

CENTRAL HIDROELECTRICA EL TORO EL HORMIGON FLUIDO Y SU APLICACION A LA CONCRETADURA DE TUNELES BLINDADOS DE ALTA PRESION

Hernán ZABALETA *

RESUMEN

Las condiciones de colocación del hormigón en lugares de difícil acceso hacen deseable el uso de un hormigón de alta fluidez. Dadas las propiedades desfavorables de un hormigón de esas características (alta retracción hidráulica, gran segregabilidad, elevado costo), su aplicación debe ser estudiada y ejecutada cuidadosamente.

El autor describe las razones de su empleo, los estudios realizados y los procedimientos empleados para la aplicación de un hormigón de alta fluidez en la concretadura de las tuberías subterráneas de alta presión de la Central Hidroeléctrica El Toro de Endesa y los resultados obtenidos con su aplicación tanto en los tramos inclinados como horizontales de ella.

Se reseñan los procedimientos de control de calidad empleados y se plantea la posibilidad de extender su empleo a la concretadura del revestimiento de túneles.

ANTECEDENTES GENERALES

Consideraciones estructurales

El cálculo de un túnel blindado confinado, sometido a alta presión hidráulica, se realiza en torno a dos premisas básicas.

Una es que la presión interior es tomada parcialmente por el blindaje y el resto traspasado a la roca, a través del hormigón de confinamiento.

La otra, que el blindaje debe ser capaz de soportar la presión exterior traba-

*Ingeniero Civil, Jefe Sección Estructuras, Departamento Ingeniería, ENDESA.

jando a compresión. La longitud de pandeo se limita mediante anclajes embebidos en el hormigón de confinamiento.

De acuerdo a estas bases generales se puede deducir que el hormigón de confinamiento del blindaje debe cumplir con las tres condiciones que se anotan a continuación.

Debe asegurar un buen traspaso de los esfuerzos del blindaje a la roca, es decir debe lograr un relleno lo más perfecto posible entre el blindaje y la roca. Para ello, el hormigón debe producir un buen relleno de todas las concavidades de la roca y confinar los elementos de sustentación colocados para su excavación (mallas, marcos metálicos, enmaderación, etc.).

Debe ser capaz de resistir los esfuerzos provenientes de los anclajes, para lo cual debe rodearlos y confinarlos perfectamente.

Debe obtenerse un buen contacto con el palastro del blindaje. Esta condición puede asegurarse adicionalmente con una inyección posterior en el contacto hormigón-palastro, pero desde el punto de vista económico y de calidad, conviene limitar el volumen de estas inyecciones a un mínimo.

Alternativas de concretadura

De acuerdo a la información en poder del autor, la concretadura de blindajes confinados ha sido abordada hasta la fecha mediante tres sistemas principales: hormigón tradicional compactado por vibración, hormigón sistema *pre-packt* y hormigón fluido compactado por gravedad.

El primer sistema es ampliamente conocido y no necesitamos dar detalles al respecto. Tiene la ventaja de asegurar la resistencia necesaria con menor dosis de cemento que los otros, con las ventajas técnicas consiguientes (menor retracción hidráulica y térmica, menor costo). Presenta, en cambio, dudas respecto de la obtención de un relleno adecuado en las zonas de difícil acceso para el hormigón, especialmente en torno a los anclajes.

Por otra parte, obliga a una mayor sección de excavación o a la ejecución de perforaciones en el palastro de la tubería para realizar la vibración del hormigón, en particular en la parte inferior de los tubos. Dada la cantidad y las dimensiones de dichas perforaciones, ellas representan un trabajo adicional importante durante la fabricación y montaje de las tuberías y dan origen necesariamente a zonas de concentración de tensiones en el palastro.

El sistema de hormigón *pre-packt* ha sido utilizado con cierta frecuencia especialmente en obras españolas y algunas australianas. Consiste en la inyección a presión de un mortero fluido en un esqueleto de agregado grueso.

Entre las ventajas que proporciona su uso se mencionan una menor retracción térmica e hidráulica que el hormigón convencional, una mayor elasticidad en la organización de la faena de concretadura y la eliminación de los rellenos de clave mediante inyecciones.

Presenta en cambio los inconvenientes de ser una faena mixta, que subdivide la concretadura en dos etapas y, además, de hacer necesaria la colocación de un

moldaje estanco que delimite los tramos que van a ser inyectados.

El sistema mediante hormigón fluido ha sido utilizado para la concretadura de tuberías inclinadas. La primera aplicación fue en el pique inclinado de la central La Bathie en Francia y, posteriormente, en las tuberías subterráneas de Vianden en Luxemburgo¹, Capivari-Cachoeira en Brasil², y últimamente en Chile, según se describe en el presente artículo.

En este método el hormigón es transportado y compactado gravitacionalmente. Presenta, por lo tanto, una notable simplificación de la faena de concretadura, especialmente en lo concerniente a la ocupación de mano de obra. Permite, además, una reducción importante de las secciones de excavación y un aumento de los rendimientos de colocación del hormigón. Tiene, en cambio, la desventaja de ocupar una alta dosis de cemento, lo cual se traduce en los problemas económicos y técnicos inversos de los que se ha señalado para el hormigón convencional.

