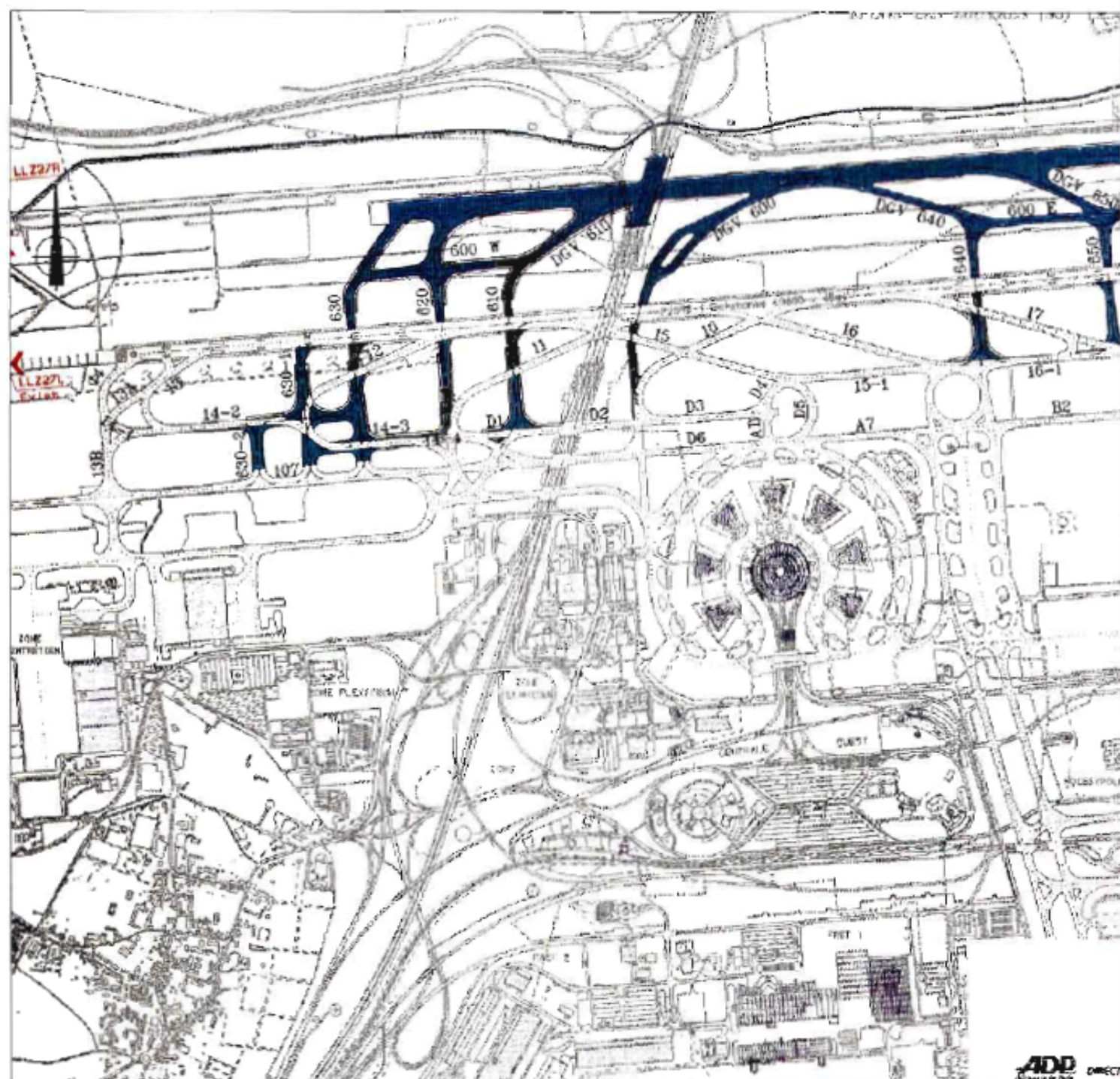


Construcción de la pista número tres de Charles de Gaulle



Planta general de la obra.

POR MANUEL PATIÑO, INGENIERO DE CAMINOS, CA-
NALES Y PUERTOS, JEFE DE
OBRA;
JOSÉ A. FERNÁNDEZ CUEN-
CA, INGENIERO AERONÁUTICO,
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
TRANSPORTES;

HADI DAOUD, INGENIERO IN-
DUSTRIAL, JEFE DEL SERVICIO DE
MOVIMIENTO DE TIERRAS; LOS
TRES DE DRACSAIX OBRAS Y
PROYECTOS, S.A.,
FERNANDO GARCÍA MANZA-
NO, LICENCIADO EN CIENCIAS
QUÍMICAS; GEOCISA.

Introducción

El día 7 de septiembre de 2000, a las 5h 30m, en-
tró en servicio la pista nº
3 del aeropuerto de Roissy -
Charles de Gaulle de París.

aeropuerto



Con esta pista se concluye la ampliación del campo de vuelo para aumentar la capacidad del aeropuerto hasta 55 millones de pasajeros anuales. La obra fue adjudicada por ADP (Aéroports de Paris) en marzo de 1999 a la UTE compuesta

por Dragados Obras y Proyectos y Bec Frères.

La nueva pista 3, paralela a la 1 y con una separación entre ejes de 400 m, permitirá el uso simultáneo de ambas en condiciones de vuelo visual. Esta pista 3 junto con la 4, también de reciente construcción, se usará principalmente para aterrizajes.

La obra principal es la construcción de la pista nº 3 de 2 700 m x 60 m, con márgenes pavimentados de 7,5 m, áreas de seguridad en extremos de pista y franjas niveladas. La anchura de 60 m la hace apta para las futuras aeronaves tipo F, de hasta 80 m de envergadura.

Todas las calles de rodadura para la conexión de la pista 3 con el resto de las vías de circulación de aeronaves del aeropuerto, así como la modificación de algunas vías existentes y la ejecución de caminos de servicio, forman parte del contrato. En algunos puntos se han construido plataformas de deshielo.

Adicionalmente, se incluía en el proyecto la prolongación de la antigua pista nº 1 en 600 m. Los cruces de las calles de rodadura con la pista 1, y la propia prolongación de esta pista, se terminó en el mes de noviembre, al ser obligatorio ejecutarla después de abierta la pista 3 al tráfico de aeronaves.

Descripción de las obras

La obra se divide en tres capítulos principales: tierras, redes y firmes. Bajo el epígrafe de redes se incluyen las obras de drenaje y las conducciones para cables, aunque no la colocación de cables, balizas y radioayudas que ejecutaba directamente el personal de ADP.

Tierras. - Los suelos de la zona son limos y margas. Los limos se estabilizan con cal para su uso

en terraplenes bajo las áreas pavimentadas, y con 2% de cal y 6% de cemento para la capa de asiento (explanada), de 35 cm de espesor. El total de tratamiento con cal, y con cal y cemento, ha sido de 750 000 m³.

