

Japón: puentes para el siglo XXI

En los últimos años se han construido una serie de puentes que enlazan las islas de Honshu y Shikoku, las dos mayores de Japón, constituyendo tres nuevas rutas que unen tres regiones, que totalizan una población de 34 millones con un PIB de 129 trillones de yens.

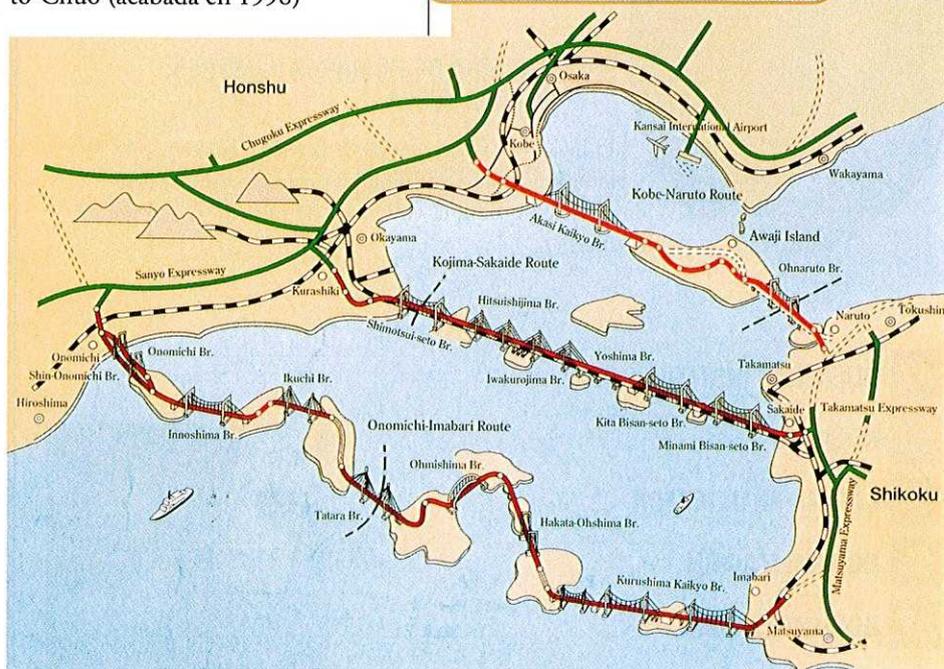
El comienzo de su construcción se remonta a 1970, año en el que se constituyó la **Honshu-Shikoku Bridge Authority (HSBA)** hasta la conclusión en 1998 del Puente Akashi Kaikyo (el puente de tipo suspendido más largo del mundo) y en 1999 la del Puente Tatara. Las duras condiciones de la zona (tifones y terremotos) exigieron el desarrollo y aplicación de tecnologías sofisticadas y, en menos de 30 años, la HSBA terminó 18 puentes de gran luz con seguridad y éxito sobresalientes.

La conservación del paisaje y el impacto ambiental exigieron una atención especial en la consecución de estas obras tan extraordinarias para la posteridad.

1- EL PROYECTO EN GENERAL

El proyecto comprende las tres rutas siguientes que enlazan ambas islas cruzando el mar interior de Seto:

- 1.- Kobe-Naruto: Autovía Kobe-Awaji-Naruto (finalizada en 1998)
- 2.- Kojima-Sakaide: Autovía Seto-Chuo (acabada en 1998)



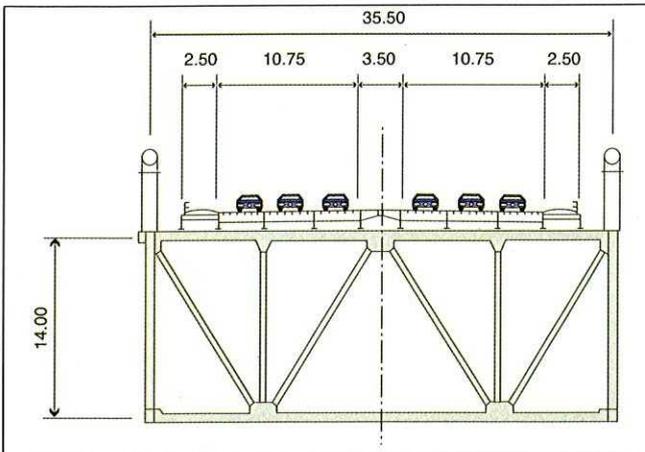
3.- Onomichi-Imabari: Autovía Nishi-Seto (concluida en 1999)

Características

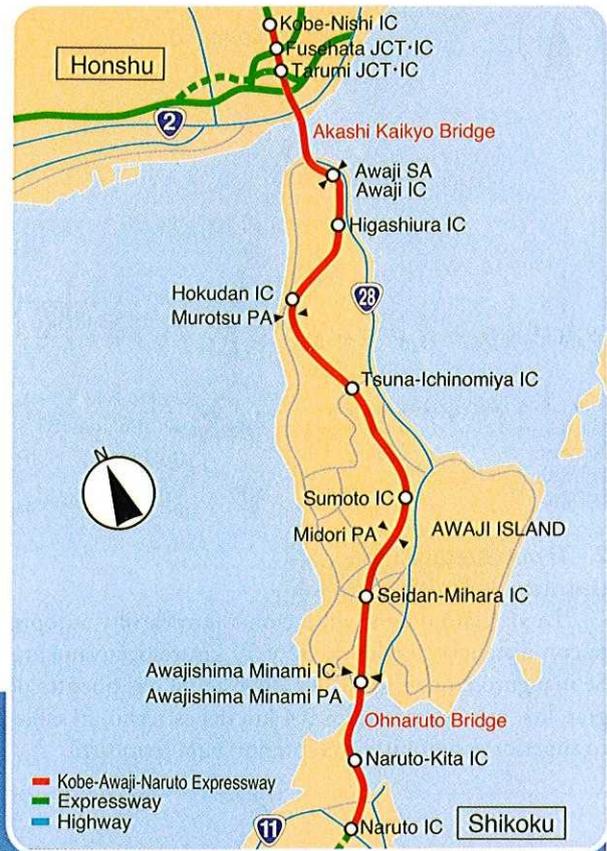
1.- Tramo Kobe-Naruto.

Atraviesa los dos estrechos y, con una longitud de 89 km, enlaza las islas Honshu y Shikoku. El primer estrecho (puente Akashi Kaikyo) mide 4 km y el segundo (puente Ohnaruto), 1,3 km. Ambos puentes fueron inaugurados en junio de 1985 y en abril de 1998, respectivamente.

