

COJINETES DE ELEVADO RENDIMIENTO PARA CONSTRUCCIONES

Por R. W. NEVIN, CEng, AMIMechE

Jefe de Departamento de The Glacier Metal Co.

A primera vista le debe parecer a un profano en la materia un poco incongruente el prever holguras para el movimiento en estructuras tales como puentes; no obstante, en la actualidad se acepta universalmente que los cambios normales de longitud en grandes construcciones son tales que se debe efectuar una previsión específica respecto al movimiento, para impedir la formación de unas elevadas tensiones internas inaceptables.

Las principales causas del movimiento son la expansión térmica, contracción de la superestructura y su flexión bajo las cargas; no obstante, el movimiento de los cimientos es también importante, especialmente en zonas sujetas a desplome de minas y en países afectados por terremotos.

El problema se ha incrementado en los últimos años con el desarrollo de las técnicas de construcción y por el constante aumento en el empleo del hormigón, que se contrae significativamente durante el fraguado y postensado, ya que las tensiones desarrolladas durante esta operación deben dejarse que ocurran libremente si se ha de realizar el provecho previsto.

Debido a estos hechos, durante muchos años se ha practicado normalmente el montar puentes sobre cojinetes simples; no obstante, debido a los desarrollos realizados en la construcción y diseños consistiendo en el empleo de hormigón armado o postensado y hormigón y acero compuesto, ello ha motivado a construir vanos de puentes de mayor longitud y mayores distancias entre los mismos, lo que ha incrementado sustancialmente las características de funcionamiento que se requieren de los cojinetes.

Esta situación queda particularmente de manifiesto en las largas autopistas elevadas, que se ven constantemente en incremento como reacción a los problemas del tráfico en zonas urbanas densamente pobladas, y en los viaductos que soportan muchas secciones de las autopistas.

Los cojinetes primitivos que se empleaban tenían la forma de unas placas deslizantes de hierro colado o bronce, las cuales eran poco satisfactorias a causa de los coeficientes iniciales de elevada fricción y, asimismo, debido al hecho de que a menudo se presentaba agarrotamiento a causa de la dificultad de mantener una lubricación adecuada.

Asimismo se emplearon cojinetes de rodillos, tanto en la forma de pequeños rodillos múltiples como de grandes rodillos sencillos.

Los rodillos sencillos poseen la ventaja de acomodar, asimismo, el cambio de inclinación o rotación del piso debido a la flexión bajo la carga. Se desarrollaron dichas piezas según el tipo oscilante que gozó de popularidad durante muchos

años, particularmente en el continente europeo. La capacidad de movimiento y rotación necesarios en la dirección transversal, originó la fabricación de vastas combinaciones de pedestales de oscilación con una o incluso dos capas de cojinetes de rodillos en aguja con placas intermedias que formaban montajes extremadamente difíciles de manejar, lo que motivó una situación en que se precisaba un nuevo concepto de cojinete que se adaptara al desarrollo realizado en las construcciones.

No es difícil especificar las condiciones de un cojinete de esta clase; ante todo, y como es natural, debe poder acomodar los movimientos transversales y longitudinales necesarios y, asimismo, las rotaciones; en segundo lugar, debe limitar las

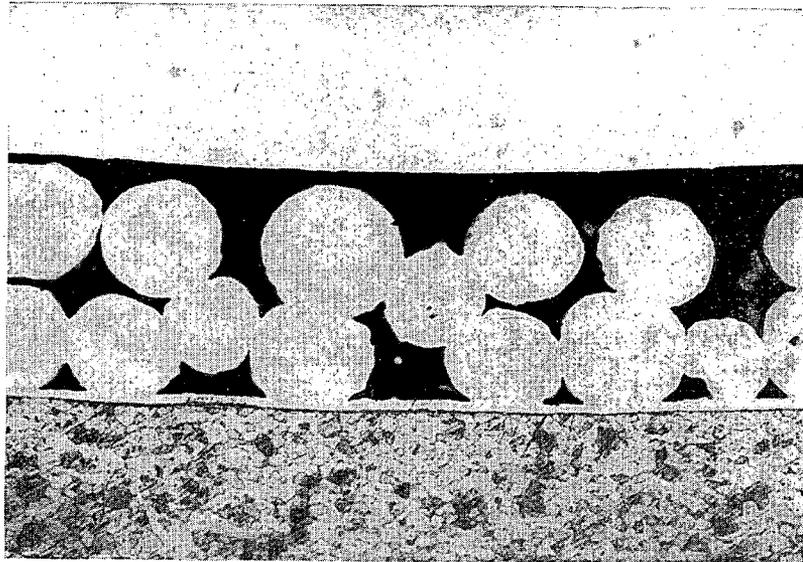


Fig. 1. — Microsección del Glacier DU $\times 100$.

tensiones directas en la estructura hasta niveles aceptables y, por último, debe facilitar el emplazamiento completo de la estructura contra la fuerza horizontal del viento y del tráfico.