Estudio del hormigón fluido como método de concretadura

Siendo el sistema de concretadura mediante hormigón fluido una alternativa interesante, la Empresa Nacional de Electricidad S.A., ENDESA, decidió estudiarlo más a fondo con miras a su utilización en las obras de la central hidroeléctrica El Toro.

Para ello se bosquejó un plan de estudio que comprendió las cinco etapas siguientes:

- Estudio de la dosificación en laboratorio
- Verificación de las condiciones de relleno
- Estudio del transporte del hormigón
- Pruebas en terreno
- Ensayos adicionales de laboratorio.

Estas etapas fueron desarrolladas en la forma que se describe a continuación.

Estudio de la dosificación en laboratorio

Se partió de la premisa básica que debía utilizarse exclusivamente los agregados producidos por la planta de la central El Toro.

De acuerdo a las características petrográficas y granulométricas de esos agregados, y considerando que para cumplir su finalidad el hormigón debía ser suficientemente fluido como para escurrir en una canaleta, sin segregarse durante el transporte y tener una resistencia mínima de 180 kgf/cm^2 , (17.65 MPa), a 28 días, ello obligaba a las siguientes condiciones de partida para los estudios:

- El tamaño máximo debía ser $1 \frac{1}{2}$ " o $\frac{3}{4}$ ".
- La curva granulométrica de referencia debía estar sobredosificada en arena.
- Debía preverse el uso de un plastificador.

Como, por otra parte, la bibliografía existente indicaba que tanto para Vianden como para Capivari-Cachoeira el hormigón utilizado había sido ajustado a una curva Faury de coeficiente $M = 55$, tras sucesivos ajustes se llegó a establecer como conveniente una dosificación de partida de las características presentadas en la Tabla I.

TABLA I
DOSIFICACIONES PRELIMINARES

Tamaño máximo	1 1/2"	3/4"
Razón agua/cemento	0.65	0.65
Dosis de agua (l/m ³)	200	235
Plastiment	10/00	10/00
Granulometría:	Ajustada a curva Faury, M = 55	Ajustada a curva Faury, M = 55
Resistencia a 28 días obtenida	253 kgf/cm ² (24.81 MPa)	248 kgf/cm ² (24.32 MPa)

Verificación de las condiciones de relleno

Se verificó las condiciones de relleno mediante pruebas a escala reducida en la que se reprodujeron los puntos de difícil relleno existentes en la obra: anclajes de la tubería, mallas de acero para sustentación de la roca, irregularidades de la roca Figs. 1 y 2.

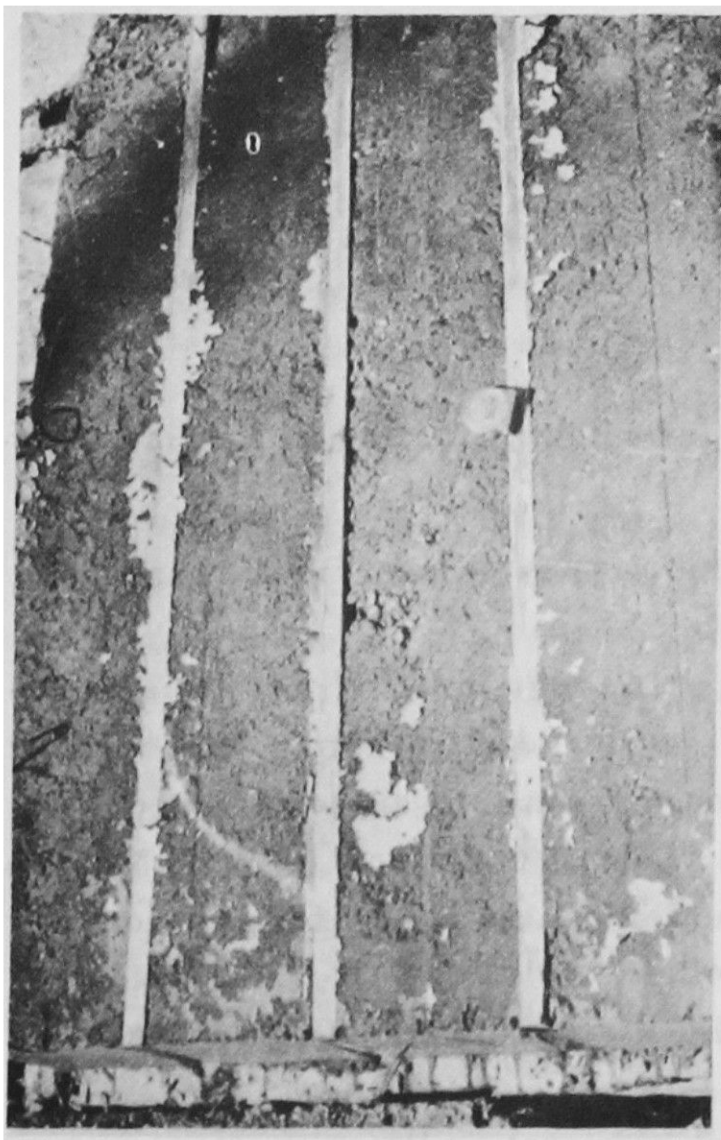


Fig. 1. Prueba de relleno alrededor de los anclajes.



