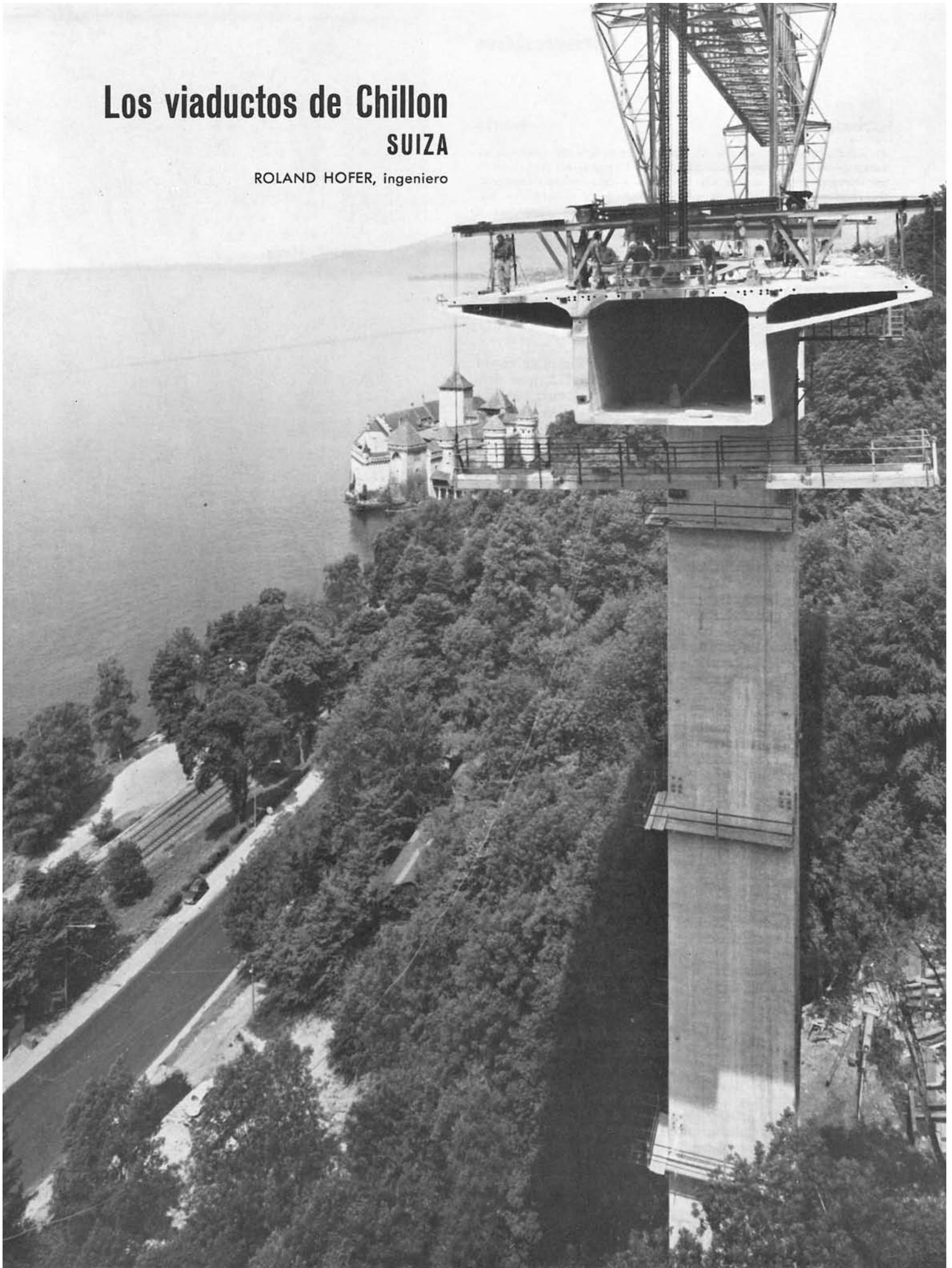


Los viaductos de Chillon

SUIZA

ROLAND HOFER, ingeniero



situación

sinopsis

562-120

El artículo explica detalladamente los problemas que ha originado la construcción de esta importante autopista a la región del Alto Lemán, caracterizada por su accidentada topografía y gran densidad demográfica. Igualmente se describe la solución adoptada de viaducto con trazado a media ladera, venciendo diversas e interesantes dificultades y cumplimentando todas las exigencias estéticas, técnicas y económicas impuestas.

Autopista del Lemán

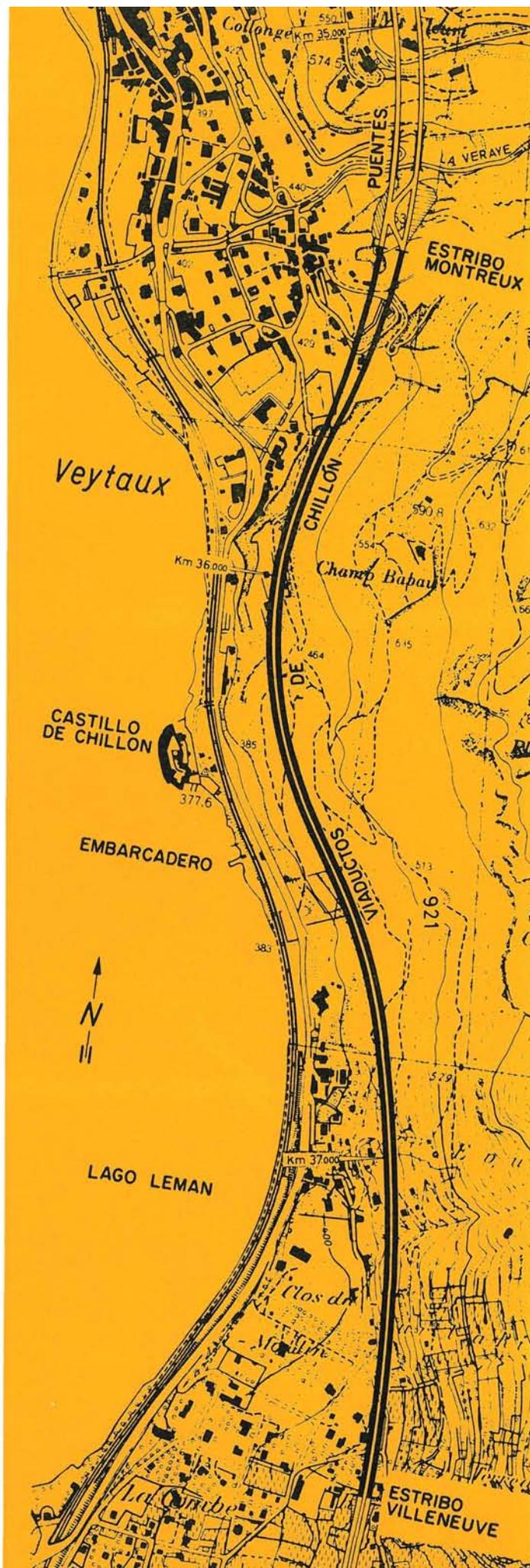
La carretera nacional número 9, Lausana-Simplon, es un elemento central de la carretera europea E-2, que asegura la unión entre Londres, París, Lausana, Milán, Roma y Nápoles. Siendo la arteria de acceso al túnel alpino del Gran San Bernardo y al desfiladero del Simplon, única unión entre los cantones de Valais y de Vaud y, a través de ella, con el resto de Suiza, tendrá un tráfico en constante progreso, particularmente intenso al este de Lausana. La autopista del Lemán, que unirá Lausana con Saint-Maurice, reemplazará ventajosamente a la carretera existente desde hace muchos años, prácticamente asfáltada.

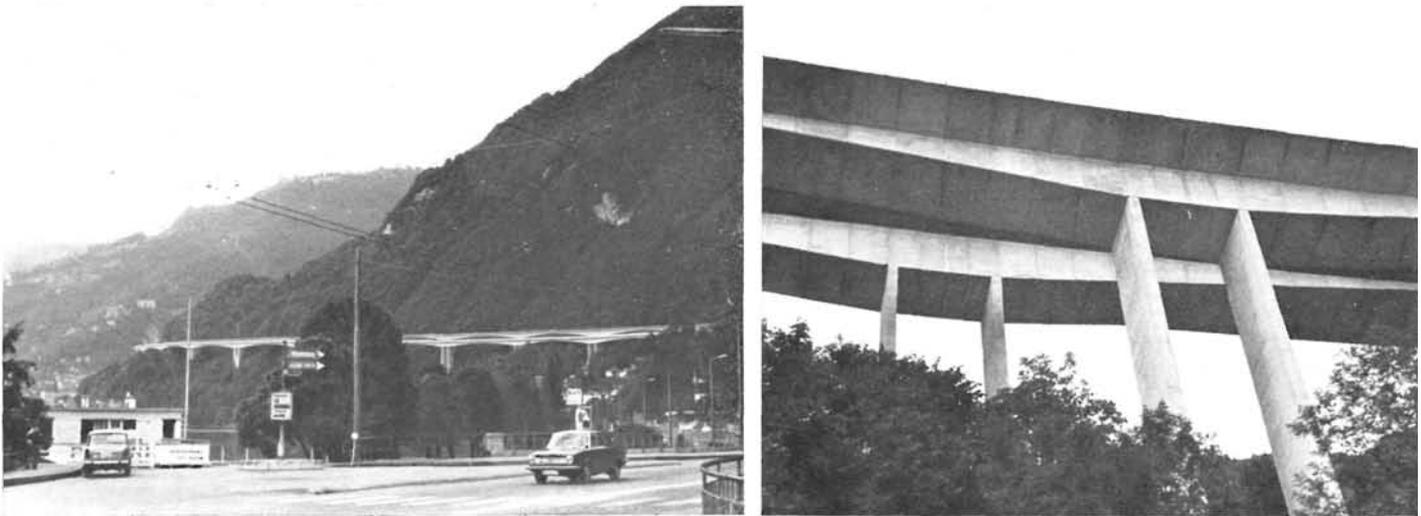
Desde 1960, los responsables del Servicio federal de carreteras y diques, y de la oficina de Vaud de construcción de autopistas, están estudiando los problemas que acarrearía la construcción de una autopista en la región del Alto Lemán, la cual se caracteriza por una topografía muy accidentada y por una densidad de población muy grande. Como la ribera del lago está ocupada por las edificaciones, por la carretera existente y la vía férrea, el trazado a media ladera se imponía con todas sus consecuencias: franqueamiento de cañadas y pasos difíciles, accesos poco cómodos a las futuras obras. Por esto, los 40 km primeros de esta autopista se caracterizan por su gran cantidad de obras de fábrica, puentes y túneles.

Historia del proyecto de Chillon

El paso por la ladera boscosa, muy abrupta, que domina el castillo de Chillon y el lago Lemán, ha sido considerado siempre como uno de los problemas más arduos que crearía la construcción de la autopista del Lemán. Las dificultades se deben principalmente a las condiciones topográficas y geológicas particulares de este lugar, así como a los imperativos estéticos que aparecen por la implantación de una obra en un lugar turístico tradicional muy admirado.

Dos trazados eran posibles: uno en túnel, otro en viaducto. En 1963 la oficina de construcción de autopistas encargaba a un grupo de ingenieros consultores el estudio del túnel y paralelamente confiaba a cuatro oficinas de estudio encargos separados para estudiar el proyecto del viaducto. Un grupo de expertos fue encargado del examen de los proyectos presentados. Sobre la base de una comparación económica, y teniendo en cuenta los costes de construcción y explotación, se decidió, desde un principio, adoptar el trazado en viaducto, sensible-





mente más económico que el túnel. Dicho grupo de expertos tenía también la misión de recomendar el proyecto que, a su parecer, cumpliera mejor los criterios de elección adoptados, que eran tres tipos:

Estético: Integración en el lugar y tala mínima del bosque de la ladera.

