



¿HORMIGÓN O ASFALTO?

Por el Teniente Coronel SERVET

A continuación pretendemos hacer un estudio sobre estas dos clases de firmes para las pistas de un aeropuerto, con objeto de precisar de una manera esquemática las ventajas e inconvenientes de ambos y, como consecuencia, determinar cuál debe ser el material empleado.

Este estudio comprende los puntos siguientes:

- a) Consideraciones funcionales.
- b) Resistencia mecánica.
- c) Duración y entretenimiento.
- d) Estudio económico.

Dada la complejidad del problema, en el que en ocasiones influye definitivamente la ubicación de los materiales a emplear, nos vamos a referir al Aeropuerto Transoceánico de Madrid, cuyo emplazamiento será el antiguo aeropuerto de Barajas.

a) Desde el punto de vista funcional, hemos de considerar los coeficientes de adherencia entre las ruedas y el firme, que influyen en el despegue y aterrizaje como factores preponderantes. Y la capacidad de resistencia del firme, que actúa notablemente sobre la presión de inflado de las ruedas.

1.º Respecto a la adherencia, puede condensarse en la serie de coeficientes tipo que se indican en el cuadro siguiente, y mediante los cuales se determinan, con

bastante aproximación, las longitudes necesarias rodadas en el despegue y aterrizaje:

Naturaleza del firme	Coficiente
Hormigón de cemento.....	1
Hormigón de asfalto.....	1,01
Macadam.	1,15
Tierra apisonada.....	1,20
Césped duro.....	1,37
Hierba.....	1,50
Arena.....	2

Conocida la distancia que rueda en el despegue un avión en un firme dado, para deducir la que rodará en otro firme de la tabla es suficiente multiplicar aquélla por la relación de coeficientes correspondientes.

Por ejemplo, un avión que en firme de macadam rodara 800 metros, en otro firme de hormigón de asfalto rodaría

$$800 \times \frac{1,01}{1,15} = 702 \text{ metros.}$$

Para el aterrizaje, prescindiendo de la acción del frenado, es necesario multiplicar por la relación inversa.