Fig. 2. Prueba de relleno bajo malla de sustentación.

De estos ensayos se obtuvieron algunas conclusiones con respecto a las dosificaciones utilizadas, que señalaron la conveniencia de eliminar el hormigón de tamaño máximo 1 1/2" en los restantes estudios, por no cumplir condiciones

seguras de relleno tras las mallas de sustentación, y que hicieron ver que había que modificar la consistencia del hormigón, usando una curva teórica Faury $M = 61$.

Estudio del transporte en canaleta

Este consistió en realizar ensayos de escurrimiento del hormigón ajustado a las condiciones descritas en el capítulo anterior, en una canaleta de sección rectangular 20 x 20 cm, 25 m de largo y 52% de pendiente. Fig. 3.

Tras sucesivos ensayos se encontró que las condiciones para un buen funcionamiento del proceso eran que la velocidad de escurrimiento en la canaleta no debe superar los 3 m/s para evitar la segregación, y que la fluidez del hormigón debe ser estrictamente controlada.

Como los métodos habituales de control de plasticidad no son aplicables al hormigón fluido, se ideó un dispositivo basado en el cono de Marsh para viscosidades de lechadas de inyección, al cual se dió las dimensiones de la Fig. 4.

Los ensayos indicaron que la fluidez, medida por el tiempo de vaciado del cono, debía mantenerse en 4 ± 1 s.

Ensayos a escala natural

Terminada la serie de ensayos descrita anteriormente, quedaba aún por dilucidar si era posible usar el transporte por canaleta en la longitud de alrededor de 700 m que correspondía a la mayor longitud de los tramos de la tubería de central El Toro.

Aprovechando la construcción del pre-radier de hormigón para colocación de los rieles de montaje de la tubería, se hizo en él una prueba a escala natural, la cual permitió verificar que el hormigón cumplía las condiciones previstas de escurrimiento, sin segregación.

Esto permitió adoptar como dosificación final la siguiente:

Tamaño máximo	: 3/4"
Razón agua/cemento:	0.66
Dosis de agua	: 250 l/m ³
Aridos	: 0/4.76 mm y 4.76/19.0 mm ajustados a curva Faury $M = 61$
Aditivos	: Aocem T = 1‰ (reemplazando al Plastiment por condiciones de abastecimiento)
Fro Bé	= 0.3‰

Las muestras tomadas durante la ejecución de estas pruebas dieron una

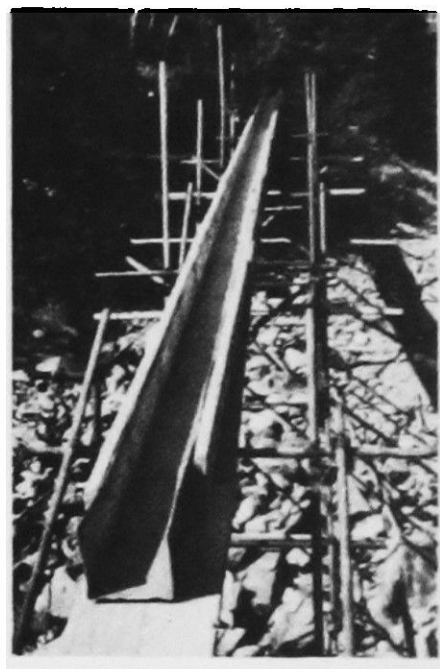


Fig. 3. Canaleta para pruebas a pequeña escala.

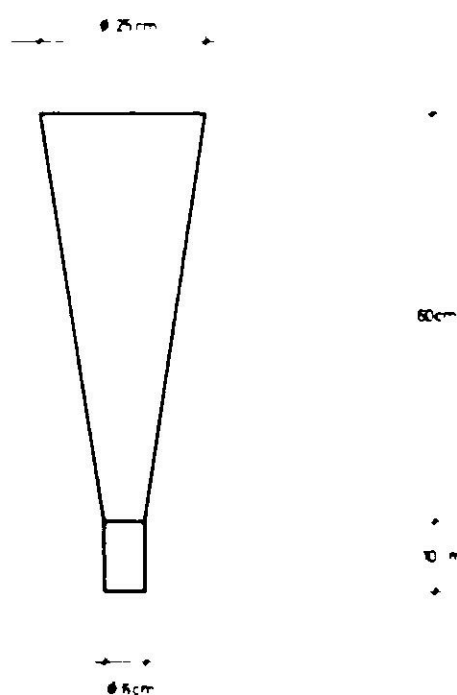


Fig. 4. Dispositivo para medir la viscosidad de la lechada.

resistencia de 245 kgf/cm², (24.26 MPa), a 28 días (cubos de 20 cm de arista), la cual aseguraba la resistencia mínima de proyecto especificada con una fracción defectuosa inferior a 5% hasta con un 15% de coeficiente de variación.

