Ing. Roberto Torretti P.

El puente en avanzada construcción sobre el estrecho de Mackinac entre los lagos Hurón y Michigan en EE. UU.

Proyecto del Ingeniero Consulto Dr. David B. Steinman.

En satisfacción de deseos manifestados por el autor, hago en las líneas que siguen una suscinta relación de lo que es esta monumental obra de la Ingeniería moderna, comenzada en mediados del año 1954 y que en ya muy adelantada construcción, se espera terminar y entregar al tráfico en noviembre del año 1957.

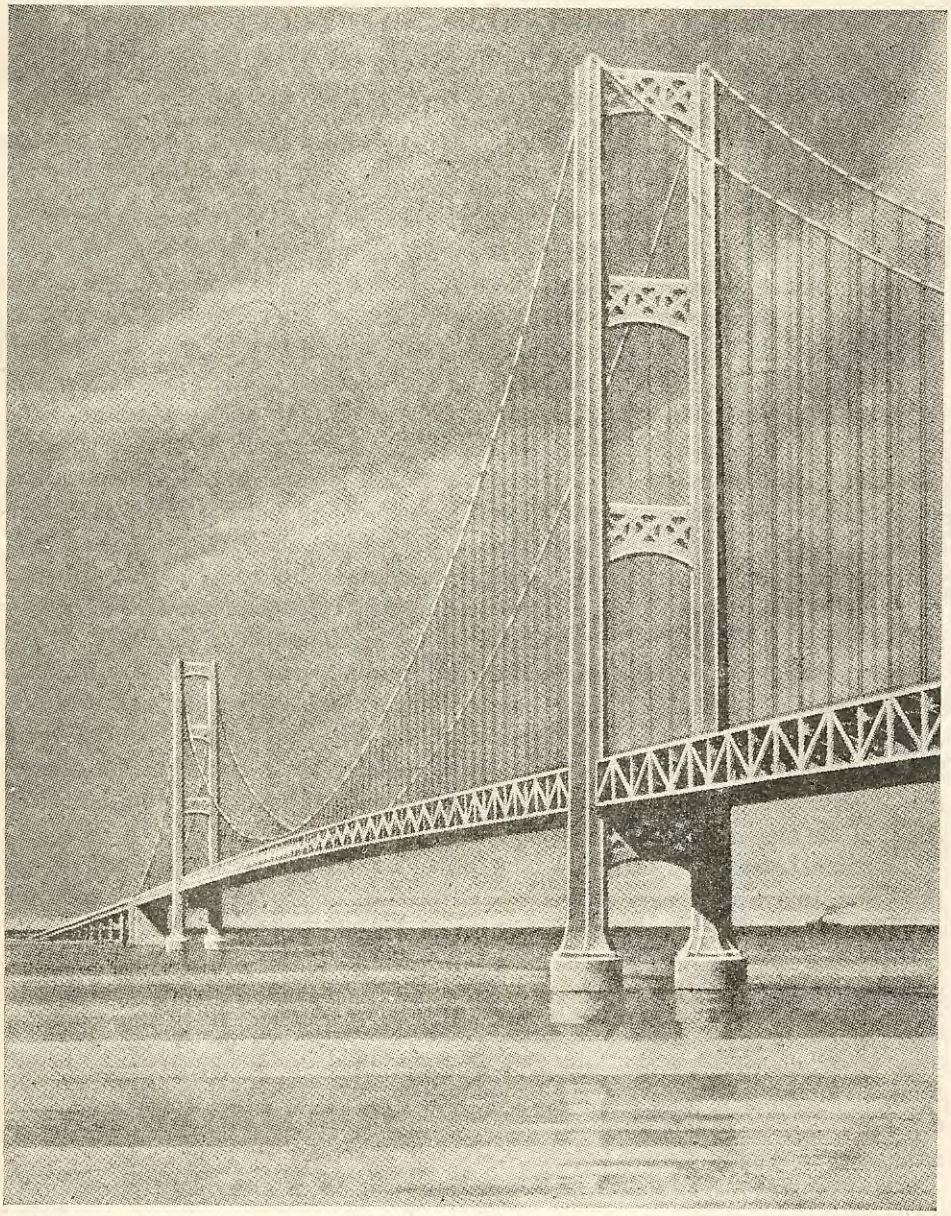
El Estrecho de Mackinac, que separa los dos grandes Lagos Huron y Michigan en el Estado de este nombre, divide en dos Penínsulas al mismo; la Alta, con unas 16.000 millas cuadradas y la Baja, con algo como 46.000 millas cuadradas, siendo la primera un territorio agrícola y minero, de grandes bosques, mientras la segunda, industrial por excelencia, encierra la gran ciudad de Detroit, centro de grandes actividades de la industria pesada y del automóvil. En la alta, aparte de la minería del cobre de marcada importancia, los bosques, la caza y la pesca, tanto como el "camping", toman un enorme interés durante todo el año, con los sports de cada estación, que llevan un movimiento de vehículos de todas clases y tamaños, estimados en cerca de dos millones de unidades por año.

