

Encauzamiento del delta del río Balsas

Carlos Oliva Anaya
José Alberto García Gómez

Dirección General de Irrigación y Drenaje, SARH

El desarrollo del delta del río Balsas, como centro urbano-industrial, requiere de una serie de obras para el manejo adecuado de las aguas. Mediante aquéllas se busca la protección contra inundaciones, la prevención de azolve en el puerto Lázaro Cárdenas, la obtención de la mayor área posible para el desarrollo de este puerto industrial, la protección contra la erosión en las márgenes del río, el abastecimiento de agua con el correspondiente control de calidad, evitando la intrusión salina y, por último, el aumento de la carga de generación en la presa José María Morelos. En este artículo se presenta el análisis de las 56 alternativas de solución identificadas para la rectificación y encauzamiento del brazo izquierdo.

El delta del Balsas

El delta de este río se inicia aproximadamente 15 km aguas arriba de su desembocadura al mar, con un área de cuenca de 202 km²; está formado por dos brazos principales con algunas ramificaciones que se han cerrado por medios artificiales para dejarle actualmente sólo dos salidas al mar; el izquierdo, llamado San Francisco y el derecho, Melchor Ocampo. Aguas abajo de la bifurcación existe un cauce que conecta a ambos brazos, lo que da lugar a la formación de las islas de La Palma y El Cayacal. El brazo derecho tiene como afluente al arroyo El Barco o Guacamayas, cuya incorporación se localiza 3 km aguas abajo de la bifurcación, en la que descarga el arroyo Tamaquaz por la parte izquierda.

En la margen izquierda del brazo izquierdo hay asentamientos humanos en las poblaciones de Zacatula, El Naranjito y San Francisco, todas dentro del estado de Guerrero; las de Guacamayas y Lázaro Cárdenas se ubican en la margen derecha del brazo derecho en el estado de Michoacán.

El puerto Lázaro Cárdenas se localiza en el delta del río Balsas, específicamente en las islas de La Palma y El Cayacal, cuya área está ocupada en parte por la Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas (Sicartsa), y por una planta de Fertimex.

Una planta de tubos de acero de gran diámetro PMT, otra de bienes de capital NKS y una terminal de granos de Conasupo están en proceso de construcción, en tanto que están por iniciarse una refinería de Pemex y otras industrias.

Con la construcción de las presas El Infiernillo y José María Morelos se ha logrado controlar en buena parte las avenidas del río Balsas, limitándolo a los gastos que derraman los vertedores de demasías. Sin embargo, estos gastos aún son mayores que la capacidad de conducción de los cauces en el delta. Como consecuencia de ello, en el caso de que hubiera descargas importantes de las presas habría inundaciones de consideración que afectarían a las instalaciones existentes en el puerto industrial, en las que se han invertido fuertes sumas de dinero y además se correría el riesgo de pérdida de vidas humanas. Por ello se consideró necesario proteger al puerto en las áreas correspondientes a ambos brazos del río.

Objetivos del proyecto

Las diversas dependencias que se encuentran en el puerto industrial definieron en forma conjunta los objetivos generales del proyecto de encauzamiento y rectificación a partir de las necesidades de protección. Dichos objetivos consisten en:

- Diseñar las obras de protección contra inundaciones en el puerto y el encauzamiento del río, de manera que se disponga de la mayor área posible en las islas de La Palma y El Cayacal para el asentamiento de nuevas industrias.
- Proteger contra inundaciones a los poblados situados en ambas márgenes de los brazos del río.
- Incrementar la generación de energía eléctrica en la presa José María Morelos.
- Facilitar el abastecimiento de agua a las industrias que se instalen en las islas y a las poblaciones en las márgenes del río.
- Diseñar estructuras para evitar el fenómeno de intrusión salina en el cauce rectificado.