Ensayos adicionales de laboratorio

Se efectuaron ensayos para verificar la influencia de la temperatura de colocación sobre la resistencia inicial del hormigón (los ensayos de laboratorio fueron hechos a 20°C y la temperatura previsible en las tuberías era de 15°C), aspecto que era importante verificar para establecer el tiempo mínimo de retiro de los atiesadores interiores para montaje de la tubería. De acuerdo a ellos se fijó en 20 horas el tiempo mínimo para su retiro.

Además, se estudió la variación de fluidez del hormigón fresco en función del tiempo transcurrido desde su elaboración, adoptándose un período máximo aceptable de dos horas como límite de colocación sin producir perturbaciones en las propiedades previstas del hormigón.

Viendo los resultados obtenidos con estos ensayos y considerando el costo de las diferentes alternativas de concretadura posibles, se decidió utilizar el método de concretadura mediante hormigón fluído para la tubería de la central hidroeléctrica El Toro.

APLICACION DEL SISTEMA DE HORMIGON FLUIDO EN LAS OBRAS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA DE EL TORO

Descripción del proyecto

La central El Toro forma parte del complejo eléctrico nacional chileno, la cual, con su potencia instalada de 400 MW, aportará una generación anual de 1400 GWH.

En la Fig. 5 pueden verse esquemáticamente los aspectos más importantes del proyecto.

Parte integrante de ella, lo constituyen las tuberías a presión, de las cuales se indican sus principales características en la Fig. 6.

La presión interior, carga estática (150 m en el tramo horizontal inferior) más golpe de ariete (18% al nivel de las turbinas), es resistida en un 60% por el blindaje y un 40% por la roca. En algunos puntos singulares (cavernas de montaje, caverna de máquinas, zonas de roca de mala calidad) la carga soportada por el blindaje aumenta a un valor variable entre 60 y 100%.

La presión exterior se considera producida por una columna de agua igual a la cobertura de roca en cada punto. El cálculo del pandeo se hizo según el método de Amstutz considerando un factor de seguridad de 1.8 y suponiendo una separación máxima de 0.5 mm entre blindaje y hormigón.

La fatiga admisible del acero se fijó en 0.55 de la fatiga de fluencia, aumentándose a 0.8 para cargas biaxiales.