Actualmente, el tránsito entre ambas penínsulas se hace por medio de Ferry-Boats a través del Estrecho, en viajes que toman al menos una hora de una orilla a otra, y naturalmente con enormes dificultades estacionales por causa del tiempo frecuentemente tempestuoso, por el invierno helado que lo corta, por las demoras consiguientes a exceso de tráfico, que en ocasiones ha llegado a las 17 y más horas, en colas de más de 15 millas de largo.

Como consecuencia de todas estas dificultades, por casi tres cuartos de siglo se ha buscado una solución satisfactoria al problema, insinuándose a veces la idea de un puente, o de un túnel sumergido, sin llegar a materializarse por falta de preparación técnica, por falta de elementos mecánicos adecuados y no poco por falta de confianza en la posibilidad de financiar una obra de tal magnitud, hasta que en 1953 la Legislatura del Estado creó una Autoridad del Puente de Mackinac, después de un informe favorable sobre las posibilidades de todo orden, de una comisión de expertos Ingenieros, que dando forma a la idea, hicieron posible el comienzo de las obras a mediados del año 1954, dentro de un plan para terminarlas en noviembre de 1957.

Se entregó la confección definitiva del proyecto al Ingeniero Consultor Dr. D. B. Steinman, quien tomó a su lado al Ingeniero de su misma especialidad Sr. Woodruff, y ellos prepararon todo lo necesario para contratar y comenzar los trabajos, como dicho, ya en julio de 1954.

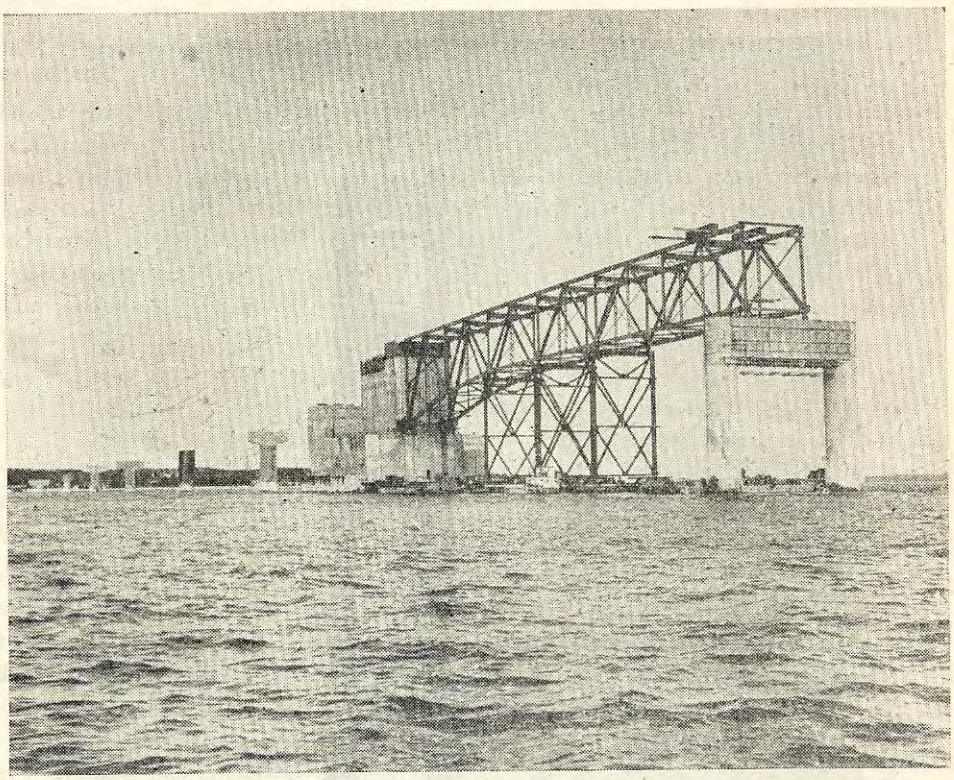
El Puente se encuentra en avanzada construcción, habiéndose dado término a todas las fundaciones-apoyo de los 33 tramos consultados, para seguir con el montaje de la superestructura y de las dos altas esbeltas torres de acero y de 550 pies de alto de apoyo de los cables del tramo central colgante y de 3.800 pies de luz que salva una gran depresión del fondo del estrecho más o menos al medio de su longitud, torres también ya armadas sobre sus fundaciones a más de 200 pies de profundidad del agua.



