2d_1 v_1^2}{g} + \frac{d_1^2}{4}}$$



Se acostumbra hacer:

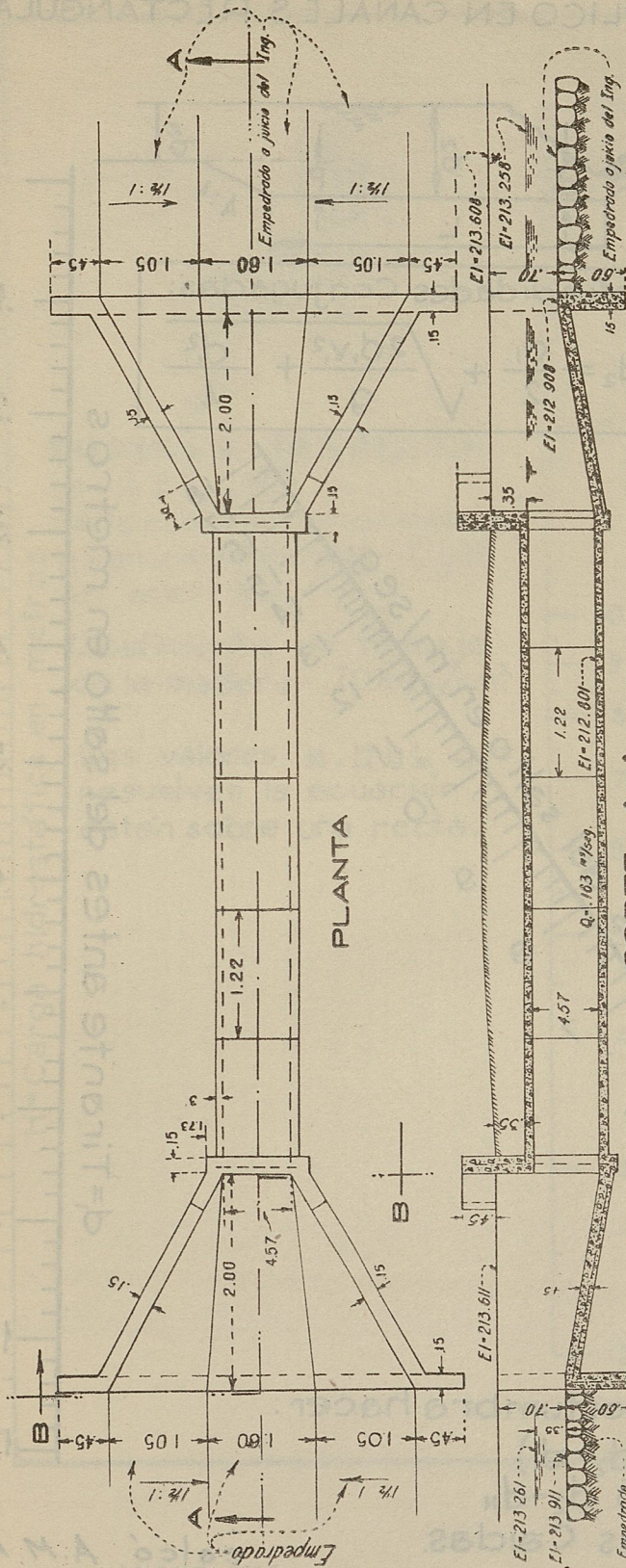
$$L = 5(d_2 - d_1)$$

$$P = 1.15 d_2 - d_1$$

en las Caidas.

ANEXO N°3.

calcó A.M.A



PLANTA

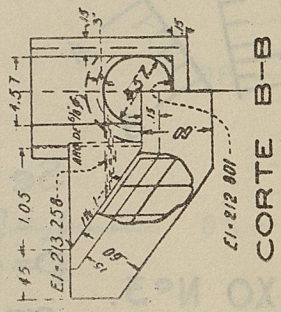
CORTE A-A

PROPIEDADES HIDRAULICAS						
A	V	Q	n	r	M	S
Aguas arriba	M ³	M ³ /seg	M/seg	M	M	S
Aguas abajo	M ²	M ³ /seg	M/seg	M	M	S

CANTIDADES ESTIMADAS

- Excavaciones M³
- Concreto M³
- Refruerzo Kgs.
- Empedrado M³
- Tubos de concreto de de diám. Pcs