Estudios

A fin de elaborar el proyecto de encauzamiento y rectificación fue necesario efectuar diversos estudios, entre los que se señalan: el levantamiento fotogramétrico de la zona del delta, en escala de 1:2 000, así como la batimetría del brazo izquierdo, en escalas horizontal de 1:1 000 y vertical de 1:00; el hidrológico de la cuenca (realizado en 1979, en el que se calculó un gasto de diseño de descarga para Infiernillo de 13 000 m³/s; el hidrológico del arroyo El Barco, cuyas aportaciones deben tomarse en cuenta al diseñar la rectificación del brazo derecho, la obra de control aguas abajo del sistema de bombeo Sicartsa, bordos, puentes y otras estructuras. Para este estudio se tomó un periodo de retorno de 100 años y se obtuvo un gasto de diseño de 490 m³/s. Así mismo, se realizaron sondeos de exploración en ambas márgenes, a lo largo del eje de los bordos del brazo izquierdo y en los sitios en que se preveía la necesidad de estructuras. Dichos sondeos fueron de percusión de 10" a 6" de diámetro con extracción de muestras alteradas; también se hicieron pruebas de permeabilidad y análisis granulométricos y el catastro sobre el uso de la tierra, tanto para el propio puerto como para las obras de rectificación y encauzamiento del río Balsas, a fin de efectuar las indemnizaciones correspondientes.

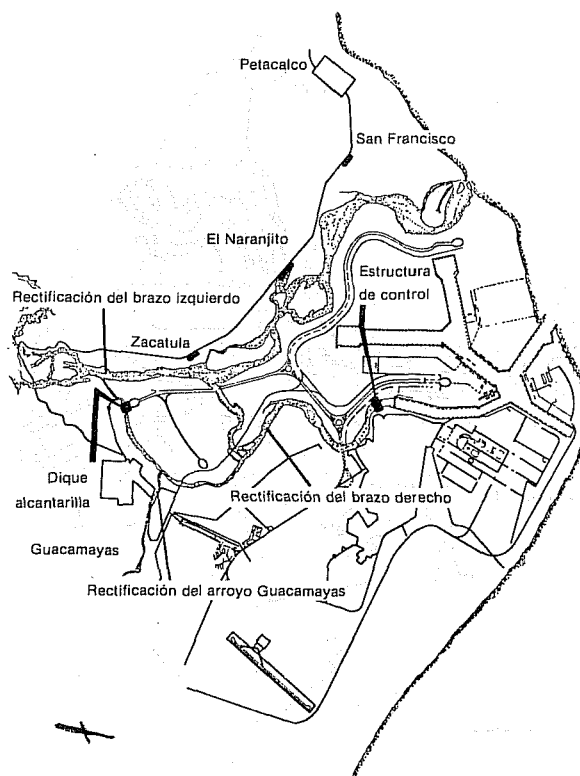
Alternativas de solución

Con objeto de resolver el problema se estudiaron diversas opciones que propiciaran, por una parte, reducir la inversión, y por la otra, distribuirla o diferirla, mediante el trabajo por etapas. Así, se determinó que la capacidad de conducción

hidráulica del brazo derecho —aguas abajo del arroyo Guacamayas— es de 800 m³/s, lo que implica que en caso de grandes avenidas casi la totalidad del gasto escurriría por el brazo izquierdo, para lo cual es preciso construir diversas obras en dicho brazo que permitan el paso del gasto de 13 000 m³/s calculado en Infiernillo. Las obras de protección (véase ilustración 1) consisten principalmente en:

- Encauzamiento y rectificación del brazo izquierdo (San Francisco), desde la presa José María Morelos hasta su desembocadura en el mar.
- Encauzamiento y rectificación del brazo derecho (Melchor Ocampo), en el tramo comprendido entre la bifurcación y la población de Lázaro Cárdenas.
- Encauzamiento del arroyo Guacamayas, tributario del brazo derecho, en el tramo comprendido entre el puente carretero Lázaro Cárdenas-Guacamayas y su descarga al brazo derecho.
- Una estructura limitadora de gastos denominada dique alcantarilla, localizada en la bifurcación de ambos brazos, que permita regular el gasto que circula hacia el derecho, con un