Puente Mackinac s. el Estrecho del mismo nombre, que separa los Lagos Huron y Michigán en los EE. UU. de América. Proyectado por el Ing. D. B. Steinman, bajo cuya dirección se construye desde julio de 1954, para ser terminado en noviembre de 1957.

La longitud total del enorme puente será de 26.444 pies, o sea unos ocho kilómetros, con un tramo central suspendido de 3.800 pies de luz, seguido de dos laterales de 1.800 pies y de otros dos de sólo 472, cuyos apoyos, muy fuertes, sirven de anclaje a los cables de suspensión del tramo central. Además, otros 28 tramos de diversas longitudes correspondientes a las profundidades de fundación estimadas más seguras y económicas, completan la obra más importante construída hasta la fecha en el ramo, no sólo por su magnitud sino que por las muchas dificultades de fundación, profundidad del agua y acción violenta de un clima áspero de grandes vendavales y de hielo y frío en el invierno.

El puente será de piso superior, con sus vigas laterales distanciadas de 68



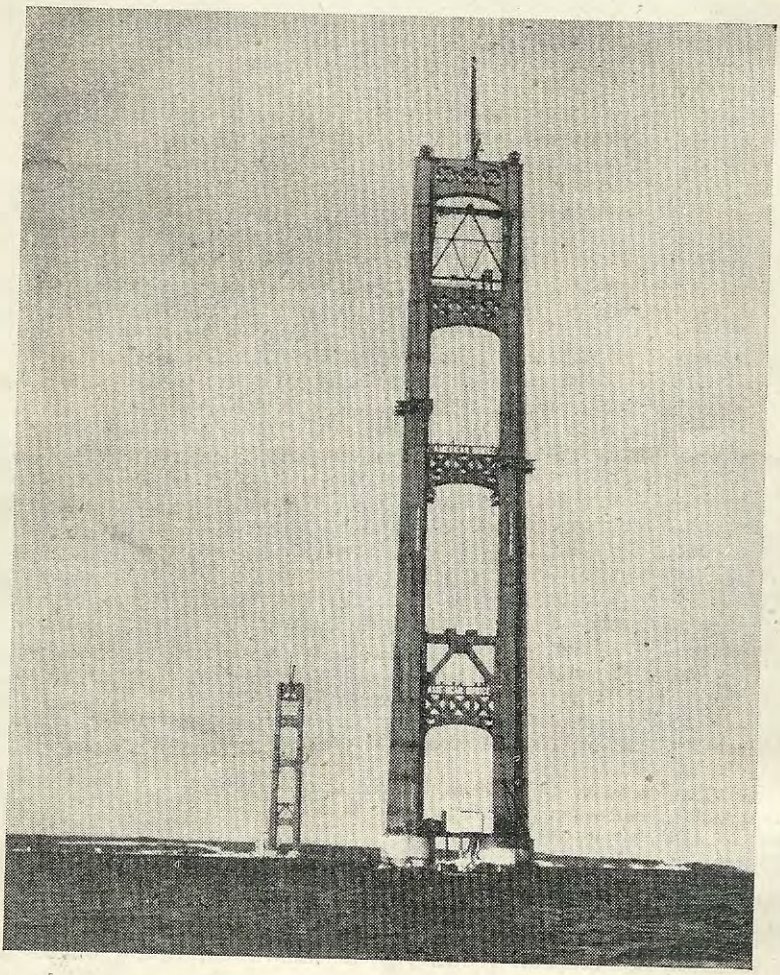
Tramo de 472 pies, sean 145 metros de luz, armado en tierra y luego transportado en una gran chalana como andamio flotante, a la altura necesaria para su colocación sobre los apoyos 21 y 22, éste último correspondiendo a uno de los macizos de anclaje de los cables de suspensión del tramo central.

