

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

Por FLORENCIO DEL POZO FRUTOS

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

La propietaria del Puente de Rande es AUDASA, Empresa Concesionaria de la Autopista del Atlántico, y ha sido construido por las empresas españolas M.Z.O.V. y C.Y.T.

El autor del proyecto es el profesor Florencio del Pozo con la colaboración de los profesores Fabrizio de Miranda y Alfredo Passaro y las oficinas PROES (España) y STIPE y RECCHI (Italia).

El estudio y puesta en obra del hormigón inyectado se realizó en colaboración con Prepakt Ibérica, S.A.

### Descripción del puente.

La autopista del Atlántico constituirá el principal eje de comunicación de Galicia, cruzándola de norte a sur. Esta vía de comunicación precisa salvar la ría de Vigo, para lo cual se ha construido el puente de Rande, ubicado en el estrecho del mismo nombre con una anchura de 700 metros.

El proyecto se ha adaptado al pliego de bases redactado por el Ministerio de Obras Públicas que especifica un gálibo horizontal de 350 metros y un gálibo vertical de 45 metros en marea alta. La calzada está dimensionada para cuatro circulaciones.

El puente central tiene 400 metros de luz entre ejes de pilas principales, resolviéndose con una estructura formada por un tablero metálico atirantado de luces 147,42 — 400,14 — 147,42 m. con dos pilas centrales principales de 128 metros de altura y disposición de cables en abanico en dos planos oblicuos por pila.

Al puente central se accede por

dos viaductos de hormigón pretensado de 753 m. de longitud el sur y 106 el norte.

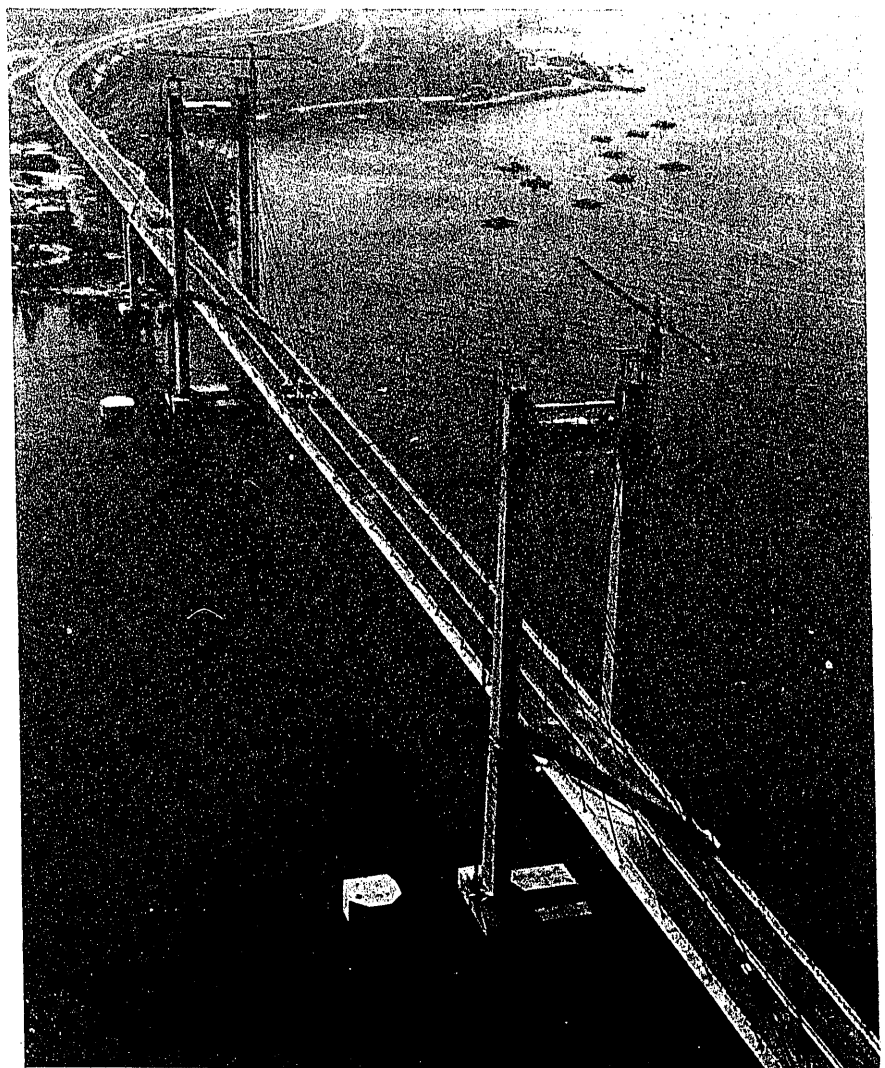
A ambos lados de cada zapata principal y para proteger al puente y a la navegación se han colocado duques de alba.

Las pilas centrales de hormigón armado están formadas por dos elementos verticales de sección en cajón con dos travesaños postensados y sus cabezas son de hormi-

gón postensado según los tres ejes.

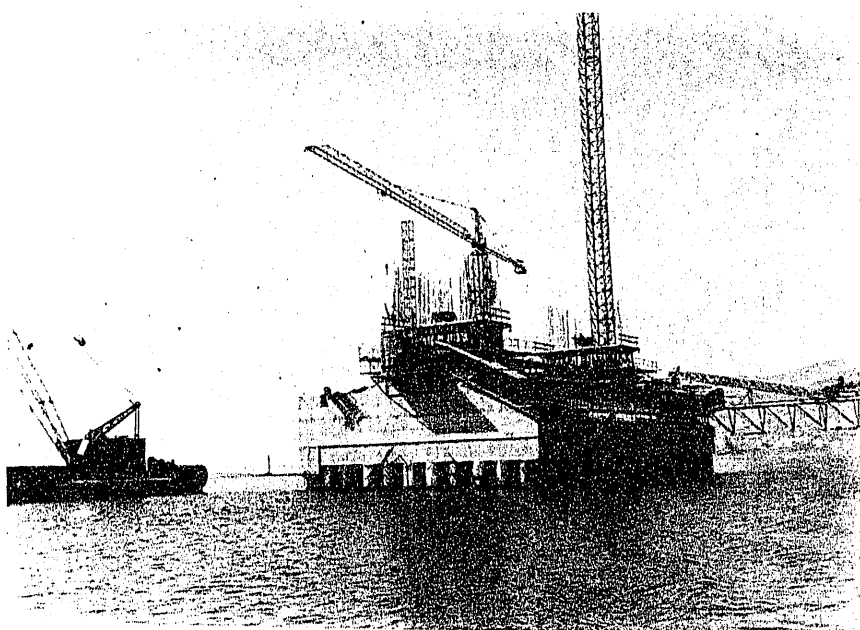
El tablero metálico tiene un ancho de 23,46 m. y un canto de 2,46 m., constituyendo una estructura de gran esbeltez y ligereza.

Los tirantes que soportan el tablero están compuestos por un número variable de cables trenzados, entre 33 y 91, de alta resistencia y 15 mm. de diámetro. El montaje consistió en enhebrar los cables



Vista general del Puente Rande

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE



Vista general del macizo de cimentación de la pila principal - margen derecho -

uno a uno por la vaina de polietileno desde el anclaje superior empleando medios sencillos de obra ya que se manejaron pequeñas cargas.