Las margas solamente se usan solamente para rellenos en las franjas.

Las mediciones principales han sido: 760 000 m³ de tierra vegetal, 1 300 000 m³ de excavación o terraplén o vertedero, 950 000 m³ de terraplén de préstamos, y 220 000 m³ de capa de asiento.

Redes. - La pista está prevista para su uso en cualquier circunstancia meteorológica (Categoría III), por lo que es importante la red eléctrica subterránea y el número de dispositivos de balizamiento. En este capítulo se incluyen también las redes de desagüe de las aguas pluviales, las redes de alimentación eléctrica y las infraestructuras de las ayudas a la navegación.

Las obras más significativas de este capítulo son: 17 000 m de canalizaciones de drenaje, unos depósitos subterráneos de regulación con capacidad total de 11 000 m³, 33 000 m de bancos de tubos (multitubulares), 4 400 macizos de hormigón Mx para cimentación de las bases de balizas y 85 000 m de conducciones para cables entre bancos y balizas.

Firmes. - La superficie total de pavimentos nuevos es de 460 000 m². Aunque en la petición de ofertas de ADP se contemplaban las soluciones de pavimento asfáltico y pavimento de hormigón, la obra adjudicada corresponde a la primera solución.

El firme de la pista de vuelo está compuesto por 6 cm mezcla bituminosa discontinua en la capa de rodadura, 26 cm de base bituminosa de alto módulo y 45 cm de grava tratada con ligante hidráulico. En las calles de rodadura el espesor de la base bituminosa aumenta a 30 cm y el de la grava tratada a 56 cm. Los márgenes pavimentados constan

de 6 cm de rodadura bituminosa sobre 20 cm de gravas tratadas.

Las cantidades de estas unidades realmente ejecutadas han sido de 84 000 t de rodadura bituminosa, 313 000 t de base de alto módulo y 695 000 t de gravas tratadas con ligante hidráulico.

En lo que sigue se describe la ejecución del afirmado de la pista de vuelo y de las calles de rodadura.

Grava tratada con ligante hidráulico

La capa de subbase o cimiento del firme es una grava tratada con ligante especial para carreteras. Se trata de un cemento similar a nuestro tipo Esp VI, en el que la mayor parte del *clinker* se sustituye por una escoria finamente triturada.

El cemento ROC - AS, usado en esta obra, se compone de un 82% de escoria granulada, 6% de anhidrita y 12% de *clinker*. Tiene un fraguado y endurecimiento muy lentos, lo que permite un tiempo de manejabilidad de 10 horas a 20°C. Se dispone, por lo tanto, de hasta 10 horas desde la producción de la mezcla hasta el fin de la compactación, sin utilizar aditivos retardadores.

El árido proviene del machaqueo de roca calcárea dura, con unas especificaciones similares a las de nuestras gravas cemento.

La fórmula de trabajo de la mezcla fabricada es:

• Gravilla 6,3/20	50%
• Gravilla 3/6,3	18,5%
• Arena 0/3	20%
• Arena 0/2 natural	8%
• Ligante ROC AS	3,5%

Las características mecánicas exigidas a la mezcla son la resistencia a tracción R_t y el módulo elástico E , medidos a 360 días. Puesto que en general no hay tiempo para obtener los valores a



Central para la fabricación de gravas tratadas

360 días, se estiman a partir de valores a 60 días. En el estudio de laboratorio se obtuvo $R_{60} = 1,31$ MPa y $E_{60} = 31\,400$ MPa, lo que permitió estimar unos valores de R_{360} y E_{360} de 1,74 y 36 900 MPa respectivamente.

La fabricación se ha hecho en una central continua fija con mezclador horizontal. La dosificación de todos los materiales, incluida el agua, es ponderal, con registro continuo. Según las especificaciones francesas para las centrales de Clase 3, este registro de todos los datos de fabricación aparece en un puerto de salida, al que se puede conectar el cliente para conocer en tiempo real todos los parámetros del proceso de fabricación.

Sistema de puesta en obra de la grava tratada

La necesidad de colocar un espesor de hasta 56 cm en sólo dos capas imposibilitaba el uso de extendedoras convencionales, por lo que se decidió efectuar la puesta en obra con motoniveladoras dotadas de un sistema de guía moderno que permitiera trabajar con las precisiones y los rendimientos necesarios en esta obra. El sistema usado ha sido el denominado 3D-MC de Topcon.

Una estación total robotizada queda enfocada permanentemen-

te, y "persigue", al receptor, que va montado en la máquina y unido solidariamente al elemento de nivelación, es decir, a la hoja de la motoniveladora. Por lo tanto, se dispone de información en tiempo real de las coordenadas XYZ del reflector, y, en consecuencia, de la altura de la cuchilla respecto de la superficie requerida en cada punto. El sistema deduce también la dirección de avance de la máquina, y le transmite la información sobre la pendiente transversal. La motoniveladora dispone, sobre un mástil unido solidariamente a la cuchilla, de un receptor-reflecto, compuesto por un prisma óptico y un sensor láser. El mástil tiene un sistema de ajuste, desde la cabina, de la altura relativa del conjunto prisma-detector láser, que permite al operador variar el plano de trabajo en cada fase de la puesta en obra.

La base de este equipo es un ordenador portátil, unido a la estación total, en el que se introduce el diseño que se desea (superficie final de la obra) en forma de un modelo digital. Podría también introducirse la información en forma de datos del eje y la ley de peraltes. Dispone del software de intercambio de datos entre la estación total robotizada, a la que está unido, y el receptor montado en la máquina.

El intercambio de información entre la estación total y la máquina se realiza mediante un haz de láser, que también sirve para mejorar la definición de la coordenada Z. Este intercambio de información transmite a la máquina las instrucciones necesarias para mantener o corregir la situación de la cuchilla, tanto en cota como en pendiente transversal.

El sistema de ajuste de la posición de la cuchilla está formado por una caja de control, cuatro sensores y un bloque hidráulico. Se encarga de conocer la posición relativa de la cuchilla con respecto al cuerpo de la máquina y trasladar las instrucciones recibidas para materializar la posición requerida.

Método de trabajo

Para la ejecución de la extensión, se dividió el semancho de la pista en dos bandas de 15 m cada una. De esta manera, mientras en una mitad se extiende y nivela, en la otra se refina.

El procedimiento de trabajo fue la consecuencia del preceptivo tramo de prueba, donde quedó perfectamente definido. Se ejecutó dicho tramo colocando la primera capa con espesor de 30 cm y la segunda de 25 cm. A continuación, se describe el sistema de trabajo:

1ª Capa

- Humectación del soporte (cuando es necesario en tiempo seco).
- Extensión y nivelación de la mezcla con motoniveladora CAT-14H en el espesor necesario para conseguir una capa de 30 cm después de la compactación.
- Compactación de la capa con tres pasadas de Lebrero SUMO VM6 en alta amplitud.
- Refino de la capa con niveladora CAT-16H (equipo 3D).
- Compactación con tres pasadas de Lebrero SUMO VM6 en baja amplitud.
- Control de las densidades.