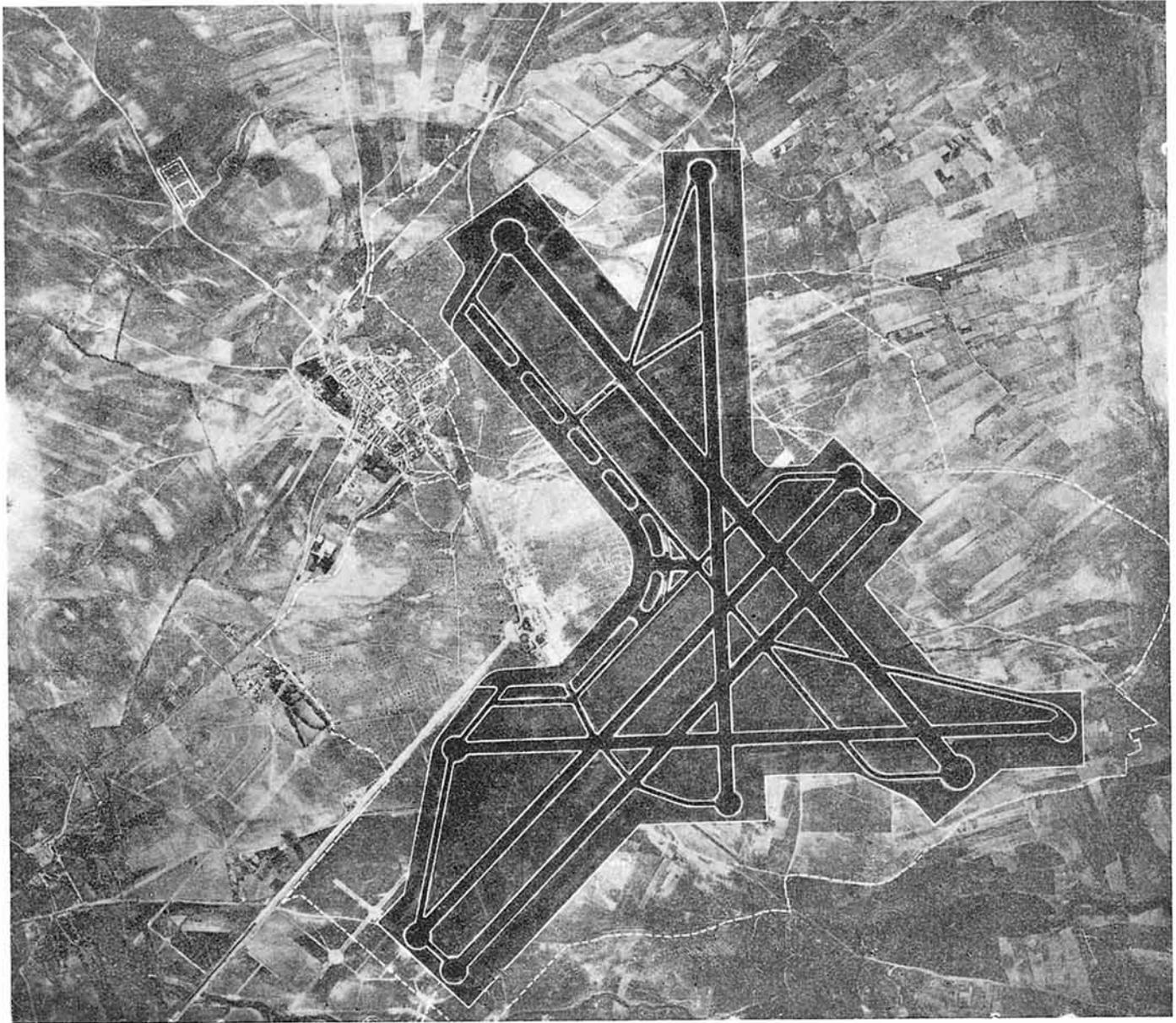
En ambos casos nos referimos a super-

ficies igualmente lisas, difíciles de conseguir en firmes de distinta naturaleza que el de hormigón, ya que incluso en el de asfalto acaban formándose ondulaciones transversales (recuérdese lo que ocurre en las carreteras asfaltadas), que dificultan el despegue y perjudican en el aterrizaje, dando en ocasiones origen a trepidaciones peligrosas, máxime si se tiene en cuenta que su frecuencia es función de la velocidad y, por consiguiente, puede asegurarse que en algún momento se sintonizarán con la frecuencia propia de elementos del avión, tales como herrajes, larguerillos, etc., en los que por este hecho se cesarán oscilaciones, que a la larga pueden comprometer la resistencia mecánica del mismo.

Desde este punto de vista, el peor firme de todos es el asfalto, en el que siempre se presentan estas ondulaciones.

Si consideramos solamente la rodadura, el hormigón y el asfalto son comparables, con ligera ventaja hacia el hormigón en el despegue y sin que su desventaja en el aterrizaje tenga importancia.

2.º En una conferencia leída por mister J. Wright, director general de las fábricas Dunlop Rim and Wheel Works, se razonan las ventajas de las pistas de hormigón armado, considerando la disminución de peso de los trenes de aterrizaje en los grandes aviones de transporte, por



PROYECTO DEL AEROPUERTO DE BARAJAS

la posibilidad de aumentar la presión de inflado de las ruedas, que conduce a que éstas sean de menor diámetro y sección y, por consiguiente, más ligeras. A lo largo de su conferencia deduce que si en un avión de unas 18 Tm. de peso se incrementa la presión de las ruedas de 2,38 kilogramos por centímetro cuadrado a 6,12, la economía de peso es de 227 kilogramos, que supone tres pasajeros más.

Es evidente que las empresas comerciales han de procurar por todos los medios aquilatar el peso en vacío cuando, como en este caso, no se disminuye el coeficiente de seguridad del avión.