El sistema de tirantes y su puesta en obra han sido desarrollados especialmente para este puente por Freyssinet, S.A.

### CIMENTACION

#### El problema de la cimentación

La cimentación de las pilas principales del puente de Rande y la lateral sur, es decir, las que se apoyan en el fondo de la ría, estaban proyectadas sobre pilotes de 2 metros de diámetro que se empotraban en la roca entre 4 y 6 metros.

Por razones tanto económicas como de plazo se vió la necesidad de cambiar la cimentación.

Se estudiaron varios sistemas teniendo en cuenta la condición de respetar el fondo rocoso de la ría, sin emplear explosivos. La cimentación, por otra parte, debería garantizar la ausencia de asentamientos diferenciales, cuya dimensión se multiplicaría en las cabezas de las pilas

produciendo un desequilibrio inadmisibles en las tensiones de los tirantes.

En cuanto a la ejecución de la cimentación en obra debería hacerse con medios normales, de fácil

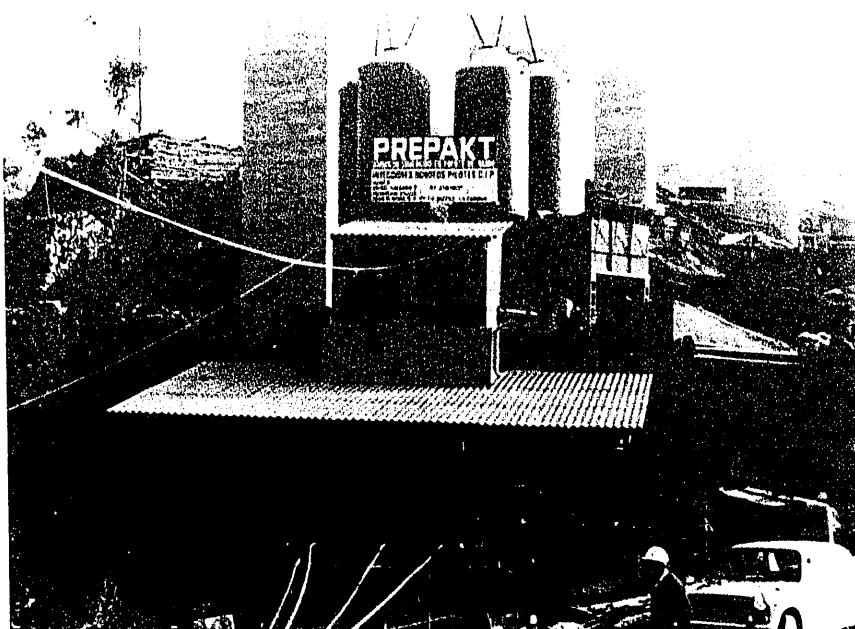
adquisición o fabricación que no retrasaran aun más su terminación.

En estas condiciones se decidió y proyectó el sistema de cimentación que se describe en este artículo.

#### Características del terreno

En la ubicación de las pilas del puente principal se realizaron previamente al proyecto de las cimentaciones diversos sondeos a rotación con toma continua de testigos con objeto de conocer la calidad de los estratos afectados y detectar los posibles accidentes que pudieran existir en la masa de la roca granítica que forma el sustrato del estrecho de Rande.

Según mostraron los citados sondeos el granito aparecía bajo un recubrimiento de arenas conchíferas cuyo espesor variaba entre 2,50 y 4,0 m. Estas arenas eran muy flojas y estaban continuamente movidas por las corrientes del fondo del estrecho. El granito que aparecía debajo era de dos micas y normalmente se presentaba muy descompuesto en los 50 cm. superiores. Debajo de esta capa apare-



Vista de instalación Prepadt - margen izquierdo -

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

cía una zona de granito descomprimido con un índice de calidad RQD del orden de 30-40. Esta capa se continuaba con otra de granito más sano con índices RQD del orden de 80-90. En los sondeos se detectaron diversas discontinuidades (diaclasas, filones, etc.) con desarrollo subvertical y en ocasiones rellenas de caolinita.

Con los testigos extraídos de los sondeos se realizaron ensayos en laboratorio entre los que destacan los de compresión simple y los de determinación del módulo elástico por el método sísmico.

De la interpretación y análisis de todos los resultados obtenidos se adoptaron para el cálculo unos módulos transversales de elasticidad:

En granito sano:

$G = 20.000 \text{ Kp/cm.}$

En granito descomprimido:

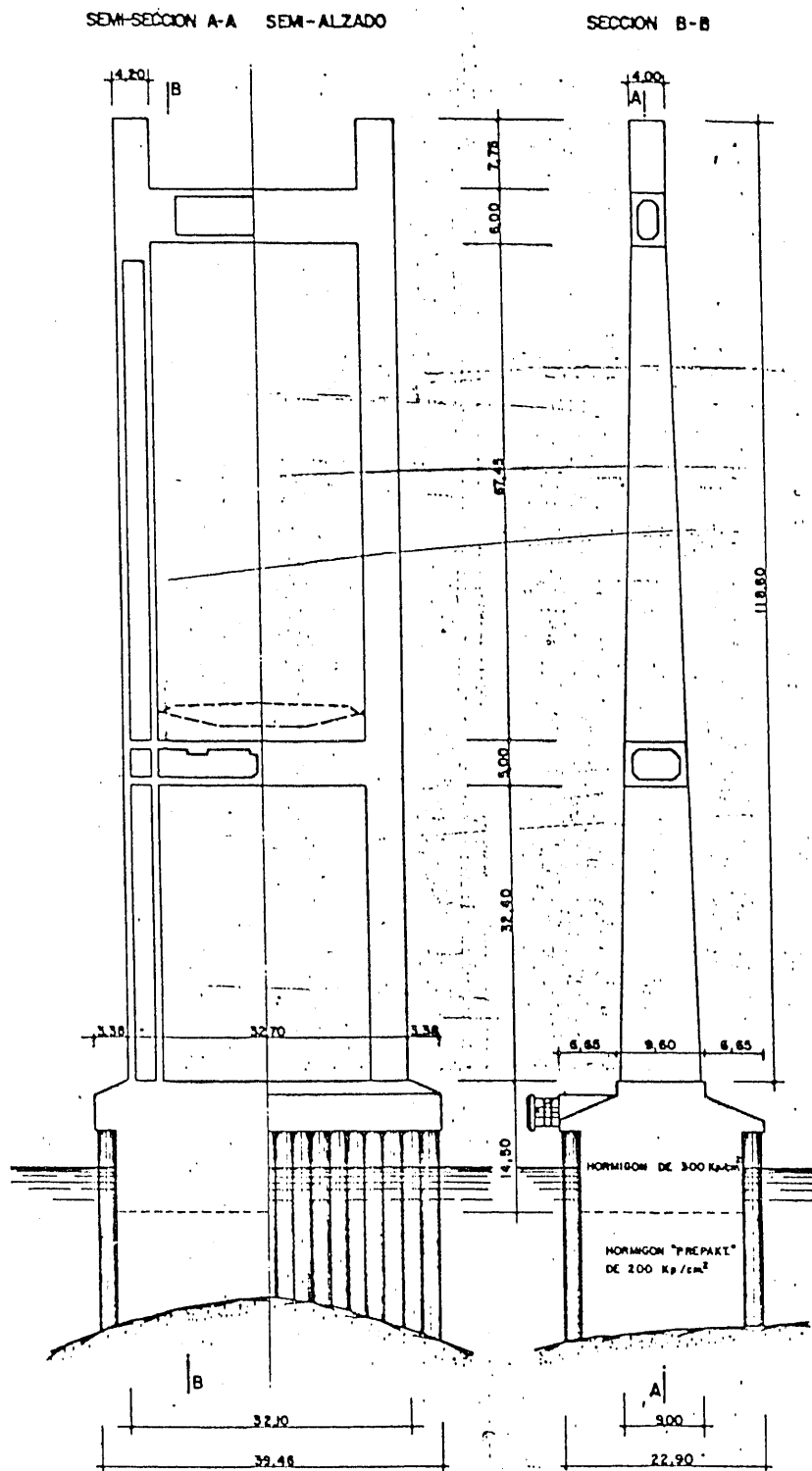
$G' = 5.000 \text{ Kp/cm.}$

que quedan ampliamente del lado de la seguridad. Asimismo se adoptaron unas tensiones admisibles sobre el terreno de  $15 \text{ Kp/cm.}$