2ª Capa

- Humectación de la primera ca-



Estación total robotizada y ordenador.



pa (cuando el tiempo es seco).

- Extensión y nivelación de la mezcla con niveladora CAT-14H en el espesor necesario para conseguir una tongada de 25 cm de espesor.
- Compactación de la capa con tres pasadas de Lebrero SUMO VM6 en alta amplitud.
- Refino de la capa con niveladora CAT-16H (equipo robotizado).
- Compactación con dos pasadas de Lebrero SUMO VM6 en baja amplitud.
- Pasadas de sellado de los compactadores sin vibración.
- Control topográfico y de densidades *in situ*.
- Protección de la capa con el riego de curado y engravillado.

A fin de comprobar la resistencia mecánica, se sacaron testigos para rotura a tracción indirecta (brasileño) a 42 y 68 días, obteniéndose unos resultados de 1,31 y 1,40 MPa, respectivamente.

Según los estudios realizados por el laboratorio de Cementos de Origny, la resistencia a los 60 días es aproximadamente el 80% de la prevista a 90 días, y el 75% de la esperada a 365 días, por lo que se puede asumir que se obtendrán resistencias de 1,75 y 1,87 MPa, respectivamente, a estas dos edades. El valor mínimo exigido a 360 días es de 1,1 MPa.

Los resultados obtenidos en el último tramo de ensayo efectuado se resumen en la tabla 1, don-



Extensión de la grava tratada con ligante hidráulico.

PROFUNDIDADES	20 cm			15 cm			10 cm		
CONTROLES	DENSIDAD	% COMP.	% HUM.	DENSIDAD	% COMP.	% HUM.	DENSIDAD	% COMP.	% HUM.
Detrás de CAT-14H	2.054	88.4	5.5	2.011	87.5	5.4	1.986	86.3	5.4
1ª pasada (alta amplitud)	2.180	94.8	5.1	2.157	94.0	5.3	2.158	93.8	5.3
3ª pasada (alta amplitud)	2.281	99.2	5.4	2.257	98.1	5.4	2.273	98.3	5.5
1ª pasada (baja amplitud)	2.294	99.6	5.6	2.289	99.5	5.5	2.299	99.9	5.3
3ª pasada (baja amplitud)	2.326	101.1	5.6	2.323	101.0	5.7	2.321	100.9	5.7
2ª capa									
Detrás de CAT-14H				1.967	85.6	5.2	1.968	85.6	5.3
1ª pasada (alta amplitud)				2.071	94.4	6.4	2.171	94.4	6.5
3ª pasada (alta amplitud)				2.246	97.6	6.4	2.240	97.4	6.5
1ª pasada (baja amplitud)				2.300	100.0	6.5	2.296	99.8	6.4
2ª pasada (baja amplitud)				2.326	101.1	6.3	2.315	100.7	6.4
Profundidad de medida									
Final de compactación	2.348	102.0	6.1						

Tabla 1.

de se pueden ver la densidad, compactación y humedad para la primera y segunda capas extendidas y después de cada fase de la compactación.

Al inicio de cada jornada de trabajo, se comenzaba a extender con las dos motoniveladoras hasta disponer de una zona nivelada de unos 100 m de largo. A continuación, mientras la CAT 14H, guiada con un sistema convencional de ultrasonidos, seguía extendiendo camiones, la CAT 16H, usando el sistema 3D, llevaba a cabo una primera nivelación del material y posteriormente el refinado final.

Al final del día, mientras la 16H terminaba el refinado, la 14H recortaba los bordes del tramo ejecutado.

La utilización de este sistema de guías ha permitido conseguir, con las dos motoniveladoras, unas producciones de 6 500 a 8 000 toneladas en cada jornada.

Riego de curado y protección

Para proteger la capa ejecutada de la pérdida de agua y del eventual tráfico, se aplica un riego de curado compuesto por una dotación de 1.5 kg/m² de emulsión catiónica ECR-65, sobreestabilizada, y una protección de gravilla porfídica 4/6 con una dotación aproximada de 10 a 12 kg/m². La circulación queda prohibida durante al menos 48 horas.

Dado que la puesta en obra se realiza en dos capas, si el tiempo transcurrido entre la primera y la segunda es mayor de 24 horas, se debe ejecutar un riego de protección en la primera capa, y esperar un mínimo de dos días para ejecutar la segunda. En el caso normal de colocar las capas con menos retraso, basta con extender la segunda sobre la primera sin riego de curado. Generalmente se realizaban las dos capas en el mismo día.

Mezclas bituminosas

La grava betún para la capa de base de la pista y las calles de rodadura es una mezcla bituminosa en caliente de alto módulo, con granulometría continua 0/20 y un contenido de betún 20/30 relativamente bajo, definido como "contenido medio" en las especificaciones. Por su parte, la capa de rodadura es una mezcla discontinua 0/14 con un betún 35/50 dotado de un activante para mejorar la adhesividad.

Las especificaciones para los betunes no difieren mucho de las españolas, aunque para su conocimiento se presentan en la tabla 2.

De las especificaciones para áridos, se citan aquí sólo los puntos que difieren de nuestras especificaciones.

Para la capa de base, se exige un desgaste de Los Angeles de 25 y un Micro-Deval por vía húmeda de 20. Cualquiera de ambos valores puede ser superior al límite hasta en 5 puntos, siempre que la suma de los dos (L. A. + Micro-Deval) totalice 45. En el caso de la capa de rodadura estos valores son de 20 para el desgaste y 15 para el Micro-Deval.

El valor exigido del coeficiente de pulimento acelerado es de 0.48.

Se exige para las arenas un equivalente de arena mínimo de 60, medido con un contenido de finos del 10%. El valor de azul de metileno, máximo de 2, solamente se exige si el equivalente de arena es menor que el límite de 60.

Es sabido que en Francia están muy claros y perfectamente definidos los husos para cada uno de los tamaños del árido. Sobre la mezcla, solamente se dice que "la composición granulométrica de la mezcla de alto módulo definida en laboratorio debe permitir obtener las características exigidas".

El contenido de ligante está basado en la superficie específica del árido, y se define mediante la relación:

Porcentaje de ligante (sobre áridos) = $K \cdot \alpha \cdot \sqrt{\Sigma}$

en la que:

K = Módulo de riqueza.

α = $2.65/p$ (p es la masa volu-



Refino y compactación de la grava tratada

métrica de los áridos).

Σ = Superficie específica convencional del árido.

$100 \times \Sigma = 0.25 \times G + 2.3 \times S + 12 \times s + 135 \times f$.

G - Porcentaje de elementos superiores a 6.3 mm.