LARGA DURACION

Además no debe precisar mantenimiento y debe poder ser utilizado durante una vida muy extensa sin la necesidad de tener que abastecerle de lubricación de nuevo. La larga duración exige que debe ser un montaje cuyas características de trabajo no queden afectadas por la corrosión y, finalmente, debe ser relativamente económico.

La solución de este problema no pertenecía a las actividades de la Ingeniería Civil, y el hecho de que se observara que existía un mercado que tenía que abastecerse, fomentó el que diversas firmas no pertenecientes a la referida industria emplearan el personal especializado y su tecnología para solventar esta situación. Se fomentó esta tendencia debido a los incentivos económicos al concentrarse en ac-

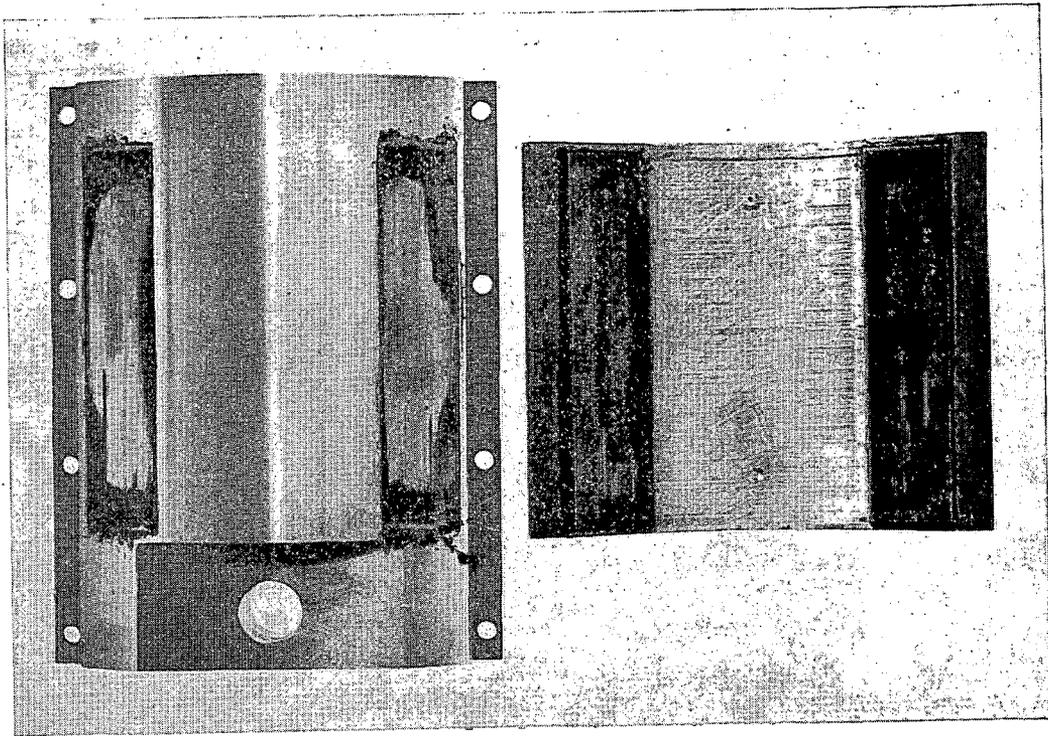


Fig. 2. — Estado de un cojinete después de 64 840 ciclos con un desligamiento de $3/16$ pulgadas a 4.000 libr./pulg.².

tividades más amplias y adquirir elementos a los suministradores especializados, y de resultas de ello la industria de la Ingeniería Civil pudo disponer de medios de investigación y desarrollo totalmente nuevos y, asimismo, servicios de diseño.

Surgieron dos soluciones básicas de zonas que no eran afines, las cuales satisficían diferentes puntos del mercado. En estructuras de construcción simple en

