

PASO SUPERIOR DE ESTRUCTURA MIXTA DE ACERO Y HORMIGON POSTENSADO

Por J. ANTONIO FERNANDEZ PALACIOS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Recientemente dimos cuenta en la crónica de un Proyecto de un Ingeniero de Caminos que había sido premiado en un Concurso en Estados Unidos de América que es el que el autor describe en el presente artículo, añadiendo en los antecedentes las particularidades del Concurso.

Antecedentes.

La famosa firma norteamericana U. S. Steel Co. convoca de vez en cuando un concurso internacional, cuyo tema es un puente de acero de características determinadas. El año 1966 se propuso un paso superior para el cruce de una carretera sobre una autopista interestatal. Los gálibos, cargas y características de trazado de las carreteras, se fijaban en las bases del concurso. También se preceptuaba el uso de las normas AASHO, aunque se permitía cierta flexibilidad para dar mayor libertad a la iniciativa del proyectista.

Los méritos de cada proyecto se juzgarían con arreglo a los siguientes criterios:

- a) Grado de utilización del acero.
- b) Originalidad del proyecto.
- c) Estética.
- d) Economía de construcción y conservación.

Todos estos factores se consideraban de la misma importancia.

El proyecto, cuyas características más importantes se describen en este artículo, fue uno de los 13 premiados, correspondiéndole una mención de honor que, por lo inesperada, compensó el trabajo del autor en una medida muy superior a su pequeña importancia real. Por ello, he creído de cierto interés exponer lo fundamental del proyecto y de la experiencia como concursante, para animar a otros a intentar y conseguir mejor suerte.

Cómo obra de ingeniería, el tema propuesto no era realmente gran cosa; la luz total a salvar sólo sobrepasaba ligeramente los 88 m. y la altura libre de la calzada central era de unos 5 m. Por otra parte, la sobrecarga de cálculo — de acuerdo con las normas AASHO — era la H20-S16, camión con remolque con un peso total de unas 30 T., con lo cual, el proyecto

de un puente que podría llamarse "convencional" no presenta ninguna dificultad, aunque tampoco llamaría mucho la atención del Jurado.

Pensando que el ahorro de tiempo es un factor de mucho interés, sobre todo en los Estados Unidos (aunque no fuera más que para responder a la fama conseguida por ellos en el resto del mundo), me orienté hacia una solución de puente completamente prefabricado, cosa que no parecía ofrecer demasiadas dificultades tratándose de un puente metálico. Los inconvenientes comenzaron a aparecer cuando la economía me decidió a adoptar el tablero de hormigón y a obligarle a tomar parte en la resistencia del conjunto como cabeza superior de las vigas continuas.

Tomando muy en serio la economía (y en esto me equivoqué, como verá el que leyere), dividí la luz total en cuatro vanos, más pequeños los extremos que los centrales, y escogí la viga continua con apoyos articulados como solución estructural.

La buena apariencia del puente y la máxima economía de conservación, me aconsejaron limitar las vigas a dos y darles sección cerrada; el tablero se encarece un tanto, pero el reparto de las cargas sobre las vigas es más favorable, por lo que su utilización es más completa también; el factor de distribución de las sobrecargas resultó ser 1,169 solamente. La figura 1.^a muestra el alzado general, y las 2.^a y 3.^a, los detalles de las secciones.

Solución del tablero.

Decidida la prefabricación, dividí el tablero en fajas transversales de 1,50 m., aproximadamente (exactamente 5 pies), trabajando a flexión sobre las vigas y armadas con acero normal. La solidarización longitudinal de las fajas entre sí, fue confiada a un postensado paralelo al

eje longitudinal del puente mediante 24 cables Freyssinet de 10×5 , cuya situación se estudió con gran cuidado en atención a los efectos secundarios y a su influencia sobre las tensiones producidas en el tablero, por su colaboración en la estructura mixta formada con las vigas de acero; como podía esperarse, quedaron cerca de la mitad del grueso de la losa (figs. 2.^a y 3.^a).