S - Porcentaje de elementos comprendidos entre 0.315 y 6.3 mm.

s - Porcentaje de elementos comprendidos entre 0.08 y 0.315 mm.

f - Porcentaje de elementos inferiores a 0.08 mm.

A continuación se exponen los resultados de los ensayos de laboratorio para las dos mezclas utilizadas en las pistas, indicando los límites especificados.

Fórmulas de trabajo y estudio de mezclas

El árido para la capa de base es una caliza dura procedente de la cantera de Boulonnais, con la siguiente dosificación:

Arena 0/4	45%
Gravilla 4/6	15%
Gravilla 6/10	16%
Gravilla 10/20	22%
Filler de aportación Picketty	2%
Betún 20/30 ELF	4.5%

El contenido de ligante (sobre áridos), es bastante más bajo que el usual en nuestras mezclas de alto módulo. Hay que aclarar que se definen en Francia dos tipos de mezclas: una con un contenido de ligante elevado (5.3% para GB 0/20), y otra con un contenido

medio (4.7% para GB 0/20). Este contenido teórico se corrige para tener en cuenta el peso específico real de los áridos, ya que el módulo de riqueza es fijo, siendo de 3.1 para la GB 0/20 de contenido elevado y de 2.8 para la de contenido medio, que ha sido la usada en esta obra.

En cuanto a la capa de rodadura BB 0/14 D, el árido es una riolita procedente de la cantera de Les Roches Baglione Averton. El módulo de riqueza especificado es de 3.4. Se aprecia la discontinuidad en la parte gruesa de la mezcla, con ausencia de gravillas comprendidas entre 6.3 y 10 mm. La dosificación de la mezcla en este caso es:

Arena 0/2	31.5%
Gravilla 2/6.3	20%
Gravilla 10/14	45%
Filler de aportación Picketty	3.5%
Betún 35/50 ELF	5.6%
El betún para la capa de roda-	

dura está activado para mejorar la adhesividad con el 3 por mil de aditivo Polyram L-200.

Las granulometrías utilizadas para el diseño de las mezclas de base (GB) y rodadura (BB) son las que aparecen en la *tabla 3*.

Se aprecia la discontinuidad en la capa de rodadura, con solamente un 6% de partículas entre los tamices de 6.3 mm y 10 mm.

A continuación, se presentan los resultados del estudio de ambas mezclas, junto con las exigencias establecidas.

Ensayos sobre grava betún de alto módulo

Ensayo prensa giratoria de cizallamiento, a 170 °C

Porcentaje de huecos a 100 vueltas	3.2%
Porcentaje de huecos a 120 vueltas	2.5%
El máximo admitido es de 10%	

Punto de reblandecimiento anillo y bola (TBA, °C)	55/63	50/56
Penetración, 25° C, 100 g, 5 s (mm/10)	20/30	35/50
Densidad relativa a 25° C	1/1.10	1/1.1
AT anillo y bola después de RTFOT, °C	≤ 8	≤ 8
TBA mínimo después de RTFOT, °C	≥ 57	≥ 52
% Penetración residual después de RTFOT	≥ 60	≥ 60
Punto de inflamación, °C	≥ 250	250
Ductilidad a 25° C, cm	> 25	≥ 60
Solubilidad, %	≥ 99.5	≥ 99.5
Contenido en parafina	≤ 4.5	≤ 4.5

Tabla 2.

a 120 vueltas

Ensayo Duriez (Inmersión - compresión)

Porcentaje de huecos residuales 4,10%
Resistencia en seco 9,98 MPa
Resistencia después de la inmersión 9,48 MPa
Relación r/R 0,95

La especificación de resistencia conservada es de 0,70 para la base.

Ensayo de roderas

Porcentaje de rodera a 1 000 ciclos 1,58%
Porcentaje de rodera a 30 000 ciclos 3,13%
El valor máximo admitido es de 8% a 30 000 ciclos.

Ensayo de tracción directa a 10°C y 0,02 s

Módulo secante 21 400 MPa
El módulo secante debe ser superior a 16 000 MPa.

Los resultados del estudio de laboratorio muestran que se dispone de una mezcla cuyas características cumplen holgadamente los límites especificados.

Sobre testigos de la capa de base se han efectuado ensayos de módulo complejo, obteniéndose un valor medio de 21 000 MPa, bastante superior al mínimo exigido (en el tajo) de 14 000 MPa.

Ensayos sobre mezcla de rodadura discontinua

Ensayo prensa de cizallamiento giratoria, a 170 °C

Porcentaje de huecos a 10 vueltas 14%
Porcentaje de huecos a 60 vueltas 7,1%
Los huecos deben ser superiores al 10% a 10 vueltas.

Ensayo Duriez

Porcentaje de huecos residuales 6,5%
Resistencia en seco 12,4 MPa

Tamiz	GB 0/20 ME % que pasa	BB 0/14 D % que pasa
20	98	100
14	86	94
10	77	60
6,3	63	54
4	47	44
2	31	35
1	20	25
0,315	11	15
0,08	7,2	8
Masa volumétrica real (mezcla) g/cm ³	2,51	2,46
Masa volumétrica real (áridos) g/cm ³	2,68	2,67
Módulo de riqueza	2,8	3,4

Tabla 3.

Resistencia después de la inmersión 10,7 MPa
Relación r/R 0,86
Para la capa de rodadura discontinua, la resistencia conservada será superior a 0,80.

Ensayo de roderas

Porcentaje de huecos inicial 5,9%
Porcentaje de rodera a 30 000 ciclos 5,1%
El valor máximo admitido es de 8% a 10 000 ciclos.

Ensayo de tracción directa a 10°C y 0,02 s

Módulo secante: 15 050 MPa
El módulo secante mínimo exigido es de 8 000 MPa.

Fabricación de las mezclas bituminosas

El equipo de maquinaria principal para la ejecución de las mezclas es bastante importante, si se tiene en cuenta solamente las cantidades de obra ejecutadas. Hay que aclarar que la mayor parte del

pavimento se ha hecho en invierno y primavera, con temperaturas bajas y abundantes precipitaciones.

Se instalaron dos centrales asfálticas discontinuas Intrame UM-260, que tuvieron que sufrir algunas modificaciones para adaptarlas a la normativa francesa, en especial en lo referente al sistema de adquisición y transmisión de los datos de funcionamiento.

Con estos datos de funcionamiento se produce un resumen diario, en el que figuran para cada hora de fabricación, los valores medios y desviaciones de pesos de cada fracción y temperatura de la mezcla. Se presenta uno de estos estadillos en la tabla 4.

Diariamente, se toman cinco muestras para el control de la granulometría y del contenido de betún (tabla 5).

Puesta en obra de las mezclas bituminosas

El equipo de puesta en obra es también bastante completo para absorber la producción de las dos centrales y conseguir rápidamente la compactación exigida.

