

SOBRE EL DESARROLLO DE LAS ESCLUSAS DE CUENCO

509

Por el Ing. *Alexander Borges*,
Profesor de la Facultad.

Entre las obras de la Ingeniería Hidráulica las presas y las esclusas ocupan los puestos predominantes. En Colombia ya se han ejecutado varias presas para formar embalses artificiales, sobre todo con el objeto del abastecimiento de energía hidroeléctrica o de agua potable. El desarrollo económico del país exige la construcción de varias presas más en el próximo futuro y por tanto existe mucho interés en esta clase de obras hidráulicas entre los ingenieros colombianos. En contraste no se han construido todavía esclusas en Colombia, obras de gran importancia para la navegación en puertos, canales y ríos. Sin embargo tal vez despertará algún interés una pequeña reseña del nivel de desarrollo alcanzado en los últimos años en el diseño y la construcción de esclusas de cuenco.

Definición

La esclusa de cuenco en su forma primitiva ya existe desde el siglo XV. Consta esta esclusa de una cámara con puertas en sus dos extremos. Para la subida de una embarcación, ésta entra a la cámara. Se cierra la puerta aguas abajo y se llena entonces la cámara hasta alcanzar el nivel del agua del tramo aguas arriba. Ahora puede abrirse la puerta aguas arriba y la embarcación sale a través de esta puerta. Un esclusado hacia abajo se efectúa de manera correspondiente: Después de la evacuación de la cámara con puerta aguas arriba cerrada, la embarcación sale a través de la puerta aguas abajo abierta.

Problemas hidráulicos

Entre los problemas hidráulicos relacionados con la construcción de las esclusas, se destaca en primer lugar el del relleno y de la evacuación del cuenco. De la rapidez del relleno y de la evacuación depende la duración de los esclusados y por tanto la eficiencia de la esclusa. Existen dos posibilidades diferentes para llenar o evacuar el cuenco: El sistema más antiguo, inventado por Leonardo da Vinci en el año 1497, provee aberturas con cierres en las puertas mismas, o se emplean directamente las puertas para el relleno o la evacuación de la cámara. El segundo sistema usa conductos laterales en vez de las puertas para llenar o evacuar la cámara. Estos conductos laterales se inventaron en Holanda en el siglo XVI. La figura 1 muestra esquemáticamente una esclusa del primer tipo. En la figura 2 vemos los conductos laterales como dispositivo de relleno del cuenco.

Al fin del siglo pasado iniciada una nueva etapa en la construcción de esclusas, caracterizada por los tamaños más grandes de las embarcaciones y desniveles más y más crecientes, hubo que abandonar entonces el sistema

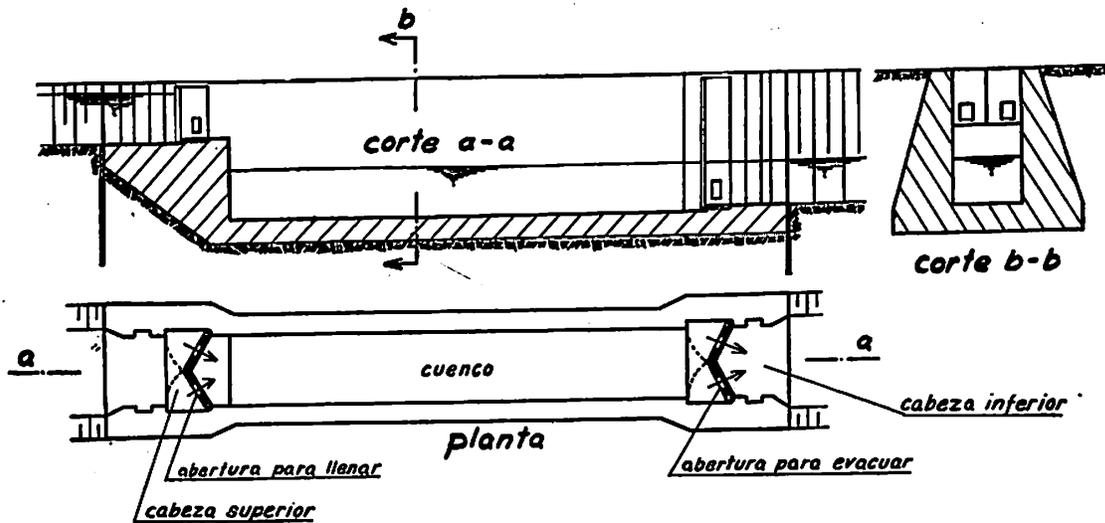


Fig. 1

Esclusa de cuenco con relleno y evacuación a través de las puertas de busco.