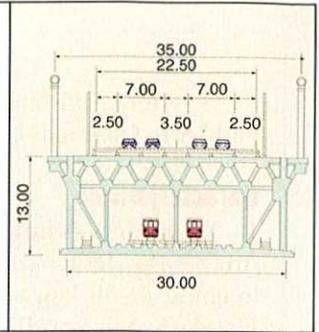
PROYECTOS DE PUENTES HONSHU-SHIKOKU					
Características	Item	Kobe-Naruto	Kojima-Sakaide	Onomichi-Imabari	Total
Longitud en plano	Autovía	89 km	37,3 km	59,4 km	185,7 km
	FFCC	-	32,4 km	-	32,4 km
Autovía	Clase	Autopista	Autopista	Autopista	
	Velocidad	100km/h	100km/h	80km/h	
	Carriles	seis	cuatro	cuatro	
FFC	Clase	(Shinkansen)	Ordinario (y Shinkansen)	-	
	Vías		Dos (+Dos*)	-	
Longitud en Servicio	Autovía	89,0 km	37,3 km	46,6 km	172,9 km
	FFCC	-	32,4 km	-	32,4 km



Sección del Puente Akashi-Kaikyo



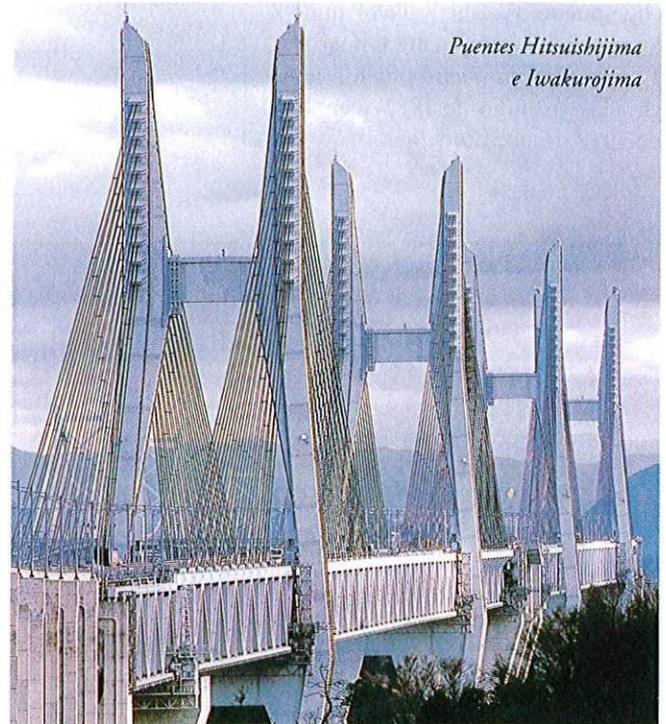
Puente Akashi-Kaikyo (1998)



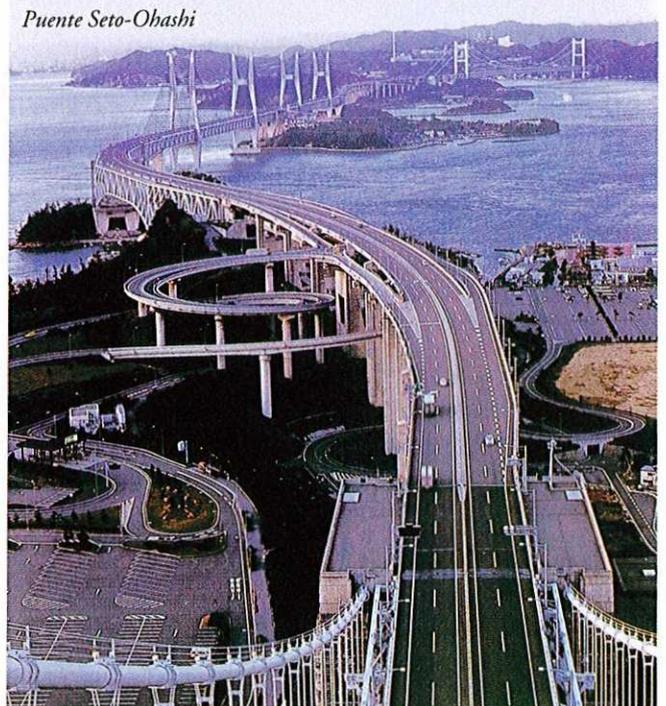
2.- Tramo Kojima-Sakaida.
(Estructuras de doble tablero)

La vía central tiene aplicación a ferrocarril y autopista con distancias totales de 32 y 39 km respectivamente. Se inauguró en abril de 1988 y consta de seis puentes de gran luz, que atraviesan los 9,4 km del estrecho. El tablero superior es autopista y el inferior, para ferrocarril.

Vista panorámica del Puente Seto-Ohashi desde el lado de Honshu

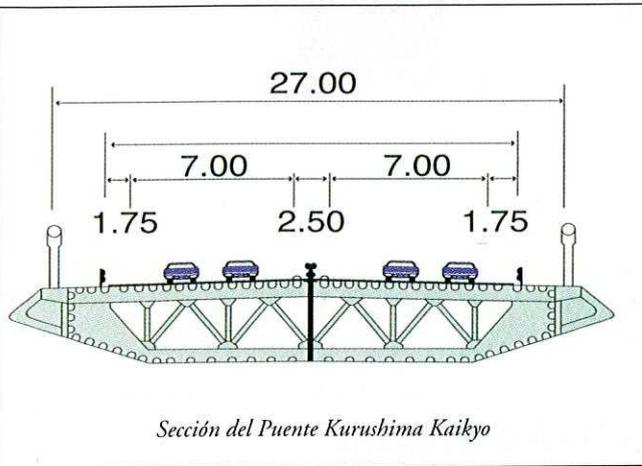


Puentes Hitsuishijima e Iwakurojima

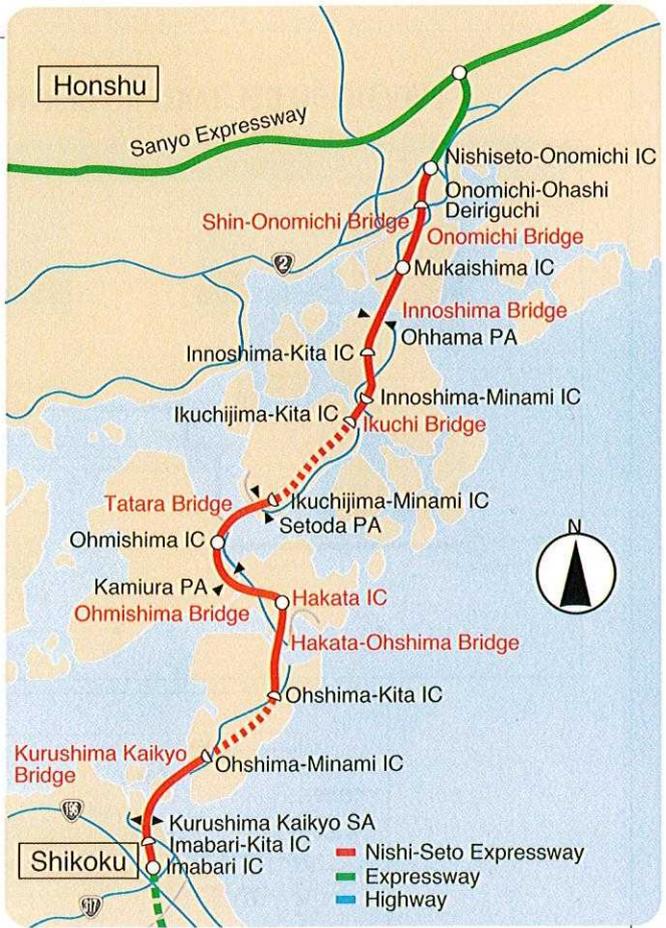


Puente Seto-Ohashi

Puentes paralelos de Onomichi (1968) y Shin-Onomichi (1999)