Técnico: Adaptación a la topografía y a la geología del terreno de la obra y de su cimentación, cualidades técnicas generales y condiciones de ejecución.

Económico: Precio más interesante, teniendo en cuenta los criterios estéticos, técnicos y el mínimo riesgo de sobrepasar el presupuesto de la cimentación.

En la primavera de 1964, el grupo de expertos recomendó el proyecto realizado por la Oficina Técnica Piguet, Ingenieros de Lausana; en 1965 se le dio la orden para estudiar la ejecución. La obra se sacó a contrata a principio de 1966 y se adjudicó al Consorcio de Viaductos de Chillon, que proponía una interesante variante de ejecución por prefabricación del tablero, que no modificaba ni la forma ni la estética de la obra.

La obra se comenzó en julio de 1966, previéndose su finalización para finales del año 1969.

Situación general de la obra

Los viaductos de Chillon se destinan a asegurar el paso de la autopista de Lemán entre Veytaux (aglomeración situada inmediatamente al sur de Montreux) y Villeneuve, con una longitud de 2.150 m. La obra, que domina el lago, de una altura de 100 m aproximadamente, bordea un flanco de la colina de ladera boscosa y con una fuerte pendiente transversal.

El trazado se adapta a la topografía accidentada del lugar por medio de sinuosidades bastante acusadas y merced a la desnivelación relativa entre las dos pistas, de 12 m de anchura cada una, sustentadas por dos viaductos, paralelos e independientes, de una altura que varía entre 5 y 50 m por encima del terreno natural. Este trazado está formado por arcos de círculo cuyos radios varían entre 700 y 2.500 m, enlazados por clotoides. La orientación general de la obra es norte-sur, la pendiente longitudinal varía entre 1,5 y 3 % y el peralte puede llegar hasta un 6 por 100.

La organización de una obra a lo largo de tal trazado es siempre complicada, por la falta de acceso y las malas posibilidades de circulación en el suelo.

La integración de estos viaductos en el medio ambiente de Chillon impone exigencias estéticas que influenciaron grandemente en la concepción de la obra, conduciendo a los autores del proyecto hacia la búsqueda de una composición arquitectónica armoniosa y hacia la elección de un sistema de ejecución que permita limitar al máximo la tala de árboles de la ladera.

Geología del terreno y cimentaciones

Desde el punto de vista geológico, Chillon está constituido por un macizo rocoso recubierto de morrena y, en algunos puntos, de escombros.

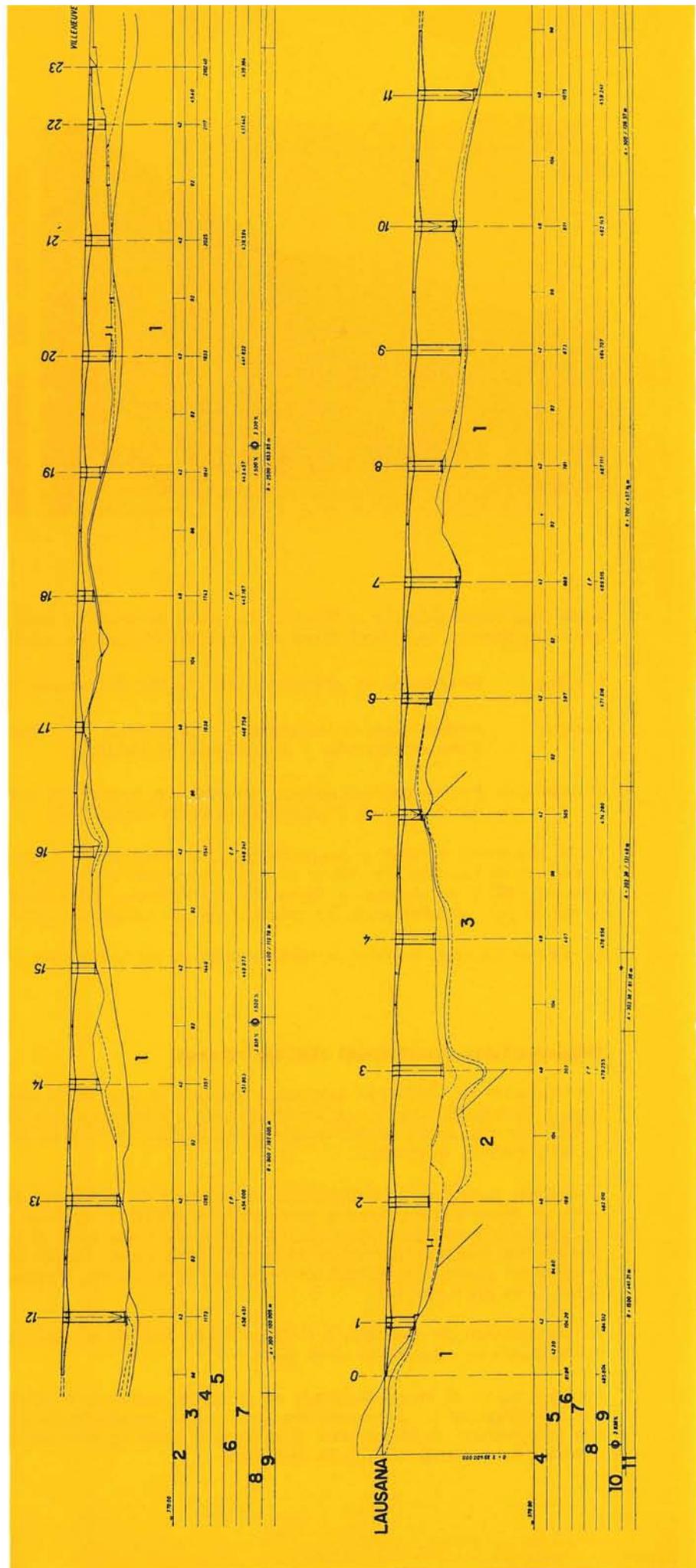
Estos materiales de cobertura, generalmente poco compactos, tienen una estabilidad bastante precaria, debido a la pendiente, muy fuerte, de subsuelo rocoso. Este hecho los hace poco aptos para recibir cimentaciones superficiales. Existe, por el contrario, a lo largo de todo el trazado y a profundidades que varían entre 0 y 30 m, roca de calidad conveniente. En estas condiciones, se pensó que cimentar directamente sobre la roca resultaba la solución más segura y económica. Las tensiones relativamente elevadas de 100 a 170 Mp/m², tolerables sobre las rocas del lugar, condujeron a pequeñas obras de cimentación, y contribuyó a reducir notablemente el volumen de las excavaciones, con lo que se redujeron los riesgos de inestabilidad local de la ladera.

Para realizar la elección definitiva del trazado, colocación de las pilas y de los pórticos de la obra, se necesita un conocimiento preciso del subsuelo, el cual se obtuvo por un estudio geosísmico, que permitió trazar una carta topográfica del subsuelo rocoso de toda la zona interesada. Este documento hizo posible el estudio y la comparación económica de diversas variantes. Gracias a una estrecha colaboración entre el propietario de la obra, el geólogo, el geotécnico y la oficina de estudios, se encontró rápidamente una solución, que parecía la más adecuada, la cual fue adoptada definitivamente después de una comprobación general, por medio de sondeos, del estado del subsuelo situado en la vertical de las cimentaciones previstas.

sistema portante

1. Calcares margosas y esquistos.
2. Pórtico tipo.
3. Distancia entre pórticos.
4. Distancias acumuladas sobre el eje.
5. Apoyos horizontales y articulaciones.
6. Desagüe E. P.
7. Altitud del tablero bruto.
8. Pendientes.
9. Sinuosidades.

1. Calcares margosas y esquistos.
2. Calcares dolomíticas.
3. Esquistos y calcares.
4. Pórtico tipo.
5. Distancia entre pórticos.
6. Distancias acumuladas sobre el eje.
7. Apoyos horizontales y articulaciones.
8. Desagüe E. P.
9. Altitud del tablero bruto.
10. Pendientes.
11. Sinuosidades.



Las pilas están formadas por dos pantallas delgadas separadas de 8 m, que terminan, al nivel del terreno natural, en un macizo de cimentación común, parcialmente enterrado, que desempeña el papel de estructura estabilizadora; dos muros difusores prolongan las dos pantallas dentro del terreno y están solidarizadas por dos paredes oblicuas, tendidas horizontalmente. El volumen interior del macizo puede ser terraplado con materiales de excavación de las cimentaciones vecinas, cuya evacuación fuera de la cantera resultaría costosa. Este basamento se utiliza como plataforma horizontal de partida para el hormigonado de las pilas.

Cuando la roca está cerca de la superficie, los muros difusores se cimentan directamente sobre la roca por intermedio de placas de asiento escalonadas; cuando la roca es profunda o de mala calidad en su parte superior, los muros se apoyan sobre 4 pilotes de 2,20 m de diámetro, que reciben la carga vertical de la pila.

En los dos casos las excavaciones a emprender se reducen a 2 zanjas estrechas separadas por un núcleo intacto de terreno, reduciendo así los riesgos de perder la estabilidad de la ladera. La imposibilidad de colocar en obra maquinaria pesada ha hecho necesario recurrir a un método manual de hincado de pilotes, utilizando para ello un disco que permite hormigonar cada día un anillo de contención de 20 cm de espesor y de 1,20 m de altura. Los pilotes, de hasta 30 m de profundidad, se han podido ejecutar fácilmente a través de terrenos de mala calidad; la naturaleza y el estado de los terrenos atravesados, la calidad de la morfología de la roca en el fondo de las pilas, son, gracias a este método, perfectamente reconocidos. Debido a la pendiente muy fuerte de la roca y a su fracturación o estratificación desfavorable, ha sido preciso asegurar la estabilidad de algunas cimentaciones sobre placas de asiento poniendo en obra anclajes pretensados, cuya finalidad es, o la consolidación de la roca o la fijación de la cimentación. Ciertos macizos sobre pilotes, situados en zonas inestables y susceptibles de ejercer un empuje, son anclados igualmente a la roca por medio de tirantes pretensados a través de los escombros y de la morrena.

La organización de las cimentaciones es enteramente independiente de la del tablero. Las operaciones de transporte de los escombros, del hormigón y del material están aseguradas, en toda la longitud del trazado, por un ferrocarril Decauville, completado por funiculares, cintas mecánicas o teleféricos que surten a los tajos de trabajo. Debemos anotar que el uso de estos medios de transporte, poco ordinarios, han contribuido, en gran manera, a limitar el talado del bosque.

El tablero

La construcción de 2 viaductos paralelos está prevista bajo la forma de 2 vigas continuas de hormigón pretensado, apoyándose cada una sobre 22 pilas distanciadas 92, 98 ó 104 m y cimentadas sobre la roca, y sobre 2 estribos extremos que reposan sobre la morrena.

El tipo de las pilas y la elección de los pórticos vienen determinados principalmente por la idea de adaptación a la geología. En la medida de lo posible se ha tratado de colocar las pilas en las zonas en que la roca está próxima a la superficie y de franquear sin apoyo aquellas en que la cobertura es espesa o demasiado inestable. Sólo 4 pilas, en un total de 44, tienen que buscar apoyo a más de 15 m de profundidad, lo que, teniendo en cuenta la longitud de la obra, representa una solución de compromiso aceptable desde el punto de vista económico.

Cuatro juntas de dilatación, dispuestas en el centro de ciertos tramos, cortan cada viaducto en 5 partes de varios centenares de metros de longitud. La estabilidad longitudinal de estos trozos está asegurada por los estribos y por 3 pilas fijas de construcción especial. Las otras pilas son o pendulares o suficientemente flexibles para no impedir los movimientos longitudinales del tablero que se producirán bajo los efectos de la fluencia, de la contracción y de las variaciones de temperatura. La altura de las pilas varía de 3 a 45 metros.