El proyecto, fabricación y montaje de la tubería fue encargado a la firma

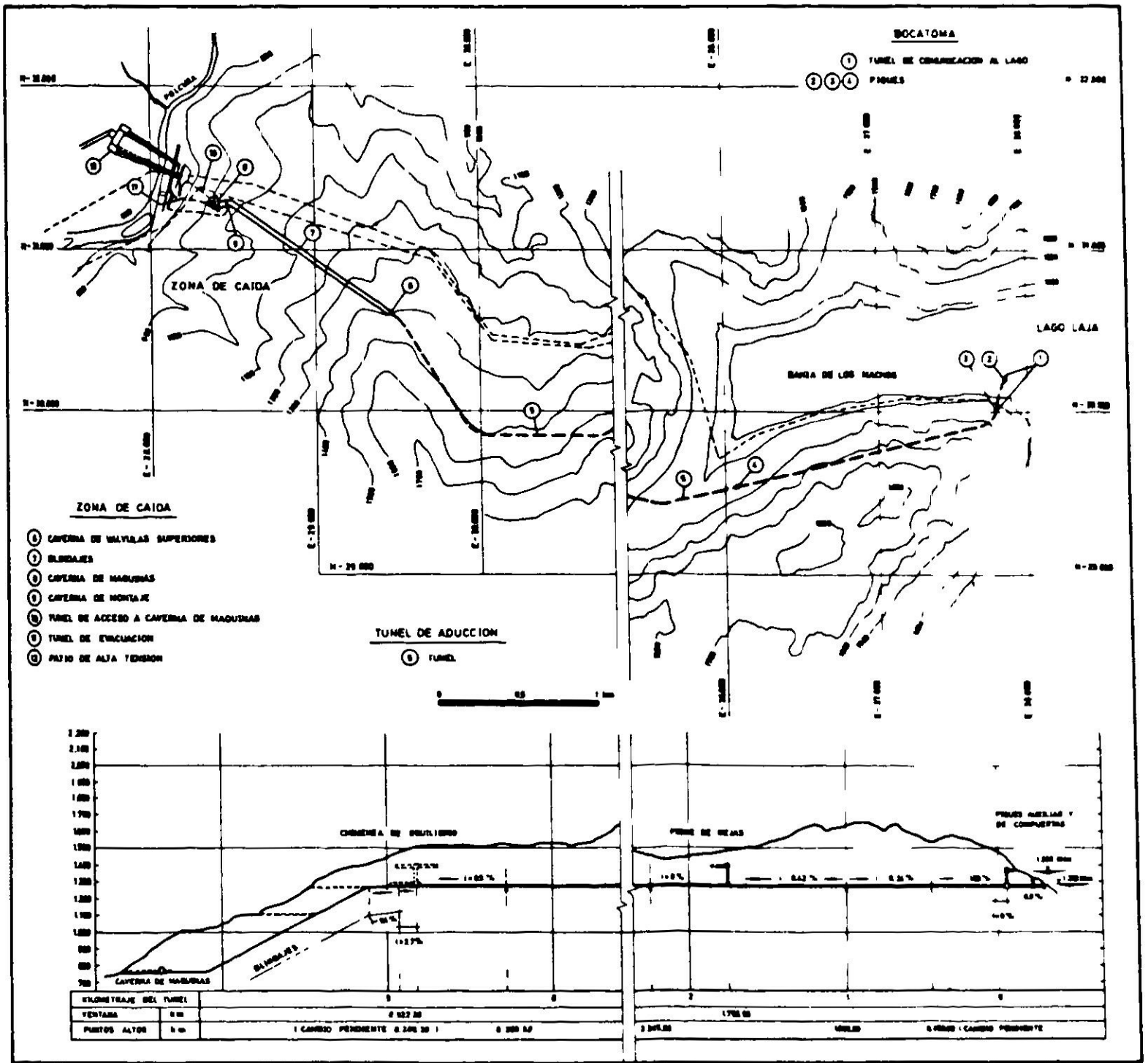


Fig. 5. Planta general de central El Toro.

VOEST, quedando a cargo de ENDESA la inspección de esos trabajos, además de la ejecución de la concretadura de relleno y de las inyecciones correspondientes.

Sistema de concretadura

El ciclo de trabajo general se ajustó de manera tal que, paralelamente con las operaciones de montaje del tubo de orden $n - 1$, se realizaba la inspección y concretadura del tubo de orden n .

Dentro de este ciclo, la concretadura en sí misma comprendía etapas de preparación de la junta de concretadura; retiro de los elementos de trabajo y canalizaciones de agua, aire y eléctricas; fabricación y control del hormigón en la torre de hormigón; transporte del hormigón en camión-betonera; colocación y control del hormigón en sitio, y espera para endurecimiento del hormigón.

La preparación de la junta consistió en su limpieza mediante agua y aire a presión, eliminando el agua hacia el interior de la tubería. De esta manera la junta no recibió ningún tratamiento de eliminación de la lechada superficial, procedimiento que se adoptó por razones de la estrechez para la aplicación de cualquiera