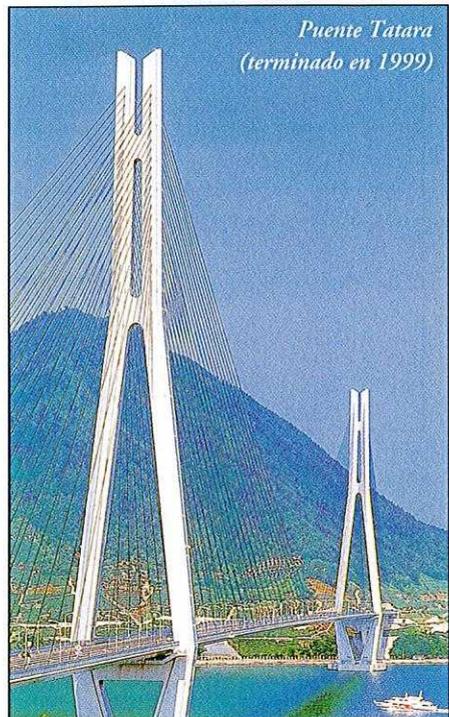
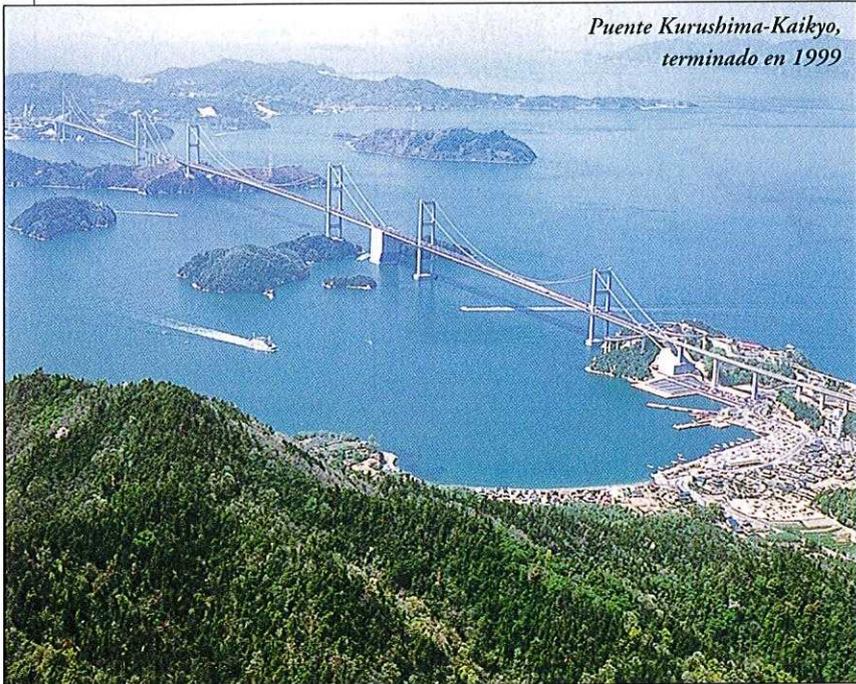


59 km entre ambas ciudades de las islas Honshu y Shikoku y está integrada por diez puentes de gran vano que enlazan siete islas con una población total de unos 100.000 habitantes. Excepto el puente Shin-Onomichi, admiten peatones, bicicletas y motocicletas hasta 125 c.c.

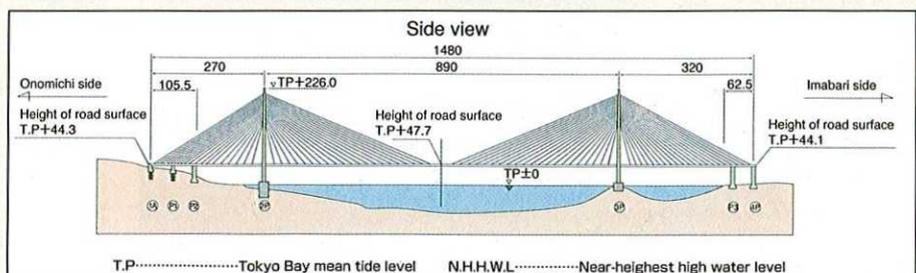
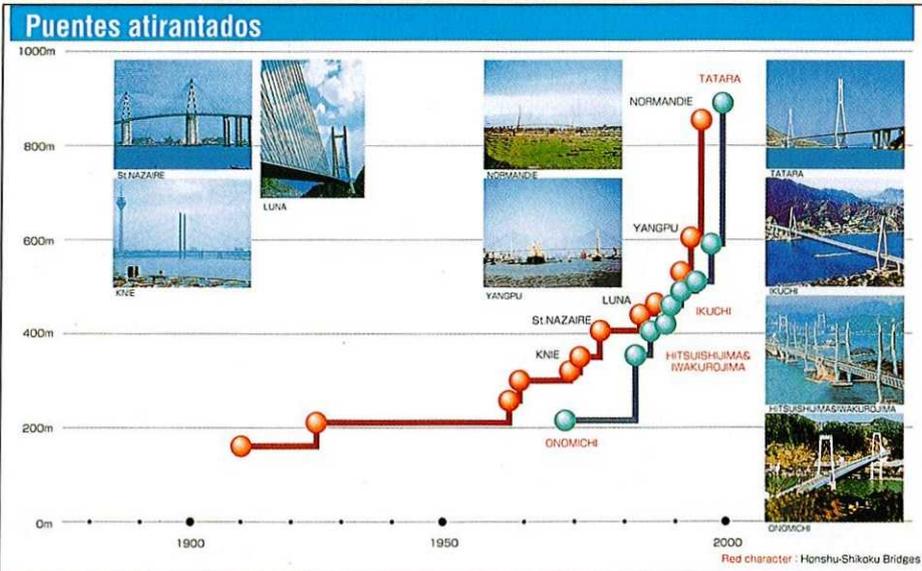
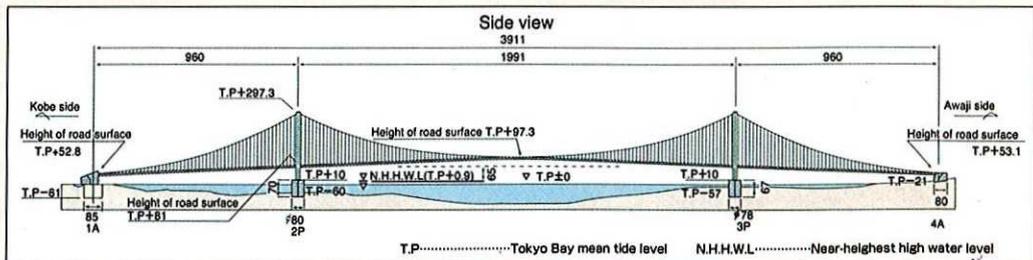
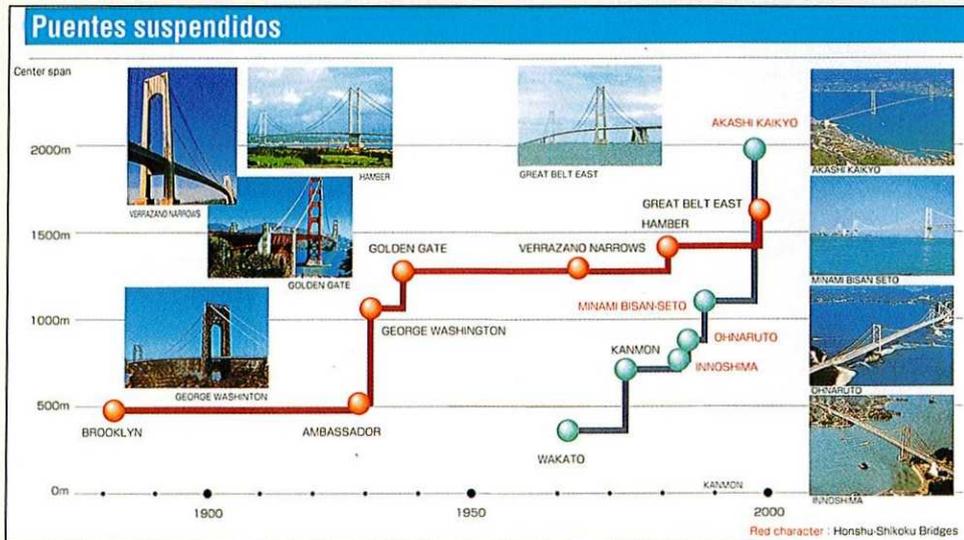