La forma y la estática del tablero resultan de la elección del método de construcción por voladizos simétricos partiendo de las pilas, método que permite liberarse completamente de los apoyos al suelo, así como de la tala de la ladera, salvo, claro está, en las regiones vecinas a las pilas.

Cada viaducto está constituido por la yuxtaposición de 22 pórticos simétricos, formados por 2 ménsulas apoyadas sobre las dos pantallas de la pila. Las ménsulas son vigas curvas, de altura variable, de sección en cajón y de hormigón pretensado.

Las almas del cajón son siempre perpendiculares a la losa de rodamiento, cuyo peralte puede variar grandemente.

Se han empleado los dos tipos de pórticos siguientes:

Pórtico tipo a	m	Pórtico tipo b	m
Longitud total de desarrollo sobre el eje de la pista	92	Longitud total de desarrollo sobre el eje de la pista	104
Parte libre de cada ménsula	42	Parte libre de cada voladizo	48
Distancia entre pantallas	8	Distancia entre pantallas	8
Canto de la viga sobre la pila	5	Canto de la viga sobre la pila	5,64
Canto de la viga en la clave	2,2	Canto de la viga en la clave	2,20

Se salva una luz de 84 m uniendo 2 pórticos de tipo «a», y una luz de 96 m uniendo dos pórticos del tipo «b»; entre estos dos extremos hay siempre una luz de transición de 90 m, que resulta de la unión de un pórtico tipo «a» y otro tipo «b». Estas disposiciones han permitido la adaptación de la obra a las condiciones topográficas y geológicas.

La sección transversal se compone de un cajón central —de 5 m de anchura y de canto variable—, que soporta 2 ménsulas laterales —de 4 m—, igualmente de tipo cajón, pero de canto fijo. Los cajones centrales están atirantados en las pilas, en los estribos y en las juntas de dilatación.

La forma bastante particular de esta sección fue escogida después de profundos estudios técnicos y económicos; presenta la ventaja de poseer un efecto repartidor extremadamente interesante y da a la obra una esbeltez mucho mayor que la que se puede obtener con secciones de forma más clásica.

Además, el hecho de que sea enteramente de forma de cajón crea, bajo la calzada, un compartimiento térmico que disminuye los riesgos de formación de cristales de hielo cuando la temperatura oscila diariamente alrededor de 0°C. La elección de los cajones laterales ha permitido mejorar igualmente las condiciones de sujeción de los soportes de los «deslizadores» de seguridad.

El bordillo del puente se compone de piezas prefabricadas de hormigón construidas de forma que sirvan, en sus 2 m de longitud, de encofrado para los bloques de anclaje de los soportes de los «deslizadores» colocados en su sitio después de un adecuado reglaje. Cada 24 m se dispone una pieza especial de bordillo equipada con una rejilla destinada a evacuar las aguas de lluvia hacia un colector, dispuesto en el cajón central, que las conduce a las salidas, colocadas en pilas determinadas.

La estanquidad del tablero se logra por medio de una capa de 1 cm de asfalto duro colocado en caliente. El revestimiento de la calzada se compondrá de una capa asfáltica normal de 6 cm de espesor.

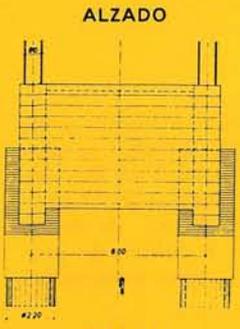
A propuesta de la empresa adjudicataria, el hormigonado «in situ» de las partes en voladizo, inicialmente previsto sobre andamiajes móviles, se ha reemplazado por la colocación de dovelas prefabricadas, de 45 a 80 t, colocadas en obra con ayuda de una viga de lanzamiento.

El tablero es construido por avances sucesivos, pórtico a pórtico, a partir del estribo sur, donde se encuentra la instalación de prefabricación y la zona de almacenaje.

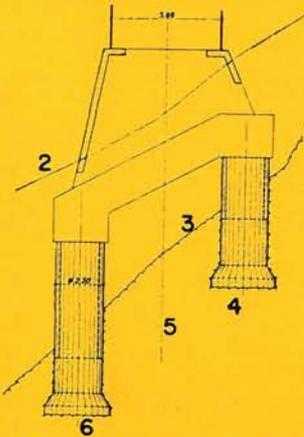
Las ménsulas de los pórticos «a» se componen de 13 elementos de 3,20 m de longitud; la de los pórticos tipo «b», de 13 elementos idénticos a los anteriores, más 2 elementos de 3 m de longitud.

Los apoyos sobre las pilas se dividen en 4 elementos de 2,20 m. Las dovelas así definidas están prefabricadas siguiendo el método de juntas conjugadas, es decir, que cada pieza se coloca contra la anterior, que está orientada en el espacio de manera que se obtenga la curvatura en planta, la pendiente longitudinal y la variación del peralte. El moldeado así obtenido permite unir las dovelas por medio de una junta, colada y apretada por cables de pretensado, cuyo espesor queda comprendido entre 0,8 y 1,5 mm; el colado se realiza con una resina epoxy, mezclada con cuarzo, especialmente estudiada para esta aplicación, y sirve para lubricar las caras de las dovelas durante su colocación, adquiriendo, al cabo de unas horas, un coeficiente de rozamiento suficientemente elevado para que la unión debida al pretensado permita seguir avanzando al ritmo prefijado de 4 pares de dovelas diarias.

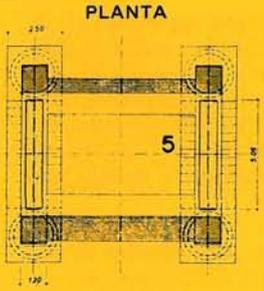
El pretensado longitudinal se realiza con cables compuestos de 12 cordones de ½", que desarrollan una tensión inicial de 145 Mp, introducidos en vainas de materia plástica. Las disposiciones del cableado vienen determinadas por el sistema de construcción adoptado. Cada par de dovelas simétricas están comprimidas por 4 cables de pretensado que pasan por encima de la pila y se anclan en los frentes de avance. Dos de ellos van por las almas y atraviesan oblicuamente las juntas; los otros dos quedan alojados en la losa superior.



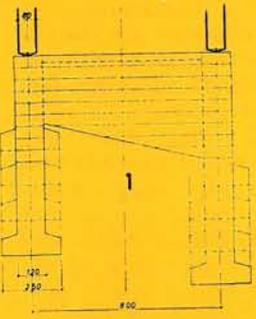
SECCION TRANSVERSAL



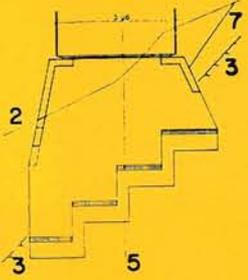
1. Eje de la pila.—2. Terreno natural.—3. Roca.—4. Pozos (2.ª etapa).—5. Eje de implantación.—6. Pozos (1.ª etapa).—7. Terreno futuro.



ALZADO



SECCION TRANSVERSAL

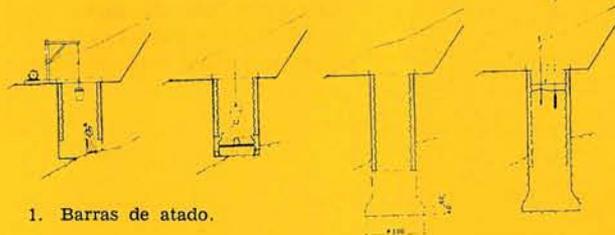


EXCAVACION EN TERRENO BLANDO

ENCOFRADO Y HORMIGONADO DEL REVESTIMIENTO

EXCAVACION EN ROCA

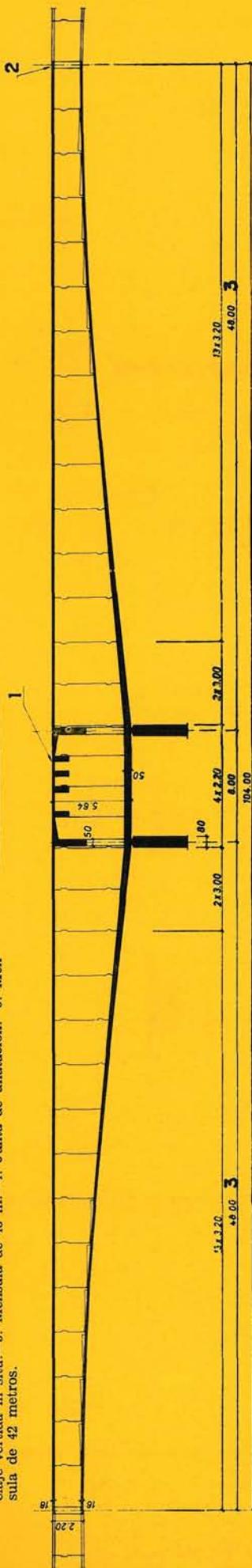
RELLENO DEL POZO



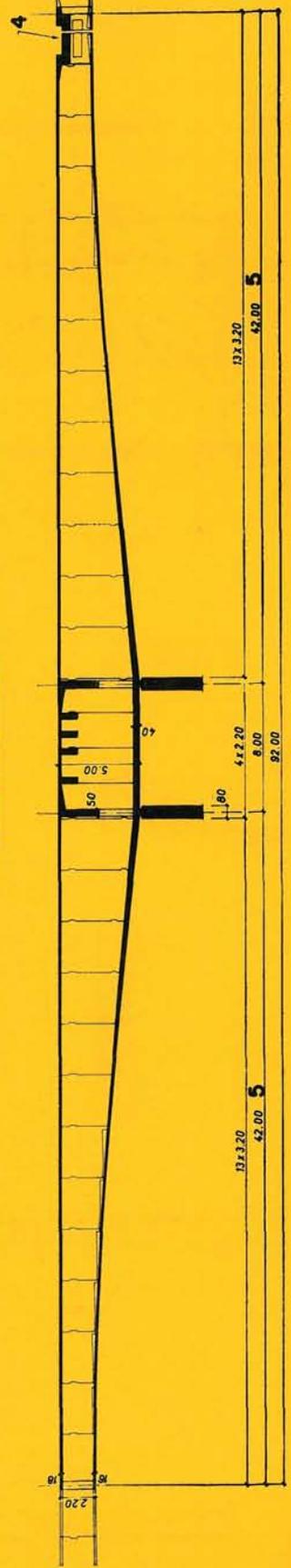
1. Barras de atado.

PORTICO TIPO 48.00m

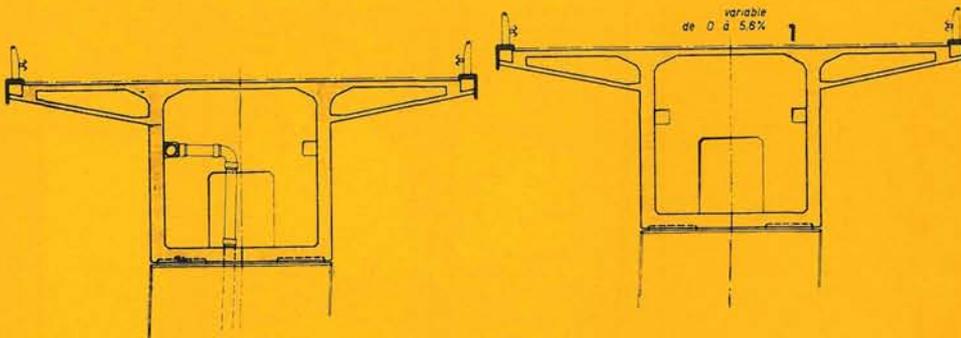
1. Refuerzo para el apoyo de la viga de lanzamiento.—2. Travesía de anclaje vertida in situ.—3. Mensula de 48 m.—4. Junta de dilatación.—5. Mensula de 42 metros.