### Descripción y materiales empleados. Características

En el proyecto de las cimentaciones de las pilas principales se han considerado cuatro partes netamente diferenciadas y realizadas con materiales de características diferentes. En primer lugar tenemos la parte no estructural correspondiente a los recintos formados por los tubos de 2 m. de diámetro y las células de esquina. Los tubos están formados por chapa de acero A-37 de 6 mm. de espesor y unidos unos a otros por medio de guías. Estos tubos se rellenan de hormigón en masa sumergido de resistencia característica igual a 200 kilopondios por centímetro cuadrado. Del mismo modo las células de esquina una vez formadas se rellenan con el mismo tipo de hormigón. Cada recinto tiene 72 tubos y sus dimensiones son de 39,26 por 22,70 metros.

La segunda zona de la cimentación corresponde a la parte estructural de relleno que va entre la roca



PILARES PRINCIPALES

GRAFICO ①

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

y la cota - 5,0 que se realiza por medio de hormigón PREPAKT, de 200 Kp/cm. de resistencia característica, sumergido y armado por medio de una retícula espacial de acero corrugado de 4.600 Kp/cm. de límite elástico aparente.

La tercera zona es la que denominaremos propiamente zapata y que apoyándose en la anterior a la cota - 5,0 va hasta la cota 9,50 donde se entronca con las pilas. Esta zona está hormigonada en seco con hormigón convencional de 300 Kp/cm. y va fuertemente armada para resistir los esfuerzos que se comentarán posteriormente.

Finalmente existen unos anclajes cuya misión, junto con el rozamiento y adherencia del hormigón PREPAKT a la roca, es la de resistir las 15.000 toneladas de fuerza de deslizamiento existente. Estos anclajes están formados por tubos metálicos huecos inyectados "a posteriori" de 6,0 metros de longitud y 80 centímetros de diámetro con un

espesor de 3,5 cm. y realizados en acero A-52. El número de estos anclajes es de 12 en las pilas centrales y 4 en la lateral sur.

La cimentación de la pila lateral Sur, de menores dimensiones, está formada por dos recintos de 14,42 por 14,42 m. igualmente con tubos de 2 metros de diámetro rellenos de hormigón en masa (48 tubos en total). El hormigón Prepakt llega hasta la cota 0 y la zapata hasta la 6,80.

La cimentación de los duques de alba está formada por un macizo de grava vertida previo dragado de la arena de fondo, que se inyecta con mortero Prepakt. Sobre este macizo apoya un tubo de 13 m. de diámetro y altura variable hasta la

diámetro y 5 m. de altura y encima otro tubo cilíndrico de 7 m. de diámetro y altura variable hasta la cota 0, con armaduras. Ambos tubos van igualmente rellenos de hormigón Prepakt.

Destacaremos la gran masa de hormigón Prepakt utilizado en esta cimentación, consistente en la colocación previa de árido grueso que se consolida por el relleno de sus huecos con un mortero bombeado que contiene cemento, arena, agua y un aditivo químico característico de este sistema. Este aditivo químico permite colocar el mortero por bombeo sin pérdida de homogeneidad, anula prácticamente la retracción de fraguado y produce un retraso en la iniciación del fraguado del orden de ocho horas.

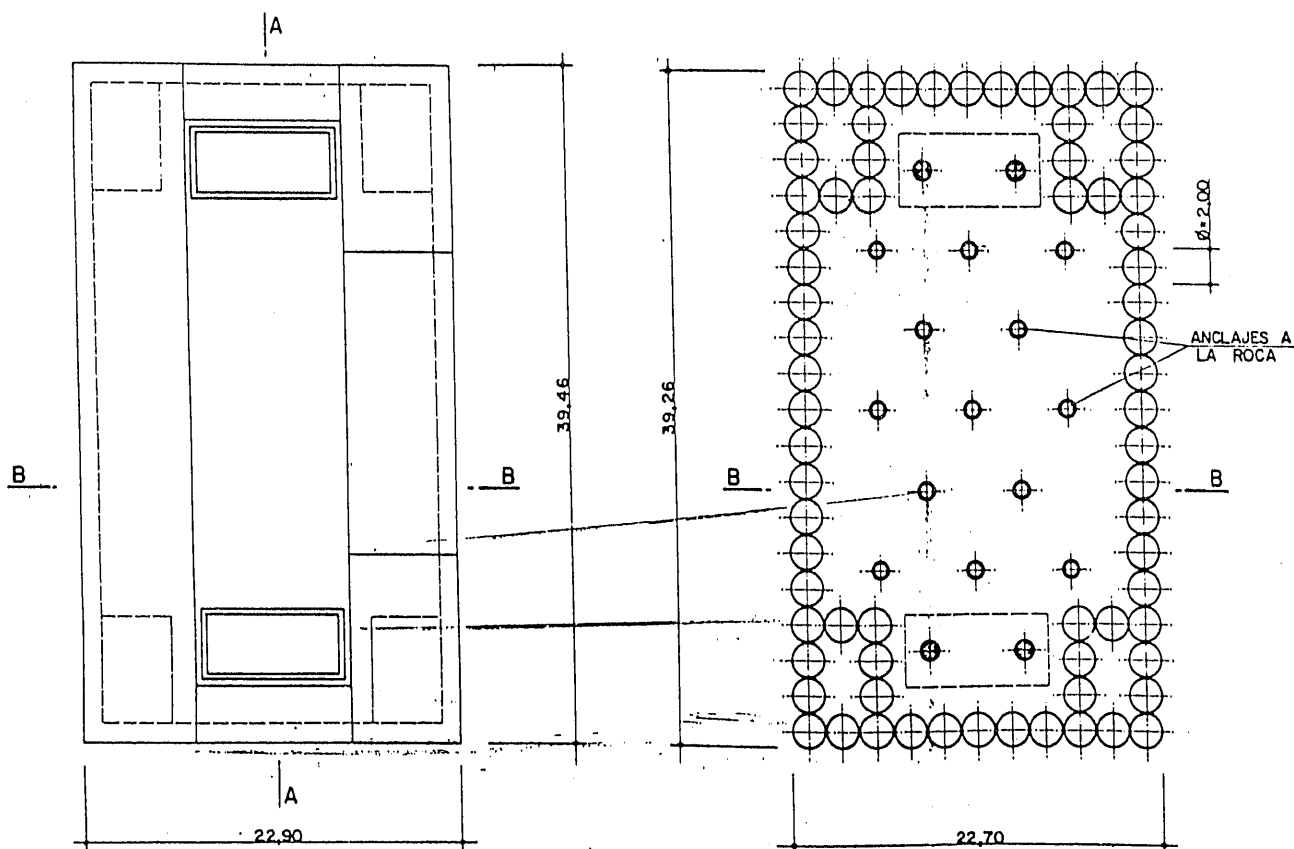
El pliego de prescripciones técnicas para el hormigón Prepakt contenía como características más interesantes a resaltar, las siguientes:

- Cemento PHA-350.
- Granulometría de la arena definida por un módulo de finura entre 1,4 y 2,6.
- Grava de canto rodado de 110-40 mm.