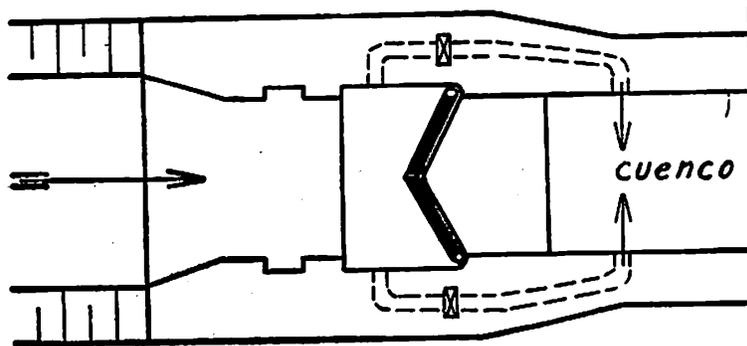


Fig. 2

Cabeza superior de una esclusa con relleno por conductos laterales.

del relleno directo a través de la puerta aguas arriba, porque producía corrientes muy fuertes en la cámara con peligros y perjuicios para la embarcación en ella. En los siguientes años casi todas las esclusas se construyeron con conductos laterales, sistema ya mencionado como invento antiguo de los holandeses.

Existen tres formas constructivas para este relleno indirecto:

- 1.— Conductos laterales cortos (véase fig. 3a),
- 2.— Conductos laterales largos (véase fig. 3b) y
- 3.— Conducción del agua por el fondo de la cámara (véase fig. 3c).

Empleando los conductos laterales cortos, la energía cinética del agua influente se elimina dirigiendo los chorros uno contra el otro. Pero este proceso de anulación de la energía cinética se produce en forma muy inestable y trae consigo oscilaciones fuertes y bruscas de la superficie del agua en la cámara. Los conductos laterales largos por las paredes o por el fondo de la cámara tienden a mejorar el relleno, distribuyendo el caudal influente a lo largo de toda la cámara. El principal inconveniente de estos diseños, es que generalmente el aire es arrastrado hacia los conductos. Por tanto, se

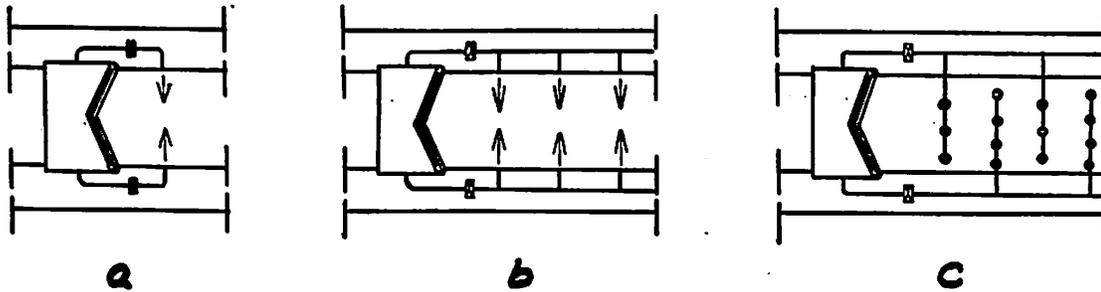


Fig. 3

- a). Relleno por conductos laterales cortos.
 b). Relleno por conductos laterales largos.
 c). Relleno por el fondo.

producen choques en los conductos, ocasionando daños en la obra y perjudicando la embarcación en la esclusa.

Alrededor del principio de este siglo se iniciaron numerosos ensayos en los laboratorios hidráulicos con el objeto de obtener la forma más favorable del dispositivo de relleno y evacuación del cuenco, pero los resultados nunca eran completamente satisfactorios, y por tanto existía la tendencia a volver al sistema primitivo del relleno directo a través de la puerta misma. Fue idea de Burkhardt la de proveer cámaras de anulación de energía, en las cuales entra el chorro influente a través de la puerta aguas arriba y el chorro saliente a través de la puerta aguas abajo. Esta idea permitió abandonar el sistema de los conductos laterales y volver al sistema antiguo de Leonardo da Vinci, pero ahora en forma perfeccionada y modernizada. La primera esclusa construída en tal forma, fue la esclusa gemela de Ladenburg en el río Neckar en Alemania, terminada en el año 1927. Vemos esquemáticamente los dispositivos de relleno y evacuación de esta esclusa de 10 m. de desnivel en la figura 4. Las puertas aguas arriba y