PORTICO TIPO 42.00m

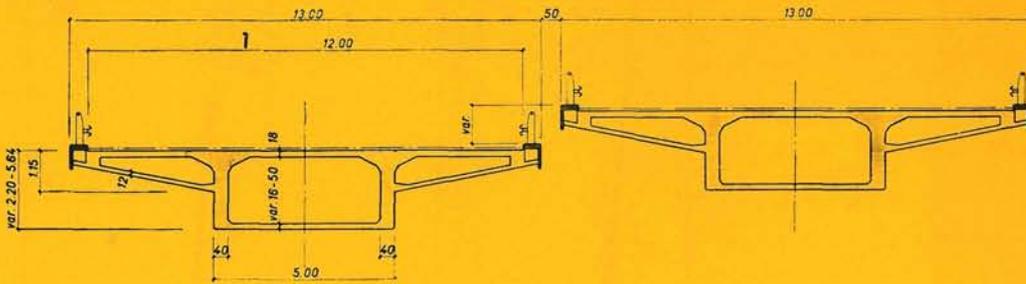


SECCION SOBRE EL APOYO



1. Inclinación variable de 0 a 5,6 %.

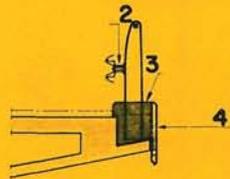
SECCION EN VANO



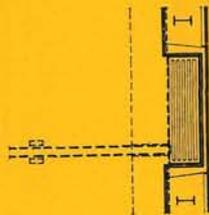
EVACUACION DE LAS AGUAS



BARRERA PROTECTORA



BORDILLO TIPO



1. Calzada de 12 metros.
2. Distanciator.
3. Hormigón vertido in situ.
4. Borde prefabricado.

PORTICO TIPO PRETENSADO 48,00 m



PORTICO TIPO PRETENSADO 42,00m



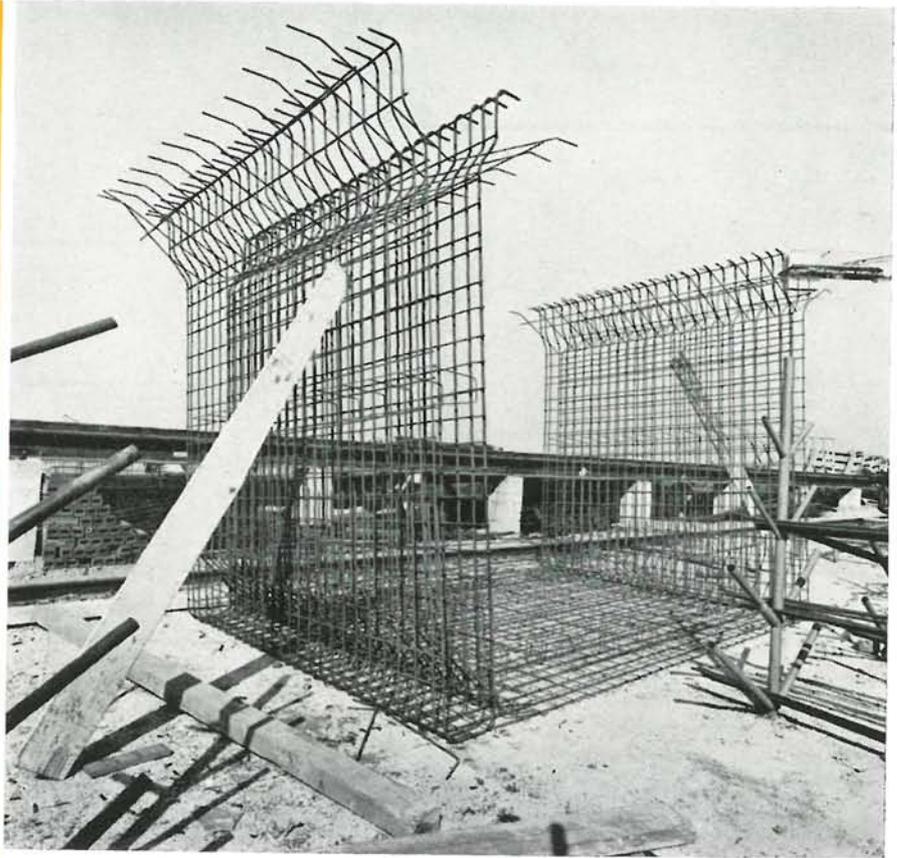
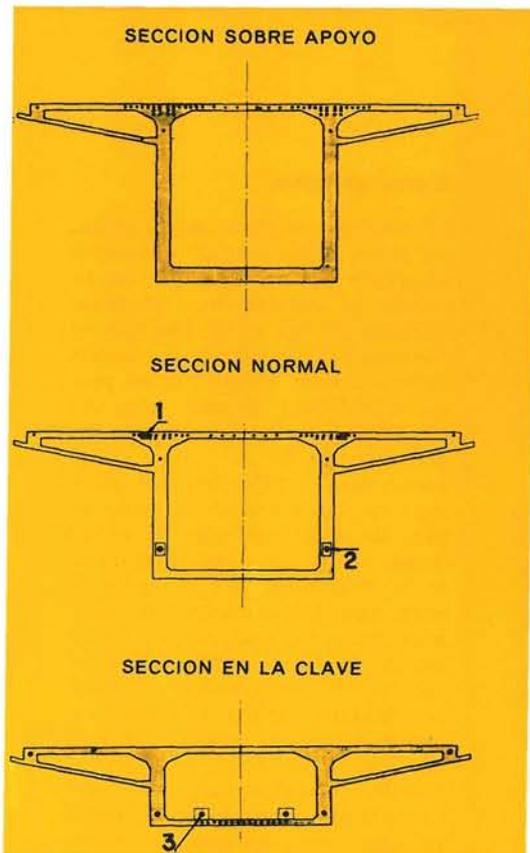
1. Pretensado de solidarización en la losa inferior.

Se procede primero a la colocación, colado y fijación provisional de dos dovelas; después, con la ayuda de un torno, se introducen los 4 cables de pretensado e inmediatamente se tesan.

La fijación provisional de cada dovela queda asegurada por el tesado de dos cables de atirantado, provistos de cabezas de anclaje fileteadas, las cuales se anclan en la dovela precedente.

Después del tesado de los 4 cables definitivos, los cables de atirantado son destesados y dispuestos para que, avanzando por dentro de su vaina, puedan sujetar la dovela siguiente. Durante el montaje, la estabilidad longitudinal del pórtico está asegurada únicamente por unos contravientos anclados a su pila correspondiente. En el momento en que llega el voladizo a unirse con el pórtico precedente, se procede a la solidarización de ambos.

La operación de unión se realiza en varias fases. El nuevo pórtico está, al prin-



1. Anclaje en la losa superior.
2. Anclaje en el alma.
3. Anclaje en la losa inferior.

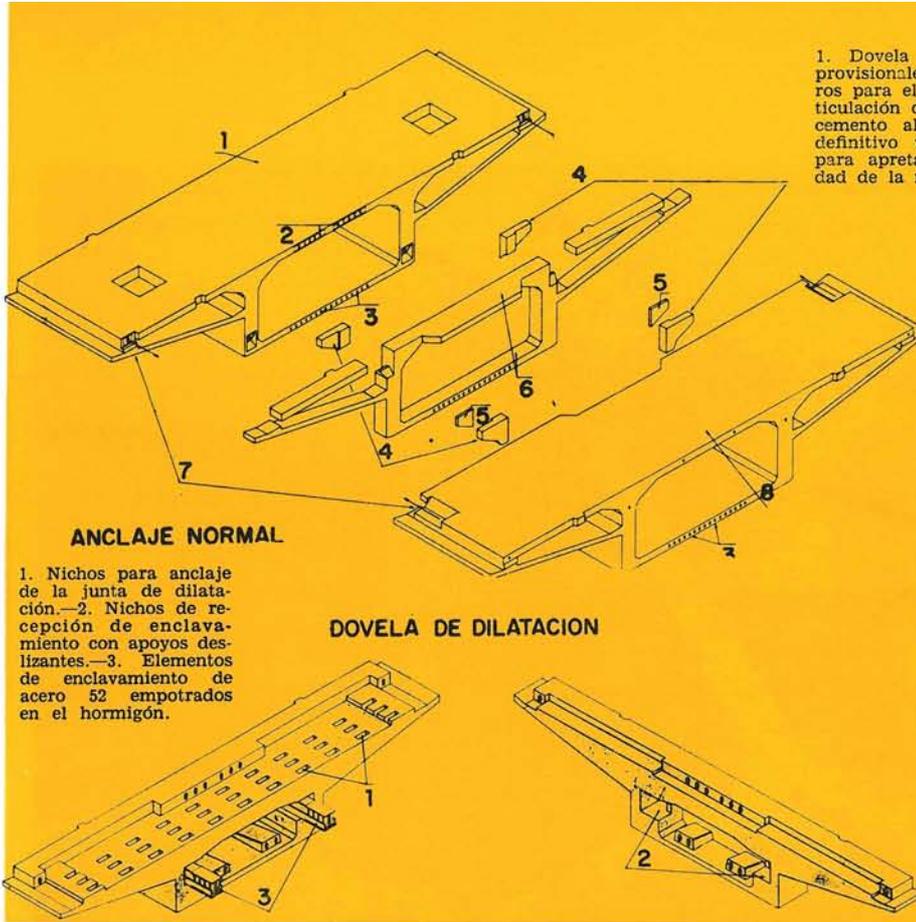
cipio, amarrado al precedente por el empalme de los dos cables de pretensado situados en las extremidades de las alas de los cajones laterales; el atirantado provisional de la pila se afloja después y el nuevo pórtico se desplaza longitudinalmente para compensar los efectos ulteriores de fluencia y de contracción sobre las pilas. Posteriormente se hormigonan dos núcleos de hormigón de cemento aluminoso en la parte superior de las vigas y se les comprime tesoando los dos cables de pretensado laterales.

Gracias a la semiarticulación así creada, que asegura el paso de la viga de lanzamiento, y de las dovelas a los pórticos siguientes, las deformaciones por fluencia de las dos ménsulas se producirán sin aumento notable de los esfuerzos interiores.

Después de unos tres meses, se hormigona toda la sección de la unión definitiva. Los cables de pretensado introducidos y anclados en la losa inferior del cajón central se ponen dentro de su vaina y se tesan: de esta forma se consigue la continuidad.

Para la unión de los tramos con junta de dilatación, se dispone de una dovela especial compuesta de dos elementos distintos unidos por dos piezas metálicas provistas de apoyos deslizantes y oscilantes. Estos dos elementos son los bordes de la futura junta y se prefabrican simultáneamente junto con sus piezas de unión en un molde único. Todo el conjunto se bloquea hasta después de su colocación. La dovela así constituida se coloca primeramente como una normal, sobre la ménsula posterior del nuevo pórtico, con ayuda de los cables de pretensado que aprietan la junta encolada. A continuación se hormigona completamente la junta de unión con el voladizo del pórtico precedente, quedando asegurada aquélla cuando se colocan los cables de pretensado. La junta es entonces provisionalmente desbloqueada para el desplazamiento longitudinal del pórtico, quedando nuevamente bloqueada por dos cables provisionales que asegurarán la estabilidad longitudinal de los pórticos a construir hasta que se alcance el punto fijo siguiente; los cables son retirados entonces y la junta de dilatación entra en acción. De esta forma los dos voladizos quedan solidarizados por medio de una articulación móvil.

1. Dovela de extremidad de la ménsula delantera.—2. Cables provisionales para el paso de la viga de lanzamiento.—3. Agujeros para el paso de los cables de continuidad definitiva.—4. Articulación de enclavamiento provisional hormigonada in situ con cemento aluminoso.—5. Sagex.—6. Hormigón de enclavamiento definitivo vertido in situ.—7. Cable de continuidad acoplado para apretar la circulación provisional.—8. Dovela de extremidad de la ménsula trasera.