3.- Tramo Onomichi-Imabari.

Enlazando una serie de islas, esta ruta totaliza unos



EVOLUCIÓN DEL TABLERO CENTRAL EN LOS CASOS DE GRANDES LUCES



2.- APLICACIÓN DE ALTAS TECNOLOGÍAS

Tanto en las soluciones de puentes suspendidos como los atirantados, se han aplicado las más avanzadas tecnologías en justa correspondencia con las excepcionales condiciones que concurrirían en estos puentes.

Recogemos algunas de las tecnologías empleadas para ambos casos.

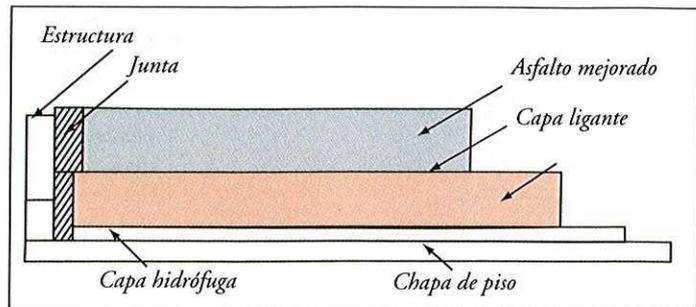


Gráfico 2-1. Pavimento sobre la placa de acero

2.1 Innoshima

- Pavimento sobre la placa de acero aplicando dos capas distintas de asfalto (gráfico 2.1)

2.2 Seto-Ohashi

- Diseño para autopista y ferrocarril

2.2.1 Ensayos de fatiga (gráfico 2.2.1)

2.2.2 Sistema de junta ferroviaria para absorber los grandes movimientos de expansión (gráfico 2.2.2)

2.2.3 Verificación de la alta velocidad ferroviaria

- Método de colocación del cajón (sobre fondo rocoso)

2.3 Ikuchi

- Sistema híbrido de viga PC (Hormigón pretensado)- acero, que anula el momento de desequilibrio por cargas muertas y aumenta la rigidez de la viga (gráfico 2.3)

2.4 Akashi-Kaikyo

2.4.1 Diseño aerodinámico

2.4.1.a -Verificación de la fuerza del viento (gráfico 2.4.1)

2.4.2 Diseño antisísmico para puentes de gran luz (gráfico 2.4.2)

2.4.3 Redondo de alta resistencia para formar el cable principal

2.4.4 Método de colocación de los cajones (sobre lecho rocoso inconsistente) (gráfico 2.4.4)

2.4.4.a -Realización del núcleo

2.4.4.b -Protección antierosión

2.4.4.c -Anclaje del cajón y sistema de asentamiento y hundimiento (gráfico 2.4.4c)

2.4.5 Cemento de calentamiento bajo para el hormigón en masa

2.4.5.a -Hormigón desagregado submarino (gráfico 2.4.5)

2.4.5.b -Hormigón muy manejable

2.4.6 Control de las vibraciones de las torres principales empleando amortiguadores de masa sintonizados (gráfico 2.4.6)

2.4.7 Colocación del cable piloto sin utilizar la superficie marina

2.4.8 Sistema de anticorrosión para el cable principal utilizando aire seco

2.4.9 Pintura anticorrosión de larga duración (polímeros de fluor)

2.4.10 Sistema de amortiguador antichoque de acero contra el impacto de barcos (gráfico 2.4.10)

2.5 Kurushima-Kaikyo

- Nuevo método de izado de los bloques de 36 m bajo fuertes corrientes (hasta de 5 m/s) (gráfico 2.5)

2.6 Tatara

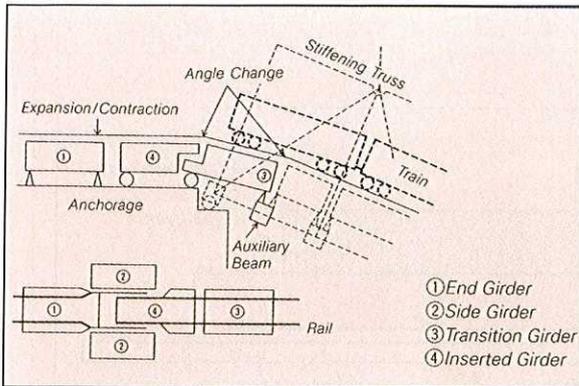
2.6.1 Diseño aerodinámico y antisísmico para puentes de cables atirantados de gran luz (1.000 m)

2.6.1.a -Ensayos de vibración con el puente real (gráfico 2.6.1a)

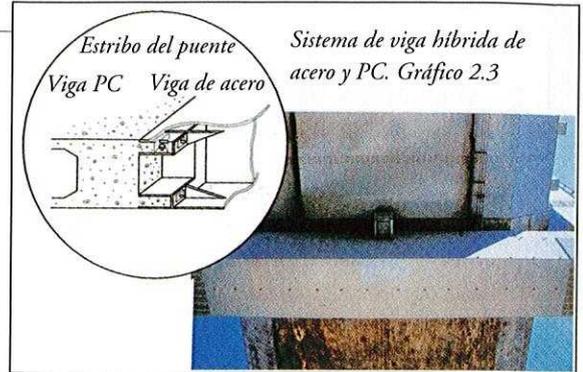
2.6.1.b -Modelo de túnel a escala real con topografía (gráfico 2.6.1b)