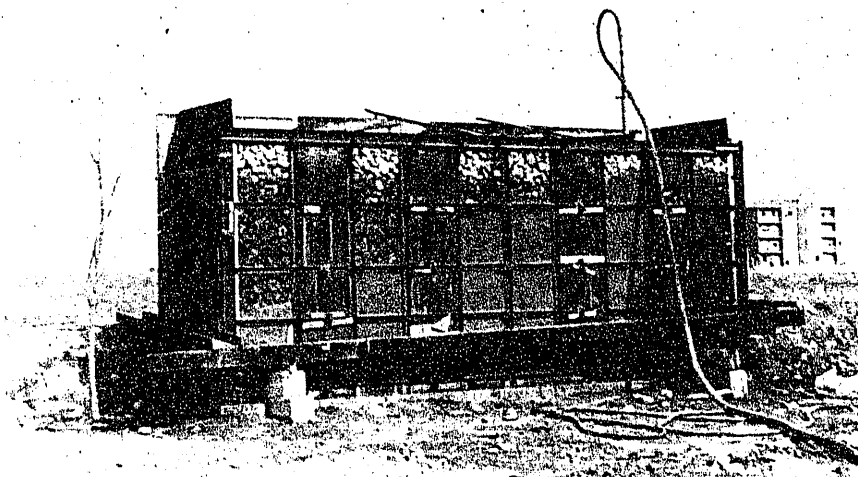
PLANTA

GRAFICO ②

SECCION C-C



## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE



Ensayo preliminar para determinar la pendiente del mortero durante la inyección

- Fluidez del mortero no menor de 18 segundos según el método CRDC. 79.58.
- Hormigón H-200 según EH-73.

### Acciones consideradas en los cálculos

Las acciones transmitidas a la cimentación por las pilas principales debidas al peso propio del tablero, el de las pilas y las sobrecargas actuantes incluida la acción del viento, producen unos esfuerzos máximos aproximados con fuerza vertical de 20.000 toneladas y fuerza horizontal de 400 toneladas. El momento máximo en sentido longitudinal resulta del orden de los 42.000 ms. A estas acciones sobre la cimentación se superpone el peso de la misma que resulta del orden de 52.000 toneladas. Dada la existencia de una pendiente media del fondo del orden del 20 % hacia el centro de la ría, la fuerza de deslizamiento paralela al terreno que se consideró fue de 15.000 toneladas.

Respecto a las acciones locales que se han tenido en cuenta en el cálculo son de destacar en la fase

de ejecución las debidas a la inyección del hormigón PREPAKT así como las acciones del oleaje y la corriente sobre las empalizadas de tubos antes de la terminación de la zapata.

### Cálculo, tensiones, esfuerzos

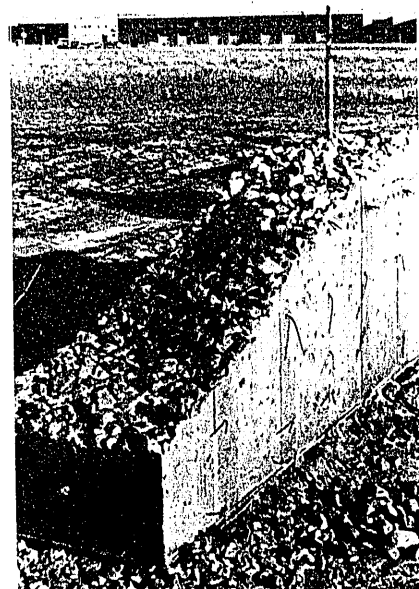
Las tensiones transmitidas por el macizo de cimentación al terreno se han calculado en el supuesto de que la única zona resistente de la cimentación es la correspondiente al interior del recinto hormigonado con PREPAKT ya que aunque las células de esquina y las propias empalizadas de tubos rellenos de hormigón estaban unidas al macizo central por medio de anclajes de acero corrugado, necesarios en la fase de inyección del hormigón para evitar el vuelco, no se han considerado al no confiar en la durabilidad de los tubos sumergidos. En esta hipótesis se alcanzaron sobre la roca tensiones máximas de 14,1 kp./cm<sup>2</sup>, con una media de 10,1 kp./cm<sup>2</sup>, en la pila más desfavorable.

La velocidad máxima de inyección se consideró de forma que la máxima altura de hormigón sin fra-

guar fuera del orden de 3 metros para que las paredes de los recintos resistieran los esfuerzos producidos por la inyección.

Para el armado de la zona superior de la cimentación se tuvieron en cuenta los efectos locales debido a la aplicación de las cargas en zonas reducidas (las dos bases de las pilas) con las consiguientes tracciones transversales en la zona central. En cuanto a los esfuerzos de conjunto merece destacarse el efecto de torsión producido en la zapata por la diferente transmisión de momentos en cada pata de la pila debidos a las posibles asimetrías de la sobrecarga.

Respecto al deslizamiento para asegurar la máxima adherencia posible del hormigón inyectado a la roca se prescribió una limpieza del fondo del recinto muy cuidadosa. No obstante se ha considerado en el cálculo un ángulo de rozamiento entre la zapata y la roca de sólo 12 grados muy del lado de la seguridad. Para absorber la fuerza de deslizamiento paralela al terreno junto con el rozamiento se han previsto anclajes metálicos que cosen la zapata al terreno, ya descritos.



Vista bloque de ensayo desencofrado

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

De esta forma se consigue un coeficiente de seguridad global al deslizamiento mayor de 2.

Las posibles tracciones locales en el macizo de hormigón están cosidas por medio de unos zunchos alrededor de los anclajes y la transmisión de los esfuerzos se consigue con dos mallas de reparto situadas en el fondo del recinto y que permiten uniformar entre los distintos anclajes los empujes producidos.

### Ejecución de los recintos

Para ejecutar los recintos de esta cimentación se tuvieron que idear unos medios auxiliares específicos para este trabajo y de rápida adquisición o construcción.

El problema principal era preparar una estructura que situada en el mar asegurara la estabilidad de los tubos en su fase de colocación hasta que formaran grupos autosustentables. Los esfuerzos horizontales a soportar procedían de un oleaje de 2 m. de altura máxima y una corriente de marea del orden

de 1 m./sg., todo ello en un calado de hasta 24 m. en marea alta.

Esta estructura se materializó en un fuerte castillete de celosía metálica en dos cuerpos de 10 x 10 x 10 metros con una altura total de 20 metros y cuatro patas telescópicas en las esquinas. Un grupo de flotadores permitía trasladarlo por el mar y una vez situado, se elevaban y se llenaban de agua aumentando la estabilidad del conjunto. Este conjunto debería soportar un empuje horizontal en su parte superior de 60 tn. por los posibles efectos del oleaje y corriente de marea, ya citados.