1. Obras de protección



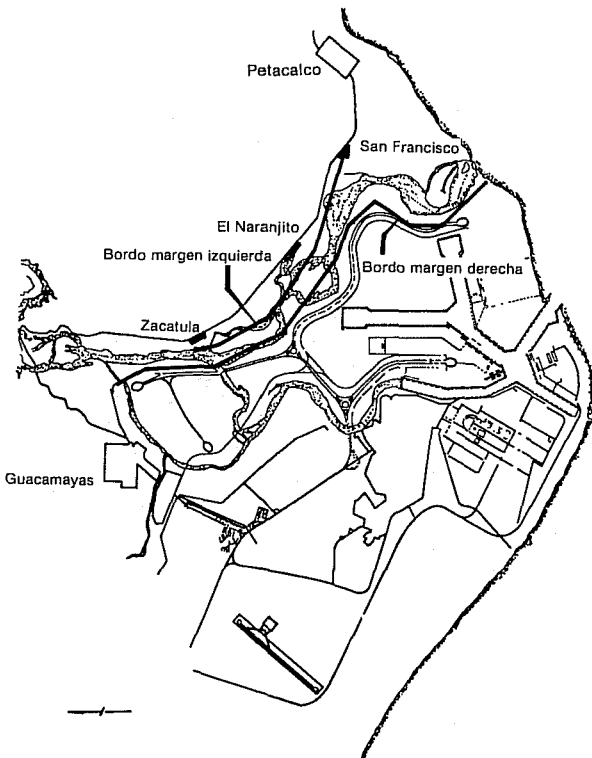
mínimo de 50 m³/s, y un máximo de 310 m³/s y que además sirva como estructura de cruce.

- Una estructura de control, ubicada en el brazo derecho, aguas abajo de la obra de toma de Sicartsa, cuya finalidad es evitar la intrusión de la cuña salina.

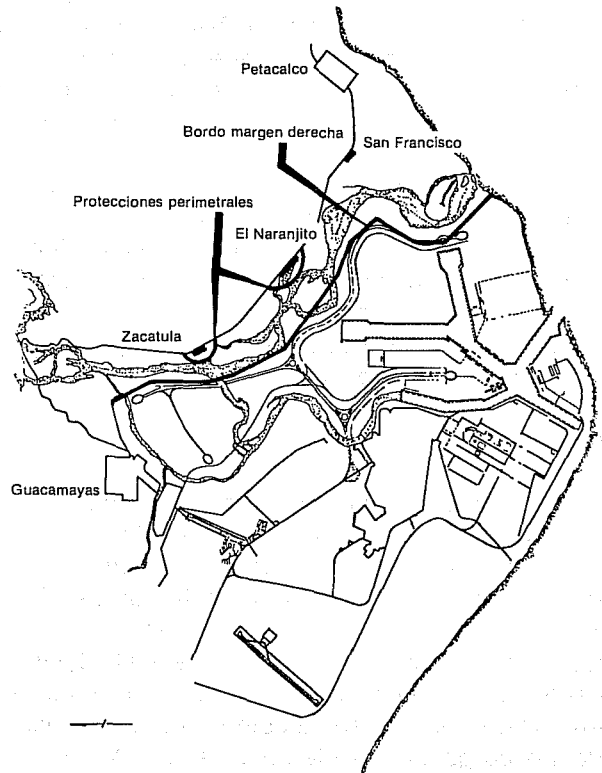
De todas estas obras, la que requiere de mayor inversión, pero que a la vez brinda la mayor protección contra inundaciones, es la del encauzamiento y rectificación del brazo izquierdo. Para lograrlo se plantearon las alternativas que se mencionan a continuación.

- **Alternativa a.** Bordos de contención en ambas márgenes, utilizando el cauce natural en toda su longitud sin excavación (véase ilustración 2).
- **Alternativa b.** Un bordo en la margen derecha y protecciones locales en la izquierda, utilizando el cauce natural en toda su longitud sin excavación (véase ilustración 3).
- **Alternativa c.** Bordos de contención en ambas márgenes y un cauce artificial entre la presa La Villita y el cambio de dirección del río y su cauce natural hasta la desembocadura en el mar (véase ilustración 4).

