FRANK H. WILLIAMS, ingeniero

514 - 41

pistas de rodadura pretensadas

La primera pavimentación de hormigón pretensado se terminó en julio de 1959. Es una pista de vuelo, construida por el Corps of Engineers en la base aérea de Biggs, Texas (EE. UU.).

El proyecto se redactó bajo la dirección del coronel Albert L. Reed, ingeniero del Distrito de Albuquerque de Nuevo México. Este proyecto consiste en un refuerzo de pistas de vuelo y rodadura en la base antes mencionada, con objeto de poderlas capacitar para las maniobras de los bombarderos B. 52 que han sido asignados a la base.

El pavimento pretensado tiene un espesor de 23 cm, 22,8 m de anchura y 472 m de longitud en la pista de rodadura T.3. Parte de esta pista tiene 48 cm de espesor, con hormigón armado, y parte, de 60 cm de espesor, con hormigón en masa. Estos tres tipos de pavimentación se apoyan en una base, cuyo módulo es de 14 kg/cm².

Datos para el cálculo

Las normas básicas para la redacción del proyecto se dictaron por el Corps of Engineers, partiendo de los datos iniciales obtenidos de ensayos realizados en los laboratorios de Mariemont (Ohio), iniciados en diciembre de 1953.

En este estudio se revisaron las distintas teorías sobre la técnica del hormigón pretensado y construcciones similares realizadas en otros países. El laboratorio realizó ensayos sobre modelos, y a la escala natural, de pavimentaciones de hormigón pretensado, con la finalidad de obtener un criterio general necesario antes de llevar a la realización las obras que debían ejecutarse.

planta y alzado de la pista

1. Espaldón asfáltico.—2. Arco de espaldón de 15 m.—3. Hormigón pobre.—4. Junta de construcción.—5. Pseudo-junta.—6. Eje de la pista.—7. Junta de dilatación.—8. Diez centímetros.—9. Quince centímetros.—10. Hormigón pobre.—11. Junta de construcción pintada con asfalto.—12. Espaldón de 15 m.—13. Pendiente variable.—14. Pista de 22,8 m.—15. Pendiente variable.—16. Diez centímetros.—17. Quince metros entre ejes.—18. Borde libre recrecido.

1. Estación de replanteo.—2. Primera parte (hormigón ordinario).—3. Ciento sesenta y siete metros.—4. Pseudo-juntas espaciadas a 7,62 m.—5. Junta de dilatación.—6. Pendiente 0,30 %.—7. Pseudo-juntas.—8. Pasadores.—9. Viga de hormigón armado.—10. Estación de replanteo.—11. Segunda parte (pretensada).—12. Ciento cincuenta y dos metros.—13. Papel polietileno sobre capa de 12 mm de arena.—14. Papel impermeabilizado.—15. Estación de replanteo.—16. Pendiente 0,20 %.—17. Viga de hormigón armado.—18. Tercera parte (pretensada).—19. Pseudo-junta.—20. Papel sobre capa de arena.—21. Pendiente 0,20 %.—22. Papel de construcción.—23. Estación de replanteo.—24. Viga de hormigón armado.—25. Cuarta parte (pretensada).—26. Ciento cincuenta y dos metros.—27. Pseudo-junta.—28. Polietileno sobre capa de arena.—29. Papel impermeabilizado.—30. Estación de replanteo.—31. Viga de hormigón armado.—32. Quinta parte (hormigón armado).—33. Cuatrocientos cincuenta y siete metros.—34. Pseudo-juntas espaciadas a 7,60 m.—35. Junta especial de dilatación.—36. Pendiente variable.—37. Pasadores.—38. Borde recrecido.—39. Estación de replanteo.

Al igual que otros pavimentos, los de hormigón pretensado se pueden considerar como una estructura colocada sobre una base cuya capacidad de sustentación tiene un valor determinado. Sin embargo, contrariamente a lo que ocurre en otros tipos, el pavimento pretensado se proyecta de tal forma que permite un agrietamiento en el fondo del pavimento al someterlo a ciertas cargas, puesto que continúa su función como una sola unidad después de haberse formado esas grietas.