El peso del castillete, sin agua, era de 110 Tm.

Medios flotantes fundamentales fueron:

- Una pontona, de 2000 Tm. de desplazamiento y 50 x 14 m. de dimensiones que sirvió de soporte a una grúa sobre orugas Demag de 100 Tm. de peso y a un almacén, taller y cámara de personal.

- Una pontona de 25 x 13 m. y 350 Tm. con una grúa Menck sobre orugas de 95 Tm. de peso.

- Una barcaza, para transporte



Testigo del bloque de ensayo

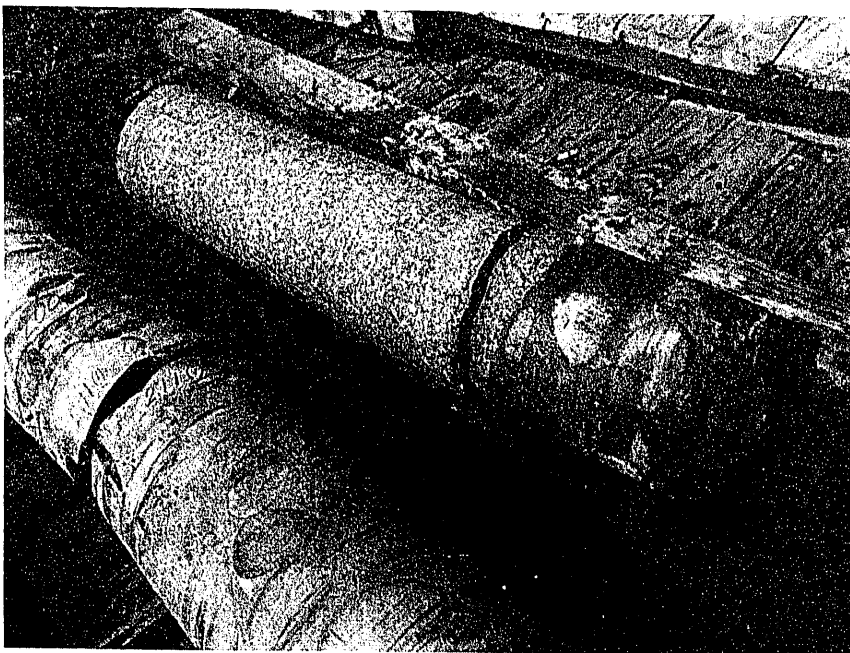
de camisas, movida por un remolcado.

A este equipo fundamental se le añadieron todo el equipo auxiliar necesario (boyas de amarre, cabrestantes de maniobra, grupos electrógenos, compresores iluminación, etc.) y las herramientas principales:

- 3 trépanos de 10 Tm.
- 2 cucharas bivalvas de 2 m. de diámetro.
- Varios equipos de succión air-lift.

En un muelle, cercano a la obra, estaba el taller de fabricación de tubos de 2 m. de diámetro y longitudes entre 18 y 26 m. con el extremo inferior reforzado, tubos a los que se soldaban dos guías diametralmente opuestas formadas por dos angulares, de forma que funcionaban realmente como tablestacas.

Con el fin de acelerar los trabajos, el número de grúas pesadas sobre orugas, que en un principio eran las dos citadas Demag y Menck, se aumentó hasta siete que se situaron en un castillete y en las células de esquina según se construían.



Testigo del bloque de ensayo en su contacto con la roca

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

La ejecución de los recintos en pilas principales se desarrolló de la forma siguiente:

1) Establecimiento del castillete de 10 x 10 m. en el interior de uno de los lados, entre dos células de esquina. Encaja justamente.

2) Colocación de los tubos con las grúas de los dos medios flotantes enhebrando cada uno con el tubo colindante y siguiendo las fases siguientes:

— Limpieza de la arena del interior del tubo con la cuchara bivalva hasta llegar al fondo.

— Trepanación del fondo rocoso en unos 50 cm. y encaje del tubo en él.

— Se rellena con hormigón en masa sumergido el tubo colocado.

— Las cabezas de los tubos, con una armadura sólo en la parte alta, se unen a una viga de atado fuertemente armada de 1,40 x 2 m. de sección.

3) Siguiendo este sistema se colocan los tubos alrededor del castillete apoyándose en él hasta formar una U, continuando con las dos células de esquina y la pantalla que los une.

4) Traslado del castillete al otro lado menor de la zapata y formación de las otras dos células de esquina y la pantalla que las une, así como la viga de atado.

5) Unión de las células que ocupan los extremos de los lados mayores del recinto por una viga metálica de celosía.

6) Apoyándose en esta viga, que hace las funciones del anterior castillete, se colocan los tubos formando las dos pantallas longitudinales de la zapata y se unen a la viga de atado que se cierra, uniendo todas las cabezas de los tubos.

La zapata sur, se inició con un segundo castillete sobre el que se instaló una grúa lima sobre orugas de 80 Tm. de peso. Esto unido al castillete de la norte que se trasladó al terminar aquella, incrementó los medios de colocación de tubos y disminuyó su duración.

El recinto norte se desarrolló en 5 meses y el sur en 4 meses.

La zapata de la pila lateral sur, formada por dos recintos de 14,42

por 14,42 m., se construyó por el mismo sistema pero con menos dificultades por su menor dimensión y profundidad. En el interior de cada recinto encajaba perfectamente un castillete.

### Limpieza de fondo de los recintos

Una vez cerrado el recinto con los tubos se procedió a la limpieza

de la arena conchífera del fondo (entre 2,5 a 4 m. de espesor), que se extrajo con cucharas bivalvas. Las esquinas y grietas se limpiaron con el air-lift, tubo succionador por aportación de aire comprimido.

Después de esta limpieza de fondo se montó una red de vigas metálicas de celosía en el plano superior de la viga de borde (cota más 4,10) que servirán para guiar los