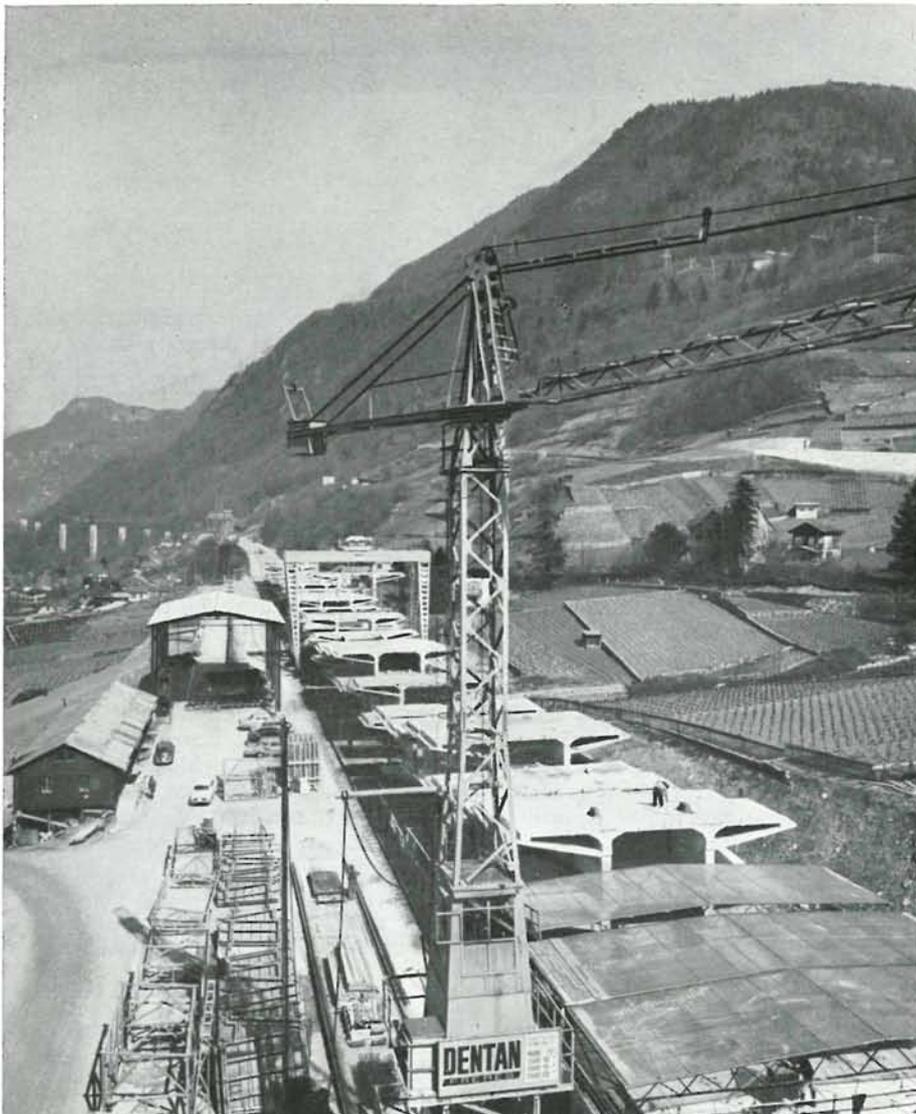


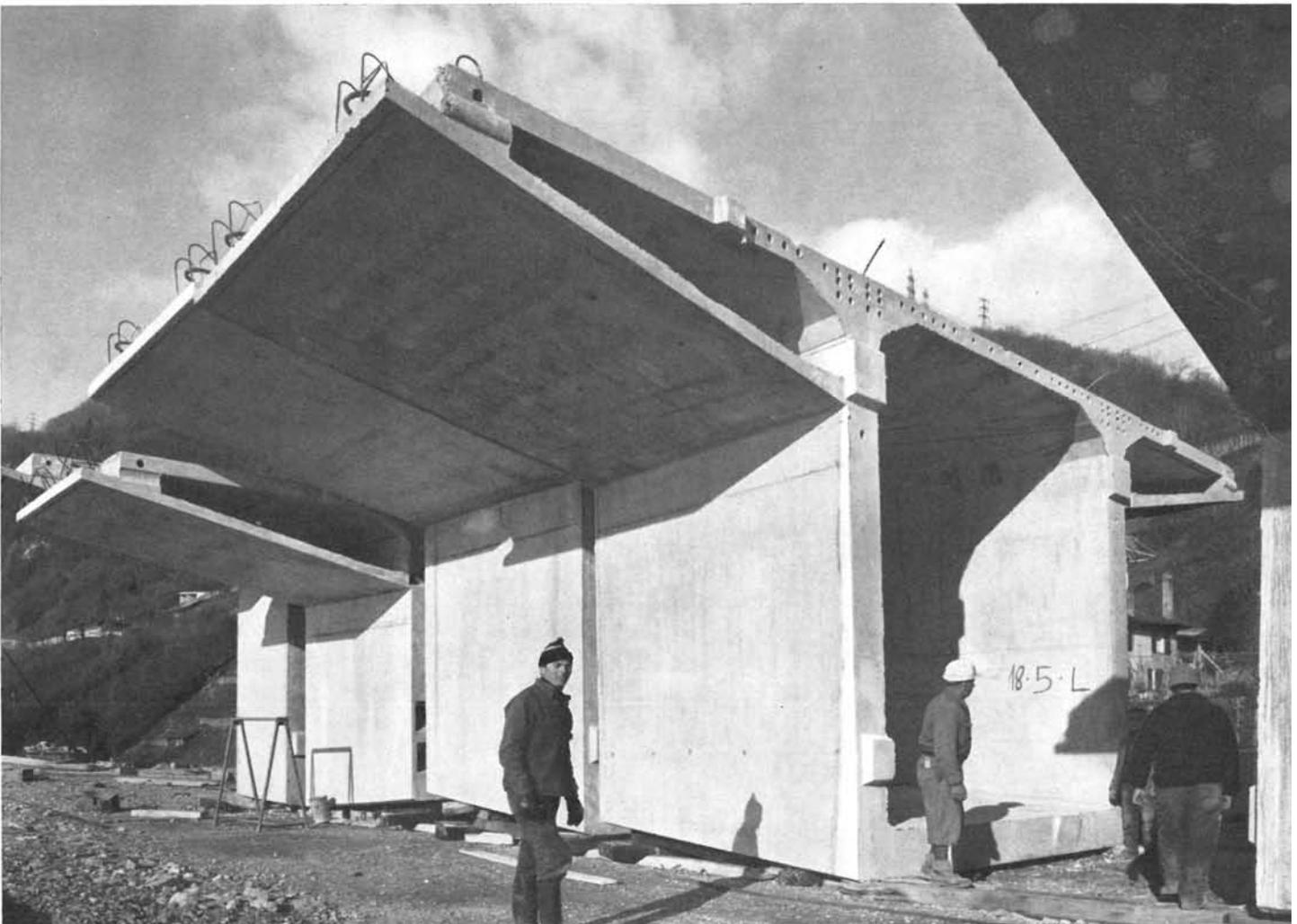
Las pilas

El sistema estático de la obra, así como el método de ejecución adoptado para realizarlo, condicionan la concepción y la organización de las pilas. Durante la construcción de un pórtico la pila debe asegurar solamente su propia estabilidad; después, una vez el pórtico está solidarizado a los precedentes, ha de actuar como apoyo móvil. Sólo las tres pilas fijas de cada viaducto están libres de esta condición de movilidad, asegurando inmediatamente la estabilidad del trozo de la obra que les corresponde. Además, todas las pilas deben absorber un fuerte empotramiento del tablero. El imperativo de estas condiciones, unido a consideraciones estéticas, condujeron a la concepción de pilas compuestas por dos pantallas delgadas, separadas 8 m y articuladas al tablero, que están, en general, empotradas en el macizo de cimentación e, incluso, reforzados en su base por una pantalla biselada si la altura de la pila excede de 36 m. Sólo las pantallas de las pilas bajas, de menos de 22 m, se han tenido que hacer pendulares, para suplir su falta de flexibilidad, quedando, por lo tanto, articuladas también en su base, sobre el macizo de cimentación.

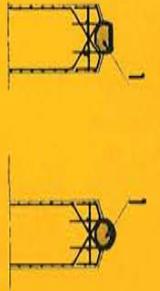
Gracias a estas disposiciones, el empotramiento del tablero en las pilas es prácticamente perfecto, y las pantallas no están sometidas jamás a tracciones, pudiendo, sin esfuerzos adicionales, inclinarse bajo el efecto de los desplazamientos longitudinales del tablero causados por la fluencia, retracción y variaciones de temperatura del hormigón.

Las pantallas de las pilas fijas están reforzadas por otra pantalla biselada pretensada que las permite absorber los esfuerzos longitudinales producidos por los frenazos, el viento y, sobre todo, por la inclinación de las pilas móviles. Para disminuir la importancia de este último factor, se procede a un reglaje de esta inclinación durante la operación