2.6.1.c -Verificación de la capacidad de resistencia con elementos a compresión

2.6.2 Control de vibración de los cables atirantados empleando cable endentado (gráfico 2.6.2)



Sistema de junta para el movimiento del ferrocarril. Fue preciso desarrollar un sistema adecuado que permitiera adaptarse a los cambios de alineación de las vías. Gráfico 2.2.2



Sistema de viga híbrida de acero y PC. Gráfico 2.3



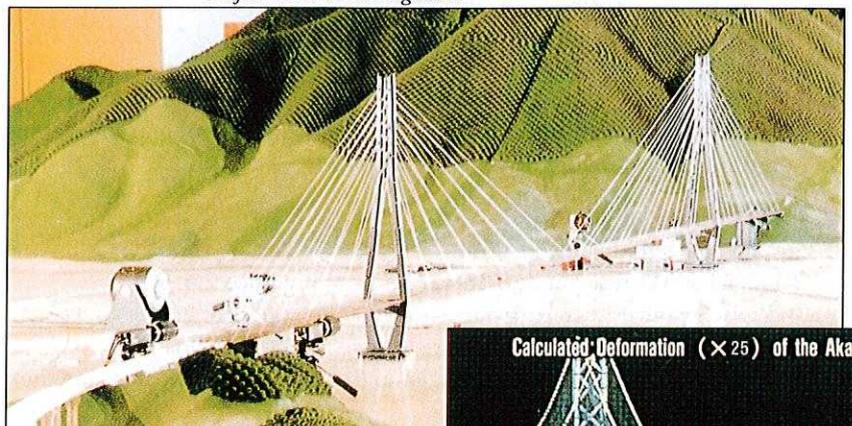
Gráfico 2.6.1a ensayos de vibración



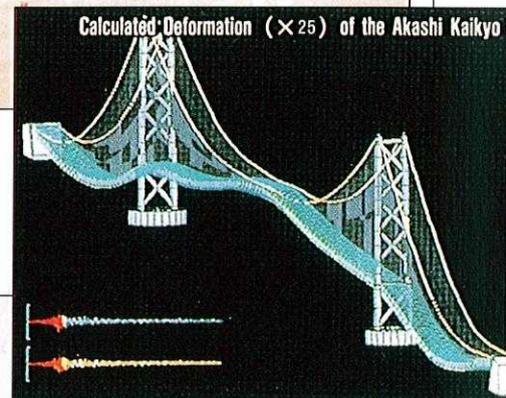
Gráfico 2.4.10 Amortiguador



El diseño antifatiga se verificó mediante una máquina muy especial de grandes dimensiones. Gráfico 2.2.1



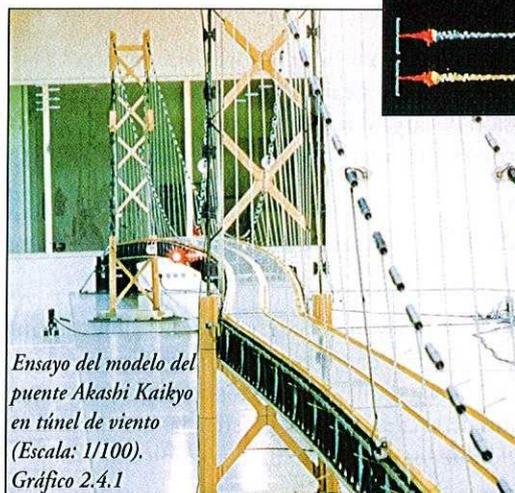
Ensayo para evaluar la influencia de la topografía del terreno en el caso del puente Takara (Escala: 1/200). Gráfico 2.6.1b



Las condiciones del diseño antisísmico para puentes de gran luz se establecieron en función de las características del terreno. (Análisis de la oscilación del puente Akashi, Kaikyo mediante computador). Gráfico 2.4.2



Ensayo del modelo hidráulico (Protección antierosión) 2.4.4a

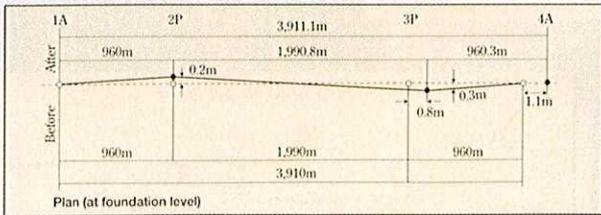
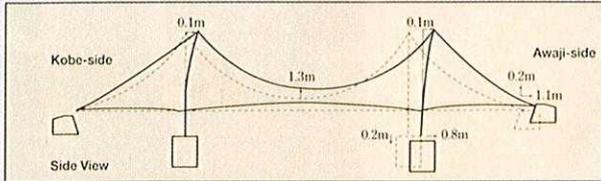


Ensayo del modelo del puente Akashi Kaikyo en túnel de viento (Escala: 1/100). Gráfico 2.4.1

EFFECTOS DEL TERREMOTO EN EL PUENTE AKASHI-KAIKYO

Este puente fue sacudido por el terremoto Hyogoken-Nanbu el 17 de enero de 1995 cuando ya se habían instalado la mayor parte de los cables, moviéndose tanto las pilas como los anclajes a consecuencia del movimiento del terreno.

Como consecuencia, aumentó la longitud del vano central así como la del lateral próximo a Awaji. Sin embargo, no se produjo daño alguno en la estructura lo que demuestra la efectividad del diseño antisísmico.



Deformación relativa del puente

Actuación sísmica registrada



Estado el 23 de junio de 1995



Remolcado
Gráfico 2.4.4c



Fondeado



Hundimiento

INFRAESTRUCTURAS

Fundaciones

Teniendo en cuenta las duras condiciones de las corrientes marinas (4,5 m/s) y la profundidad (60 m), fue preciso estudiar y construir las fundaciones siguiendo el método del cajón sumergible. Para ello se desarrollaron tecnologías tales como la protección anti socavamiento y el hormigón compacto.

Hormigonado Compacto Submarino
Gráfico 2.4.5



Proceso de elevación de la torre (Puente de Akashi Kaikyo)