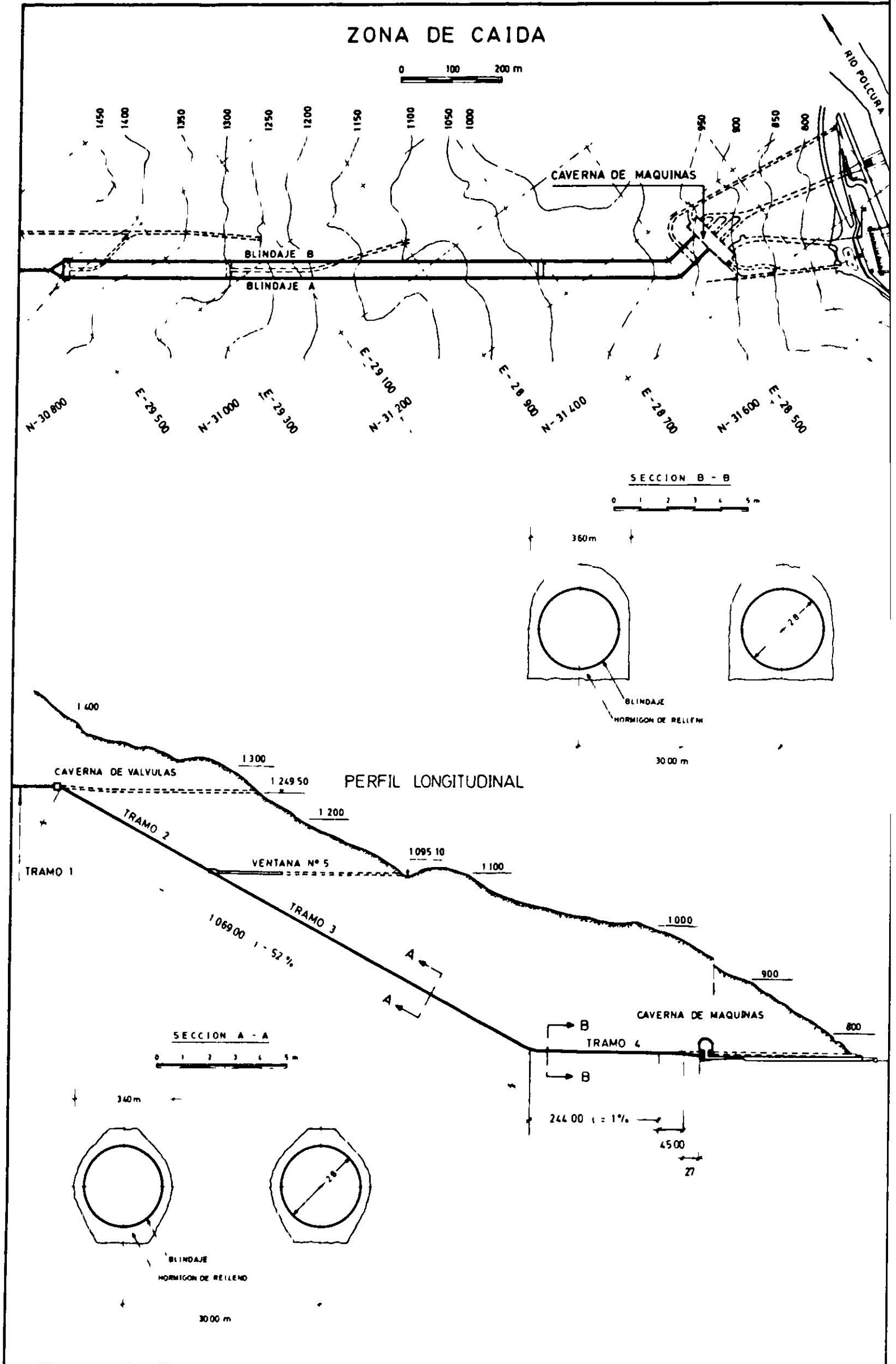


Fig. 6. Tubería de presión.

de los métodos usuales para ello y por la dificultad para la eliminación del material acumulado durante el tratamiento.

En el despeje de la zona de concretadura no se incluyó el retiro de las mallas de sustentación de roca, por razones de seguridad.

Para la colocación del hormigón se diseñó un sistema que constaba de un depósito de regulación del flujo de hormigón, desde el cual se alimentaba la canaleta de colocación del hormigón, que era de sección de 20 x 20 cm, y se extendía a lo largo de todo el pique inclinado hasta el punto donde se procedía al relleno. Esta canaleta se dejó embebida en el hormigón a medida del avance de su colocación.

El esquema de control del hormigón usado fue el siguiente:

Control en la torre de hormigón. Control de humedades cada 1 hora. Control de fluidez a cada camión-betonera.

Control de laboratorio. Control semanal de granulometría y propiedades físicas de los agregados. Control diario de resistencias por torre de hormigón.

En el sitio de hormigonadura se controló visualmente las condiciones de relleno durante la colocación, en particular en los puntos de difícil acceso, como eran alrededor de los anclajes de la tubería, a través de las mallas de sustentación, en los resquicios de la roca, etc.

Resultados del método

El procedimiento seguido según se ha descrito anteriormente condujo en la práctica a algunos resultados de interés, que son los que se resumen a continuación.

1. El sistema de tratamiento de juntas se tradujo en algunas ocasiones en la aparición de grietas superficiales causadas por retracción del mortero fino acumulado en la parte superior de la junta. Por otra parte, el comportamiento posterior de la tubería al entrar en servicio hizo ver que las juntas así tratadas pueden constituir vías de agua que comuniquen la napa freática existente en la roca con la tubería metálica con los consiguientes problemas de presión exterior sobre el blindaje.

Por ello en futuros trabajos del tipo descrito parece aconsejable prever una forma de excavación que permita la ejecución de un tratamiento de juntas adecuado. Para lograrlo, nos parece suficiente producir un ensanche lateral del orden de 20 a 30 cm adicionales a cada lado de la tubería, el cual permitiría realizar el tratamiento y, además, facilitaría de manera importante el acceso al espacio entre tubería y roca.

2. El método de control del hormigón se demostró adecuado en la práctica y permitió obtener los resultados que se resumen en la Tabla II.

De la Tabla II puede deducirse que el sistema de control empleado condujo a resultados satisfactorios en lo relativo a las propiedades del hormigón fluido utilizado.

Sin embargo, existen algunos aspectos del control que la práctica indica que

TABLA II
RESULTADOS DEL CONTROL DEL HORMIGÓN

1. Control de la fluidez en la torre de hormigón

Lapso de control	Total de cachadas controladas	Fluidez controlada		
		3 s	3-5 s	5 s
15 a 30. 7.71	32	0%	100%	0%
5 a 16. 8.71	38	0%	97%	3%
9 a 15. 9.71	58	0%	91%	9%
14 a 19.10.71	61	0%	93%	7%
29 a 10.12.71	63	0%	100%	0%
Total	252	0%	96%	4%

2. Control de resistencias de muestras de hormigón

	Tramos inclinados		Tramos horizontales		Total
	A (2, 3)	B (2, 3)	A (1, 4)	B (1, 4)	
Número de muestras	64	67	20	22	
Resistencia media a 28 días: kgf/cm ²	263	265	288	270	268
MPa	25.69	25.73	28.24	26.48	26.28
Desviación standard: kgf/cm ²	33.2	36.1	34.6	54.7	37.2
MPa	3.26	3.54	3.40	5.36	3.65
Coefficiente de variación (°/o)	12.3	13.6	12.0	20.0	13.7

es conveniente mejorar:

La forma dada al cono para control de fluidez conduce a medidas de tiempo muy cortos, lo que puede traducirse en errores de medida. Por esta razón, es conveniente modificarlo, alargando el tubo cilíndrico inferior.