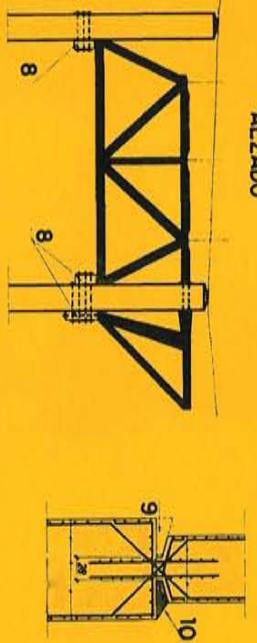


CABEZAS DE PILAS
LADO LAUSANA LADO VILLENEUVE

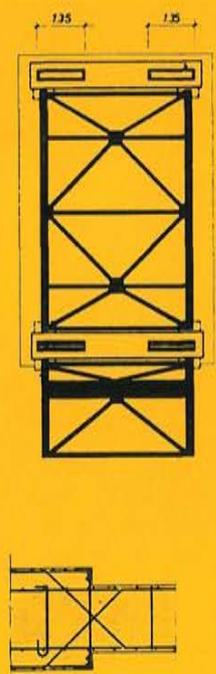


ANDAMIO DEL CABEZAL Y DEL TALON BASE DE PILA ARTICULADA

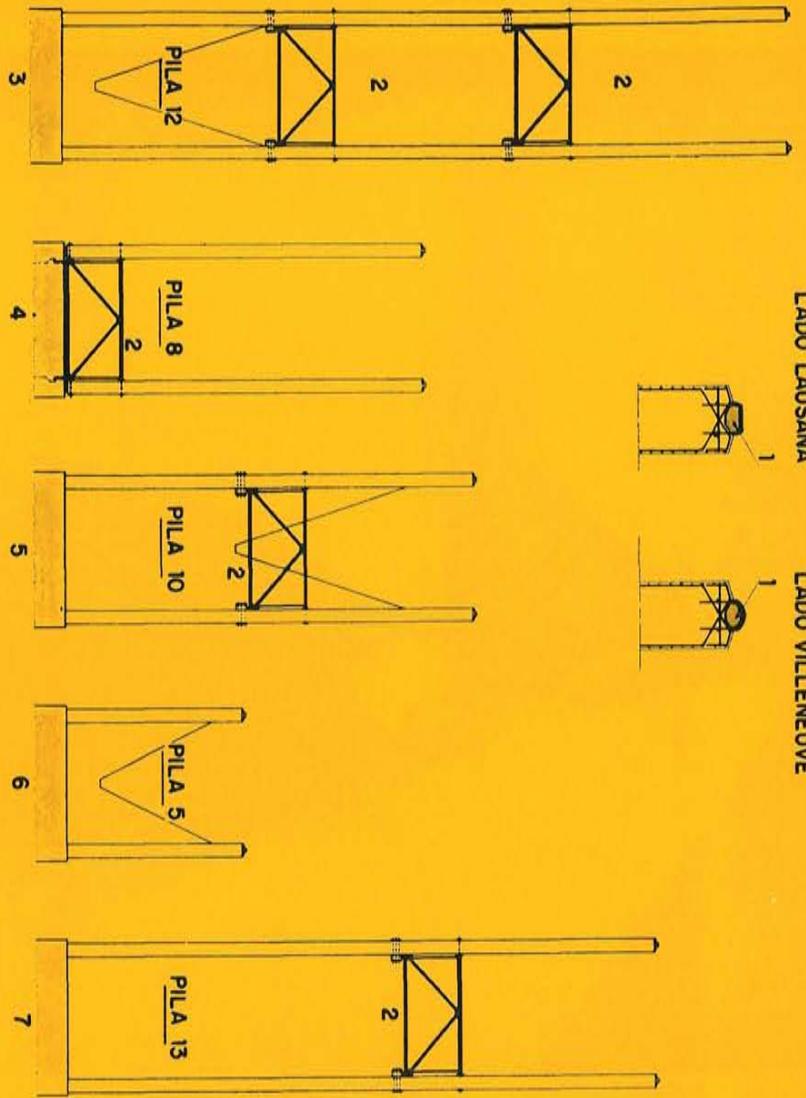
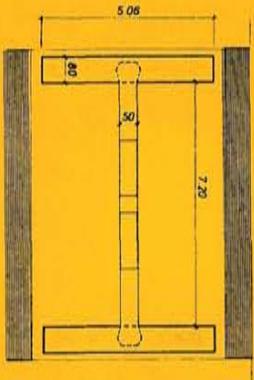
ALZADO



PLANTA



SECCION HORIZONTAL SOBRE EL RIGIDIZADOR



1. Bloques prefabricados en hormigón de resina.—2. Arriostramiento provisional.—3. Pila de más de 36 m con rigidización.—4. Pila hasta 22 m con base articulada.—5. Fuente fijo (altura = 24 m con rigidización).
6. Fuente fijo (altura = 10 m con rigidización).—7. Pila hasta 36 m con base empotrada.—8. Bloques de hormigón de resina apretados con tuercas pretensadas.—9. Bloque provisional.—10. Materia compresible, apoyo de mortero y mastique gris.
11. Almacén de aceros.—12. Preparación de jaulas y armaduras.—13. Almacén de jaulas y armaduras.—14. Fórico (5 Mfp).—15. Fosos de prehabricación.—16. Central hormigonera.—17. Almacén de aceros (pretensado).
18. Preparación de cables (pretensado).—19. Pórtico (80 Mfp).—10. Vía de rodadura de los pórticos.—11. Almacén de dovelas.—12. Vía de montaje de la viga de lanzamiento.—13. Vía de lanzamiento de la viga y carro.—14. Carretera de acceso a la obra.—15. Almacén.—16. Oficina.—17. Carretera de obra.—18. Agua arriba.—19. Agua abajo.—20. Pila núm. 122.—21. Pila núm. 122.—22. Estribo Villeneuve.—23. Arroyo La Timiere.

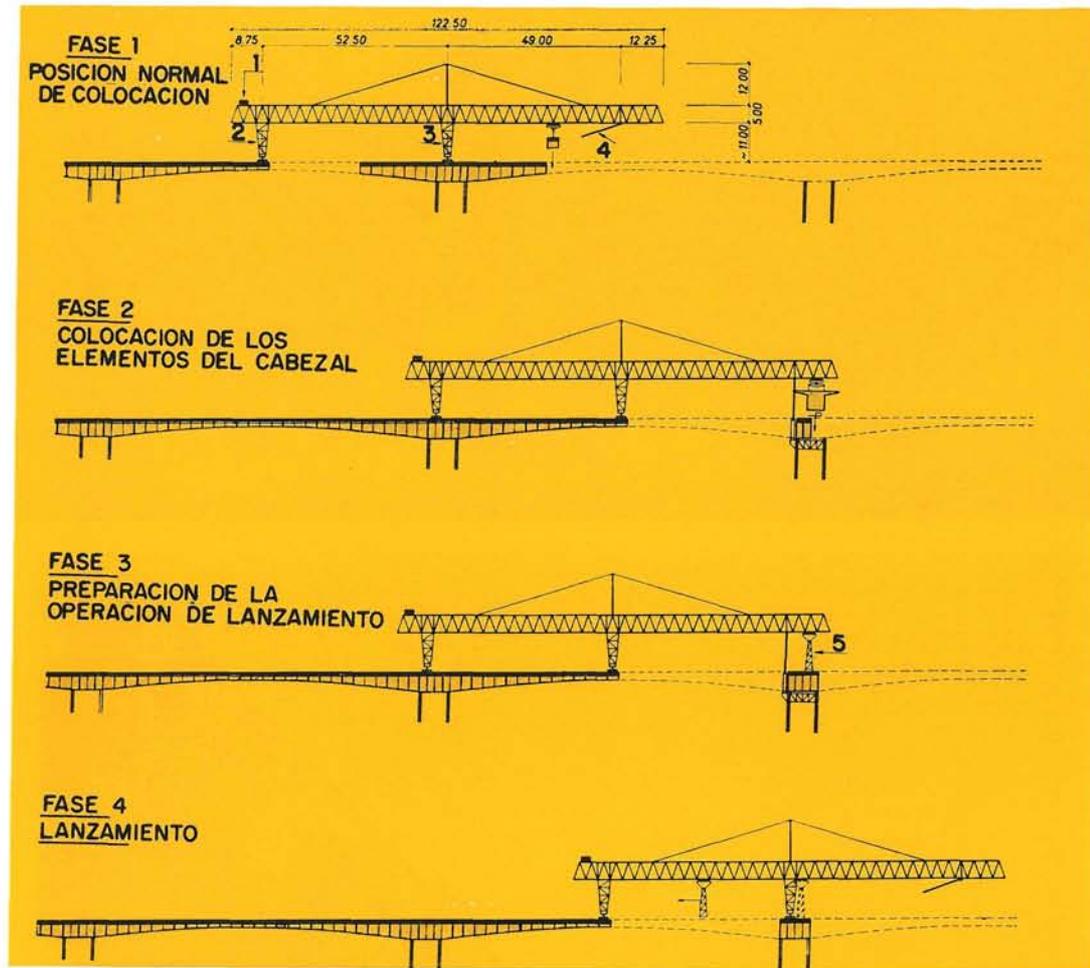
SECCION LONGITUDINAL



montaje del tablero y viga de lanzamiento

1. Contrapeso.
2. Apoyo trasero.
3. Apoyo central.
4. Pata.
5. Bicicleta.

de unión de los pórticos: el nuevo pórtico se desplaza de forma que, al final de la fluencia y de la retracción, las pantallas están nuevamente verticales. Las articulaciones inferiores de las pantallas pendulares están realizadas con núcleos de hormigón muy comprimido, vertido en el interior de un encofrado especial. Las articulaciones superiores de todas las pantallas están realizadas, por el contrario, con piezas prefabricadas de hormigón de resina, las cuales se funden dentro de los moldes de hormigón que fueron moldeados, al principio de los trabajos de prefabricación, sobre el encofrado de fondo de las dovelas destinadas a apoyarse sobre las pantallas. La moldeación exacta así realizada permite utilizar estas piezas de articulación relativamente ligeras, como elementos esenciales del reglaje de la geometría de partida de cada pórtico.



como elementos esenciales del reglaje de la geometría de partida de cada pórtico.

Las dos pantallas de una pila se hormigonan simultáneamente con ayuda de dos encofrados deslizantes gemelos, unidos por una plataforma de trabajo, consiguiéndose un avance de 6 a 8 m diarios. Los refuerzos eventuales se ejecutan después. Durante su erección, las pilas van provistas de contravientos metálicos provisionales anclados en las pantallas por medio de pernos pretensados de gran resistencia. Algunos días antes de la llegada del tablero se procede al montaje del andamiaje superior, que se destina a recibir la viga de lanzamiento y que permitirá la unión y la colocación de las cuatro dovelas que van sobre la pila. Dicho tablero se apoya sobre bloques de hormigón de resina sujetos contra las pantallas por pernos pretensados.

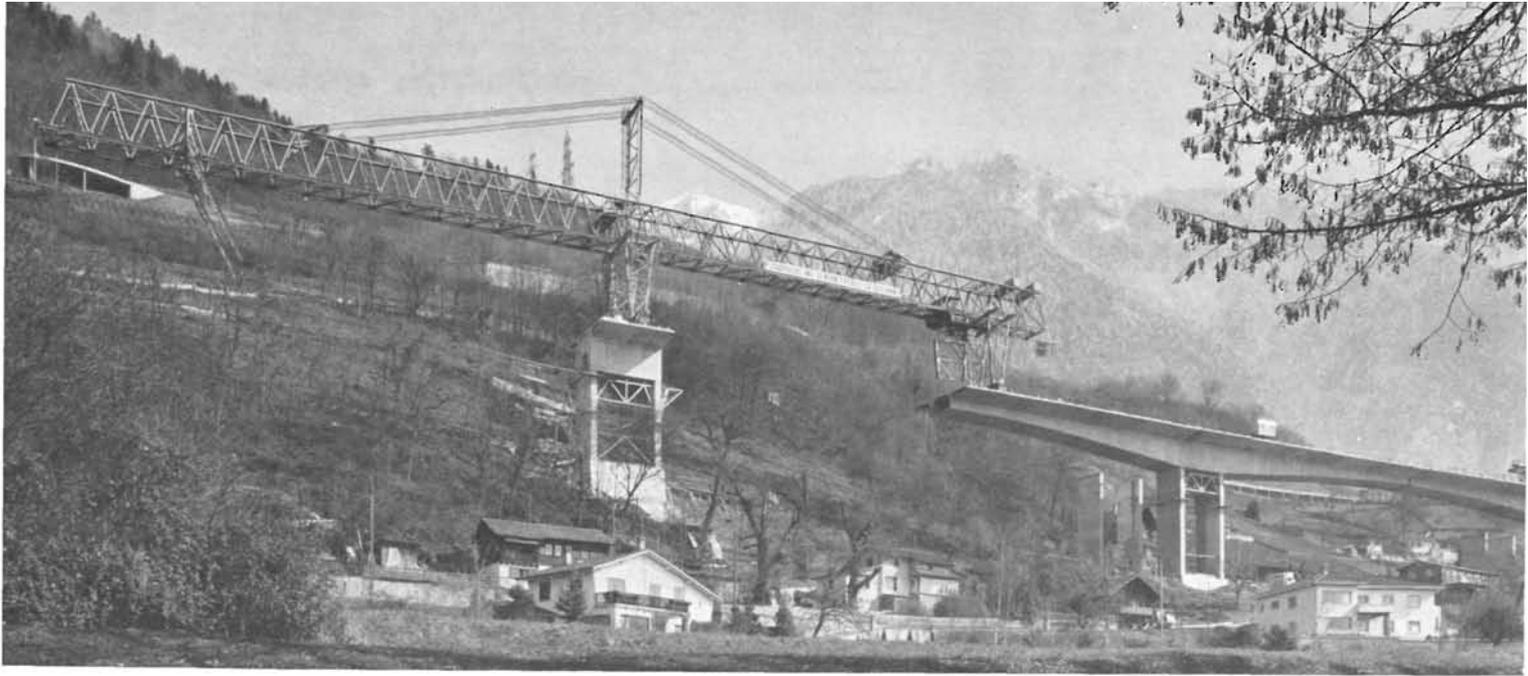
Es en este momento cuando se procede también a la colocación, al reglaje y a la fijación de las piezas de articulación de hormigón de resina, en las cuales se encajarán las dovelas de apoyo.