Anclaje del tablero prefabricado a las vigas. — Esta parte resultó la más difícil, ya que se trataba de transmitir eficazmente los esfuerzos cortantes originados por la colaboración de la losa con las vigas. Este anclaje debería efectuarse después de postensar, para no aumentar los efectos secundarios de la operación y descontar, por lo menos, los acortamientos elásticos instantáneos del tablero. Tampoco era deseable aumentar el número de soldaduras en obra, ni resultaba elegante convertir las piezas del tablero en elementos pseudometálicos vergonzantes dotándoles de extremidades metálicas. La solución adoptada puede verse en los detalles de la figura 4.^a, que muestran la armadura de los huecos de sección cuadrada dejados en las piezas del tablero y el despiece de los elementos metálicos soldados a las vigas en taller (véase también la figura 5.^a), sus placas de asiento para las cuñas y éstas últimas. La forma en embudo de los huecos de la losa y el dentado de una cara de las cuñas, hacen imposible que se levante la losa una vez encajadas las cuñas, aunque no se haya rellenado el espacio sobrante con hormigón o mortero.

Para absorber las tracciones en el hormigón sobre los apoyos sometidos a fuertes momentos negativos, fue preciso añadir otros 13 cables de postensado sobre cada apoyo intermedio y 15 sobre el central.

Se ha conseguido el fin propuesto: un tablero de hormigón prefabricado que colabora con las vigas, incluso en las zonas de momentos negativos sin tracciones en el hormigón.

Apoyos.

Otra característica, de algún interés, reside en los apoyos flexibles de los extremos y de los situados a ambos lados del central. Con este sistema se consigue que no haya más rótula que la del apoyo central; los otros están soldados a las vigas, confiando a su extrema esbeltez la absorción, sin daño para la estructura de los

giros y traslaciones de los nudos. El esfuerzo de frenado lo resiste únicamente el apoyo central, mientras que el efecto del viento transversal al puente es resistido sólo por los demás, que tienen gran rigidez en esta dirección y no sufren la desventaja del pequeño huelgo que es necesario para el buen funcionamiento de la rótula.

Cálculos.

No presentan ninguna dificultad. Lo más engorroso es la determinación de los efectos secundarios, causados por la fluencia del hormigón del tablero bajo la acción del postensado a lo largo del tiempo y teniendo en cuenta la hiperelasticidad de la estructura. Afortunadamente, en la mayor parte de las zonas resultaron favorables incluso para el acero de las vigas y no hicieron aumentar los tanteos necesarios. No es oportuno insistir en un aspecto tan poco interesante por la sencillez de la estructura.

Autocrítica.

Al llegar aquí bueno será preguntarse en qué medida se han satisfecho los cuatro puntos básicos.

a) Grado de utilización del acero. Los soportes y las vigas principales son de acero. El empleado en armaduras ordinarias y de postensado no parece que encaje tan bien y, por ello, es evidente que la solución adoptada es inferior en este aspecto a la enteramente metálica con tablero de acero.

b) Originalidad del proyecto: Dentro de lo que cabe en una estructura tan sencilla, se ha conseguido bastante en este aspecto. Los apoyos flexibles, la prefabricación del tablero con su especial sistema de anclaje y la combinación de hormigón postensado y acero, colaborando para formar una estructura mixta, tienen cierta novedad. Sin embargo, las líneas generales del proyecto son clásicas, y si se prescindiera de su forma de montaje para hormigonar *in situ* el tablero, se convertiría en un puente con muy poca diferencia sobre la solución obvia.

c) Estética: Este punto se ha cubierto a medias. Las cuatro luces no son lo más aconsejable, ni la proporción entre las centrales y las extremas, que resulta de la sección transversal de la carretera, es agradable. La sencillez de la línea, la esbeltez de los soportes y el dinamismo