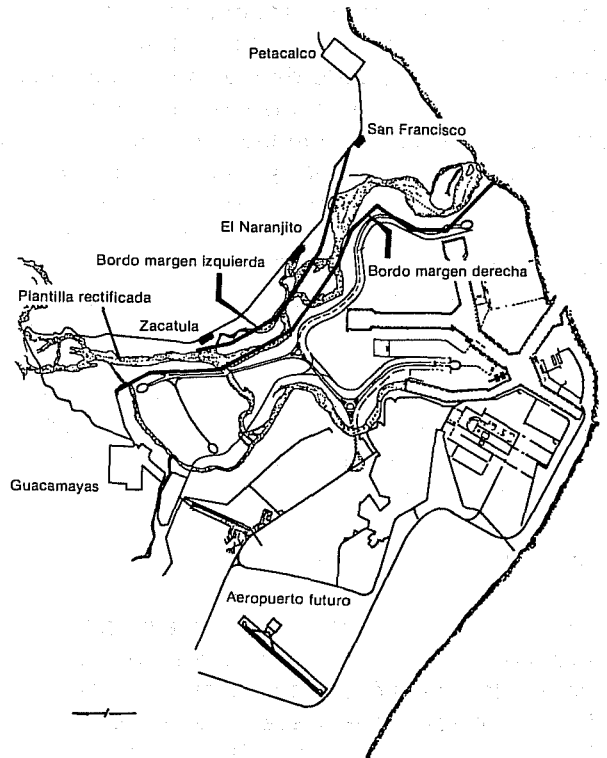
2. Alternativa a



3. Alternativa b



4. Alternativa c



- **Alternativa d.** Un bordo en la margen derecha y protecciones locales a las poblaciones de la margen izquierda, con un cauce artificial entre la presa La Villita y el cambio de dirección del río y su cauce natural y de allí a la desembocadura al mar (véase ilustración 5).
- **Alternativa e.** Bordos en ambas márgenes incluyendo la rectificación del cauce en su tramo final (véase ilustración 6).

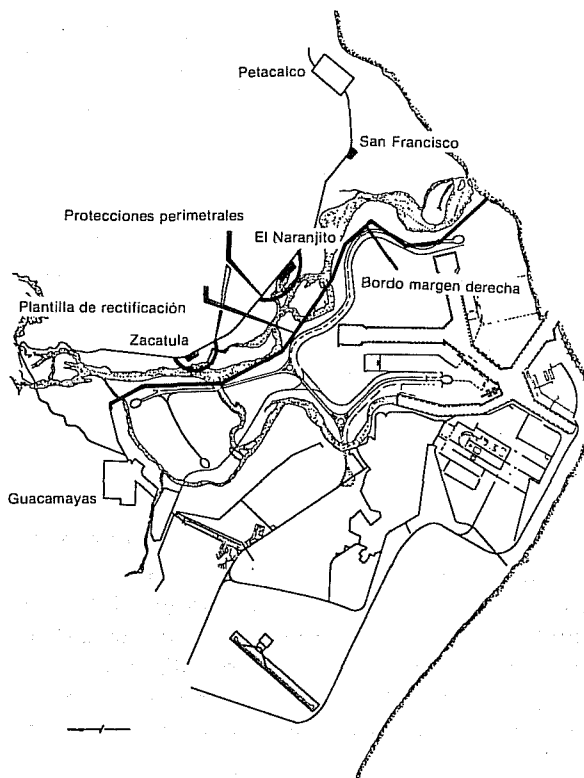
Para estudiar las relaciones ancho de plantilla-volumen de excavación-volumen de formación de bordos, conocer las velocidades del agua y su rango permisible se consideraron varias dimensiones de plantilla para cada una de las alternativas. Todas se analizaron para gastos comprendidos entre el rango de 1000 y 13000 m³/s. Mediante un modelo matemático de simulación se obtuvieron niveles de agua para cada una y se seleccionaron los gastos de 5000, 7000, 10000 y 13000 m³/s para realizar una evaluación económica. A partir de estos cálculos se concluyó que el cauce del brazo izquierdo puede conducir en condiciones naturales hasta 3000 m³/s sin desbordarse.

Con base en los niveles de agua obtenidos se determinaron las alturas de bordo que permiten calcular de manera aproximada los volúmenes de material de excavación requeridos para su construcción, así como los de enrocamiento para su protección, y se calcularon los costos aproximados de las 56 combinaciones resultantes, a precios de enero de 1984. Con los datos obtenidos, se elaboraron tres gráficas que facilitan la comparación de las alternativas (véanse ilustraciones 7, 8 y 9).