Estas características son posibles gracias al control efectivo del pretensado sobre la profundidad del agrietamiento o fisuración formada y, esencialmente, por cerrar las grietas después de desaparecer la carga que las originó. A este respecto, los efectos nocivos que estas fisuraciones pudieran producir en otras clases de pavimentación desaparecen todas en este tipo particular.

Las grietas, actuando como articulaciones plásticas redistribuyen los momentos debidos a la carga, y permiten pavimentar con menores espesores de los que habría de asignarse de no emplearse el tipo pretensado. Debido a esta reducción de espesor, los esfuerzos originados en el alabeo provocado por cambios de temperatura, también se ven reducidos, y se pueden compensar aumentando el esfuerzo de pretensado necesario para las cargas dinámicas. Puesto que el esfuerzo debido al rozamiento en el contacto con la base también se puede compensar introduciendo un esfuerzo adicional de pretensado, se pueden construir trozos de pavimentación de mayor longitud sin juntas transversales, lo que se traduce en la eliminación de una nueva fuente de debilidades inherentes a las pavimentaciones de tipo ordinario. Para disminuir el rozamiento sobre la base se coloca una capa reductora de rozamientos entre la parte superior de la base y el firme. Esta capa reductora consta de una tongada de arena cubierta con papel de construcción o, lo que es igual, hojas de polietileno.

Como sucede en otras pavimentaciones, las tensiones en los bordes libres entre juntas son de mayor consideración que las que se observan en el interior del trozo limitado entre dos bordes. Por esta razón, el pavimento de la Base de Biggs se proyectó de tal forma que en los bordes de cada uno de los tres trozos de 152 m de longitud, se soportaron sobre vigas de hormigón armado. Estas vigas se extienden unos 3 m más allá del borde de cada trozo. Entre trozos se dejó espacio suficiente para poder tesar todos los cables de la armadura.

Plan general de construcción, inyecciones y anclajes.

Después de determinar las tensiones esperadas de las cargas dinámicas, el alabeo debido a la temperatura y rozamiento en la base, y considerando las tensiones debidas a la flexión del hormigón comprimido a 45 kg/cm^2 , la tensión de pretensado calculada resultó ser de $24,50 \text{ kg/cm}^2$ en la dirección longitudinal y $12,30 \text{ kg/cm}^2$ en la transversal.

Para el cálculo del acero necesario para que el pretensado lograra un esfuerzo capaz de las tensiones antes mencionadas, se tuvieron en cuenta las pérdidas debidas, después de tesar, al acortamiento elástico del acero, deformación lenta, retracción del hormigón, relajación del acero y el rozamiento entre cables y conductos.

Con objeto de poder tomar en consideración todos los tipos de cables de acero, la elección del equipo de tesado que debía emplearse se dejó al libre arbitrio del contratista.

Se eligió alambre de alta resistencia a tracción, de 6,5 mm de diámetro, provisto de bulbo en su extremidad. Cada uno de los trozos de 22,8 m de anchura y 472 m de longitud necesitó 39 cables de 12 alambres para el pretensado longitudinal. Estos cables se alojaron en tubos flexibles de acero, y se colocaron a una profundidad media del espesor del pavimento o losa. Además, cada trozo lleva 223 cables transversales colocados inmediatamente debajo de los longitudinales, extendiéndose en toda la anchura de la losa. Los cables transversales están trenzados con 6 alambres de 6,5 mm de diámetro y se han alojado en tubos rígidos de acero. En cada extremidad de los cables se solidarizó una placa de acero para distribuir la carga concentrada en el cable al hormigón. En las extremidades de cada trozo se colocaron armaduras corrugadas en el hormigón, con objeto de resistir los esfuerzos debidos a la gran presión que ejercen las placas de distribución de carga.