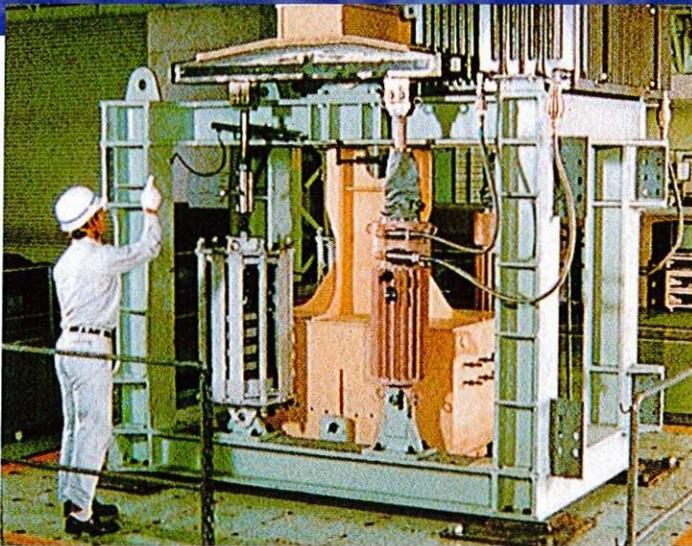
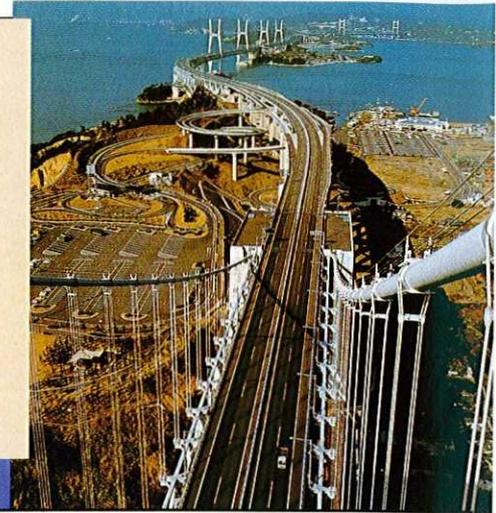
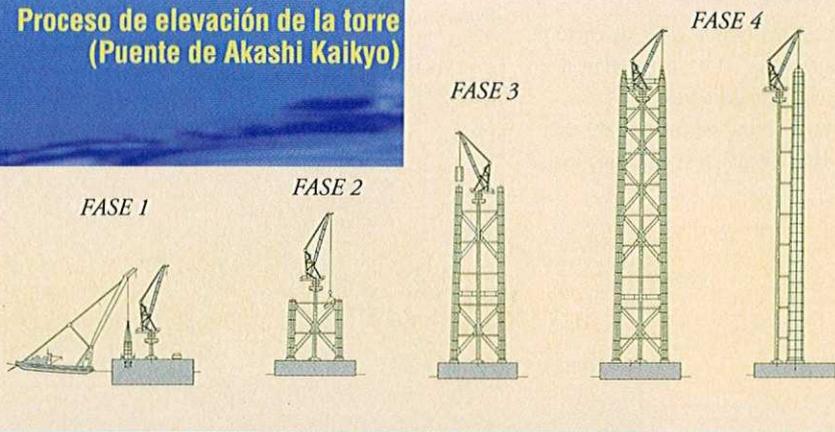


Gráfico 2.4.6

Anclajes

En el caso de terreno blando (lado Kobe del puente Akashi Kaikyo) se siguió el sistema de muro subterráneo, utilizándose diversos tipos de hormigón, desde una mezcla grasa (para la fundación interior) hasta mezclas más pobres. Para guardar la estética de los muros exteriores se emplearon paneles de hormigón premoldeado. Para el cuerpo del anclaje se utilizó hormigón muy manipulable.

SUPERESTRUCTURAS DE LOS PUENTES SUSPENDIDOS

Torres principales (caso de Akashi Kaikyo)

La inclinación admisible de la torre se ha especificado en 1/50.000, es decir, unos 6 cm en el punto más al-

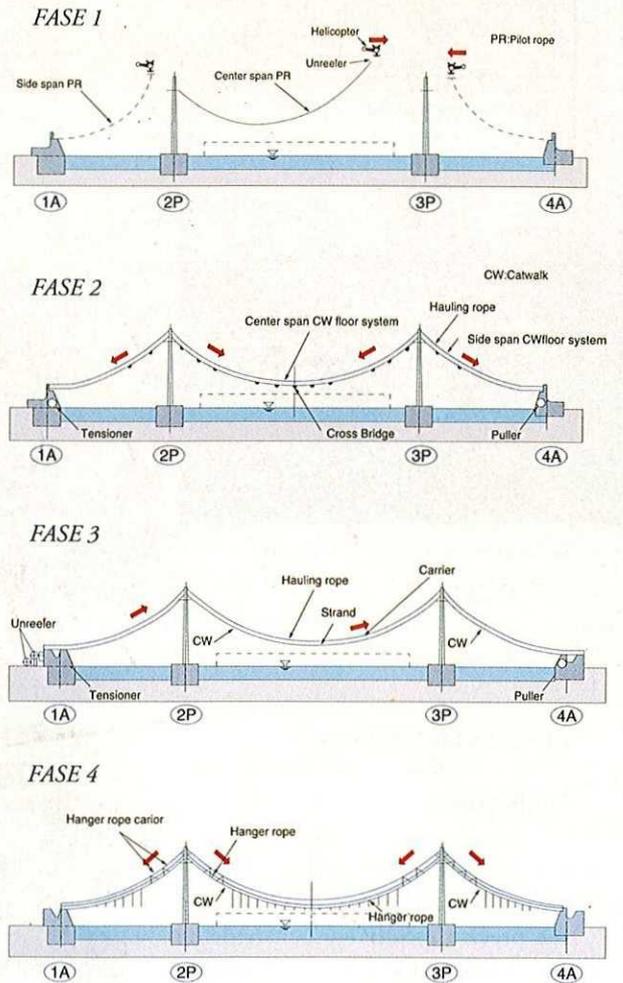
to. Para controlar el efecto de la vibración producida por el viento, se emplearon dispositivos amortiguadores como los llamados TMD (*Tuned Mass Dampers*).

En el gráfico superior se esquematizan las cuatro fases de la construcción de la torre.

Instalación del cable (Caso de Akashi Kaikyo)

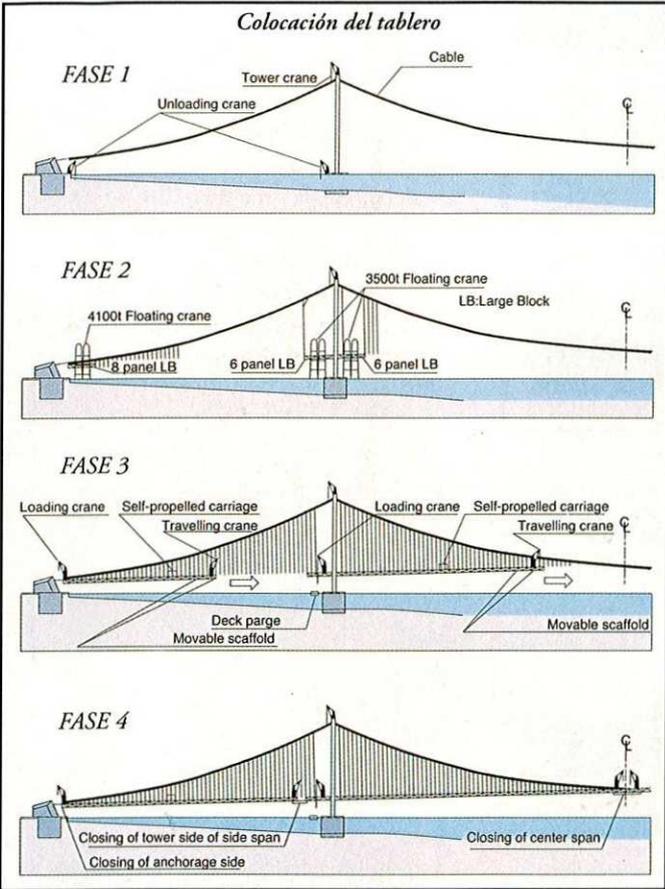
El hilo piloto, ligero y de fibra de poli-aramida de alta resistencia (\varnothing 10 mm) se colocó con la ayuda de un helicóptero portador de la bobina. La

Instalación del cable



resistencia a tracción del nuevo hilo metálico es de 1.760 N/mm² lo que permite emplear un cable único en lugar de dos. La longitud total de los cables principales es de 300.000 km, es decir, 7,5 veces el perímetro de la Tierra.