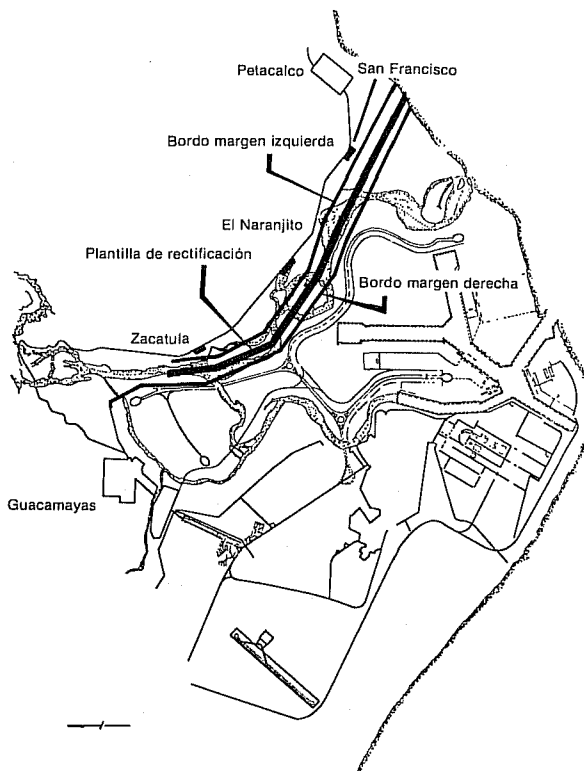
Comentarios a las alternativas

1) Las alternativas de encauzamiento que aprovechan el cauce natural en toda su longitud sin excavación con uno o dos bordos no son factibles, en virtud de que el material necesario para formarlos debe provenir de excavaciones en el lecho del río y, por lo tanto, es preciso abrir un cauce con un ancho de plantilla aproximado de 50.00 m para producir el volumen necesario; estas alternativas se ubican en el grupo de proyectos con sección rectificada. 2) Al aumentar el ancho de plantilla rectificada, se incrementa el área hidráulica excavada en terreno natural, con lo que aumenta el rango de gastos que se pueden conducir con seguridad y, disminuye las alturas de los bordos y el efecto de la velocidad del flujo