- 3 extendedoras Vögele Super 1800 SF, con rampa de riego integrada.
- 1 extendidora ABG Titán 323-ES, con rampa de riego integrada.
- 6 compactadores de neumáticos Dynapac CP271.
- 2 compactadores vibratorios Dynapac CC501A.

El contenido de ligante (sobre áridos) es bastante más bajo que el usual en nuestras mezclas de alto módulo

- 2 compactadores vibratorios Dynapac CC421.

Los espesores mínimos de capa que aparecen en las especificaciones francesas, y en particular en el caso de ADP, son mayores que los usuales en España, ya que normalmente son de cinco veces el tamaño máximo del árido. Los espesores totales de base asfáltica eran de 26 y 30 cm, debiendo ser colocados en dos capas, que evidentemente han sido de 13 y 15 cm respectivamente.

La extensión de ambas capas se efectúa con cables de nivelación. Solamente para la capa de rodadura se usan reglas largas copiando la capa superior de la base.

La anchura de extensión es de 4,5 m por extendidora, trabajando con dos pavimentadoras en paralelo o, más exactamente, escalonadas, para cada una de las centrales. Este ancho básico tiene variaciones entre 4,3 y 4,9 m para evitar la superposición de juntas entre las tres capas (dos de



Centrales asfálticas.

base y una de rodadura).

Con las extendedoras utilizadas se consigue una buena compactación a la salida de la plancha, ya que se trata de máquinas de última generación, aunque no estén dotadas de reglas de alto poder de compactación.

Un punto importante, aunque sea algo sobradamente conocido en la buena práctica de la puesta en obra de mezclas, es que las

máquinas deben trabajar a una velocidad constante, que corresponda a la mínima compatible con la producción de las centrales. De este modo, se disminuye al máximo el inevitable tiempo de parada entre el final de la descarga de un camión y el comienzo del siguiente, y se mejora la regularidad superficial.

En esta obra se ha dado una extraordinaria importancia a la limpieza de la superficie sub-

Résumé production journalière centrale d'enrobé 24/05/00 BB 0/14 D

Heure		14-20	7-14	3-7	0-3	Filler rec.	Filler ap.	P. Totale	Bitume	Tempér.
	P. Théorique	510	765	399	993	72	99	2838	162	164
7 à 8	Moyenne	508	759	396	994	72.3	98.3	2828.3	162.3	165
	Écart Type	8.6692	12.3990	7.7550	14.2414	0.7673	1.6156	27.5558	0.8718	2.7150
8 à 9	Moyenne	508	765	399	993	72.0	99.0	2836.7	162.0	161
	Écart Type	9.2541	9.0162	7.0101	13.8738	0.6547	1.5995	20.6320	0.7789	1.0343
9 à 10	Moyenne	510	764	399	992	72.1	99.3	2835.1	162.0	162
	Écart Type	7.0127	11.9763	7.0026	12.3339	0.6830	1.9241	21.9951	0.7247	0.7247
10 à 11	Moyenne	512	766	398	994	72.0	98.9	2641.5	162.0	161
	Écart Type	8.2612	9.7468	6.6703	12.8468	0.7681	1.7641	21.3087	0.7540	0.6320
11 à 12	Moyenne	511	765	398	994	71.9	99.5	2839.1	162.3	162
	Écart Type	8.3063	11.2074	7.0962	14.0418	0.6990	1.5584	21.3016	1.4533	2.3212
12 à 13	Moyenne	508	764	401	993	72	99	2837	162	161
	Écart Type	8.4767	10.6816	7.8785	13.9869	0.8590	1.6824	20.6131	0.6936	0.5733
13 à 14	Moyenne	510	765	399	993	72	99	2837	162	161
	Écart Type	8.4836	7.5019	6.4814	15.3704	0.7937	1.7692	19.8506	0.8111	0.2948
14 à 15	Moyenne	512	766	399	995	72	99	2842	162	161
	Écart Type	7.9042	10.4791	3.6963	13.7806	0.6790	1.7367	19.7591	0.7717	0.3635
15 à 16	Moyenne	513	761	398	994	72	99	2836	162	163
	Écart Type	8.4019	10.1268	6.2470	11.2482	0.9795	1.8964	21.6810	0.7229	2.7180
16 à 17	Moyenne	510	765	399	994	72	99	2839	162	162
	Écart Type	8.2231	10.3056	6.0742	13.5874	0.8853	1.6858	21.1672	1.1075	2.4361
17 à 18	Moyenne	510	763	398	992	72	99	2834	162	164
	Écart Type	6.9541	10.8919	6.4687	12.9325	0.6907	1.6908	18.7844	0.6753	1.3311
	Moyenne									
	Écart Type									
Totale de la journée	Moyenne	510	764	399	993	72.0	99.0	2.837.9	162.1	162
	Écart Type	8.3216	10.1939	6.5833	13.5615	0.7728	1.7158	20.8573	0.8762	1.8973

Tabla 4.

Date 24/05/00

Matériel BB 0/14 D

Centrale

DRAGADOS

RÉSUMÉ JOURNALIER DE TENEUR EN LIANT ET GRANULOMÉTRIE

Nombre d'échantillons 5

TENEUR EN BITUME (S/GRANULAT)

Moyenne 5,61

Écart type 0,060

GRANULOMÉTRIE

Tamiz	25	20	14	10	6,3	4,0	2,0	1,0	0,5	0,32	0,08
Moyenne		100,0	94,2	61,5	56,8	45,7	33,7	23,1	16,2	13,2	8,1
Écart type		0,000	0,722	1,084	0,416	0,832	0,790	0,589	0,409	0,463	0,202

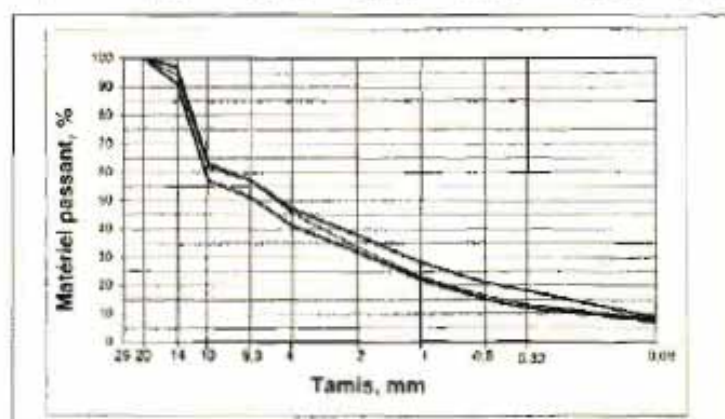


Tabla 5.

yacente durante la ejecución de cada capa, cosa que nos parece lógica y muy importante. Por ello se dispone en obra de barredoras con aspiración, y adicionalmente una pequeña barredora montada en un Bob-Cat que evoluciona magníficamente delante de la zona de extensión ante la aparición de cualquier suciedad. Como anécdota, diremos que es capaz de retirar cantidades importantes de mezcla asfáltica derramada por camioneros poco cuidadosos.