Colocación del tablero



Montaje de la viga principal (Elemento plano) (Akashi Kaikyo) (gráfico de la izquierda.)

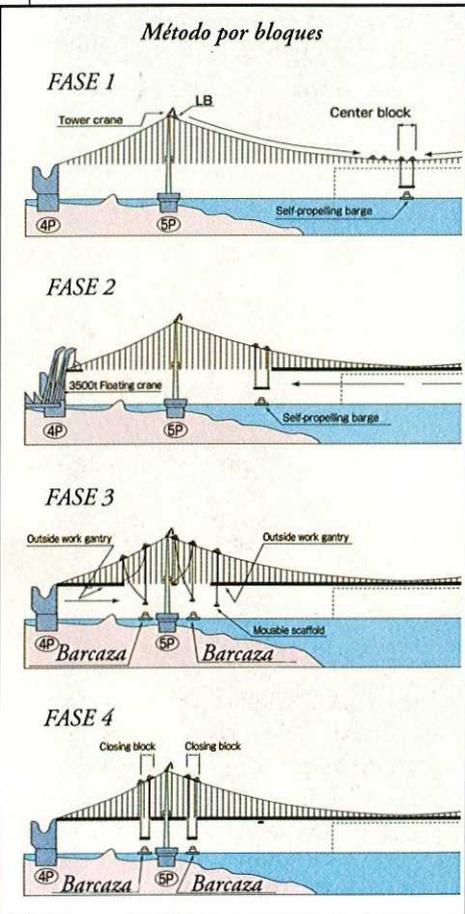
Para reducir el peso de las vigas, se emplearon aceros de alta resistencia.

Montaje de la viga principal (Puente Kurushima-Kaikyo) (Gráfico inferior izquierda.)

En este caso y para este elemento, se empleó una barcaza autopropulsada para poder trabajar en las duras condiciones impuestas por las corrientes de agua (5 m/s), una profundidad máxima de 100 m y un tráfico hasta de 1.000 barcos diarios.

El resultado ha sido poder reducir un tiempo convencional para este trabajo de 3 horas a tan sólo 30 minutos.

Método por bloques



Barcaza autopropulsada

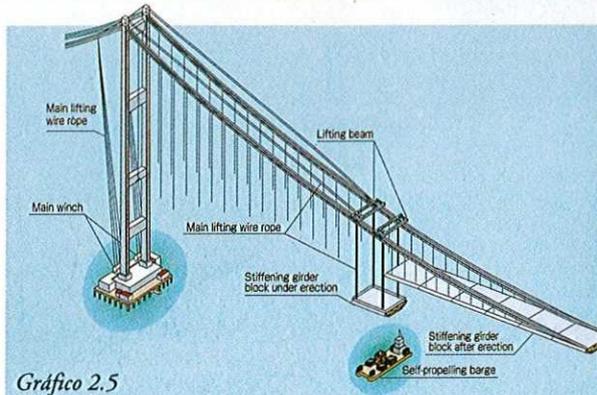
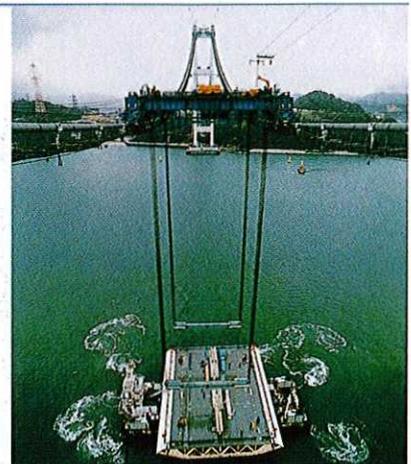
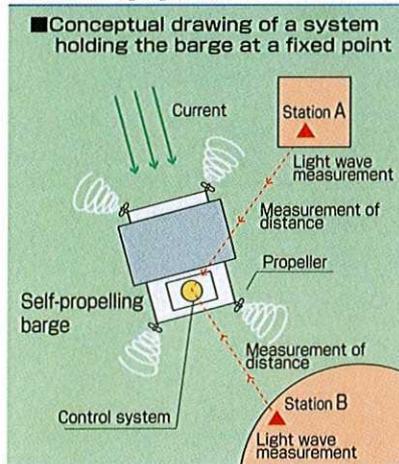