### SECCION B-B (ARMADURA Y ANCLAJES)

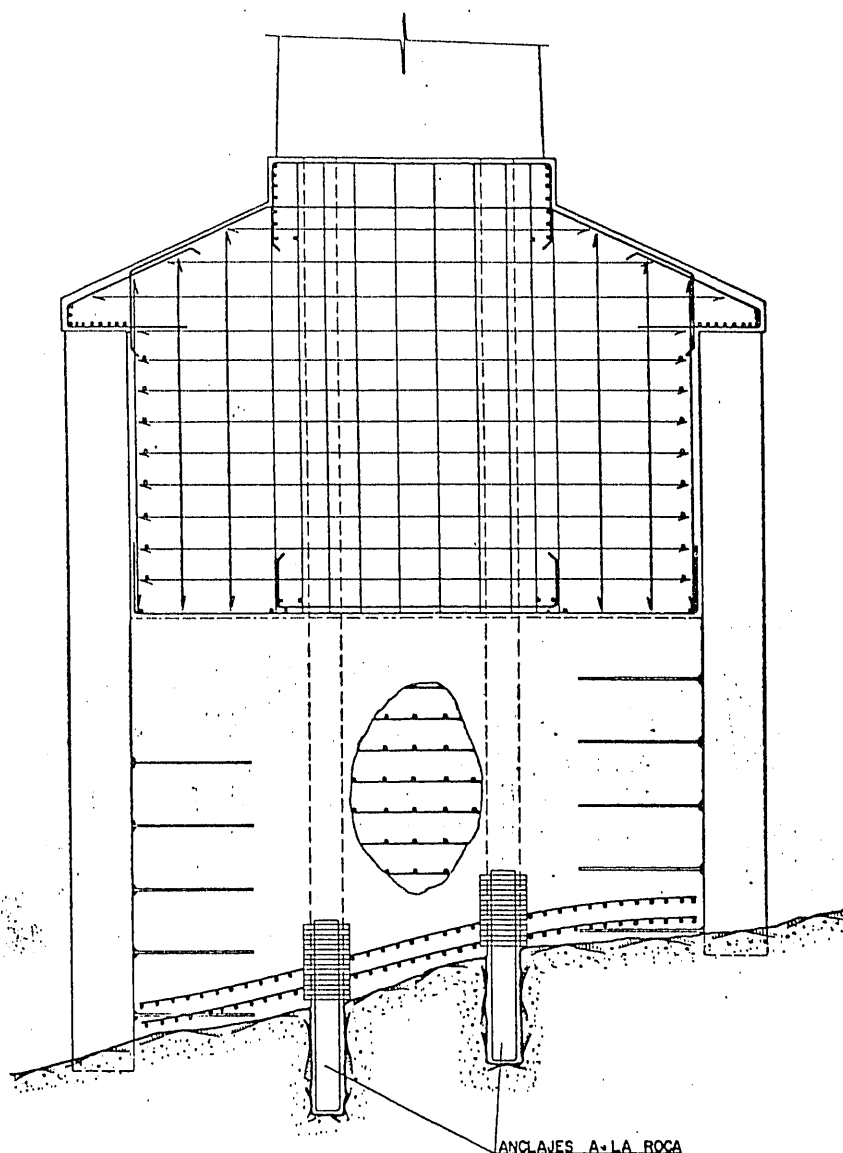


GRAFICO 3

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

tubos de 1 m. de diámetro colocados para después perforar los anclajes de fondo, y como elemento auxiliar en el resto de los trabajos.

Tanto la perforación como la colocación de los cilindros metálicos y su inyección se hicieron después de terminar la zapata sin interferir el camino crítico de la obra. Esa fue la razón de dejar los tubos metálicos 1 m. de diámetro.

### Hormigón Prepakt

Terminada la limpieza de fondo del recinto, se procedió a la puesta en obra de la gran masa de hormigón inyectado Prepakt que constituye la parte inferior de la cimenta-

ción, trabajo que fue estudiado y colocado en obra por Prepakt Ibérica, S.A.

Como veremos los medios empleados fueron sencillos y muy apropiados consiguiéndose una rápida ejecución de esta actividad.

La ejecución del hormigón Prepakt se realizó como se había previsto en proyecto según la secuencia siguiente:

— Colocación de tubos verticales para inyección de mortero y control de alturas de hormigonado formando una malla de 3,50 m. como máximo. Estos tubos eran de 2 pulgadas y llevaban perforaciones cada 20 cm. Se colgaron de la red de vigas metálicas a la cota más 4,10 ya citada.

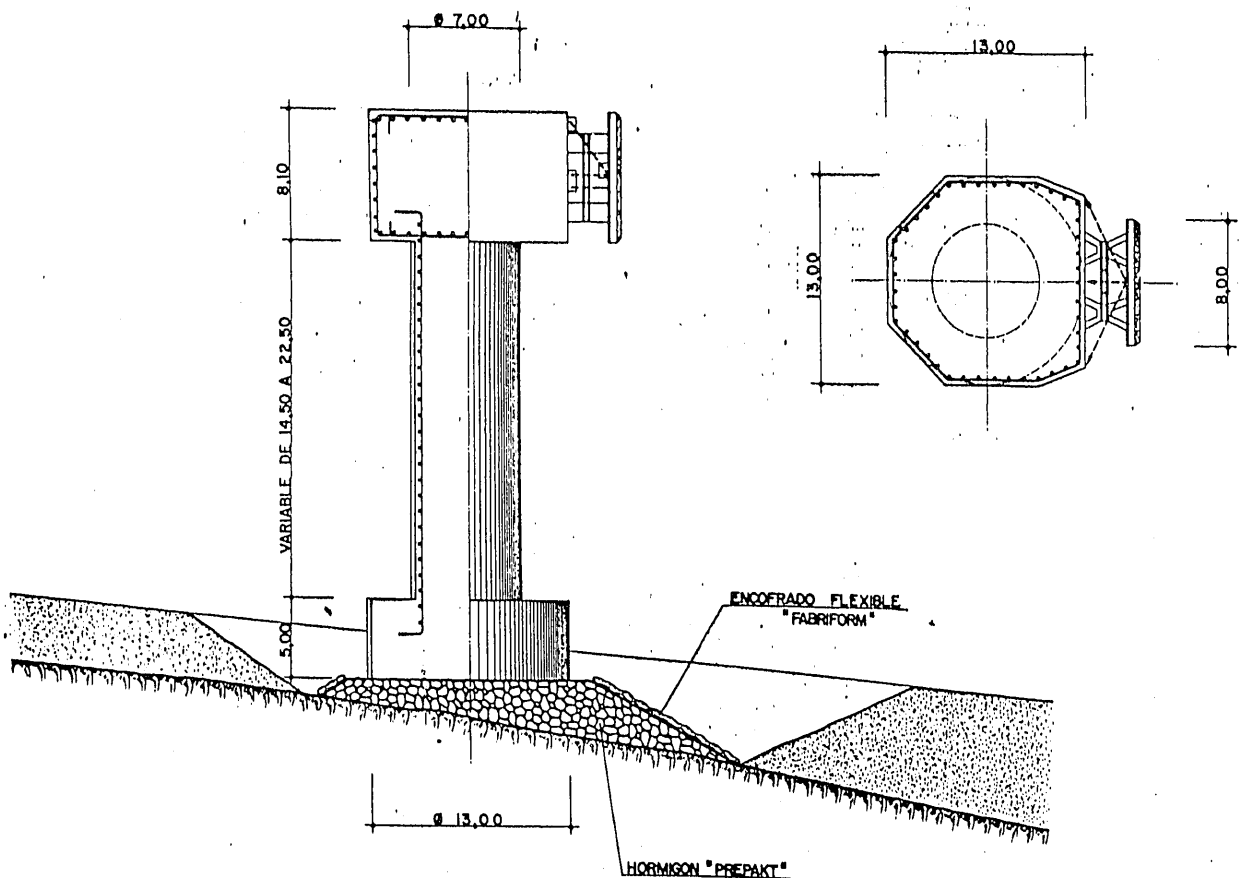
— Vertido de la grava de 40/110 milímetros hasta la cota -5,00, en muchos puntos para conseguir una superficie de elevación con diferencias de cota de menos de 3 m. que al final los hombres rana igualaban.

— Inyección de mortero de forma continúa según una secuencia de inyección estudiada cuidadosamente para que las diferencias de cota fueran menores de 3 m. La velocidad de ascensión fue de 2 metros por día excepto en la zona alta, en la que se disminuyó este ritmo para controlar las deformaciones que se producían en la viga de atado.