pies entre ejes y de 38 pies de altura, siendo las vigas del tipo recto con cabezas paralelas, debidamente arriostradas entre ambas por la viga transversal de apoyo de las calzadas, por crucetas y otra viga de amarra inferior, y unidas sus cabezas con montantes y diagonales en el tipo corriente. Las cuatro calzadas de 12 pies de ancho para el tráfico de los vehículos motorizados de todos tipos, llevarán veredas laterales de 3 pies de ancho en voladizo y a un nivel un poco más alto, para servir de guardarruedas.

El Dr. Steinman, autor del proyecto, secundado por el Ing. Woodruff, al estudiar esta obra monumental de la Ingeniería moderna, debió considerar hasta en sus últimos detalles todas las condiciones adversas que se presentaban, por la

profundidad del agua y fango hasta llegar a la roca de fundación, por los elementos de la naturaleza con sus grandes temporales y vendavales de cerca de 180 millas por hora de velocidad y por la presión del hielo en el invierno sobre las estructuras de los apoyos, y de los bloques flotantes en el deshielo. Pero sabían que eran capaces de vencer, porque tenían ideas fijas y concretas, y contaban con los elementos mecánicos de construcción que pudieran requerir, de estilo y capacidades adecuadas.

La primera gran dificultad provenía de la profundidad del agua y espesor del fango en el fondo del Estrecho, que había que vencer para alcanzar la roca de fundación, y que para las dos Torres principales de apoyo del tramo central y de los cables de suspensión, era de al menos unos 200 pies, mientras en algunos



Las dos esbeltas Torres de 550 pies de altura ya armadas sobre sus apoyos números 19 y 20, a 3.800 pies de distancia en medio del Estrecho y a 200 pies de profundidad.

otros apoyos pasaba los 130 pies. Fue vencida con la adopción del sistema de cajón abierto, de doble pared metálica, vaciado del fango por cucharón de almeja y relleno de concreto por el sistema Prepakt.

Una segunda, la constituía la proximidad del invierno, que podría producir

atrasos en el plazo de construcción si no se alcanzaba a afirmar debidamente los cajones antes de la mala estación; y fue vencida por la acumulación de elementos suficientes y el empleo del sistema Prepakt para la concretadura, que permitió el record de más de 5.000 yardas cúbicas de concreto colocado en obra en día completo y continuado de 24 horas, para un total de 75.000 yardas cúbicas contenidas en cada una de las fundaciones de apoyo de las dos Torres principales.

La presión del hielo sobre estas estructuras fue calculada con un coeficiente de seguridad de 5 para las más altas presiones registradas por pie lineal, quedando por fin la más importante, cual era la de dar a la superestructura la necesaria resitsencia a los esfuerzos torsionales del viento, sin encarecer demasiado el costo por un aumento en el peso de la misma, grave problema que el Dr. Steinman venció, reduciendo al mínimo posible las superficies de choque del vendaval sobre las armaduras.

De allí su genial idea, ensanchando la armadura hasta 68 pies, cuando las cuatro calzadas sólo tomarían 48 pies, divididas en dos laterales de 12 pies cada una, con pavimento lleno y dos centrales, también de 12 pies de ancho cada una, cuyo piso estará constituído por una fuerte malla de pequeñas vigas doble T soldadas en cuadros suficientemente pequeños para hacer suave el tráfico motorizado, pero suficientemente grandes para dejar pasar el viento en su mayor proporción, tal como también se hizo con las veredas en voladizo, con piso de malla del mismo tipo, pero naturalmente más cerrada.

Los cajones abiertos, de fundación de las dos Torres principales, tienen un cofre de plancha de acero de 116 pies de diámetro, con una segunda pared interior a 15 pies más adentro, o sea, de 86 pies de diámetro, que forma al pie una especie de cuchillo abriéndose hasta los 116 pies para juntarse al final con la exterior, con un anillo circular de refuerzo del mencionado cuchillo. Estas dos paredes están unidas entre sí en su altura por refuerzos que a su vez mantienen la distancia, y el conjunto forma así un tubo de 116 pies de diámetro exterior, de doble pared, con sólo 86 pies de diámetro interior.