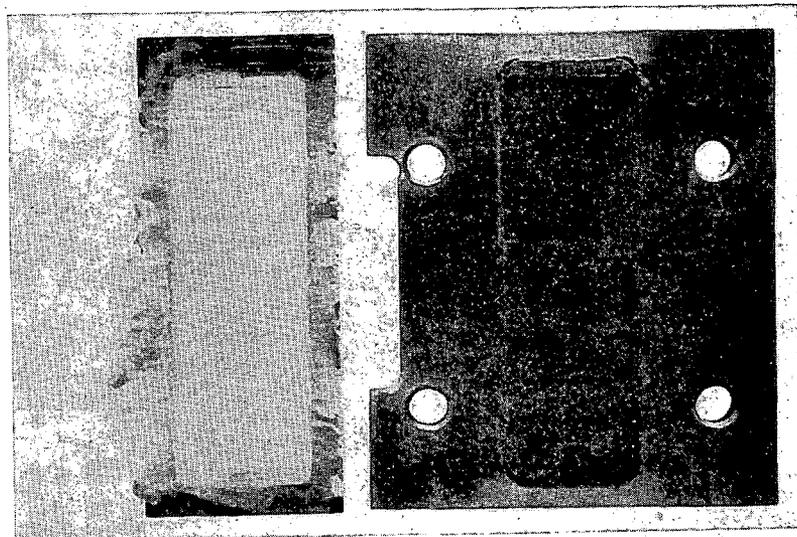


Figura 3.

las que las cargas y movimientos son relativamente de poca importancia, resulta eficaz el tipo de cojinete de goma en varias capas y además es económico empleándose ampliamente, a menos que exista algún motivo local en que fuera extremadamente difícil conseguir recambios y, por tanto, se considere necesario obtener otros materiales que posean mejor resistencia al envejecimiento. No obstante, tal como se ha indicado, existen infinidad de estructuras modernas en que los movimientos son muy grandes, por lo que no entran dentro de esta simple solución. El desarrollo de materiales de plástico para cojinetes que no precisen lubricación, ha permitido volver al simple concepto de superficies deslizantes, tanto planas como curvadas, las cuales se adaptan fácilmente a las configuraciones y permiten solucionar la mayoría de los problemas respecto a cojinetes, en aplicaciones para construcciones.

AUSENCIA DE "DESLIZAMIENTO ESCALONADO"

El primer plástico que presentó propiedades de fricción realmente significativas fue el actualmente conocido PTFE. Este material posee un bajo coeficiente de fricción deslizante y una completa ausencia de "deslizamiento escalonado", estando dotado de unas propiedades que hacen que el concepto de cojinetes "secos" sea una realidad.

Como es natural, tiene desventajas, y la más importante es su baja resistencia mecánica, lo que motiva elevados porcentajes de desgaste, lo que hace que sea un material difícil de adherir, especialmente en vista de su resistencia a la soldadura; no obstante, últimamente se ha desarrollado un pretratamiento muy satisfactorio. Se realizaron muchas pruebas para solventar dichas dificultades, principalmente mediante el uso de adiciones de rellenos; no obstante, si bien se pudo lograr mejoras en la resistencia mecánica, ello era a costa de las propiedades de fricción hasta el advenimiento del Glacier DU, que consiste en un material compuesto en forma verdaderamente utilizable y que conserva las características de fricción y mejora el porcentaje de desgaste en más de un 100 por 100.

En el DU la cantidad real de PTFE es bastante pequeña, ya que posee una adición del 20 por 100 de plomo y se impregna en una capa sinterizada de bronce poroso de 0,25 mm. de espesor sobre un tejuelo formado de acero o bronce, dependiendo de la resistencia a la corrosión que se precise. Normalmente tiene un espesor justo por debajo de 2,54 mm. Asimismo, este material tiene un recubrimiento superior en la superficie de roce de 0,025 mm., consistiendo en una mezcla de PTFE/plomo. Durante el funcionamiento, esta capa superior se desgasta rápidamente, depositándose como una película muy delgada de fuerte adherencia en la otra superficie en contacto. A medida que se elimine dicha capa superior, el bronce esférico del sinterizado aparece en el cojinete circundado por la mezcla de PTFE/plomo, y cuando se presenta dicha situación, se puede decir que el material se ha asentado y funcionará durante mucho tiempo a un régimen de desgaste muy bajo. Las pruebas que se han efectuado han presentado un desgaste inferior a 0,050 mm., después de mil horas de funcionamiento a un factor P. V. (producto de la presión del cojinete y de la velocidad de deslizamiento) de $373 \text{ Kg./cm.}^2 \times \text{m./seg.}$; por otra parte, el PTFE, reforzado con una adición del 25 por 100 de fibra de cristal, presentó un desgaste de 0,127 mm. después de cuarenta y ocho horas, en las mismas condiciones.

Este material ha resultado ser de gran valor para la introducción y aceptación de los cojinetes sin lubricación, y en adición a infinidad de aplicaciones varias en mecanismos industriales, se ha empleado, asimismo, extensamente en las suspensiones de los automóviles, eliminando así el empleo de inyectoros de grasa lubricante; probablemente su introducción inicial en la industria de la Ingeniería Civil fue en la forma de casquillos del pivote de la dirección para camiones volquete. Esta serie de aplicaciones satisfactorias lo convierten en el material sobresaliente entre los de su tipo.