Una de las peculiaridades de esta obra es la necesidad de utilizar, en todas las capas, extendedoras con rampa de riego integrada, es decir, que realizan el riego de adherencia simultáneamente con la extensión. Esto ha dado lugar a una serie de problemas añadidos a una puesta en obra, ya de por sí bastante delicada.

Las extendedoras con sistema de riego de adherencia integrado fueron desarrolladas específicamente para la colocación de capas

delgadas, lo que supone velocidades de colocación relativamente altas. Al estar obligados en esta obra a extender capas gruesas, a muy baja velocidad de avance, uno de los tipos de máquinas usado era incapaz de manejar los pequeños caudales de emulsión necesarios.

La disminución de la anchura de la extensión no solucionaba enteramente el problema, y por supuesto el trabajar a más velocidad con paradas intermitentes no deja de ser una chapuza. El problema quedó solucionado actuando conjuntamente con los fa-



Extensión de la base asfáltica de alto módulo.



Riego de adherencia en la extendidora.

bricantes y modificando el tipo de difusores, las presiones de trabajo y el sistema de control.

Otra dificultad añadida estaba provocada por el tipo de emulsión y el clima de París, ya que se iniciaron los trabajos de pavimentación al final del otoño y principio del invierno.

El material para el riego de adherencia era una emulsión catiónica de betún polímero (SBS) de rotura rápida, con un contenido en agua menor que el 36%. Aunque se llevaba caliente en el depósito calorifugado (y eventualmente calefactado) de las extendidoras, la importante longitud de tuberías, bombas y válvulas producía en ciertos casos atascos y un mal reparto del ligante. Fue necesario efectuar algunos cambios en el sistema de válvulas y tuberías, aumentando el aislamiento térmico.

Esta forma de aplicación del riego entre las capas ha permitido asegurar una adherencia perfecta entre ellas, aun teniendo en cuenta, como se ha mencionado, la difícil época de trabajo de este contrato. Exige, no obstante, un mantenimiento muy cuidadoso de las máquinas, ya que es necesario al finalizar la jornada vaciar y limpiar todo el sistema de riego, todos los difusores (bastante poco accesibles) e in-

cluso retirar la emulsión residual del tanque.

Otra actuación poco usual es que los bordes exteriores de las capas extendidas se recortaban con una fresadora pequeña, lo que permitió una gran rapidez de ejecución y una buena limpieza de la zona.

En resumen, el trabajo con una mezcla de base de alto módulo, en espesores importantes y con unas condiciones climáticas duras, se ha podido hacer respetando cuidadosamente las reglas de la buena práctica de la puesta en obra y usando una cierta dosis de imaginación.



Borde de la base asfáltica. Se aprecia el corte de la junta con fresadora.

La extensión de la capa de rodadura no presentó los mismos problemas, al tener menor espesor y aumentar, por lo tanto, la velocidad de las extendidoras.

Una exigencia singular de ADP era la obligatoriedad de efectuar un "arañado" de la superficie de la base antes de colocar la rodadura. Esta operación consiste en un microfresado, con objeto de crear una superficie rugosa que mejore la adherencia entre la base y la rodadura. No planteó otro inconveniente que el costo de esta operación y el del subsiguiente barrido intenso de la superficie.

La inspección de los testigos extraídos ha mostrado también una perfecta adherencia entre base y rodadura en toda la superficie pavimentada.

Resueltas las dificultades iniciales, la extensión de la base de alto módulo con gran espesor, así como la de la capa de rodadura discontinua, han sido un éxito, pues en las fichas de control exterior emitidas por ADP para cada uno de los tramos de obra ejecutados, se aceptan sin disconformidades. Debemos señalar que ADP es un cliente extraordinariamente exigente, y probablemente más con una empresa extranjera.

Tramo de ensayo de grava-betún

Antes de comenzar la extensión de cada capa, se realiza un tramo de ensayo, controlando el grado de compactación después de cada actividad, con objeto de fijar el procedimiento de trabajo.

Se adoptó el sistema tradicional francés de efectuar la compactación principal con los neumáticos, terminando con rodillos lisos.

El espesor del tramo de ensayo, cuyos resultados se muestran a continuación, fue de 15 cm. Las densidades están referidas a la máxima conseguida con el método Duriez en laboratorio.

Las medidas con método nuclear se efectuaron en los siguientes momentos durante la ejecución del tramo de prueba:

- 1 - Salida de la extendidora.
- 2 - Después de 2 pasadas de neumático con presión de 0,4 MPa.
- 3 - Después de 3 pasadas de neumático a 0,4 MPa.
- 4 - Después de 1 pasada de neumático a 0,8 MPa.
- 5 - Después de 2 pasadas de neumático a 0,8 MPa.
- 6 - Después de 1 pasada de rodillo liso con vibración.
- 7 - Después del planchado final.

Como es habitual, por pasada se entiende una ida y vuelta de cada máquina. Se obtuvieron los resultados que aparecen en la tabla 6.

Tramo de ensayo de rodadura

Para la puesta en obra de la capa de rodadura discontinua, se adoptó el esquema de compactación más usual en nuestro país, es decir, entrando con rodillo liso seguido de los neumáticos. El acabado final consta de al menos dos pasadas dobles de rodillo liso, ya que, además de conseguir un cierto incremento en la densidad, tiene una influencia decisiva en la regularidad superficial.



Extensión de la base asfáltica.

La medida de densidades se hizo según la siguiente secuencia:

- 1 - Salida de la extendidora.
- 2 - Después de la primera pasada de rodillo liso con vibración.
- 3 - Después de la segunda pasada de rodillo liso con vibración.
- 4 - Después de 3 pasadas de neumático a 0,4 MPa.
- 5 - Después de 3 pasadas de neumático a 0,8 MPa.
- 6 - Después de 1 pasada de rodillo liso sin vibración.
- 7 - Después del planchado final.

Los resultados de esta banda de ensayo fueron los que aparecen en la tabla 7.

Resultados de los controles de regularidad superficial

Las exigencias de nivelación

que se aplicaron en toda la obra fueron:

- Capa de rodadura $\pm 0,5$ cm
Capas inferiores ± 1 cm.

Como referencia, las especificaciones de carreteras en España admiten 10 mm para capas de rodadura y 15 mm para capas inferiores. Los ensayos de control interno y externo no han detectado ninguna disconformidad en este apartado.