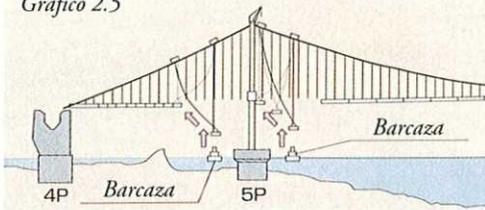
Gráfico 2.5



Lifting beam

Instalación horizontal

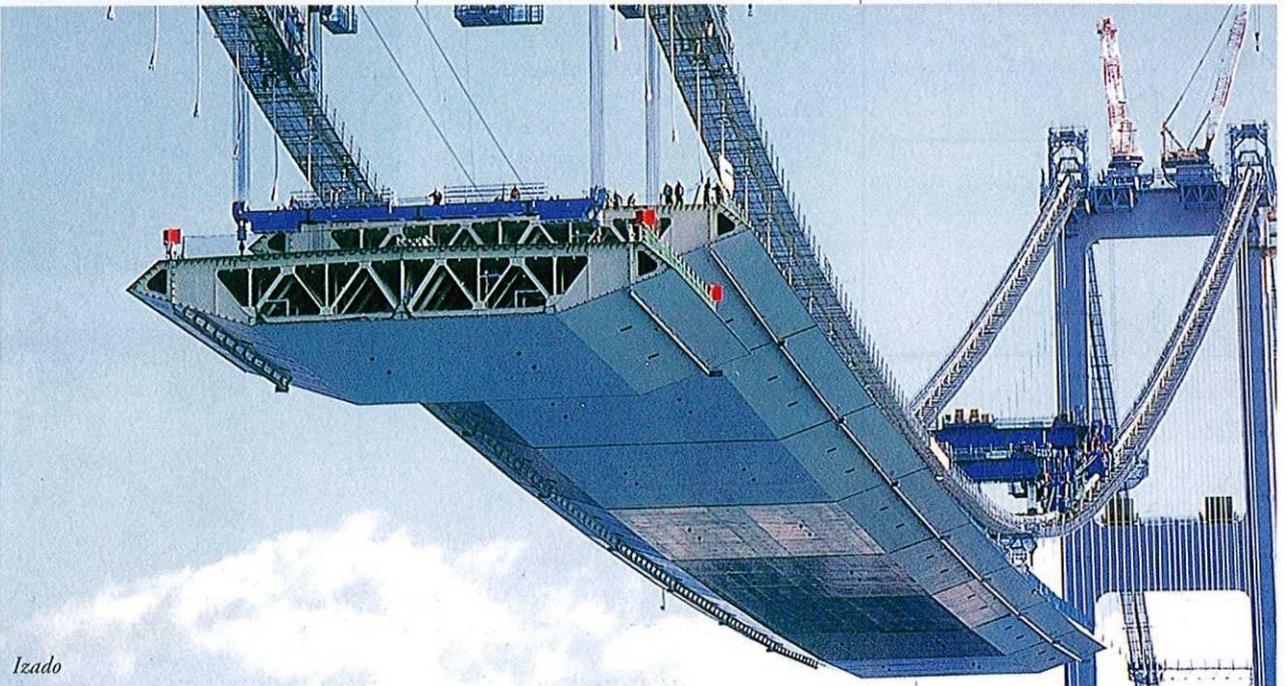
Gráfico 2.5



Cuando hay dificultades de acceso de la barcaza, se emplean grúas y luego se desplaza horizontalmente el tramo

Las secciones de la viga resistente (36 m) están soldadas en taller y posicionadas mediante las citadas barcazas debajo de la grúa de izado.

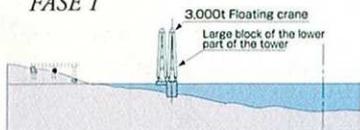
En el esquema puede verse la organización del control del movimiento y posicionamiento de la barcaza mediante un sistema controlado por ordenador y propulsores omni-direccionales.



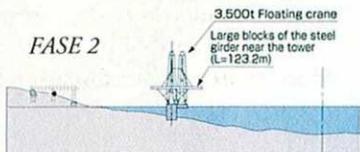
Izado

Colocación del tablero

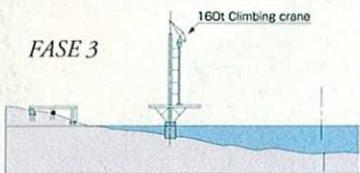
FASE 1



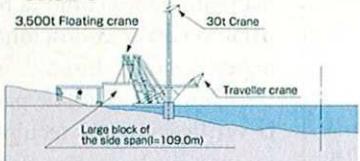
FASE 2



FASE 3



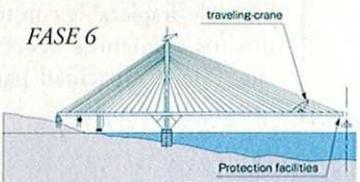
FASE 4



FASE 5



FASE 6



Instalación de un gran bloque de la base de una torre



Cable indentado



SUPERESTRUCTURA DE LOS PUENTES ATIRANTADOS

La superestructura (Puente Tatará)

El método de instalación del bloque principal utilizó una grúa flotante. Las vigas de cajón y los cables se colocaron a partir de las torres mediante el método de viga en voladizo equilibrada.

MANTENIMIENTO

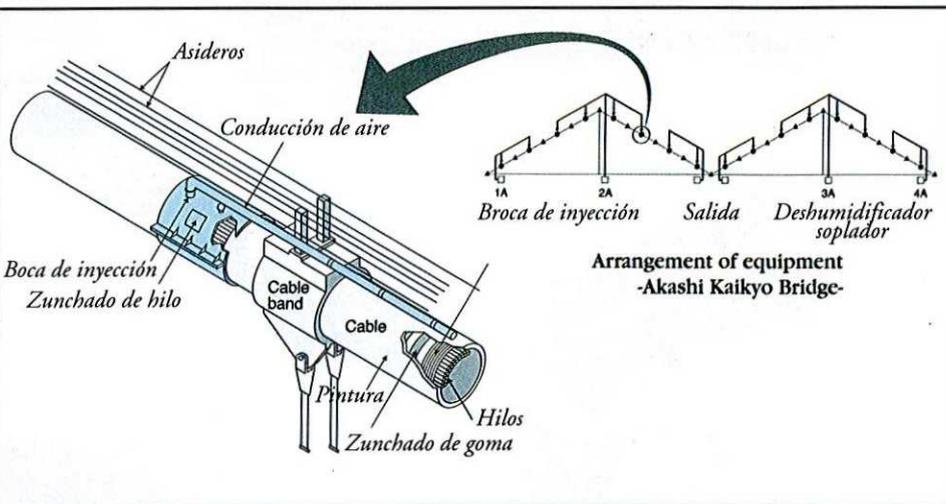
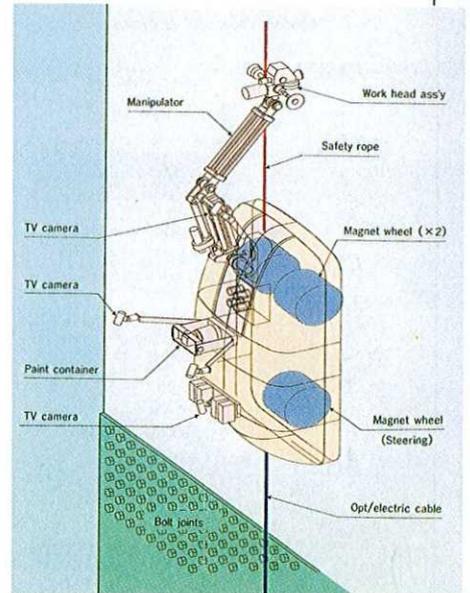
Sistema anticorrosión. Se ha desarrollado un sistema especial aplica-

Gráfico 2.6.2. Montaje del segmento de cierre
do a los grandes cables empleando la inyección de aire seco, según se recoge en la foto y esquemas adjuntos.

Elementos de mantenimiento

También se han desarrollado elementos específicos (por ejemplo, ro-

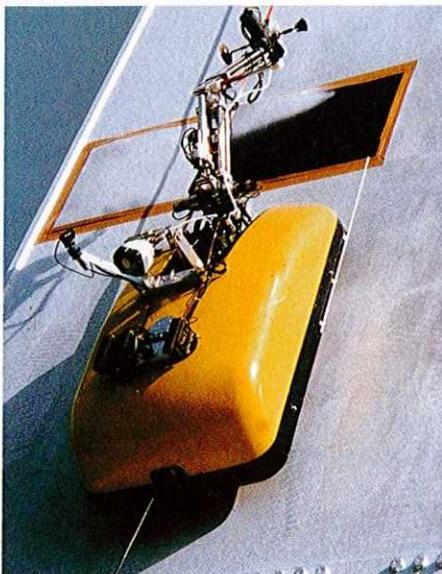
- 1) Tubería de aire = Inyección del aire seco
- 2) Medición de la presión del aire
- 3) Ventana de inspección



bots) para realizar tanto el mantenimiento como la reparación bajo condiciones materiales muy duras.

Destacan el robot para la verificación del recubrimiento de las torres consistente en un ascensor con ruedas e imanes cuyo movimiento se controla desde tierra.

Para el mantenimiento del cable se utiliza una plataforma desplazable con todos los elementos necesarios. Tiene capacidad para varias personas. ■



Robot de inspección



Mantenimiento del cable