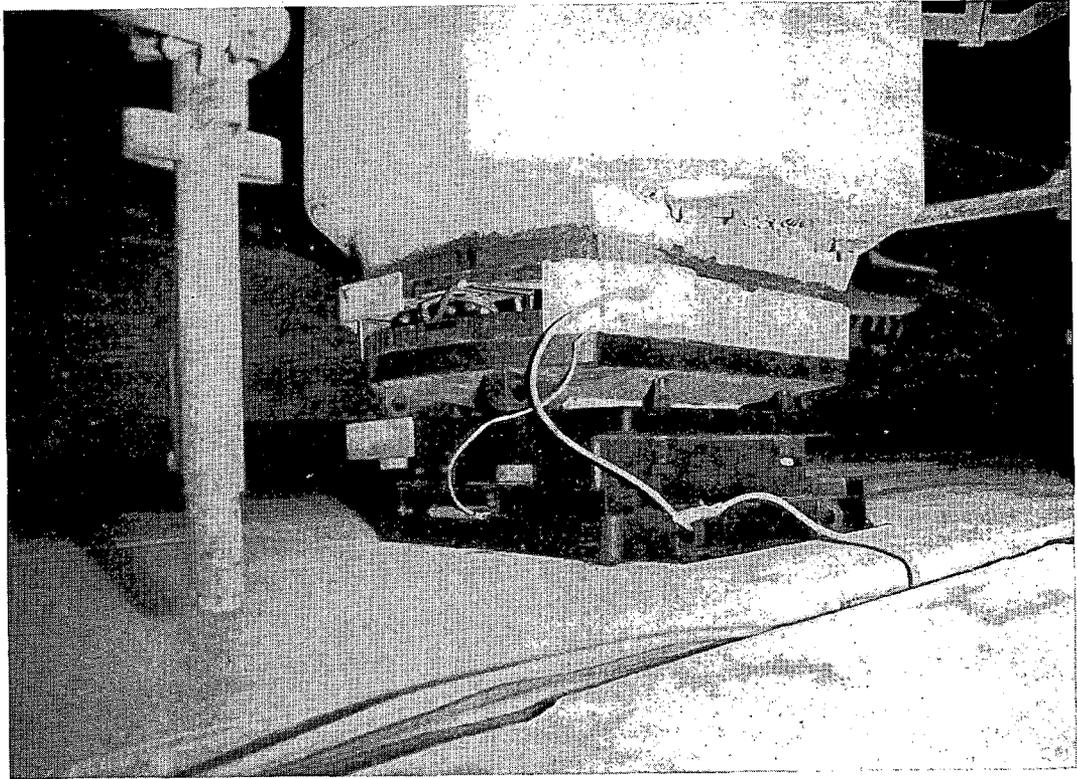


Fig. 4.— Cojinete de 800 Tn. de capacidad de carga, utilizado en el viaducto "Coldra". El cojinete va provisto de instrumentos para la medición de las fuerzas de fricción.

Ya era un material comprobado cuando se consideró la posibilidad de adaptarlo como cojinetes deslizantes para construcciones; no obstante, si bien tenía todos los indicios de poseer los atributos necesarios, no se disponía de ninguna información sobre ensayos respecto a las condiciones extremas del funcionamiento del cojinete referente a las elevadas cargas y movimientos lentos que presentaba dicha aplicación. Por tanto, se construyó un mecanismo de pruebas simple para simular dichas condiciones.

CARGA FIJA

Se empleó, en dicho mecanismo, un pisón hidráulico capaz de mover una guía de deslizamiento de acero inoxidable, la cual representa la placa en contacto, ha-

cia adelante y hacia atrás entre las placas de material de fricción, y se aplicó una carga fija a este montaje mediante la compresión de muelles de disco calibrados. La fuerza de fricción se obtiene midiendo la presión hidráulica de ambos lados del pistón y corrigiendo la fricción del indicado pistón. La placa inferior del cojinete era parcialmente cilíndrica para dirigir las guías deslizantes en la carrera de impulsión, y se sacó de su centro el material de fricción para permitir alcanzar la presión deseada.