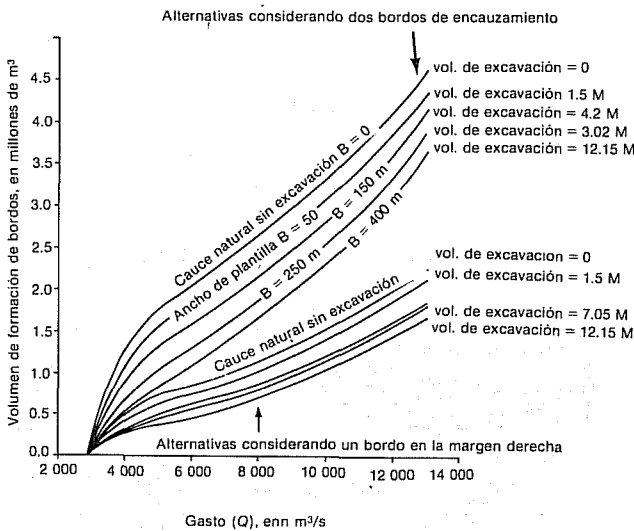
5. Alternativa d



6. Alternativa e



7. Gastos-volumen de formación de bordos



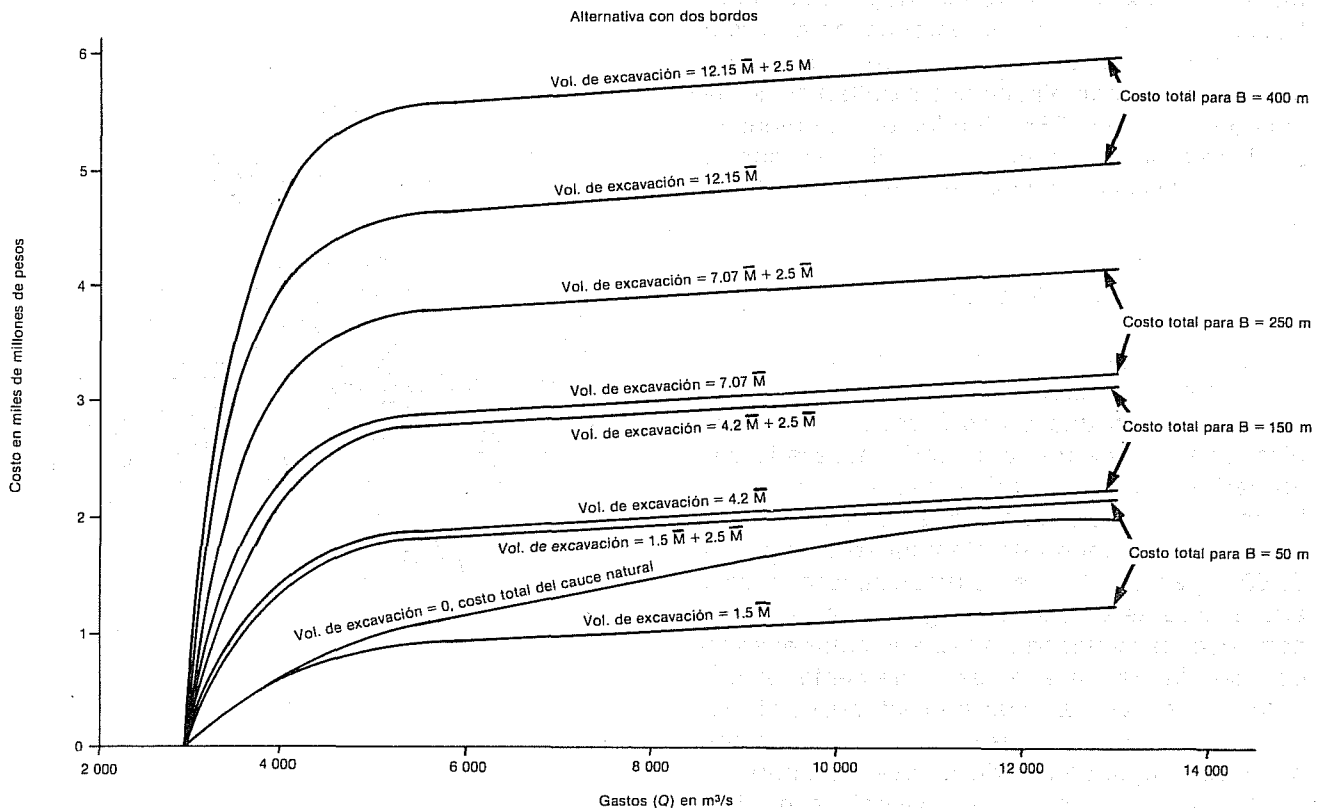
sobre éstos. Con base en esto, el ancho mínimo aceptable de plantilla rectificadora es de 150 m. 3) En la medida en que se disminuye el ancho de plantilla rectificadora aumenta el remanso del agua, reflejándose en el dique alcantarilla, que derivará gastos mayores hacia el brazo derecho; esto a su vez, obligará a revisar la capacidad de conduc-

ción de la rectificación de dicho brazo, así como la elevación de la corona de la propia estructura.

4) De las alternativas con plantilla rectificadora aguas arriba y cauce natural aguas abajo, se eligió la de ambos bordos continuos desde su inicio hasta la desembocadura, que resulta más costosa que la que contempla el bordo derecho y las protecciones locales a los poblados en la margen izquierda; sin embargo, la protección local puede sustituirse por un bordo continuo en el tramo rectificado, prácticamente al mismo costo. 5) Entre las alternativas de encauzamiento con plantilla rectificadora, la que cumple mejor con el balance de materiales es la de 150 m de plantilla y dos bordos. En el cuadro siguiente se muestran los volúmenes y costos de esta posibilidad para los diferentes gastos.