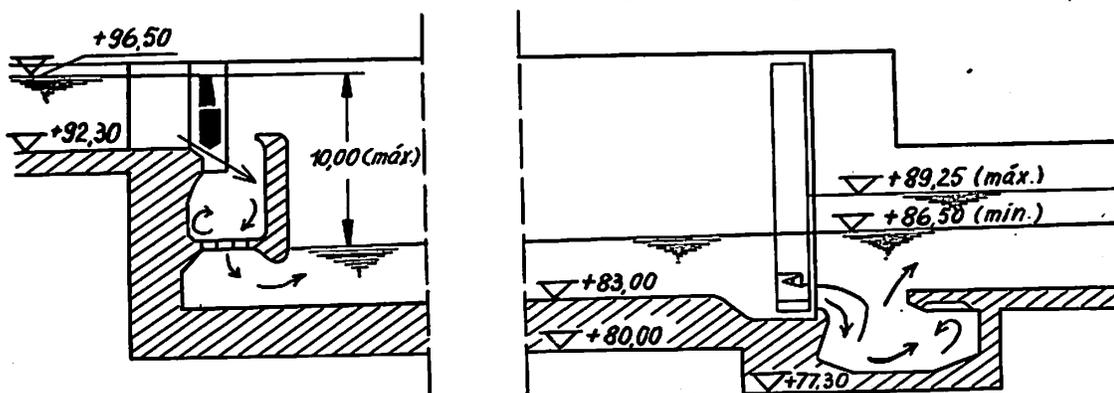


Fig. 4

Esclusa de Ladenburg (Alemania)

aguas abajo son compuertas levadizas. La puerta aguas abajo contiene una compuerta de segmento para la evacuación del cuenco, mientras que el relleno se efectúa elevando gradualmente la puerta aguas arriba. La cámara superior de anulación de energía cinética permite esta forma de relleno e impide oscilaciones fuertes en la cámara principal. La cámara inferior de anulación de energía no tiene influencia sobre la tranquilidad en la esclusa.

sa, pero permite que las embarcaciones, esperando aguas abajo la entrada a la esclusa, pueden atracar más cerca a ella, ahorrando así tiempo en el esclusado. Además esta cámara de anulación de energía aguas abajo reduce los costos y el sostenimiento de las obras aguas abajo de la esclusa.

Fuera de la puerta levadiza, varios tipos se prestan bien como puertas superiores en esclusas de relleno directo. La figura 5a muestra una puerta bajadiza y las figuras 5b y 5c puertas giratorias. Otro diseño nuevo es la puerta giratoria de segmento (véase fig. 6). En la posición a,