Debe normalizarse el procedimiento de toma de muestras para el control de resistencias, en especial en lo relativo al llenado y compactación de los moldes de muestreo. Los resultados estadísticos finales indicaron un rango medio de 23 kgf/cm², (2.26 MPa), entre cubos compañeros pertenecientes a una misma muestra, es decir de un 8.5°/o de la resistencia media a 90 días.

La corrección de este valor haría descender el coeficiente de variación total 11.5°/o, lo cual demuestra que este aspecto influye en forma apreciable.

Es conveniente estudiar más a fondo la representatividad de las resistencias obtenidas por muestreo en probetas frente a las resistencias reales del hormigón colocado en obra.

- El control de faena indicó que el comportamiento del hormigón se ajustó a las condiciones previstas en los estudios, en especial en lo relativo a las condiciones de relleno en torno a los anclajes de la tubería, a las concavidades de la roca y a las mallas metálicas de sustentación, donde éstas no fueron retiradas por razones de seguridad.

Este aspecto fue verificado adicionalmente mediante testigos extraídos del hormigón colocado a través de las perforaciones para inyección existentes en la tubería.

APLICACION DEL SISTEMA DE HORMIGON FLUIDO A LOS TRAMOS HORIZONTALES DE LA TUBERIA

Antecedentes generales

En un principio la concretadura de los tramos horizontales de la tubería estaba previsto realizarlo con hormigón colocado con bomba de pistones y compactado por vibración.

Este procedimiento se usó en los tramos horizontales superiores (1A y 1B), desde el comienzo de la zona blindada hasta caverna de válvulas, mediante etapas que en longitud abarcaban un tramo no superior a dos tubos y en altura dos etapas, con una junta horizontal de concretadura al nivel del plano medio del tubo.

El método así descrito presentó problemas para su ejecución, que fueron la dificultad para vibrar el hormigón en la parte inferior de los tubos, y la existencia de zonas de difícil acceso, en los sectores en que no existía sobre-excavación. Por estas razones y considerando la facilidad de operación que significaba el uso del hormigón fluido, se decidió estudiar su posible uso en los tramos horizontales.

Para ello se contaba con una colocadora neumática marca SEM, que, al permitir un manejo muy regulable del flujo de hormigón, evita en gran medida su segregación.

Estudio de factibilidad del método

Con el objeto de estudiar las condiciones de relleno que era posible lograr trabajando con estos elementos, se programó una prueba a escala natural.

En ella el tubo metálico correspondiente al blindaje, fue simulado con un moldaje de madera de 3 m de longitud, el cual 24 horas después de realizada la concretadura del relleno fue retirado.

Este ensayo permitió observar que el relleno del espacio entre moldaje y roca había sido obtenido en muy buenas condiciones, incluso en la parte superior, que siempre constituye un punto crítico en la concretadura de túneles.

Aparte de lo anterior, se extrajeron trozos de hormigón que, recortados en forma de cubos, fueron ensayados a la compresión con resultados de resistencia similares a los obtenidos en los estudios de laboratorio ya descritos.

Aplicación en obra

Vistos los resultados indicados, se decidió adoptar este sistema para los tramos horizontales de tubería, limitando su aplicación a longitudes de 9 m originalmente

y de 18 m en una etapa posterior.

Las concretaduras se realizaron utilizando la colocadora neumática SEM con el tubo ubicado en la parte alta de la tubería y rellenando exclusivamente por escurrimiento gravitacional del hormigón.

Al procederse con este sistema se observó una exudación importante del hormigón, especialmente visible al llegar aproximadamente a los 2/3 de la altura total del espacio por rellenar. Esta exudación se produjo sin arrastre de cemento, por lo cual no se buscó ningún paliativo para ella, considerándose que permitía rebajar la razón agua/cemento del hormigón colocado y que los canales capilares producidos no afectarían las propiedades esenciales del hormigón dada la forma de generarse.

Para la separación de los tramos de concretadura se utilizó un molde ejecutado mediante malla de metal desplegado, sujeto a la roca mediante cáncamos y al tubo mediante arcos de fierro redondo soldados puntualmente a los anclajes de la tubería.

Resultados obtenidos

El sistema de concretadura descrito se demostró bastante eficiente, como lo demostraron las admisiones medidas durante las inyecciones entre palastro y hormigón.

A través de ellas pudo verificarse que el relleno alrededor del tubo y, en especial, en la parte baja de él fue totalmente satisfactorio, salvo en puntos muy locales en los cuales la inyección debió completar dicho relleno.

No sucedió igual en la parte superior de los tubos donde, debido a dificultades de acceso, no siempre fue posible colocar el tubo de la colocadora neumática hasta el extremo más alejado de la zona por concretar. Por ello, debido a que el avance del hormigón se produce en talud con una pendiente aproximada de 10 a 15%, se produjo un hueco de volumen importante en la clave de la excavación.

De la Tabla III, que presenta cifras promedios de las admisiones, puede deducirse que el relleno obtenido con hormigón fluido fue similar, aunque algo más eficiente, en la clave de la excavación comparado con el sistema tradicional mediante hormigón armado.