Para la fabricación del mortero se utilizó en la margen norte una instalación ELBA de 18 m ./hora

## DUQUES DE ALBA

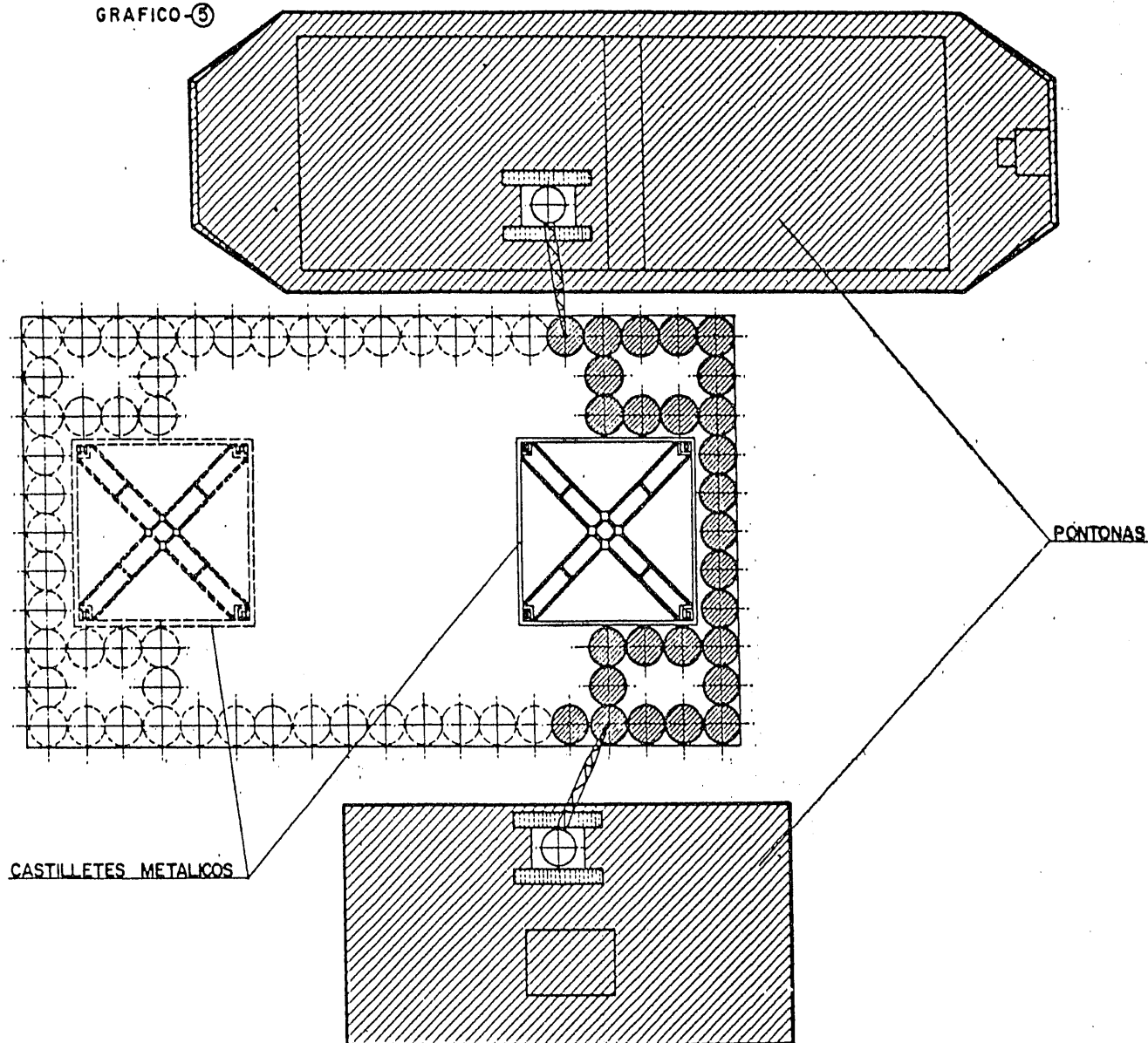
GRAFICO-4





PROCESO DE EJECUCION DEL RECINTO

GRAFICO-5



desde la cual se transportaba el mortero con camiones hormigonera hasta la instalación de situada cerca de la orilla de la ría.

En la margen sur se utilizó una instalación Prepakt de mezclado y bombeo.

Desde tierra se bombeaba directamente el mortero a los tajos con tuberías de 2 pulgadas.

El volumen hormigonado en las dos pilas centrales y la pila lateral

sur fue de 16.986 m<sup>3</sup>. La dosificación de mortero fue de 750 kilogramos por metro cúbico que con el porcentaje medio de huecos resultante del 40 % proporciona un contenido de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón de 300 kg.

Ensayos previos y control:

Se desarrollaron las siguientes series de ensayos:

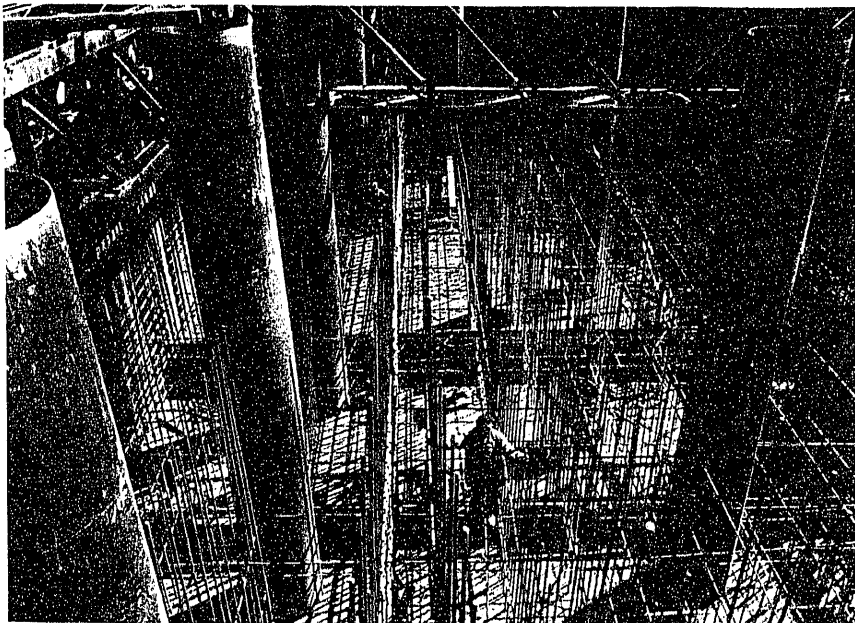
— Ensayos previos para determi-

nar la resistencia a compresión del hormigón Prepakt:

Se usaron probetas cúbicas de 30 x 30 para poder utilizar áridos gruesos con tamaño de 75 mm. Se ensayaron tres tipos de dosificación de mortero. El porcentaje de huecos del árido parece demostrado que no influye en la resistencia del hormigón.

— Ensayos previos paralelos con los mismos morteros utilizados en

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE



Interior del recinto de la pila principal una vez terminado el hormigonado Prepakt

las probetas de hormigón de fluidez, principio y fin de fraguado y resistencia a compresión y flexotracción con probetas primáticas de 4 x 4 x 16 para establecer la relación de resistencia entre mortero y hormigón.