Construcción

La pista de rodadura T-3 se construyó, originalmente, de hormigón asfáltico colocado sobre una base de suelo-cemento. La parte central de esta pavimentación se quitó para poder construir la parte reforzada de la nueva pista de rodadura.

Hormigonado de la pista.

Tesado de los cables longitudinales.

La base del firme en todo el pavimento de la nueva pista era el mismo. Consiste en una capa de grava, de 15 cm de espesor, consolidada al 100 por 100 según las normas modificadas del AASHO sobre 2 capas formando cimient: la primera compactada al 97 % y la segunda o inferior al 92 %, de acuerdo con las instrucciones antes indicadas.

Las cuatro vigas de hormigón armado colocadas en la parte inferior de los bordes de cada trozo se construyeron sobre la base del firme. Su superficie superior se alisó con una llana para disminuir el rozamiento entre las vigas y la parte inferior de la losa del pavimento de 22 cm de espesor. Cada uno de los tres trozos de 472 m de longitud se construyeron formando bandas de 7,60 m de anchura.

Se realizó en primer lugar la banda central, a cuya terminación se empezó la construcción simultánea de las dos laterales. Antes de montar los encofrados laterales de la losa se taladraron los costeros de los encofrados para poder colocar las piezas de plástico empleadas para soportar los tubos transversales. Estas piezas de plástico se fijaron a los encofrados después de rellenar con gravilla y colocar la capa de arena y papel de polietileno. A continuación se colocaron las armaduras corrugadas y los tubos o vainas de los cables y, finalmente, se procedió a soportarlos por medio de muletillas. Los cables se colocaron en los tubos después de terminar las tres bandas. Los cables longitudinales, alojados en sus vainas metálicas, flexibles, se colocaron sobre los transversales.

Con objeto de mantener un trazado apropiado de los cables longitudinales durante el hormigonado, se procedió a tesarlos hasta conseguir una tensión de 700 kg/cm². Los anclajes provisionales para mantener la referida tensión se apoyaban en las vigas de las extremidades de cada trozo, donde se embebieron las piezas necesarias para cada anclaje. Estos anclajes son del tipo de tornillo y tuerca.

La ejecución de esta losa se realizó con un equipo auxiliar de pavimentadoras, esparcidoras, vibradoras, niveladoras, terminadoras y arrastre de arpilleras para el alisado final. Durante el hormigonado se obtenían probetas cilíndricas y viguetillas para someterlas a ensayos mecánicos de resistencia. La consolidación del hormigón se logró con una batería de 12 vibradores montados sobre un bastidor móvil.

Las agujas de los vibradores penetraban hasta unos 5 cm de la parte inferior de la losa, y las vibradoras se colocaban de tal forma que se podían elevar al pasar sobre los tubos que alojan los cables transversales de pretensado, evitando así todo desperfecto a estos elementos. Complementando a estos equipos mecánicos de vibración, se emplearon vibradores a mano para las zonas laterales y para las extremidades próximas a los bordes de los trozos donde se habían colocado las placas de reparto de esfuerzos concentrados en los cables.

El curado de la losa se llevó a cabo empleando mantos de algodón cargados de humedad, que cubrían la losa durante las primeras 30 ó 36 horas después de colocado el hormigón. A esta operación, seguía la colocación de una película de un pigmento que llevaba disuelto un compuesto para curado.

Durante la primera noche después de haber hormigonado la banda central, curada siguiendo los procedimientos ordinarios, aparecieron tres grietas, aproximadamente en el centro y en las terceras partes. Una de estas grietas apareció a unos 33 m de la extremidad, pero se cerró después de aplicar un pretensado parcial inicial de 7 kg/cm² al día siguiente. Al hormigonar las dos bandas laterales, las dos grietas aún abiertas en la banda central, experimentaron una especie de emigración hacia las bandas laterales. La temperatura del hormigón en el centro del espesor de las losas de estas bandas experimentó un descenso de 19°C durante la primera noche.