TABLA III

ADMISIONES DE HORMIGON EN LAS ZONAS DE RELLENO

Tramo de tubería	Admisiones (kg cemento/ml tubería)		Método de concretadura
	Relleno clave	Palastro/hormigón	
Horizontal superior	427	27	Hormigón vibrado
Inclinado	—	7	Hormigón fluido
Horizontal inferior	370	7	Hormigón fluido

Creemos que este resultado puede mejorarse sustancialmente si las condiciones de ejecución del trabajo permiten llegar con el tubo de la colocadora hasta el punto más alejado de iniciación de la concretadura e irlo retirando a medida que ésta avanza.

En cambio, el relleno en contacto con la tubería es tan satisfactorio como el obtenido en los tramos inclinados donde las condiciones son muy favorables para ello.

El sistema de moldaje se reveló eficiente en general, pero presentó algunos inconvenientes.

Uno fue que la superficie de la junta vertical delimitada por la malla queda recubierta por la lechada que tiende a salir a través de las aberturas de ella. Es conveniente someter dicha superficie a un lavado cuidadoso.

Por otra parte, el ajuste de la malla a la roca y a la tubería es laboriosa para lograr una buena estanquidad.

Por último, desde el punto de vista constructivo, requiere una cantidad importante de mano de obra calificada (soldadura).

Tiene, en cambio, la ventaja de poder quedar incorporado al hormigón, con lo cual se evita la labor adicional de retirarla, necesaria con cualquier otro tipo de molde.

CONCLUSIONES

El hormigón fluído es una buena solución para la concretadura de lugares estrechos, de difícil acceso. Su transporte y colocación en sitios con pendiente adecuada, hechos por gravedad, son fáciles y requieren un mínimo de mano de obra, sus propiedades son satisfactorias, pero es de un costo elevado, debido a la alta dosis de cemento necesaria para obtener su fluidez y a la calificada tecnología necesaria para el estudio de la dosificación adecuada y para la mantención de sus características durante la ejecución del trabajo.

Siendo intrínsecamente de alto costo, para decidir su elección para un trabajo determinado, otros aspectos del proyecto deben representar economías derivadas de su uso. El relleno de túneles a presión blindados es un caso en que esta situación se presenta, ya que el uso del hormigón fluído significa: menor volumen de excavación, menor volumen de hormigón y una disminución apreciable del tiempo necesario para la concretadura con respecto al ocupado con las técnicas habituales.

En los túneles a presión pertenecientes a desarrollos hidráulicos de mediana envergadura o mayores, que requieren la instalación de un laboratorio de hormigones, el hormigón fluído es una alternativa que debe considerarse en el proyecto.

Una vez adoptada la solución del hormigón fluído, el diseño debe revisarse cuidadosamente para obtener el máximo provecho de su uso y el trabajo debe programarse tomando en cuenta el alto rendimiento del método.

El hormigón fluído es utilizable también como relleno de tramos horizonta-

les blindados, no sólo como un sub-producto de la decisión de su aplicación a tramos con pendiente.

El autor piensa que el método puede ser aplicable para el revestimiento de túneles no blindados, en que la concretadura se realiza con un molde desplazable. Las ventajas que podrían obtenerse, en forma similar que en los túneles blindados, serían: menor excavación, menor volumen de hormigón, eliminación de la vibración del hormigón, mejores rendimientos de colocación y buen relleno de la zona de la clave del revestimiento y de las zonas con enmaderación de sostenimiento, con la consiguiente reducción de las inyecciones de relleno necesarias.

En esta aplicación debe considerarse una limitación por tramos que en principio pueden alcanzar longitudes del orden de la veintena de metros.

El autor ha participado en su utilización para el revestimiento de una zona de roca fallada, con gran abundancia de elementos de sustentación en el túnel de aducción de la central El Toro, con un resultado ampliamente satisfactorio.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la autorización otorgada por las autoridades superiores de ENDESA para la publicación del presente artículo y muy en particular al Ing. Sr. Arturo Gantes por su valiosa cooperación para su redacción. Igualmente, debe hacerse resaltar la eficiencia y celo profesional del personal del Laboratorio de Hormigones de central El Toro, dirigido por el Constructor Civil Sr. Italo von Marthens, que hicieron posible la aplicación exitosa del procedimiento descrito en el artículo.

BIBLIOGRAFIA

1. ULLMANN, R. The viaduct pressure shaft. *Water power*, mayo 1962.
2. BOUVARD, M., y PINTO, N. Les ouvrages en charge de l'aménagement Capivari-Cachoeira. *La Houille blanche*, nº 4, 1971.

EL TORO WATER POWER PLANT. FLUID CONCRETE AND ITS APPLICATION TO HIGH PRESSURE STEEL LINED TUNNELS

SUMMARY:

In works where special difficulties are met to place concrete, the use of highly fluid concrete could be a good solution. Such a concrete presenting high hydration shrinkage, having strong tendency to segregation and being of high cost, should be designed and prepared with great care.

The application of highly fluid concrete for the high pressure underground pipes of the El Toro Water Work is described by the author stating the reasons to select such a solution, the previous experimental work done, the practical procedures utilized on the job, and the results arrived at.

The method employed to perform the quality control of concrete in the job are also described; and the possibility to use fluid concrete for tunnel lining is suggested.