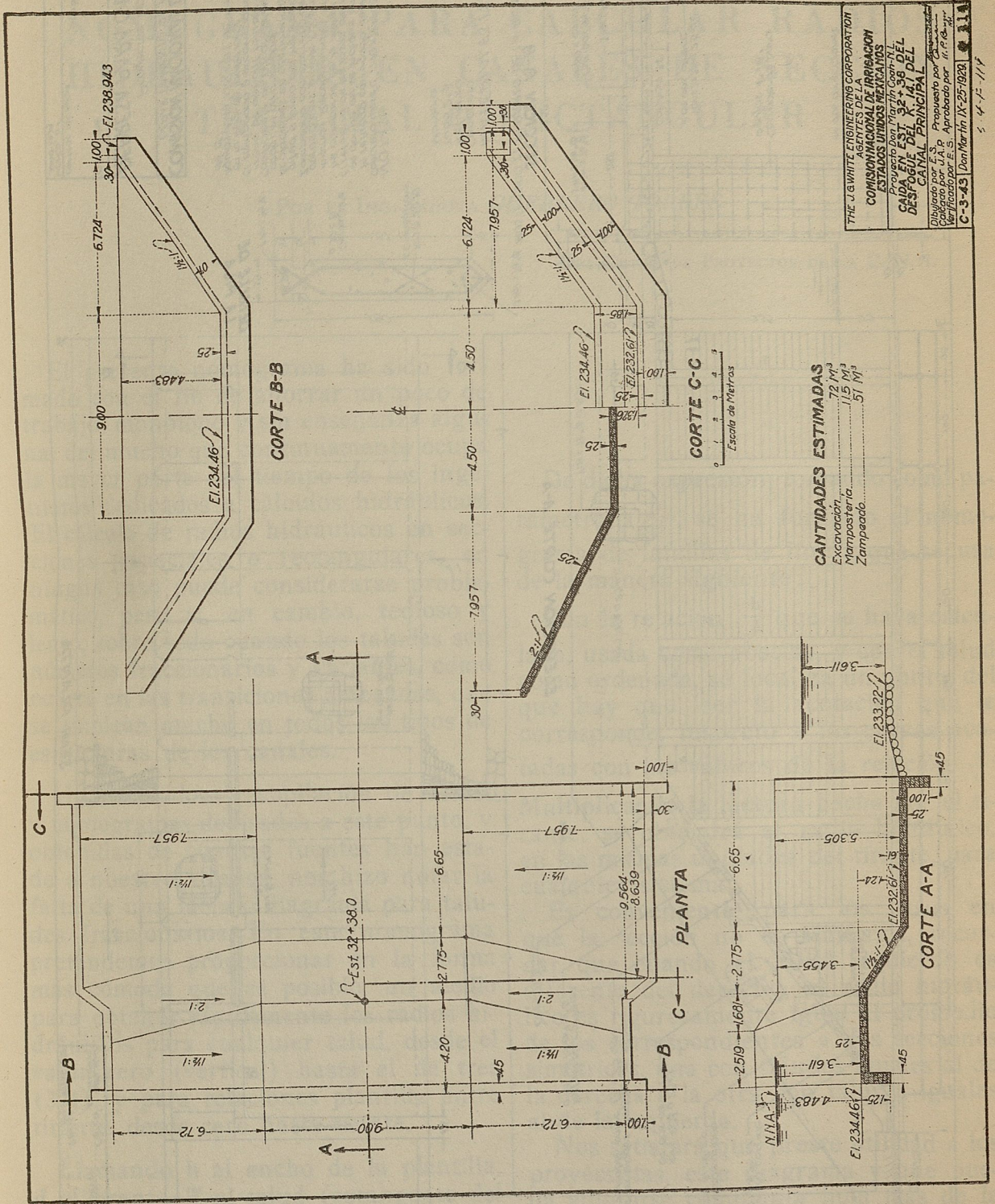
NOTAS—El refuerzo será de varilla de 3/8 φ @ 0.30 en ambas sentidas
La profundidad de los cimientos y cambio de empalmado, según varíanse por el Ingeniero



CORTE B-B

COMISION NACIONAL DE IRRIGACION
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
Proyecto San Martín, Coch. N. L.
TOMA DIRECTA EN EST. 13.00, L.C. 1250
Acatlán, Jalisco - Est. 20.5
Dibujado por Papeles por
Cadao por Apellido por
Verificado por
L-3-132A Don Martín I-E-930 L-3-72

Dib. - R. G. G. & C.



THE J.G. WHITE ENGINEERING CORPORATION
 AGENTES DE LA
COMISION NACIONAL DE IRRIGACION
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
 para el Canal de
CAJAL EN EST. 32 + 38 DEL
DESFOQUE DEL K. 141 DEL
CANAL PRINCIPAL
 Diseñado por J.G.P. Propuesto por J.G.P.
 Verificado por E.S. Aprobado por J.G.P.
C-3-43 Don Martin IX-27-1928 **114**

CANTIDADES ESTIMADAS

Excavación	72 M ³
Mampostería	1.15 M ³
Zampado	51 M ³

Escala de Metros
 0 1 2 3 4

5-4-42-114