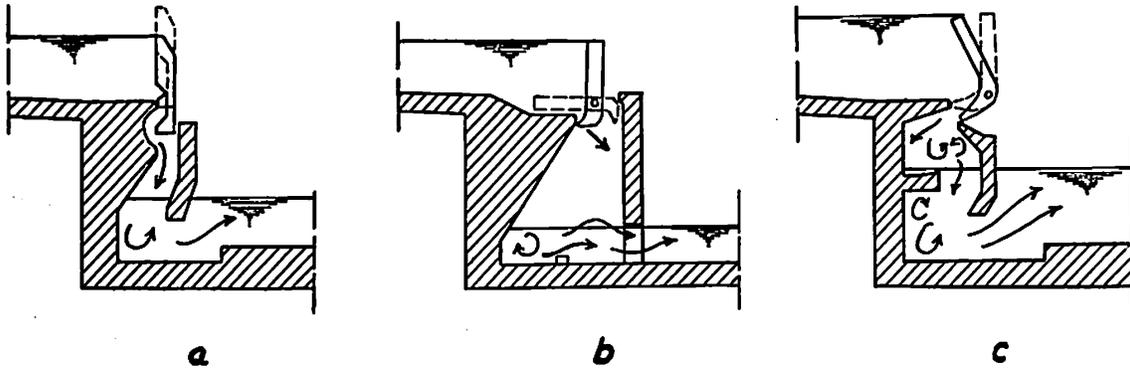


Fig. 5

Tipos de puertas para el relleno directo

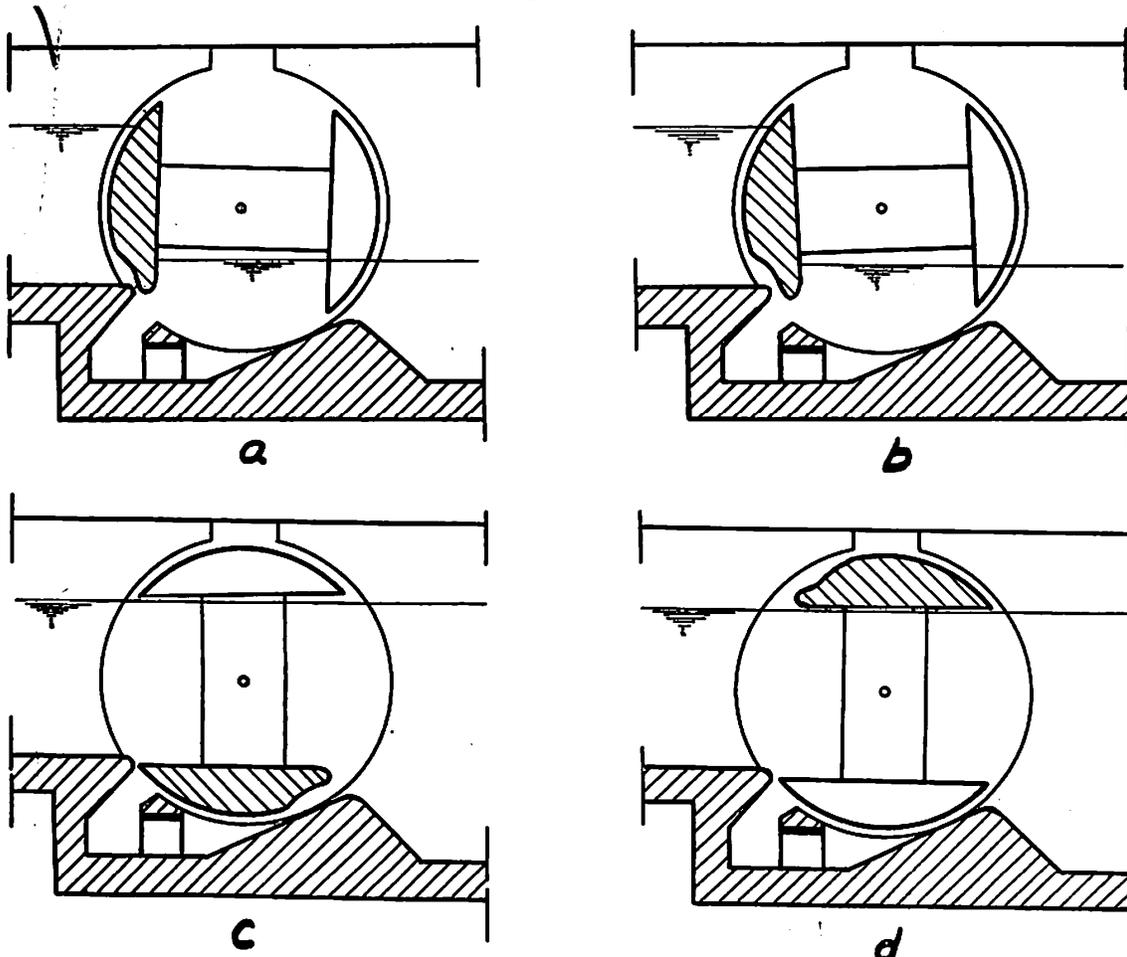


Fig. 6

Puerta giratoria de segmento

la puerta está cerrada; b, es la posición de relleno. En la posición c las embarcaciones pueden entrar o salir del cuenco por encima del segmento. Para dar paso a crecientes o en caso de reparaciones, la puerta se gira hasta la posición d.