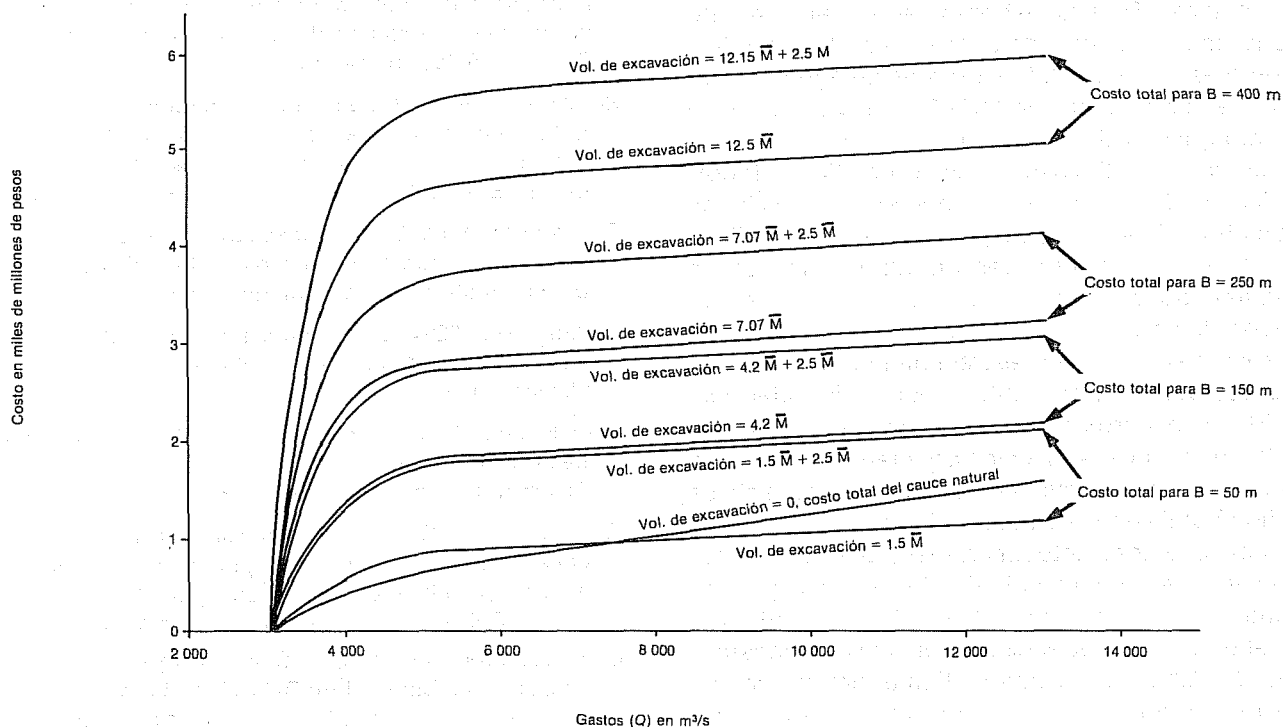
Gasto m³/s	Excavación M M³	Rellenos M m³			Costo \$ M
		Bordos	Cauces	Puerto	
5 000	7.0	1.3	4.0	1.7	2 770
7 000	7.0	1.9	4.0	1.1	2 850
10 000	7.0	2.8	4.0	0.2	2 980
13 000	7.0	4.2	4.0	-1.2	3 140

8. Gastos-costo para el encauzamiento con dos bordos



9. Gastos-costo para el encauzamiento con bordos en la margen derecha

Alternativa con bordos en la margen derecha únicamente



La diferencia de costos para los diversos gastos es pequeña aun si se consideran los valores extremos. El gasto que se puede conducir en el cauce excavado es de 2000 m³/s y el rango de velocidades para los diferentes gastos es de 3.00 a 4.5 m³/s, lo que no resulta aconsejable para la seguridad de los bordos.

6) En la alternativa con plantilla rectificada de 250 m de ancho, se puede conducir un gasto de 4500 m³/s con velocidades entre 2.0 y 4.0 m³/s, que son más favorables, sobre todo para gastos hasta de 7000 m³/s. Los volúmenes de obra y costos son los siguientes:

Gasto m ³ /s	Excavación 10 ⁶ × m ³	Rellenos M m ³			C o s t o \$ 10 ⁶
		Bordos	Cauces	Puerto	
5 000	9.5	1.0	4.0	4.0	3 760
7 000	9.5	1.6	4.0	3.9	3 860
10 000	9.5	2.6	4.0	2.9	4 000
13,000	9.5	4.0	4.0	1.5	4 160

También en este caso las diferencias de costo son pequeñas al variar el gasto pero, para cualquiera de los cuatro, resulta 30% más cara que la de 150 m.