Después de unos 65.000 ciclos de movimiento hacia adelante y hacia atrás de 4,7 mm., bajo una presión de 281,2 Kg./cm.², una probeta típica que se ensayó en dicho mecanismo de pruebas presentó relativamente poco bronce en la superficie de roce, lo que indicaba que solamente había tenido lugar una pequeña cantidad del desgaste previsto. No ocurrió ningún desgaste en la guía deslizante, lo que es una cosa típica en esta combinación; no obstante había algunas zonas oscuras debido a la transmisión del exceso de la capa superior, lo que producía una pequeña cantidad de residuo negro; una zona metálica más ligera del centro de la transmisión resultó ser plomo que se había separado bajo las condiciones específicas. La velocidad más baja que pudo obtenerse en el mecanismo de prueba fue de 0,25 milímetros/min., la cual se utilizó para efectuar las mediciones de fricción durante la prueba.

Apareció un descenso constante en la fricción desde un valor inicial de 0,035 a 0,022 después de 40.000 ciclos, cuando empezó a volver a subir probablemente debido a la separación del plomo. El funcionamiento real de la prueba entre mediciones consistía en una velocidad de deslizamiento de 127 mm./min., con la finalidad de completar esta prueba en un tiempo razonable y, por tanto, estaba en un factor P. V. unas 500 veces mayor que en el que se midió la fricción, lo que es varias veces mayor que la velocidad verdadera del movimiento en un puente (0,88 milímetros/hora ha sido registrado). Por tanto, se prevé que el régimen real de desgaste sería incluso inferior al obtenido en la prueba. Si se prevé un ciclo de expansión térmica y contracción por día, esta prueba indica que se pueden esperar duraciones de más de cien años. La relación entre la velocidad de deslizamiento y la fricción es asimismo interesante a medida que el coeficiente de fricción disminuye marcadamente cuando se aproximan las velocidades lentas de la aplicación real. Al someter PTFE puro a una prueba similar, se desgastó significativamente y se registró una pérdida de peso del 17 por 100.

Esta prueba simple es una buena representación de las condiciones impuestas por el ciclo térmico y de contracción de una estructura, no obstante el gran número de pequeños movimientos de alta frecuencia motivados por el paso del tráfico es una situación totalmente diferente. Al objeto de representar esta condición, se construyó otro aparato de prueba en el cual se aplicaron movimientos vibratorios de 0,12 mm. a una frecuencia de 3 000 c. p. m. a un par de cojinetes adosados, bajo cargas de compresión que se aplicaron nuevamente con un sistema calibrado. Se incrementó la presión en movimientos de 70,3 Kg./cm.² hasta 562,4 kilogramos/cm.² y, funcionando durante 107 ciclos en la misma probeta y utilizando las dos cargas, el material DU no presentó ningún desgaste significativo.

Se ha argumentado que estos resultados indican un margen de seguridad tan generoso, que un material menos ideal podría realizar la misma función, e incluso el comportamiento de PTFE sin modificar puede ser adecuado. Sin embargo, ha habido

muchos ejemplos en el pasado en que mediante pruebas a escala o aceleradas no se ha podido predecir con detalle el comportamiento funcional, debido a algún factor fuera del alcance del conocimiento corriente, ya que tratándose de una aplicación de cojinetes para estructuras es de importancia fundamental tener una absoluta seguridad, por lo que es apropiadísimo aprovechar todos los posibles factores de seguridad.