El control diario de regularidad superficial se hacía con la regla de tres metros. La regla usada se compone de un perfil de aluminio de 100 x 20 mm, apoyado sobre unos soportes en sus extremos, de forma que la regla queda elevada sobre el pavimento. Las tolerancias admitidas son:

- Capa de rodadura 3 mm

Secuencia de compactación en la capa de base							
	1	2	3	4	5	6	7
Nº de puntos medidos	9	8	8	8	8	8	24
Densidad media	2,006	2,155	2,242	2,292	2,299	2,366	2,414
% compactación media	83,6	89,8	93,4	95,5	95,8	98,6	100,6
Desviación típica	0,789	1,660	3,220	2,587	2,064	3,015	1,552

Tabla 6.

Capas inferiores 10 mm.

En España, y en carreteras para velocidad específica de 100 km/h o superior, se admiten 4 mm para la rodadura, 6 mm para la intermedia y 9 mm para la base.

El método de medida consiste en una cuña que se introduce entre la regla y el pavimento. Esta cuña tiene grabada, en su parte superior, una escala donde figura la altura en cada punto, por lo que es muy fácil y rápido detectar la flecha máxima (o mínima). El cero de la escala corresponde a la altura de la regla sobre sus soportes.

A título de ejemplo, en la tabla 8 se muestra el control de un pequeño tramo de grava-betún. La regla se coloca en cada perfil, en dos puntos longitudinalmente, y en el eje y en la junta transversalmente, reflejando en un estadillo los valores mayores leídos.



Medida de la regularidad superficial con regla de tres metros

Dado el cuidado que se llevó en todas las labores de extensión y compactación, y en especial en el acabado de las juntas longitudinales y transversales, no existieron disconformidades en este control.

La recepción final de la capa de rodadura se hace con el APL (Analizador del Perfil Longitudinal), cuyos resultados deben cumplir los coeficientes de la tabla 9.

El control efectuado mediante el APL tiene un paso de medida de 14,64 cm, efectuando la integración cada 200 m. Para cada una de estas secciones de integración se da una "nota" que varía entre 1 y 10. En la tabla 10 se muestra el resumen del informe emitido por el laboratorio de Technologies Nouvelles, a lo largo de 8 recorridos de medida a ambos lados del eje de la pista.

Una vez terminada la pavimentación de la pista por nuestra parte, todavía no se había pavimentado el puente sobre la Autopista A-1 París - Lille, objeto de otro contrato. Este es el motivo de que los resultados se dieran por separado para los tramos de pista situados al este y al oeste de esta estructura.

Puesto que estos valores no tienen equivalencia con nuestras especificaciones, se pidieron también los resultados del IRI correspondientes a las mismas líneas de ensayo. Nuestras especificaciones para carreteras exigen que el 100% de las medidas sean inferiores a 2,5, el 80% menores de 2 y el 50% menores de 1,5.

Los valores obtenidos, que aparecen en la tabla 11, muestran que, en el 50% de los hectómetros,

Secuencia de compactación en la rodadura

	1	2	3	4	5	6	7
Nº de puntos medidos	12	12	12	12	12	12	12
Densidad media	1.921	2.117	2.176	2.210	2.253	2.273	2.290
% compactación media	83,5	92,0	94,6	96,1	98,0	98,8	99,6
Desviación típica	0,365	0,491	0,896	0,303	0,296	0,329	0,230

Tabla 7.



Aspecto de una junta de trabajo en la capa de base.

Régle de 3 m				
Date	10/03/00	Matériau	GRAVE BITUME	
Profil	Position	Voie finisseur	Coté voie	Dif. max, mm
97	L	5D	G	-2,0
97	T	5D	--	5,0
97	L	5D	D	4,0
97	T	5D/6D	--	-3,0
99	L	5D	G	-1,0
99	T	5D	--	6,0
99	L	5D	D	3,0
99	T	5D/6D	--	-2,5
94	L	6D	G	4,0
94	T	6D	--	3,0
94	L	6D	D	1,5
94	T	6D/7D	--	6,0
96	L	6D	G	4,0
96	T	6D	--	3,0
96	L	6D	D	1,5
96	T	6D/7D	--	6,0
98	L	6D	G	2,5
98	T	6D	--	3,0
98	L	6D	D	1,5
98	T	6D/7D	--	5,5

Tabla 8

Longitudes de onda	Umbral mínimo	
	(100%)	(90%)
Pequeñas (1 a 2,8 m)	4	6
Medias (2,8 a 11,2 m)	5	6
Grandes (11,2 a 44,8 m)	7	9

Tabla 9

tros, el IRI es inferior a 0,86; en el 80%, inferior a 1,04; y el valor máximo es de tan solo 1,70. Se

puede afirmar que se ha conseguido una excelente regularidad superficial en la pista 3.

También se ha medido el coeficiente de rozamiento de la pista, obteniendo resultados también superiores a los mínimos especificados, cosa que no es de extrañar dada la mezcla usada con granulometría discontinua, que proporciona una excelente textura superficial. En el momento de escribir estas líneas, no se disponía del resumen de estos resultados, medidos directamente por ADP.

Bases para balizas

Una dificultad añadida para conseguir un acabado superficial de alta calidad eran los macizos de hormigón para el apoyo de las balizas empotradas en el pavimento de la pista de vuelo y vías de rodadura, denominados MX. Del total de 4 400 macizos MX colocados, 2 800 corresponden al balizamiento de pistas, quedando por tanto embebidos en la base asfáltica. El resto pertenece al sistema de luces de aproximación.

Estos elementos prefabricados de hormigón armado, de base cuadrada y parte superior troncopiramidal, con dimensiones de 1 m x 1 m x 0,26 m, tienen la misión de evitar el punzonamiento

APL PISTA Nº 3									
ZONA OESTE		IZQUIERDA				DERECHA			
Ondas	Medidas	10 m	7,5 m	5 m	2,5 m	2,5 m	5 m	7,5 m	10 m
PO	Mínimo	7,00	8,00	8,00	9,00	9,00	7,00	8,00	8,00
(4)	Medio	8,00	8,67	8,33	9,00	9,33	7,00	8,67	8,67
MO	Mínimo	7,00	6,00	7,00	8,00	9,00	9,00	7,00	6,00
(5)	Medio	8,33	8,33	9,00	9,33	9,67	9,00	9,00	8,67
GO	Mínimo	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
(7)	Medio	9,67	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
ZONA ESTE		IZQUIERDA				DERECHA			
Ondas	Medidas	10 m	7,5 m	5 m	2,5 m	2,5 m	5 m	7,5 m	10 m
PO	Mínimo	9,00	8,00	8,00	6,00	8,00	8,00	7,00	8,00
(4)	Medio	9,13	8,75	8,75	8,63	8,25	8,50	8,00	38,00
MO	Mínimo	9,00	10,00	10,00	9,00	9,00	9,00	8,00	9,00
(5)	Medio	9,75	10,00	10,00	9,75	9,75	9,63	9,63	9,88
GO	Mínimo	9,00	9,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
(7)	Medio	9,75	9,88	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Tabla 10