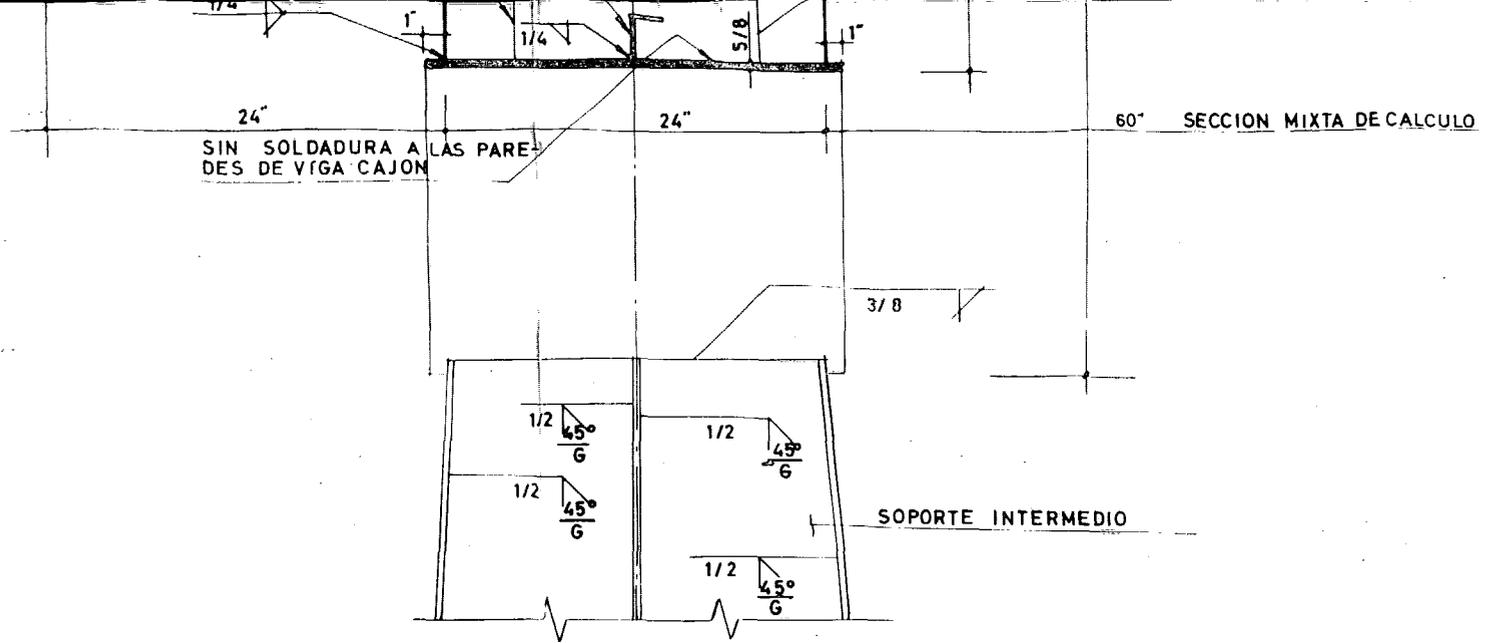


Fig. 2.ª — Sección transversal.

acusado del central son, en cambio, factores positivos. El intradós es más estético que el que presentan las vigas armadas corrientes en número de cuatro, como suele ser normal.

d) Economía de construcción y conservación: Aquí el resultado es más satisfactorio. El consumo de acero en estructura, incluidos los soportes, resultó sólo de unas 80 toneladas, a pesar de haber utilizado el acero más corriente, el A36. Las armaduras ordinarias del hormigón, incluso cimientos, no llegan a 30 tonela-

das, y el acero para postensar se queda en unas 4 toneladas. La rapidez de montaje y la posibilidad de una inmediata entrada en servicio, son dos aspectos muy importantes. La conservación viene facilitada por la poca superficie metálica que queda al exterior y, desde luego, es mucho más económica que con tablero metálico. Quizá pudo haberse llegado más lejos en este sentido utilizando aceros especiales, como el Corten-Ten Steel, que permiten ahorro de peso y son más resistentes a los agentes atmosféricos, pero no