Puesto este tubo en estricta posición y alineación, sobre el fondo de fango del Estrecho (over-burden), se recarga con piedra de calidad y tamaño conveniente entre las dos paredes, para darle peso y facilitar su introducción en el terreno superior a la roca de fundación; y entonces se procede a vaciar su interior por dragaje por cucharón de almeja desde una chalana y grúa acostada al tubo. Luego, se rellenan los huecos del chancado entre paredes, con mortero del sistema Prepakt, haciéndolo así impermeable; se sigue dragando, y cuando se llega al fondo de roca, se impermeabiliza con una capa del mismo tipo de concreto, para poder vaciarlo del agua y continuar la operación en seco. La colocación en línea y demás operaciones se han ejecutado como es natural por medio de chalanas y remolcadores en la forma adecuada.

El relleno final con concreto, efectuado por el sistema Prepakt, se hizo en seco, vaciando por medio de chalanas de autodescarga el agregado por capas sucesivas y rellenando los huecos con el mortero a presión por medio de tubos de acero de unas tres pulgadas, que se levantaban a nivel superior cuando la capa respectiva estaba ya colmada, hasta terminar unos cuantos pies sobre el nivel del agua, usando como defensa del concreto y como adorno, una fila de piedra canteada alrededor, desde unos diez pies bajo el agua. Sobre esta infraes-

tructura de concreto con cofre de acero, se han anclado hasta la profundidad conveniente, las piernas de acero de las Torres.

Las fundaciones de los demás apoyos de los tramos se han ejecutado en forma similar aunque mucho menos importante, salvo las dos macizas correspondientes al anclaje de los cables de suspensión, fundadas en 130 pies de agua y fango, con cajones rectangulares y no circulares, de 115 x 95 pies, para obtener el debido peso necesario al esfuerzo de tensión de los cables. Y sólo en diez casos, donde el relleno superior a la roca era muy alto y la profundidad del agua poca, se empleó el sistema usual del pilotaje de fuertes vigas de acero clavadas al rechazo, y luego envolviendo el conjunto en concreto hasta el nivel necesario.

Esta obra monumental estará sin duda terminada en noviembre del año 1957, y su costo alcanzará en números redondos a los 100 millones de dólares. En la actualidad, terminadas como dicho antes las fundaciones, se han armado ya las dos Torres principales a 3.800 pies una de otra, y se han colocado algunos tramos en posición, armados totalmente en tierra y luego llevados a su destino en grandes balsas, remolcadas por remolcadores ad-hoc, y colocados estos tramos sobre armaduras en las balsas que las mantienen a la altura que les corresponde para su colocación sobre sus apoyos definitivos, con supresión absoluta y total de toda clase de andamios fijos, y sirviendo los mismos elementos para la gran mayoría de los tramos.

Por las necesidades de la navegación muy intensa en los Lagos, el tramo central tendrá una altura libre de 155 pies desde la cabeza inferior de sus vigas hasta el nivel del agua.

Un derecho de peaje prácticamente igual al valor de la pasada en Ferries, sean unos tres dólares por unidad, permitirá la mantención de la obra y su amortización en un plazo no superior a 18 años, cuando se haya reducido a cero el Empréstito de cerca de 100 millones de dólares que representará el costo de la obra y los intereses del capital invertido durante la construcción, de poco más de tres años. Los usuarios no necesitarán más de diez minutos para atravesar el Estrecho, evitándose las esperas, molestias y peligros del sistema actual.

Y la obra más importante en su género nunca antes construída en el mundo, quedará sirviendo las actividades de la zona y del país, y representando las posibilidades de la ingeniería moderna, manejada por cerebros privilegiados y justificando la concepción y ejecución de tamaña estructura, para bien de la patria y de la humanidad.

La infraestructura del Puente fue ejecutada y está actualmente terminada, por la firma de New-York de Merritt, Chapman & Scott Inc., con un valor redondo de US$ 45.000.000, y la superestructura, incluyendo cables, etc., está siendo eecutada por la American Bridge Co., subsidiaria de la U. S. Steel Corp., por una suma de US$ 55.000.000.