Batería de vibradores mecánicos.

Banda o margen de hormigón pobre.

Equipo de inyecciones.

Sellado de una junta de dilatación.

La banda central del segundo trozo se curó siguiendo los mismos procedimientos que en el primero, y aparecieron dos grietas transversales arbitrarias durante la primera noche. La diferencia de temperaturas durante este período fue de 14°C . La aplicación de una tensión de pretensado de $10,5 \text{ kg/cm}^2$ permitió cerrar prácticamente la grieta situada en la tercera parte de esta banda; sin embargo, la grieta de la proximidad del centro permaneció abierta. Las dos bandas laterales de este trozo se curaron de igual manera que la central, pero con una recubrición adicional con mantos de algodón impermeabilizados con papel de construcción. Sólo la grieta de la banda central migró hacia las dos bandas laterales. En el tercer trozo se empleó el manto de algodón impermeabilizado en las tres bandas, no observándose grieta alguna. La primera noche, el descenso de temperatura con este tipo de curado fue de sólo 7°C .

El esfuerzo de pretensado aplicado preliminarmente se aflojó después de haber fraguado el hormigón. Un día después de haber hormigonado se aplicó una tensión de 7 a 10 kg/cm^2 . Tan pronto como el hormigón de las tres bandas de un trozo determinado había adquirido suficiente resistencia, se aplicó la tensión final a todo el pavimento. Debido al rozamiento desarrollado entre cables y vainas, se procedió a tesar partiendo de las dos extremidades simultáneamente. Los cables transversales sólo se tesaron partiendo de una extremidad.

Después de terminar todas las operaciones del pretensado, se procedió a hormigonar con hormigón pobre las márgenes laterales longitudinales en una anchura de 38 cm. También se rellenó de hormigón armado el espacio entre trozos. Las márgenes laterales tienen un espesor de 18 cm y se han recubierto con una capa de 5 cm de hormigón asfáltico.

Terminado el hormigonado se procedió a inyectar una lechada de cemento. La lechada consistió en una disolución o lechada de unos 20 litros de agua por saco de cemento, a la que se le añadió un compuesto retardador de fraguado y atenuador de la retracción. Antes de inyectar se soplaron las vainas con agua. La inyección empezó por la parte más baja hasta que la lechada aparecía por la otra extremidad, o por ventosas practicadas entre los extremos procediendo, en este caso, por trozos sucesivos hasta llegar al final del trozo total. Aunque se pudo inyectar un trozo de 120 m de longitud a partir de un solo sitio, se comprobó que era mejor inyectar entre ventosas espaciadas a 30 m en los tubos longitudinales. La presión máxima de inyección fue de $10,5 \text{ kg/cm}^2$.

Después de terminar las inyecciones se formaron dos juntas de dilatación, una en cada extremidad de la pista pretensada. Cada una de estas juntas tenía una luz de 40 mm en el momento de su formación. Estas juntas consisten en un polisulfuro de caucho aplicado en forma de sellado en la parte inferior y superior de los 23 cm de espesor, rellenando el espacio hueco entre estos dos sellados con espuma de poliuretano de baja densidad. Además de estas dos juntas de dilatación, se formaron dos pseudojuntas, serradas en la parte central del relleno de hormigón entre trozos, practicadas tan pronto como el hormigón había fraguado suficientemente y no producía desportillado la sierra.

La operación final de esta pavimentación pretensada consistió en reparar las grietas aisladas que habían aparecido. Estas grietas se festonearon para darles una luz de 30 mm y se sellaron con una resina "epoxy".

La pavimentación realizada en esta base es la primera de esta clase que se realiza en ese país, y es objeto de especial observación, ya que los espesores reducidos empleados es un factor de consideración para el futuro. También se cree aportan una economía notable en los gastos de conservación.

Aunque el coste inicial es una tercera parte superior al de hormigón ordinario, se confía poder trabajar a precios de competencia actual.