IRI PISTA Nº 3

ZONA OESTE		IZQUIERDA				DERECHA			
Sección	Abscisa	10 m	7,5 m	5 m	2,5 m	2,5 m	5 m	7,5 m	10 m
1	0	1.47	1.50	1.33	1.09	1.03	1.38	1.47	1.38
2	100	0.65	0.65	1.01	0.66	0.61	0.92	0.86	0.73
3	200	0.70	0.76	0.96	0.74	0.66	1.58	0.84	0.91
4	300	1.25	0.98	0.96	0.65	0.64	1.30	0.96	0.80
5	400	1.14	0.79	0.82	0.72	0.76	1.24	0.68	0.87
6	500	1.03	0.90	0.97	0.54	0.79	1.26	0.73	0.80
7	600	0.72	0.96	1.13	0.99	1.36	1.09	0.75	0.89
ZONA ESTE		IZQUIERDA				DERECHA			
Sección	Abscisa	10 m	7,5 m	5 m	2,5 m	2,5 m	5 m	7,5 m	10 m
1	0	1.06	1.13	0.99	1.19	1.20	1.16	1.35	1.20
2	100	0.86	0.79	0.78	0.93	0.84	0.75	1.35	0.91
3	200	0.68	1.25	1.12	0.67	0.85	0.82	1.09	0.71
4	300	0.71	0.86	0.84	0.63	0.84	0.74	1.11	0.80
5	400	0.50	0.90	0.89	0.78	0.86	0.74	1.22	0.90
6	500	0.91	0.68	0.69	1.19	0.97	0.83	1.09	0.92
7	600	0.64	0.64	0.84	1.00	0.83	0.85	0.96	0.78
8	700	0.66	0.62	0.57	0.72	1.02	0.75	0.85	0.77
9	800	0.72	0.82	0.82	0.74	0.96	0.83	0.97	0.92
10	900	0.83	0.62	0.66	0.81	0.96	0.88	1.12	1.11
11	1 000	1.12	0.93	0.82	0.76	0.93	0.89	0.88	0.72
12	1 100	0.89	0.73	0.72	0.72	1.00	0.94	0.90	1.04
13	1 200	0.75	0.78	0.75	0.78	0.97	0.80	1.00	0.79
14	1 300	0.64	0.71	0.75	0.67	1.02	0.83	0.89	0.96
15	1 400	0.66	0.66	0.78	0.84	1.02	0.79	1.04	0.98
16	1 500	0.60	0.73	0.76	0.84	1.16	0.86	1.02	1.15
17	1 600			0.96	0.89	1.08	1.03	1.70	1.03

Tabla 11.

de las bases de las balizas en las capas inferiores del firme, actuando como una zona de transición.

En la capa de grava tratada se colocan previamente, mediante unas rozas, los tubos de PVC para el paso de los cables de alimentación entre los bancos de tubos exteriores a las superficies pavimentadas y las balizas. Estas rozas se rellenan con hormigón magro.

Sobre la primera capa de base asfáltica de alto módulo, se replantea con precisión la situación de los macizos y, mediante una pequeña fresadura, se corta un cuadrado hasta la grava tratada, con unas dimensiones en planta ligeramente superiores al macizo, retirando el detritus con una barredora aspiradora.

Una vez localizado y descubierto el conducto de PVC, se vierte una capa de mortero seco de un par de centímetros, que sirve de base para el macizo. Me-

diante un camión grúa se coloca suavemente el macizo, evitando dañar el tubo de PVC, y se sitúa de manera precisa mediante un útil especial preparado en la obra, rellenando el espacio libre con un hormigón tipo B-25.

El tubo para la conducción de los cables se centra en el agujero del MX, llenado el espacio existente entre ambos con un

Una dificultad añadida para conseguir un acabado superficial de alta calidad eran los macizos de hormigón para el apoyo de las balizas empotradas en el pavimento de la pista de vuelo

mortero seco. Con el fin de que las extendedoras no dañen los tubos, se cortan éstos uno o dos centímetros por debajo del borde superior del macizo, se les coloca un tapón de PVC y se recubre con mortero. Esto evita la entrada de aglomerado y que el calor de éste funda los tapones de plástico.

El borde exterior de cada macizo queda enrasado con la primera capa asfáltica, mientras que la parte superior se sitúa ligeramente bajo la superficie de la segunda capa de base. A pesar de esta multitud de obstáculos, se obtuvo, como se ha dicho, una regularidad superficial excelente.

Conclusiones

Las especificaciones francesas en general, y las de ADP en particular, no son en principio ni más duras ni más blandas que las específicas. Simplemente son dife-



Interferencia de las bases de balizas al colocar la 2ª capa de base

rentes, y por lo tanto hay que conocerlas bien y mentalizar a todo el equipo de obra para respetarlas rigurosamente cuando se trabaja en Francia.

Podemos decir que en ciertos aspectos son más permisivas que las españolas, como por ejemplo en cuanto a equipos de puesta en obra de la grava tratada, admitiendo el uso de motoniveladoras. Evidentemente la utilización de este sistema de puesta en obra es posible si el tiempo de manejabilidad de la mezcla es alto, cosa que se conseguía directamente con el cemento especificado, sin necesidad del uso de retardador del fraguado.

La puesta en obra de la base tratada con ligante hidráulico, mediante motoniveladora dotada de sistema de guía 3D, ha permitido la ejecución en dos tongadas gruesas, tal como se especificaba en el contrato. Con este método moderno de nivelación y el resto del equipo de maquinaria usado, se ha conseguido un satisfactorio acabado superficial con altas producciones, y la correcta compactación de los 45 o 56 cm de espesor total.

La extensión de la capa de base de alto módulo en espesores de

13 y 15 cm exige extremar los cuidados, siguiendo fielmente lo que se considera como la buena práctica de la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente.

Aun trabajando en una época climática poco propicia, los resultados de la adherencia entre las capas, la compactación y la regularidad superficial han sido siempre plenamente satisfactorios.

También en este caso existe un criterio diferente al especificado en nuestro país, ya que se ha podido trabajar con temperaturas inferiores a cero grados, pues el cliente solo pide que se cumplan las especificaciones del producto terminado, es decir, adherencia entre capas, compactación y regularidad superficial.

La buena adherencia entre capas ha quedado asegurada gracias a una exquisita limpieza de la capa subyacente, al uso de extendedoras con rampa integrada y a la utilización de una emulsión modificada de excelente calidad. En el caso de la capa de rodadura, el microfresado de la superficie de la base ha contribuido a mejorar la unión entre capas.

Aunque se han utilizado unas extendedoras dotadas de planchas de compactación convencionales, no se han detectado problemas de mala regularidad superficial. En general, todas las extendedoras modernas son adecuadas para la colocación de mezclas en espesores relativamente grandes, consiguiendo un buen acabado y una correcta regularidad superficial.

El cliente ha quedado muy satisfecho de la calidad general de toda la obra. ■



Comprobación final y prueba de carga de la pista