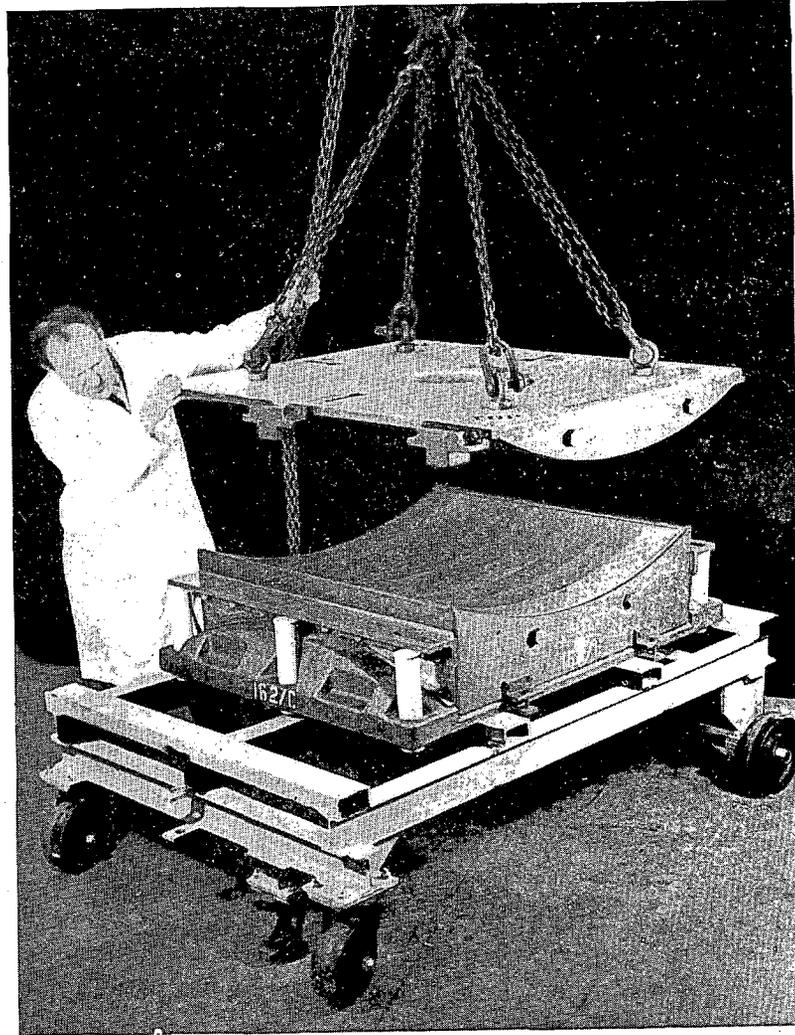


Fig. 5. — Cojinete de 2 770 Tn. de capacidad de carga para la "Western Avenue Extension".

VERIFICACIONES

Si bien no es posible verificar el aspecto del desgaste en una situación funcional real sin levantar la estructura y poder así inspeccionar los cojinetes, es posible verificar que las fuerzas de fricción están dentro de la gama prevista. Se ha realizado esto incorporando un tipo especialmente desarrollado de transductor del extensímetro en una de las siete líneas de cojinetes de 800 toneladas de capacidad, que están instalados en el viaducto Coldra, de la autopista M-4 que va a Newport, en Gales.

Se diseñaron especialmente estos cojinetes para este proyecto, pero asimismo se ha establecido una gama estándar de cojinetes empleando dicha combinación de material de fricción; la referida gama satisface las necesidades de una gran sección del mercado, pero, sin embargo, ha habido inevitablemente muchos proyectos, igual que el de Coldra, para el cual se tuvieron que diseñar cojinetes especiales o modificados para satisfacer ciertas características del diseño o de la construcción.

UNION CENTRAL ARTICULADA

El puente del río Aire, finalizado recientemente y que por el cual pasará la carretera principal A-1, en Yorkshire, es una estructura con doble viga voladiza (empotrada por un extremo y libre en el otro) que precisa una unión central articulada que, asimismo, permita algún movimiento traslacional. La solución de este problema específico consistió en diseñar un cojinete especial con un pasador de acero inoxidable, funcionando en dos partes cilíndricas y revestido con material Glacier DU (B). Estos elementos van recubiertos con el mismo material en la superficie lisa opuesta, que funciona en mordazas revestidas de acero inoxidable para permitir el deslizamiento debido a la expansión y contracción. Se sujetan mediante pernos las piezas coladas principales en cada lado del puente, y después de la instalación se quitan los torniquetes.

AUTOPISTAS ELEVADAS

El proyecto de autopista elevada de la Western Avenue, de Londres, tiene una sección, cerca del extremo de Paddington Green, en que la carretera ha de cruzar un complejo de líneas ferroviarias en la zona entre la estación Westbourne Park y la de Royal Oak. Por tanto, se está construyendo una estructura con vanos considerablemente mayores entre los soportes y por este motivo se precisan cojinetes de una capacidad muy elevada.

La mayoría de los cojinetes son superiores a las 2.700 toneladas de capacidad, con movimientos de hasta 80 cm. Se basa el diseño de los cojinetes en la forma antielástica estándar; no obstante, debido a la forma diafragma prefabricada de la construcción, se incorpora una placa superior de separación en el diseño y es colada en la sección específica del diafragma del soporte del pilar. Se utilizan cojinetes a pares en cada soporte. Se incorporan en el diseño puntales ampliados como prevención para el preestablecimiento de cada cojinete y movimiento rotacional en los ejes longitudinales y transversales. Asimismo se abastece el movimiento traslacional, tanto longitudinalmente como transversalmente. De hecho, un cojinete de cada par está restringido transversalmente. Además de la disposición de cierre hermético estándar, también se facilitan protecciones metálicas para reducir al mínimo cualquier posibilidad de entrada de suciedad o de cuerpos extraños.