Prefabricación

En la prolongación sur de los viaductos y en una plataforma de unos 400 m de longitud están instalados el almacén y el taller de prefabricados, que es el órgano vital de la obra, ya que, en 2 años, debe quedar asegurada la producción de las 1.376 dovelas de los dos viaductos, lo que se traduce en la puesta en obra de 32.000 m³ de hormigón y de 3.900 t de acero. Tal programa exigía el empleo de medios muy industrializados, poco corrientes en los trabajos de ingeniería civil. El taller se compone de una instalación de preunión de las armaduras y de unas fosas para la prefabricación de dovelas. Un pórtico gigante, de una capacidad de 80 Mp, se desplaza sobre dos carriles, separados 16 m, que bordean la fábrica y el almacén, asegurando la evacuación de las dovelas terminadas y su transporte ulterior para montaje.

Otro pórtico, de 5 Mp de capacidad, rodando sobre los mismos carriles, efectúa el aprovisionamiento de los distintos materiales a la fábrica, asistido por dos grúas laterales móviles.

El hormigón es suministrado por una hormigonera automática, colocada lateralmente frente a las fosas de prefabricación y flanqueada de silos elevados para el almacenaje de cemento y de los cuatro componentes de árido;



estos silos están provistos de una instalación de calefacción de vapor que permite fabricar, en invierno, hormigón precalentado a unos 20° C cualquiera que sea la temperatura ambiente. El taller está equipado con cinco fosas de prefabricación alineadas, que trabajan todas de la misma forma.

Se trata de realizar, por prefabricación transversal, siguiendo el método de las juntas conjugadas, un puente de geometría muy variable.

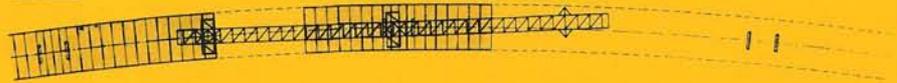
Cada dovela se coloca sobre una vagoneta entre un encofrado fijo, llamado máscara, y la dovela precedente, que le sirve de molde. Después de 12 horas de endurecimiento, la dovela molde es evacuada al almacén con auxilio del pórtico y la nueva dovela se desplaza, con su vagoneta, a la posición de la anterior para que la dovela siguiente pueda ser ejecutada en la misma fosa o en otra adyacente.

Una maquinaria colocada en el fondo de la fosa, constituida por 3 plataformas móviles accionadas por gatos hidráulicos, procede entonces a la orientación en el espacio de la dovela molde con respecto a la máscara. Cuando los encofrados laterales e interiores se adaptan a la dovela molde, y la máscara y las armaduras prefabricadas, las vainas de pretensado y las restantes piezas están colocadas en su sitio, el nuevo elemento está dispuesto para ser hormigonado.

Este sistema de prefabricación, aplicado a un puente de geometría variable, ha requerido la puesta a punto de complejos dispositivos de mando y de reglaje.

Las cotas de orientación de las dovelas molde son calculadas en obra con la ayuda de un pequeño ordenador, par-

REALIZACION DE LA CURVATURA EN PLANTA FASE 1



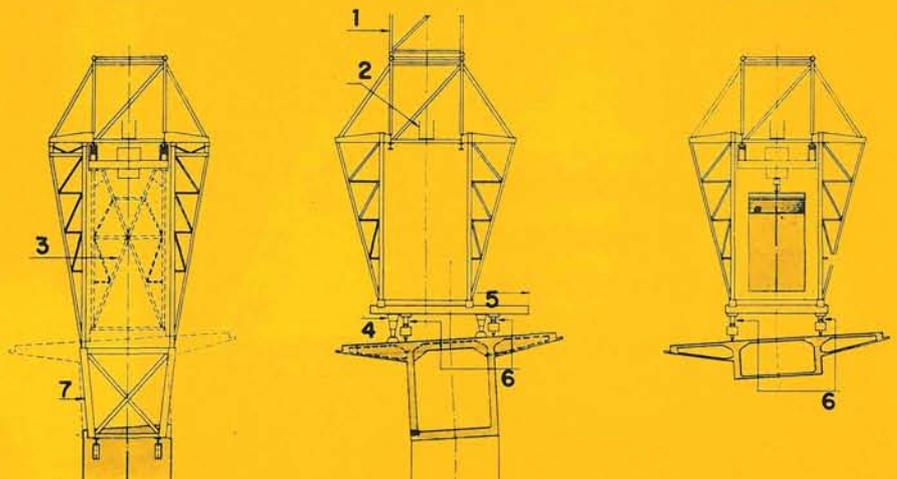
REALIZACION DE LA CURVATURA EN PLANTA FASE 2



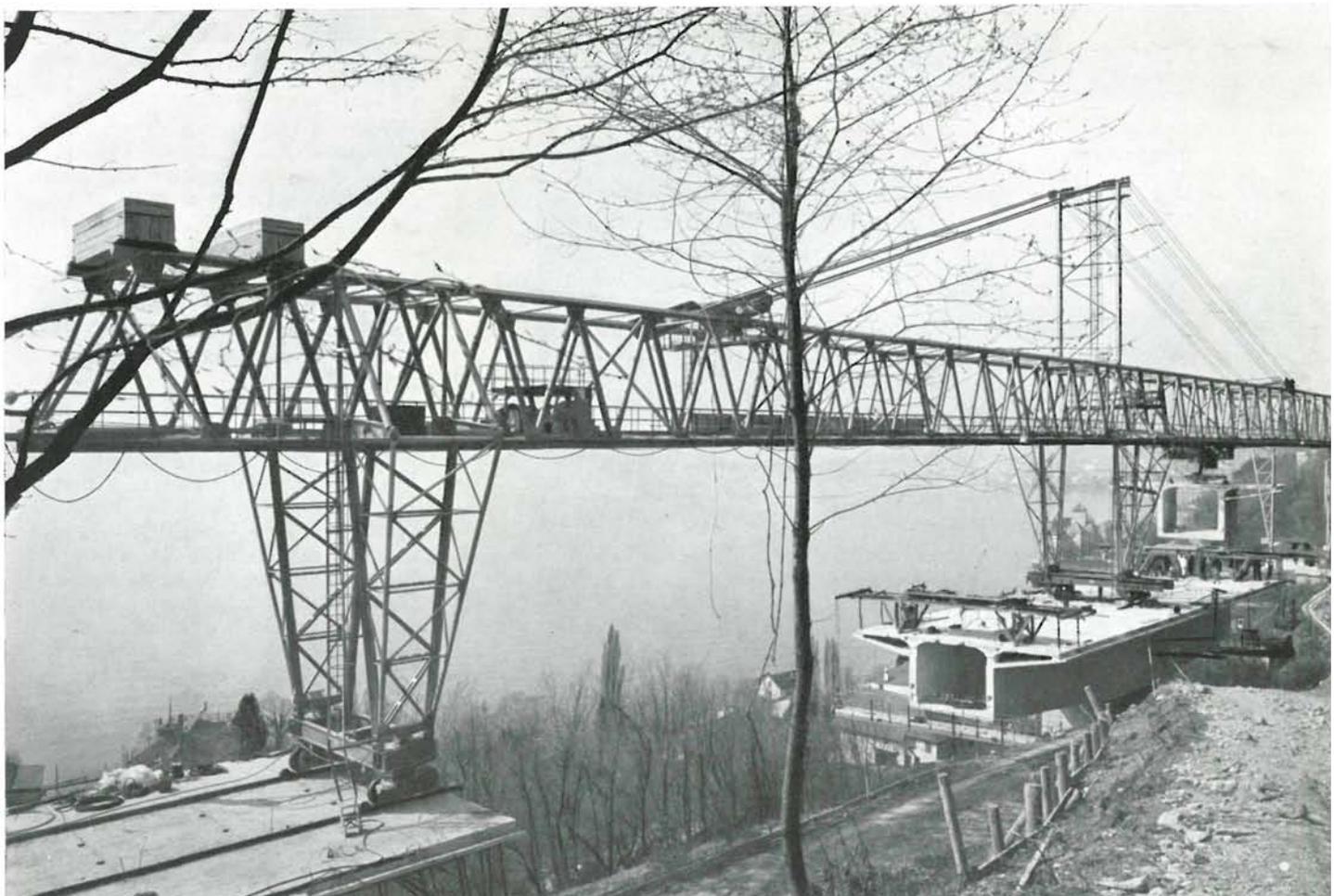
PATA

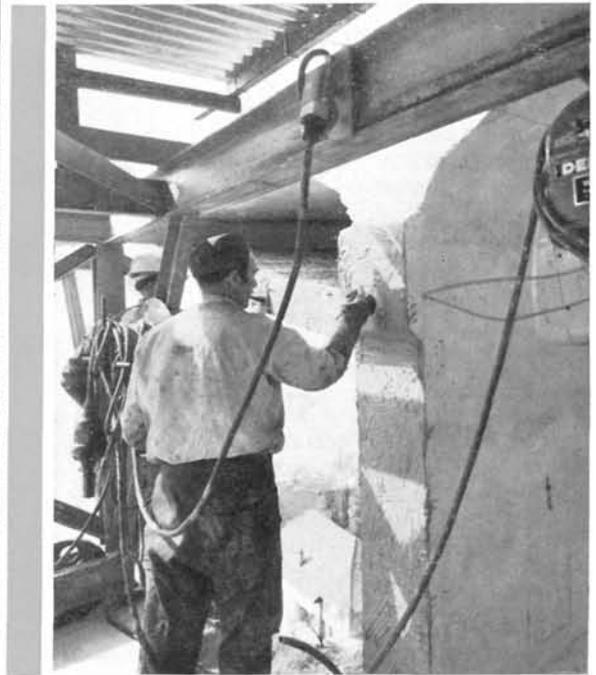
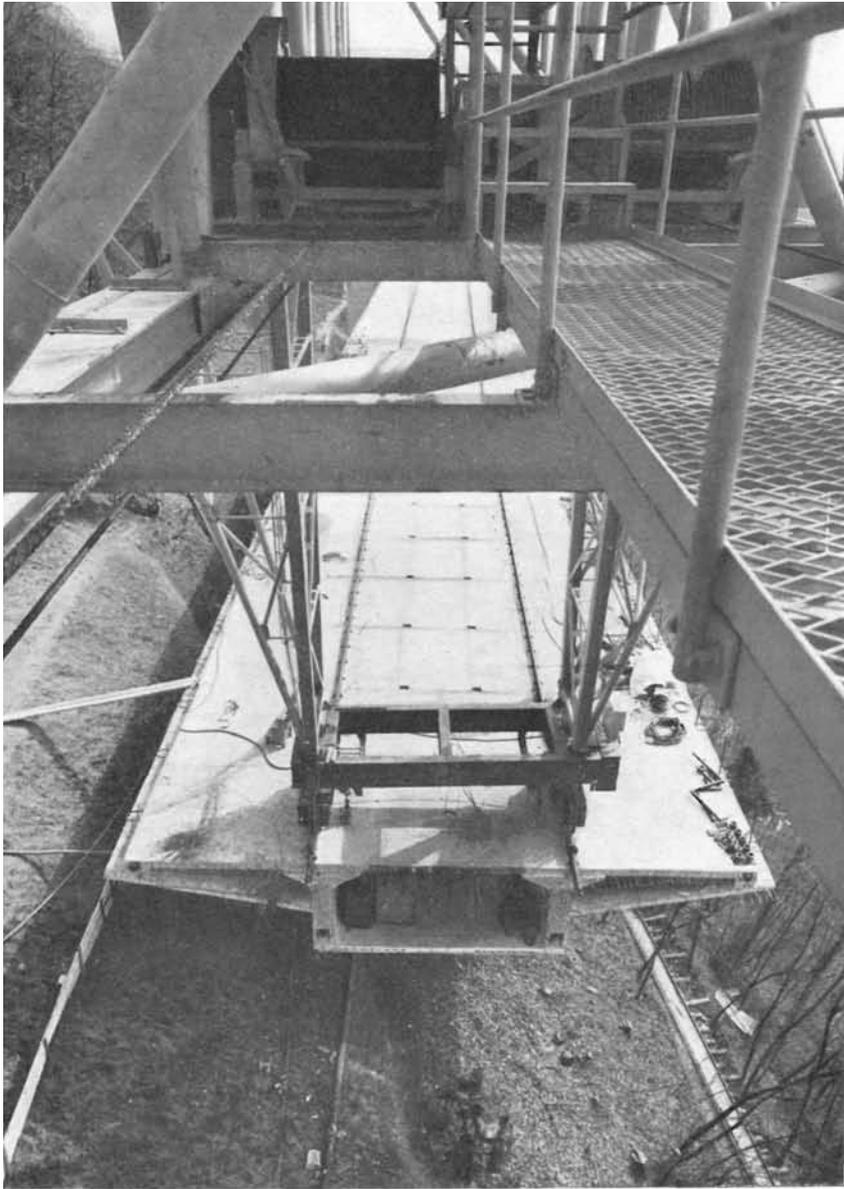
APOYO CENTRAL