HUECOS DE ANCLAJES

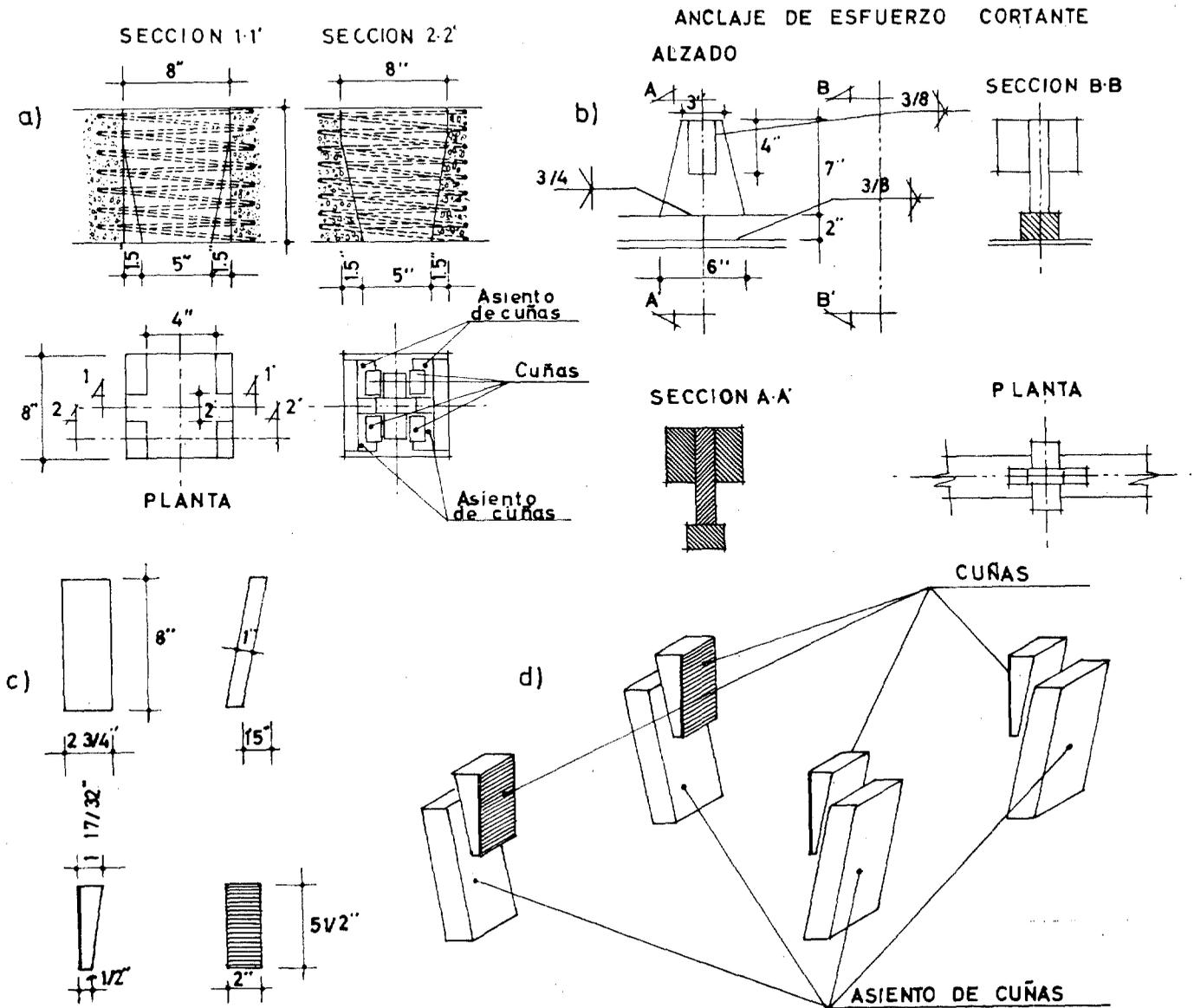


Figura 4.^a

tenía información suficiente para decidir si sus mejores características mecánicas y físico-químicas compensaban su mayor precio y menor soldabilidad.

Citemos, por último, sobre este punto, que la solución adoptada se presta a un económico

refuerzo tan sencillo no es ventaja despreciable.

Impresiones sobre el concurso y sus resultados.