En un importante proyecto referente a una autopista elevada en Africa del Sur, se han incorporado cojinetes de una especificación poco normal, ya que se precisa una combinación del material con un elevado coeficiente de fricción. La especificación normal exige un mínimo coeficiente de fricción, el cual, para la mayoría de

los cojinetes deslizantes disponibles en la actualidad, queda comprendido en la gama entre el 2 y el 5 por 100; no obstante, en este proyecto específico se precisaba una cantidad de cojinetes con un coeficiente de fricción entre el 25 y el 40 por 100. Se está construyendo dicho proyecto en un terreno sujeto a hundimiento debido a los trabajos en las minas de oro. Se prevé que en un momento en el futuro ocurrirá un desprendimiento de tierras, y los cojinetes de elevado coeficiente de fricción restringirán el movimiento con vistas a poder efectuar el levantamiento corrector para realinear la estructura.

Se tuvo que realizar una gran cantidad de trabajo de ensayo para investigar los posibles materiales apropiados para abastecer esta elevada fricción necesaria y,

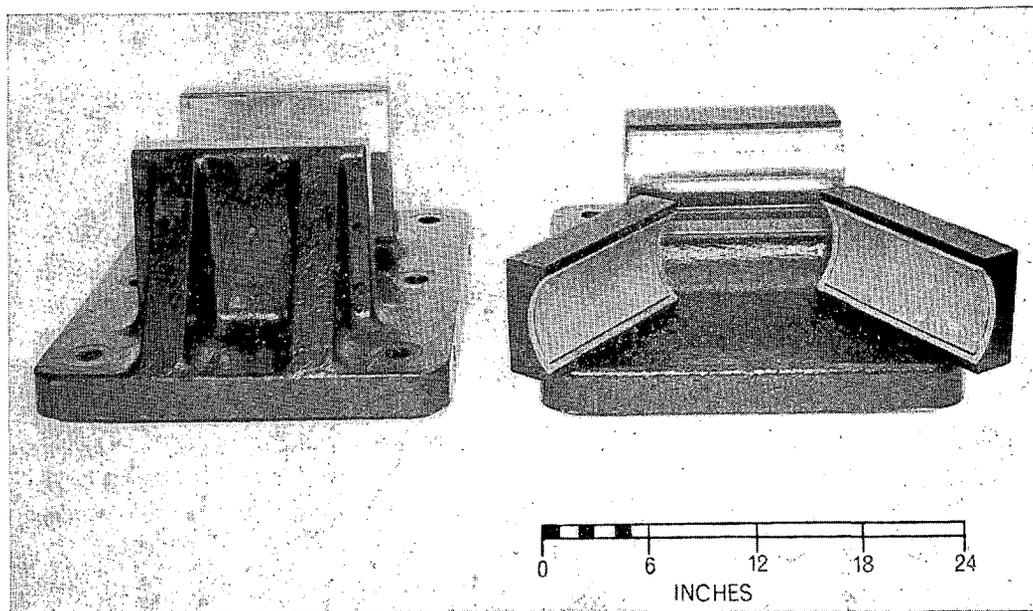


Fig. 6. — Río Aire, desmontado.

finalmente, se encontró una solución con el empleo de una combinación única de materiales. En estos cojinetes específicos se abasteció la cuestión rotacional necesaria mediante una combinación esférica de superficies, ya que, además de la rotación normal necesaria alrededor de los ejes horizontales, es preciso también que los cojinetes permitan rotación alrededor de un eje vertical.

En diversos tipos de estructuras existe a menudo la necesidad de hacer que un cojinete resista los levantamientos de tierras, y esto ha quedado abastecido mediante diseños especiales en diferentes formas. Algunas veces se puede emplear un tipo de conexión simple procurando así una solución práctica cuando no se precisen grandes movimientos de traslación. Se están incorporando en un puente en construcción unos cojinetes que son un desarrollo del principio de conexión con una capacidad de 280 toneladas de carga hacia abajo y de 90 toneladas hacia arriba, en los cuales también se empleará la técnica de deslizamiento desarrollada por los ferrocarriles británicos. Este sistema reemplaza la conocida técnica de balanceo. El nuevo sistema de deslizamiento emplea un soporte similar para las vi-

gas principales del nuevo puente; no obstante, el montaje prefabricado de la vagoneta posee guías, las cuales se deslizan en una pista de rodadura revestida de fleje inoxidable en lugar de rodar sobre bolas de acero colocadas en una longitud del parapeto. La capacidad necesaria del cabrestante queda considerablemente reducida y el movimiento es uniforme y está bajo completo control. Se ha empleado este sistema varias veces con un completo éxito. Se han movido de esta forma puentes con pesos muertos de hasta 3 000 toneladas, y no existe límite del volumen de la estructura que podría moverse empleando el mismo método básico. Como es natural, ello se refiere igualmente a equipo de grandes dimensiones en refineries, centrales eléctricas o plantas químicas igual que para los puentes.