— Ensayos previos mediante la realización de un bloque de 5 por 1,30 y 2 m. de altura con un lateral transparente para comprobar la pendiente del mortero dentro de la grava bajo el agua con el sistema de inyección previsto.

— Construcción de bloques de ensayo en la zona de la obra a la cota que cubre la carrera de marea de:

A: Dos bloques de para extraer testigos con sonda, diámetro para comprobar resistencias y la adherencia entre hormigón y roca.

B: Un bloque de para demolición y comprobación visual del relleno de la grava.

C: Cuatro bloques de 0,5 x 0,5 x 1 m. hormigonado sobre roca con inclinación entre 45° y 60° para ensayo de deslizamiento bajo la tensión vertical que producía un anclaje.

— Los ensayos realizados, de los

cuales acompañamos un resumen en el cuadro nº 1, permitieron fijar la dosificación de cemento en 750 kilogramos por metro cúbico de mortero.

— El control a lo largo de la ejecución de la obra lo realizó la Administración tomando periódica-

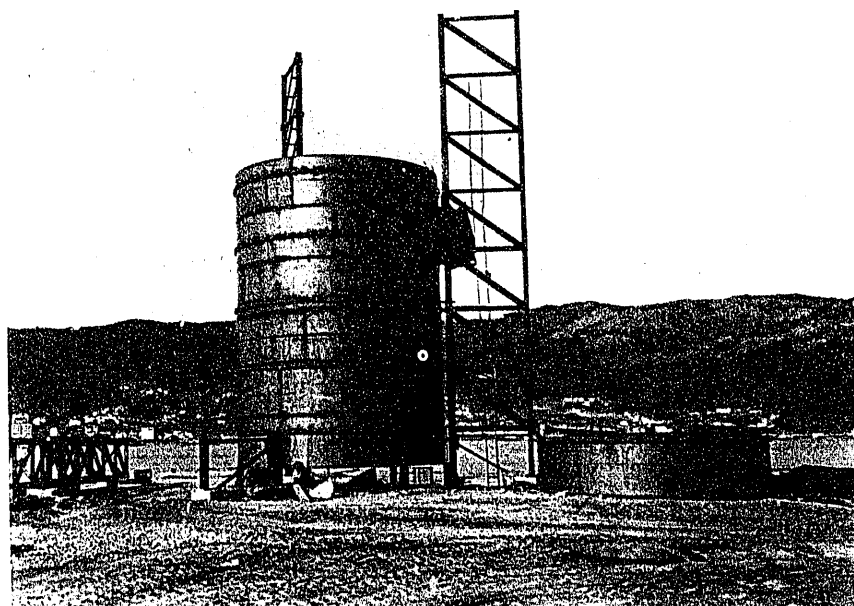
mente muestras de mortero con lo que formaba probetas de 4 x 4 x 16 centímetros. Los resultados permitían deducir las resistencias del hormigón de acuerdo con la relación de resistencias obtenidas por los ensayos paralelos.

### Hormigonado de la zapata no sumergida

Las guías entre camisas se impermeabilizaron hasta la viga de atado y al terminar el hormigón Prepakt, se agotó el recinto quedando un gran recinto vacío entre las cotas -5,00 y -4,10, con unos empujes hidráulicos de hasta 8 metros de altura.

Después del bombeo del agua, se limpió una costra de mortero de 30/50 cms., que arrastraba toda la suciedad, y se inició la colocación de la armadura.

El hormigonado se organizó en tongadas de 1 m. de altura y cada una comprendía aproximadamente la mitad de la planta de la zapata. La junta se hacía contrapeada para facilitar el trabajo y no crear un plano débil. En la norte, los 8.850 metros cúbicos entre las cotas -5,00 - 9,5 se hicieron en 25 ton-



Virola del Duque de Alba

## CIMENTACION DEL PUENTE DE RANDE

### ENSAYOS DE HORMIGON PREPAKT EN EL PUENTE DE RANDE. Cemento PHA-350 - Arena de "Rio Miño"

CONTENIDO DE MATERIALES POR METRO CUBICO DE MORTERO.				
CEMENTO _____	700 Kg.	800 Kg.	900 Kg.	
AGUA _____	350 "	368 "	392 "	
ARENA. _____	950 "	820 "	677 "	
l. Aid. _____	7 "	8 "	9 "	
FLUIDEZ DE CADA UNA DE LAS 6 AMASADAS. _____	23-22-22-25-25-24.	22-23-24-22-24-22.	21-22-21-22-23-23.	
TIEMPO DE FRAGUADO _____	PRINCIPIO _____	8 h 25m.	7 h 50m.	9 h 25m.
	FIN _____	9 h 45m.	9 h 35m.	11 h 10m.
RESISTENCIA CARACTERISTICA A COMPRESION DE LAS PROBETAS CUBICAS DE 30cm. CON LA MEDIA DE 6 AMASADAS.				
A 28 dias _____	213 Kg/cm <sup>2</sup>	210 Kg/cm <sup>2</sup>	267 Kg/cm <sup>2</sup>	
A 90 dias _____	284 "	345 "	396 "	
RESISTENCIA CARACTERISTICA A COMPRESION DE LAS PROBETAS PRISMATICAS DE 4x4x16cm. CON LA MEDIA DE 6 AMASADAS.				
A 28 dias _____	414 Kg/cm <sup>2</sup>	416 Kg/cm <sup>2</sup>	443 Kg/cm <sup>2</sup>	
A 90 dias _____	502 "	586 "	699 "	
RESISTENCIA CARACTERISTICA A FLEXOTRACCION DE LAS PROBETAS PRISMATICAS DE 4x4x16cm CON LA MEDIA DE 6 AMASADAS.				
A 28 dias _____	66 Kg/cm <sup>2</sup>	74 Kg/cm <sup>2</sup>	59 Kg/cm <sup>2</sup>	
A 90 dias _____	74 "	84 "	52 "	

CUADRO-I

gadas y dos meses trabajando a doble turno.

Y en el sur igual volumen en una semana menos.

Las tongadas oscilaron entre 480 y 270 m. A la vez se colocaron 400.000 Kg. de acero para armar Acar-46 en cada zapata. Además de este acero, en el hormigón Pre-pakt y en el recinto se pusieron otros 160.000 Kgs. de armadura.

En la zapata lateral se siguió el mismo procedimiento de bombeo y hormigonado, con volúmenes menores: 2.100 m. de hormigón y 80.000 Kgs. de acero para armar.

El hormigón era de 300 Kp/cm. de resistencia característica con cemento PHA-350 y se colocó la mayor parte por medio de bomba.

#### **Ejecución de los duques de alba**

Los tubos metálicos de 13 m. de diámetro y 5 m. de altura se fabricaron en tierra y convenientemente rigidizados se trasladaron y colocaron con cabria flotante. Igualmente se montaron los tubos de 7 metros de diámetro con la armadura colocada.

La colocación del hormigón Pre-pakt en los duques de alba fue si-

milar al de las zapatas, con dos características distintas:

— En el macizo de grava vertido en el fondo de la ría los tubos de 2 pulgadas se clavaron con martillos de aire comprimido, utilizados por hombres rana.

— El paramento exterior de este macizo del fondo se cubrió con el encofrado flexible "Fabriform", con un peso de 240 Kg/m. con el fin de hacer más eficaz la inyección de mortero.

El volumen hormigonado en los cuatro duques de alba fue de 12.245 metros cúbicos.