Todos los documentos tenían que redactarse

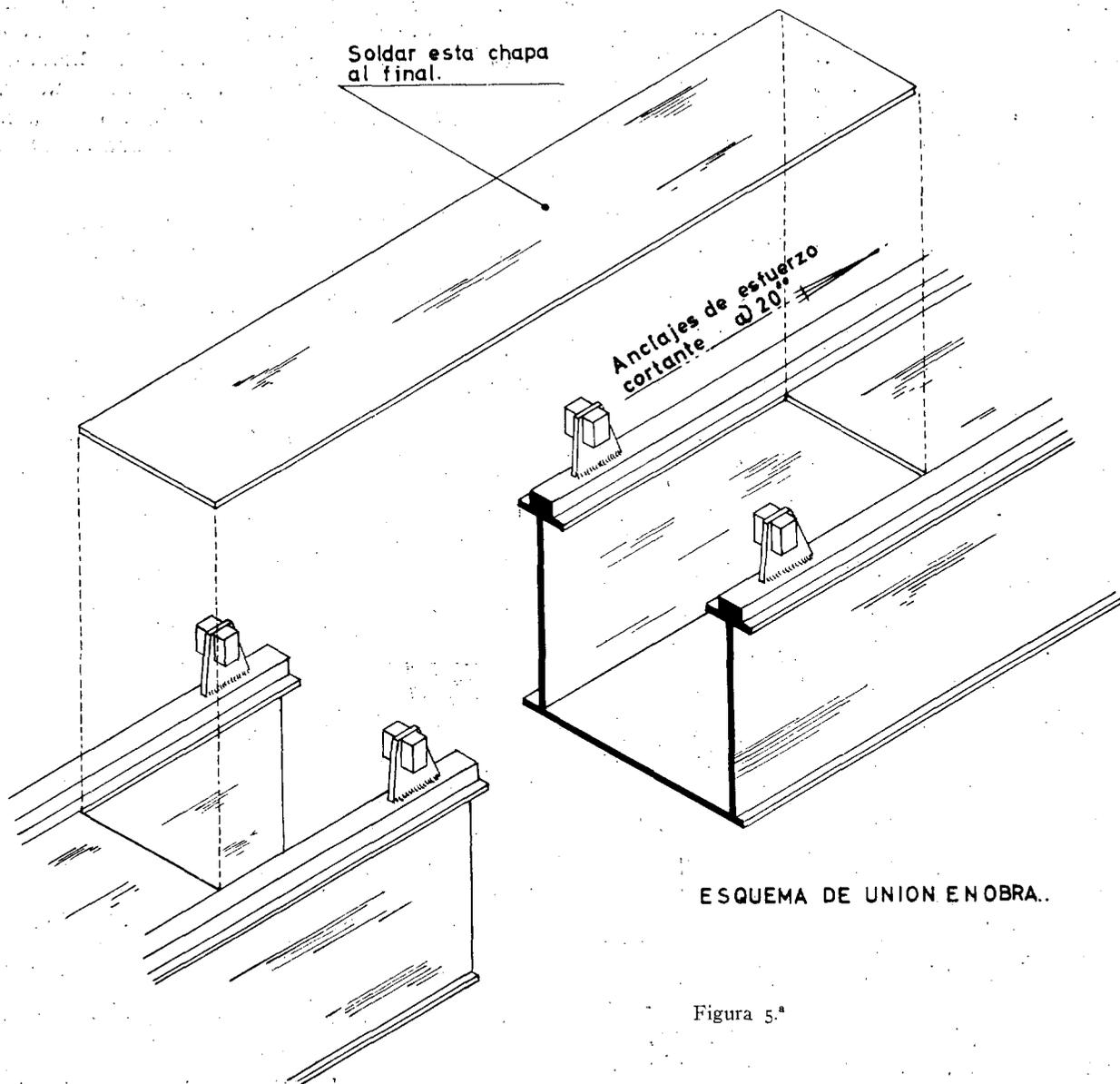


Figura 5.^a

refuerzo en más de un 50 por 100 de su resistencia total, teniendo la previsión de armar el tablero de forma que pueda admitir la colocación de una tercera viga, tal como se ve en la figura 6.^a. El suplemento de armadura necesario está incluido en las cifras dadas. Naturalmente, esta tercera viga, que se colocaría cuando el aumento de las sobrecargas lo exigiese, no po-

dría colaborar con el tablero, pero aun así, un refuerzo tan sencillo no es ventaja despreciable.

en inglés, y las medidas, pesos, tensiones, etc., debían expresarse en unidades inglesas. La existencia de diversos idiomas tiene como compensación a las dificultades que crea, la ventaja de una correlativa ampliación de los horizontes del arte de escribir y de su goce como lector. En cambio, la diversidad de sistemas de medidas y de normas, es una verdadera calamidad para

el progreso de la técnica a escala internacional, y, además, una calamidad innecesaria porque el resultado final (una vez traducido) es mucho menos diferente que las normas básicas. Ciertamente que para un proyecto aislado supone, simplemente, perder un poco más de tiempo, pero pocas cosas habría de más alcance práctico que una universal aceptación de las mismas normas y sistemas de medidas.