Un ejemplo muy interesante de una esclusa moderna es la esclusa de Würzburg en el río Mein, construida en los últimos años. Hubo que construir esta esclusa con una cámara de 300 m. de longitud y 12 m. de ancho y 2.80 m. de elevación máxima dentro de la histórica ciudad de Würzburg. Fue precisa la conservación del histórico puente sobre el río Mein y del antiguo muro de sostenimiento a lo largo de la orilla del río. Razones estéticas prohibieron que cualquier parte de las puertas o accionamientos salieran hacia arriba. No obstante estas dificultades, se encontró una solución satisfactoria uniendo la cabeza inferior de la esclusa con el puente y usando por primera vez la compuerta giratoria de segmento como puerta aguas arriba. Esta puerta consta de dos discos que se hallan dentro de nichos laterales en la cabeza superior (véase fig. 7). Entre los discos se en-

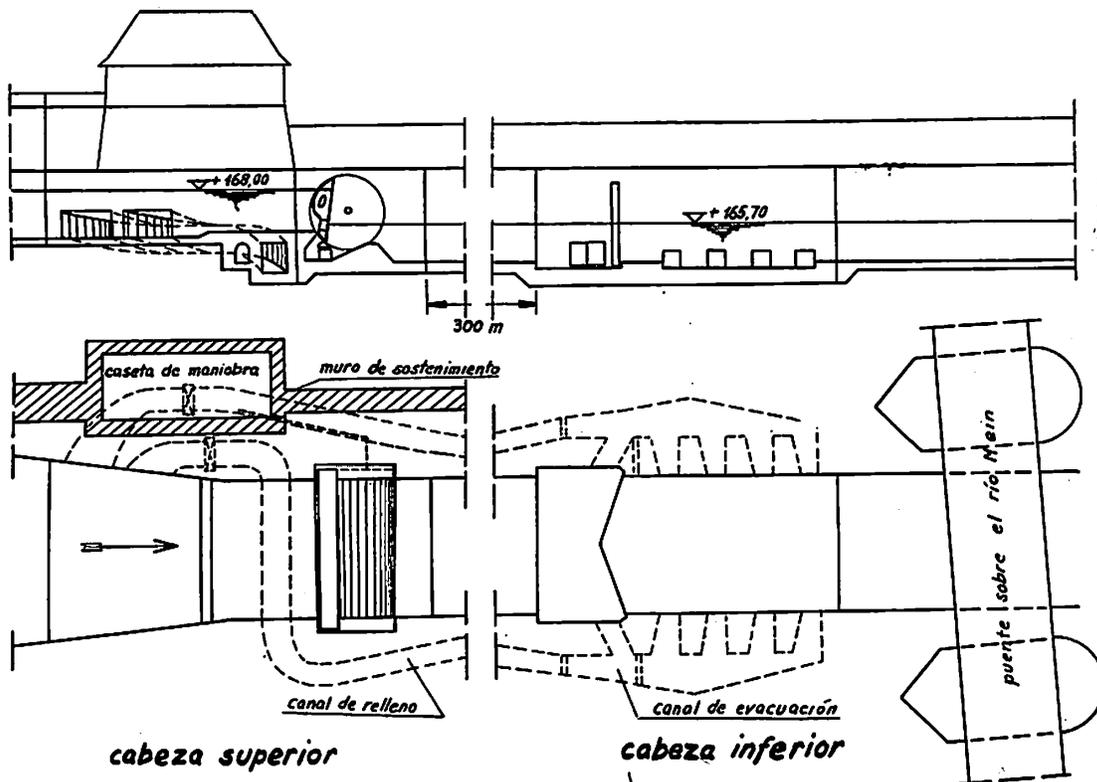


Fig. 7
Esclusa de Würzburg en el río Mein

cuenta el segmento, construcción cerrada y resistente a la torsión. Por tanto la puerta exige el accionamiento únicamente en un lado. Este mecanismo de accionamiento se instaló en una caseta de maniobra en la ribera, guardando proporción esta obra con la arquitectura histórica de los alrededores. Como puerta aguas abajo se eligió una puerta de *busco* con ac-

cionamiento en ambos lados, escondido en dos pilas del puente sobre el río Mein.

De ensayos con modelos de la esclusa de Würzburg resultó que el relleno directo a través de la puerta superior exigiría alrededor de 11 minutos y el relleno por conductos laterales 9,7 minutos. Para acelerar más el tráfico se ideó para esta esclusa un sistema combinado de relleno a través de la puerta superior y conductos laterales. Este sistema reduce el tiempo de relleno hasta 6,35 minutos. Se construyeron dos conductos laterales de 5 m² de sección cada uno. Ambos conductos tienen su entrada al lado de la orilla por hallarse allí la caseta de maniobra. Desde estos conductos laterales salen 48 canales de 0,50 m. de altura y 0,35 a 0,50 m. de ancho hacia el cuenco. Estos canales son distribuidos irregularmente a lo largo del cuenco según los resultados de ensayos con modelos, con el objeto de evitar oscilaciones fuertes del nivel de agua en el cuenco durante el relleno o la evacuación.