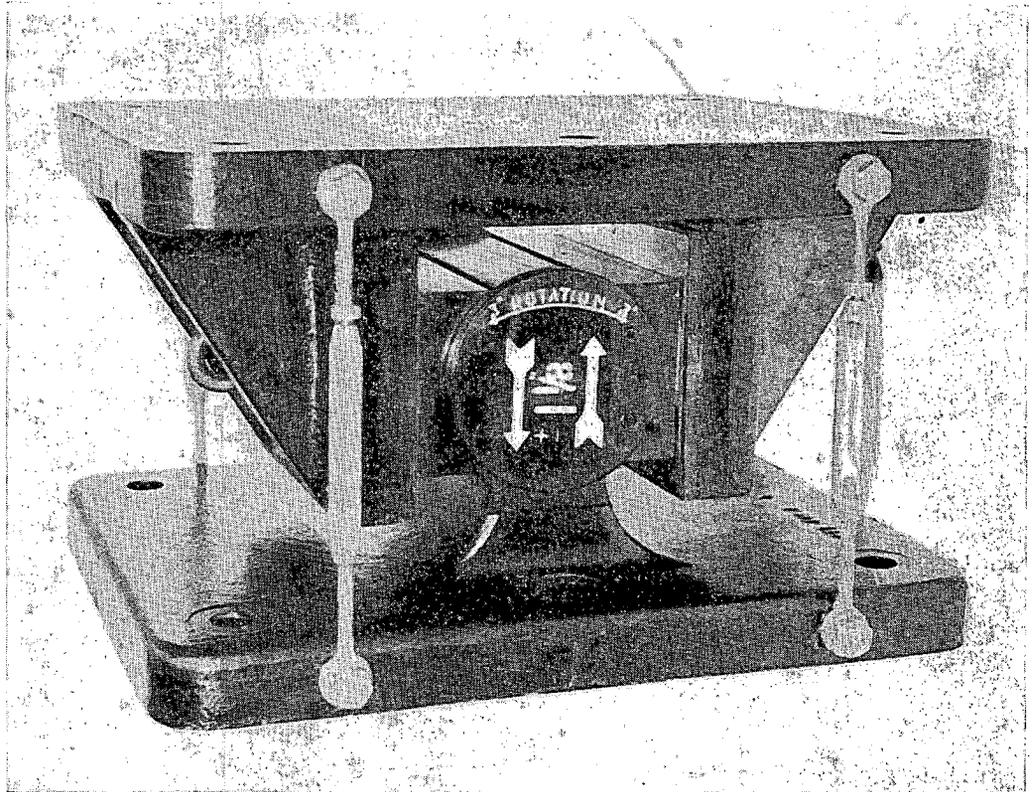


Fig. 7. — Río Aire.

Además de los importantes proyectos de la Ingeniería Civil — autopistas elevadas, viaductos, puentes, etc. —, el cojinete deslizante de baja fricción tiene muchas aplicaciones en construcciones y plantas industriales de todas clases de tipos. Quizá la más notable de las construcciones importantes que incorporan este tipo de elemento es el teatro de la ópera de Sidney, en Australia. La nueva catedral metropolitana de Liverpool posee, asimismo, una forma muy simple de cojinete en la columna de la cúpula para soportar las vidrieras de colores. No obstante, existen muchas otras aplicaciones en las que se utilizan cojinetes para aguantar vigas, tableros o columnas principales, para asegurar un movimiento libre sin que se origine el riesgo de roturas en el hormigón debido a los aumentos en las tensiones.

En aplicaciones industriales hay muchos casos en que se puede utilizar este tipo de elemento: en refinerías, plantas para el suministro de energía eléctrica, gas y agua y plantas químicas de todas las clases. La tendencia general actual es que las temperaturas de funcionamiento sean más elevadas en muchas plantas que hace algunos años, y este aumento general motiva incrementos en los movimientos, los cuales precisan ser abastecidos. El volumen general del equipo tiene también tendencia a aumentar y, por tanto, en muchos casos se presentan problemas de contracción y expansión los cuales no existían hace algún tiempo. Probablemente es cierto decir que de hecho estos problemas existían, pero, no obstante, no ocasionaban suficiente perjuicio para que se reconociera este hecho. Existen materiales para cojinetes que pueden utilizarse en aplicaciones que tengan temperaturas de hasta 600° C., pero es fundamental para efectuar el diseño del cojinete que se facilite una estimación precisa de la temperatura de funcionamiento del cojinete, con vistas a poder realizar la correcta selección del material.

Se prosiguen investigando nuevos tipos de materiales, y está previsto que no existirá ni escasez de materiales ni de diseños para hacer frente a las necesidades de la próxima generación de delineantes, quienes quizá estén empleando actualmente materiales y técnicas de construcción generalmente desconocidos.