En lo que se refiere al resultado del concurso, la mayor proporción de concursantes norteamericanos y su mejor conocimiento del

a los que empezamos a trabajar cuando el hierro se había convertido casi en un fármaco. Evidentemente, la solución premiada en primer lugar (2 luces iguales) es más estética, evita el peligro adicional de dos apoyos y permite modificar la sección de la calzada con una gran libertad. La mayor parte de los proyectos premiados tenían un máximo de tres luces, y parece ser que la tendencia general de los concursantes se ha orientado en la misma dirección, cosa muy digna de tenerse en cuenta (por la amplia distribución geográfica de sus lugares de ori-

- 1 Y 2 VIGAS Y SOPORTES DEL PUENTE PROYECTADO (ESTRUCTURA MIXTA DE ACERO HORMIGON)
 3 VIGA Y SOPORTE PARA UN EVENTUAL REFORZAMIENTO. SOBRECARGA UTIL AUMENTADA EN UN 50%. APROXIMADAMENTE.
 LA VIGA 3 TRABAJA SIN LA COLABORACION DEL TABLERO

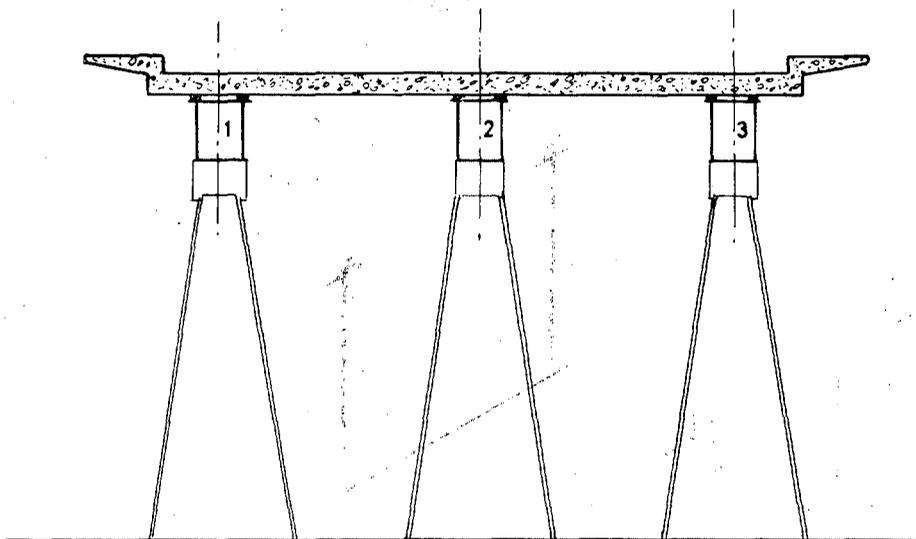


Fig. 6.ª — Croquis de eventual reforzamiento.

medio produjo el copo de los premios más importantes. El jurado concedió, al parecer, importancia fundamental a la seguridad de la circulación, entendiendo que se servía esta exigencia reduciendo en lo posible el número de apoyos, aunque el coste de la obra subiese notablemente; el aspecto económico parece haber tenido mucha menos importancia, cosa presumible por quien conozca la manera de ser y de trabajar de los estadounidenses, pero que no me atreví a valorar debidamente quizá por el complejo de ahorrar acero que aún nos queda

gen) para prever la posible evolución del arte de proyectar.

Para terminar, quiero pedir disculpas por no haber "traducido" las medidas que figuran en las ilustraciones; no me ha parecido esencial, ya que se trata de una ligera explicación de las líneas generales del proyecto, y, en cambio, temo que el paso de cifras redondas a las extrañas que resultan de su conversión al sistema métrico, hubiera producido más confusión que claridad.