El relleno y la evacuación se efectúan *completamente automático*. Para llenar la cámara se levantan las compuertas que cierran los conductos laterales con una velocidad de 2,30 m/min, dando libre la entrada a estos conductos dentro de un minuto. Después de 2 minutos de relleno por los conductos laterales, la puerta de segmento gira con una velocidad de 9°/min hacia su posición de relleno (fig. 6b). La puerta alcanza esta posición después de 1,5 minutos y sigue girando después con una velocidad de 25°/min hasta alcanzar la posición abierta (fig. 6c). Llegada a esta posición queda un desnivel restante de 0,30 m. que se compensa por sí mismo. Todo este proceso en esta forma de relleno exige 6,35 min en el caso del desnivel máximo de 2,80 m.

Entre las esclusas de gran altura de elevación se destacan sobre todo la esclusa de Shannon en Irlanda y la esclusa de Donzère-Mondragon en Francia. La esclusa de Shannon es una esclusa de dos escalones con cabezas superior, central e inferior. Se construyó para reemplazar diez esclusas anticuadas, usando el sistema del relleno directo por las puertas. En la cabeza central las aguas *influentes* caen de una altura de 32,60 m; pero, no obstante, las embarcaciones suben en el cuenco con la velocidad nunca alcanzada antes de 2,4 m/min. Gracias a los ensayos con modelos y al diseño cuidadoso esta subida rápida se efectúa sin peligro para la embarcación.

La esclusa de Donzère-Mondragon se construyó en los últimos años en el curso del aprovechamiento del río Rhône. La caída total de 350 m. se aprovechará en 24 centrales hidroeléctricas con una capacidad total de 2,62 millones de Kw. implicando la construcción de 23 esclusas. Una de las obras más importantes entre ellas es la esclusa de Donzère-Mondragon con una altura de elevación de 24 m. y con una cámara de 195 m. de longitud y 12 de ancho. El relleno de la esclusa exige 50.000 m³ de agua que se conducen por conductos en el fondo de la cámara. Durante el relleno sube

el caudal influente hasta $100 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y el nivel se eleva con una velocidad de $1,6 \text{ m/min.}$ Durante la evacuación baja la superficie con la velocidad aún mayor de $2,3 \text{ m/min.}$ Un ciclo de relleno y evacuación del cuenco gasta 27 minutos en total.

Resumiendo el desarrollo de los dispositivos para el relleno y la evacuación de las esclusas de cuenco, vemos lo siguiente:

Durante varios siglos se usaron los inventos de Leonardo da Vinci (relleno directo por la puerta superior) y de los holandeses (relleno indirecto por conductos laterales). Con el crecimiento del tamaño de las embarcaciones al fin del siglo pasado el relleno directo produjo dificultades. Se abandonó este sistema y siguió una época de cambios continuos entre conductos laterales cortos y largos y conducción por el fondo de la cámara. Pero con todo eso no se encontró una solución completamente satisfactoria y hubo varios intentos de volver al sistema primitivo del relleno directo. Gracias a la idea de intercalar cámaras de anulación de energía cinética entre la puerta superior y el cuenco y aguas abajo de la puerta inferior, puede usarse ahora el sistema del relleno y de la evacuación a través de las puertas de la esclusa, acelerando así los esclusados y eliminando las oscilaciones peligrosas en el cuenco.

En la mayoría de las esclusas construídas en los últimos años se ha usado por tanto este sistema del relleno directo. Excepciones como la esclusa de Donzère-Mondragon demuestran no obstante que también con el relleno indirecto pueden alcanzarse resultados buenos a base de cuidadosos ensayos con modelos. Una excepción interesante es también la esclusa de Würzburg donde se ha aplicado un sistema combinado de relleno directo e indirecto con el objeto de obtener máxima rapidez de los esclusados.

(Continuará)

HOMERO SANTANDER J.

I N G E N I E R O

URBANIZACIONES - CONSTRUCCIONES - INTERVENTORIAS

EDIFICIO ROCA - CUARTO PISO

MEDELLIN - TELEFONOS: 258-02 Y 283-15