APOYO TRASERO



- 1. Mástil.—2. Pasarela de servicio.—
- 3. Bicicleta.—4. Apoyo provisional en posición de colocación (fase 1.ª).—
- 5. Translación.—6. Gatos de nivelación de los bujes.—7. Talón.





tiendo de las medidas de precisión hechas sobre las piezas ejecutadas y teniendo en cuenta las coordenadas teóricas que se desean obtener. Estas cotas son trasladadas a un dispositivo de mando y de reglaje electrónico, que actúa sobre los circuitos hidráulicos de las plataformas.

Gracias a este dispositivo, los movimientos de orientación son realizados con una precisión del orden del medio milímetro.

Montaje del tablero y funcionamiento de la viga de lanzamiento

Las dovelas producidas en el taller de prefabricación se dejan en el almacén durante 2 ó 3 semanas. Después de ser limpiadas y preparadas para su colocación, cada dovela es cargada sobre una vagoneta que se dirige hacia la parte del puente ya ejecutada, hasta llegar al frente de avance, donde es recogida por la viga de lanzamiento, que la coloca en su sitio. El peso de las dovelas varía entre 45 y 80 Mp.

La viga de lanzamiento es una grúa gigante sobre carriles, que pesa, con todo el equipo, 230 Mp. Está for-





mada por una viga metálica tubular de 122 m de longitud, de estructura espacial triangular, sujeta con cables de tensión reglable. Los dos nervios inferiores son utilizados como vías para un puente rodante de 80 Mp de capacidad. La viga está provista de tres pares de pies gemelos, que dejan paso libre a las dovelas: el pie avanzado, llamado puntal, es inmóvil; los pies posterior y central están montados sobre «tandems» y poseen ambos mecanismos hidráulicos complejos, que permiten a la viga ceñirse a las curvaturas acusadas de la obra, permaneciendo horizontal a pesar de las variaciones del peralte.

Para la ejecución de los voladizos simétricos, a partir de las pilas, el pie posterior de la viga de lanzamiento se ancla al final de la ménsula del pórtico precedente, y su pie central se apoya sobre la pila del pórtico en curso de montaje; el puntal está libre y los cables tesos.

Una vez terminados los voladizos, se procede a las operaciones de unión con el pórtico precedente y a la colocación de los carriles sobre el nuevo pórtico. El puente rodante se amarra al tablero por cables, y la viga avanza por sus propios medios hasta que el puntal llega a la vertical de la pila siguiente. La sollicitación sobre la ménsula es entonces muy fuerte, pues debe soportar, en su extremo, los 170 Mp de sollicitación del pie central. Como el puente es curvo, la viga se debe desplazar transversalmente sobre su pie central, pivotando alrededor de su pie posterior para que el puntal pueda apoyarse sobre el encofrado de la pila siguiente; una vez que se consigue el contacto, se distribuye parte de la sollicitación del pie central entre el pie posterior y el puntal, destesándose los cables de atirantado y empezando a trabajar los gatos de los «tandems» de los pies. El voladizo queda así suficientemente aliviado para soportar el paso de cuatro dovelas de 80 Mp cada una, que van a constituir la base del pórtico siguiente. El andamiaje de la base está equipado con 3 pares de gatos hidráulicos para la recepción de estos elementos. La primera





Fotos: GERMOND

dovela se coloca sobre la articulación del primer muro y sobre un par de gatos; después se unen las otras 3 dovelas por medio de un pretensado provisional, quedando el conjunto apoyado sobre un par de gatos. Cuando toda la base está construida estos gatos le hacen pivotar alrededor de su primera articulación, a fin de que se coloque sobre la articulación del segundo muro.

Un pie provisional es entonces colocado en obra, desde el depósito, con el auxilio de la vagoneta transportadora. Este pie está rígidamente unido al puente rodante de la viga. La grúa, así constituida, se desplaza sobre la nueva base a la que está amarrada. El puntal queda libre y la viga queda soportada por el pie provisional, desplazándose entonces sobre su puente rodante fijo; el pie central salva el vacío y se coloca detrás del pie provisional, sobre la base. Dicho pie provisional es retirado; los cables de atirantado, tesados, y la colocación en voladizo simétrico del pórtico siguiente puede comenzar.

Conclusión

La aplicación de nuevos métodos técnicos en la construcción de los viaductos de Chillon, ha permitido el realizar esta importante obra dentro del límite de 3 años y del presupuesto previsto.

El ritmo de construcción del tablero llegó a ser de 300 m por mes, resultando un costo, de obra terminada, de 600,00 francos suizos por metro cuadrado.

Ha sido posible demostrar que los sistemas de prefabricación transversal y construcción en voladizo permiten el prever la construcción de puentes de grandes luces, y de formas complicadas, en hormigón pretensado, en un lapso de tiempo bastante corto y en condiciones económicas muy ventajosas.

Es preciso, no obstante, tener presente que estos resultados han de ser obtenidos por medio de una explotación e industrialización sistemática del procedimiento empleado, y por un estudio a fondo del material de prefabricación, de su mantenimiento y de su puesta en obra.

Una nueva forma de estrecha colaboración debe establecerse entre los contratistas y los ingenieros encargados de la concepción y de la elaboración del proyecto.

Datos estadísticos

CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

Longitud del viaducto agua abajo	2.100 m	Número de pilares cimentados sobre placas de asiento	23
Longitud del viaducto agua arriba	2.120 m	Número de pilares cimentados sobre pozos	21
Anchura de la calzada de cada viaducto	12 m	Longitud —fuera del terreno— de las pilas	1.580 m
Anchura parte exterior de cada viaducto	13 m	Longitud total de los pozos	1.080 m
Superficie total de los dos tableros	55.000 m ²		

Datos estadísticos

CANTIDADES PRINCIPALES

Hormigón de los tableros BS 350	32.000 m ³
Hormigón de las pilas BS 325	6.400 m ³
Hormigón de cimentación y estribos BH 300 ...	10.200 m ³
Hormigón de los pozos BH 250	4.100 m ³
Acero de la armadura para cimentaciones y pozos	650 t
Acero de la armadura para las pilas... ..	620 t
Acero de la armadura para el tablero	3.900 t
Cables de pretensado de 12 cordones de ½" ...	135.000 m
En acero duro relajación reducida	1.200 t
Resina epoxy para las juntas entre dovelas ...	25 t

RITMO DE PREFABRICACION

Producción del taller 22-24 dovelas a la semana

RITMO DE AVANCE DEL TABLERO

Montaje de los voladizos de un pórtico	4 días
Enclavamiento y primer avance de la viga	2 días
Colocación de la base del pórtico siguiente	1 día
Lanzamiento de la viga	1 día
Tiempo total para la ejecución de un pórtico	8 días
Ritmo medio	4-5 dovelas por día
Ritmo de los voladizos	8-10 dovelas por día
Progresión del tablero	290 m por mes

PROGRAMA DE LOS TRABAJOS

Comienzo de la obra	13- 7-66
Cimentación y pilas agua abajo	15- 8-66; 15-11-67
Cimentación y pilas agua arriba	15- 9-66; 15-11-68
Prefabricación del viaducto agua abajo ...	1-10-67; 15- 9-68
Prefabricación del viaducto agua arriba...	15- 9-68; 30- 6-69
Colocación del viaducto agua abajo	1-12-67; 15-10-68
Colocación del viaducto agua arriba... ..	1- 2-69; 15- 8-69
Terminación de las obras	31-12-69

Datos generales

COSTE DE LA OBRA

30 millones de francos suizos.

Propietario de la obra:	Estado de Vaud.
Jefatura de control:	Servicio federal de carreteras y diques.
Dirección de los trabajos:	Despacho de construcción de las autopistas de Vaud.
Estudio y proyecto de la obra, viga de lanzamiento y del taller de prefabricación:	Despacho técnico Pigué, ingenieros consultores, S. A., Lausana. J. Cl. Pigué, R. Hofer, M. Tappy, ingenieros SIA-EPUL.
Colaboradores:	R. Beylouné, ingeniero; R. Favre, E. Plumettaz, E. Blütle, F. Cascales.
Estudios y asesoramientos geológicos:	J. Norbert, geólogo.
Colaborador:	J. J. Frutiger, geólogo.
Estudios y asesoramientos geotécnicos:	H. B. de Cerenville, ingeniero MSCE-SIA.
Estudios y asesoramientos tecnológicos:	Prof. J. P. Daxelhofer, ingeniero SIA-EPUL.
Ejecución de los trabajos:	Consorcio de los viaductos de Chillon. Empresas P. Chapuisat, Ing. Dentan Frères, S. A., Lausana.
Colaboradores:	M. Chapuisat, ingeniero. J. P. Rosselet, Ing. EPF-SIA.
Director de la obra:	O. Subilia, Ing. SIA-EPUL.
Responsable de la prefabricación:	P. Pitet, Peney.
Responsable de avance y colocación:	A. Pasquali.
Fotos:	H. Germond, Comet, S. A. Artes y Oficios.

Les Viaducs de Chillon - Suisse

Roland Hofer, ingénieur

Cet article explique en détail les problèmes posés par l'exécution de cette importante autoroute dans la région du Haut-Léman, région qui se caractérise par une topographie très accidentée et par une démographie très dense. Il décrit également la solution adoptée de viaduc appuyé à flanc de coteau, surmontant diverses difficultés et satisfaisant tous les impératifs esthétiques, techniques et économiques.

The Chillon Viaducts - Switzerland

Roland Hofer, engineer

The articles describes in detail the problems involved in the construction of this important motor road in the Alto Lemman region, which is characterised by its difficult topography and density of population. Details are also given about the design of the viaduct, which runs along the mountain slope and overcomes many difficult geographical features, whilst satisfying strict aesthetic, technical and low cost conditions.

Die Viadukte von Chillon - Schweiz

Roland Hofer, Ingenieur

Der Artikel erklärt ausführlich die Probleme, die aufgeworfen wurden durch die Konstruktion dieser wichtigen Autobahn im Gebiet des Genfer Sees, eine Gegend, die sich auszeichnet durch ihre bergige Landschaft und eine grosse Bevölkerungsdichte. Ebenfalls beschrieben wird die Art, wie der Bau dieses Viadukts schliesslich gelöst wurde, das sich auf halber Bergeshöhe dahinzieht, indem verschiedene und hochinteressante Schwierigkeiten überwunden und allen ästhetischen, technischen und wirtschaftlichen Anforderungen Rechnung getragen wurden.