Con base en lo anterior, se seleccionó la alternativa de 150 m de plantilla por ser, desde el punto de vista hidráulico y económico, la que presenta mejores resultados.

Encauzamiento del brazo izquierdo

El encauzamiento del brazo izquierdo se diseñó para un gasto de 13000 m³/s, considerando un bordo libre de un metro. La obra se inicia en el desfogue de las tuberías de la presa La Villita, sigue muy de cerca el cauce natural en un tramo recto de 11 km, hasta llegar al sitio en que cambia bruscamente de dirección hacia la derecha y, desde ahí al mar utiliza el cauce natural en una longitud de 3 km, donde sólo se hacen trabajos de adecuación. La distancia total de este encauzamiento es de casi 14 km. Para formar el cauce rectificado será necesario excavar 10.6 millones de metros cúbicos, 4 de los cuales se emplearán en la formación de bordos; el material restante se utilizará para rellenar los cauces antiguos y partes del puerto industrial. La elevación de la rasante del cauce en su inicio, al pie de la casa de máquinas de La Villita, es de 2 m sobre el nivel medio del mar y termina con una de 2 m por debajo de

aquél. La sección transversal del cauce rectificado está formada por un fondo horizontal con un ancho constante de 250 m y taludes de 3:1, protegidos con enrocamiento en los estrechamientos y las curvas. En sus extremos el encauzamiento tiene una pendiente de cero y en su tramo intermedio es de 0.00067. Los tirantes de agua correspondientes al gasto de 13 000 m³/s varían desde 10 m aguas arriba hasta 3 m en la descarga, con velocidades de 3 a 5 m/s. Los bordos tienen longitudes de 12 y 6 km, correspondientes a los lados derecho e izquierdo, respectivamente. Su altura es variable sobre el terreno natural y alcanza un máximo de 8 m, con una corona de 10 m de ancho, taludes en relación de 3:1 y protección de enrocamiento en los estrechamientos y en los lugares donde la corriente puede recibir ataques.

El costo aproximado de la obra es de \$6 500 millones de pesos (precios de enero de 1984). En función de la alta inversión que esto representa se solicitó al Banco Mundial un financiamiento para su consecución. Actualmente el proceso de construcción del encauzamiento del brazo izquierdo tiene un avance aproximado del 25%, en tanto que en el derecho es de 85% y en el arroyo Guacamayas de 70%. La estructura limitadora de gastos *dique alcantarilla* está ya terminada y en operación.

Bibliografía

- Berezowsky, V.A., V.E. Zurutuza. "Estudio en modelos hidráulicos de la alcantarilla en el Delta del Balsas", primer informe elaborado para la Comisión del río Balsas, México, noviembre de 1977.
- Berezowsky, V.M., V.E. Zurutuza. "Estudio en modelos hidráulicos de la alcantarilla en el Delta del río Balsas", segundo informe elaborado para la Comisión del río Balsas, México, marzo de 1978.
- Berezowsky, V.M., V.C. Cruickshank. "Estudio preliminar de una alcantarilla en el dique 1 del Delta del río Balsas, Instituto de Ingeniería, México, 1977.
- Collado, M.J. "Obras de protección a la población de Guacamayas, Michoacán", elaborado para Fidelac, México, mayo de 1979.
- Cruickshank, V.C. "Mediciones de salinidad en la desembocadura del río Balsas", elaborado para Sicartsa, México, enero de 1964.
- Cruickshank, V.C., V.M. Berezowsky. "Primera etapa del estudio del Delta desde el punto de vista hidrodinámico y ambiental", elaborado para la Comisión del río Balsas, México, noviembre de 1976.
- Maza A., F.M. García, C.J. Solís. "Proyecto de rectificación del Bajo del río Balsas", elaborado para la Comisión Federal de Electricidad, México, mayo de 1965.