Por consiguiente, es preciso preparar las pistas para este aumento de presión, limitado hoy por consideraciones que no entran en el marco de este estudio, pero que no supone un límite para las posibilidades industriales en la actualidad. Ca-

be pensar que en el futuro este aumento no se limite a las cifras anteriores; pero así como es relativamente fácil sustituir el tren de aterrizaje de un avión o sustituir éste, no lo es tanto reformar un campo de vuelos de un aeropuerto para acomodarlos a estas exigencias.

Desde este punto de vista tiene ventaja el empleo del hormigón, armado o sin armar, ya que, organizadas las pistas en losas, es suficiente aumentar el espesor de éstas en un 12 por 100 para sustituir su armadura.

b) Mientras no existan teorías más completas para el cálculo de las pistas de los aeropuertos, este estudio suele hacerse por el método del profesor Westergaard, de la Universidad de Harvard.

En el caso del hormigón se parte de la base de considerar losas rectangulares, cuyas dimensiones horizontales vie-

nen impuestas por consideraciones de dilatación y contracción por variación de temperatura. Este dimensionado es función de las temperaturas extremas, dando con ello origen a juntas de dilatación y contracción, cuyo papel es el mismo que las juntas entre cabezas de carriles en cualquier ferrocarril.

Las losas se unen entre sí, bien mediante ligeras armaduras de hierro empotradas en una losa y dispuestas para que jueguen libremente en la adyacente, o bien porque las losas terminan en unos machihembrados análogos a las tablas de entarimar. En ambos casos la junta se rellena de material plástico, a base de betunes, asfaltos, etc.

Estas losas se calculan bajo el efecto de la carga que han de soportar, considerando que están apoyadas en su periferia o en una línea. En estas condicio-

nes el espesor viene determinado por la flexión máxima admisible en el punto de aplicación de la carga que no origine grietas en la losa. Es decir, se hace trabajar toda la estructura de la misma y parte de las losas contiguas. Puede prescindirse en parte de la resistencia del terreno, ya que al tener la losa mucha superficie, la carga unitaria transmitida al terreno es pequeña.

Realizado el estudio en el caso de Barajas y considerando un peso de avión de 136 Tm., que el C. A. A. admite para los aeroplanos de 1.955, obtenemos un espesor de losa, con hormigón de 325 kgs., de 25 cms., siempre que se arme a razón de 3 kgs/m², de acuerdo con "Design Data and Recommended for Concrete Airport Pavements" y de la "Portland Cement Association". Si, por ser más sencillo y más barato de construir, incrementamos el espesor en el 12 por 100 indicado anteriormente, obtenemos un total de 28 centímetros de espesor para la losa, asentada sobre un enchado de 10 centímetros de altura.

En estas condiciones, el tráfico con este tipo de avión es de un avión cada 1,5 m., durante treinta años. Si el peso del avión aumenta, es necesario disminuir la frecuencia de vuelos para conservar la duración del pavimento.

En cambio, cuando el peso del aeroplano es inferior a 114 Tm., la frecuencia es ilimitada. Cualquier otro tipo de firme no puede calcularse considerándolo como una losa. No es suficiente la adherencia entre la piedra para suponer un trozo de pista como un todo resistente, que contribuye con la masa total a absorber el peso y esfuerzos de frenado en la rodadura o la energía del impacto en el momento del contacto con el suelo, cuando el avión se posa.

Es preciso considerar que los esfuerzos se reparten en la parte de pista inmediatamente debajo de las ruedas, transmitiéndose al terreno la carga total según un tronco de cono con generatrices a 45°. La presión sobre el terreno no puede sobrepasar el coeficiente de trabajo de éste, lo que exige que sea lo más constante posible; por consiguiente, debe prepararse con gran cuidado y drenarlo perfectamente. El espesor de pista será variable, de acuerdo con el terreno. Su valor medio, para las condiciones de nuestro caso, es de 35 cms. de macadam asfáltico, recubierto de 15 cms. de hormigón asfáltico, asentado sobre una base de 25 cms. de piedra partida, según datos del "The Asphalt Institute", con una proporción de 35 kgs. de asfalto por metro cuadrado de pista.

Este material es susceptible a los agentes atmosféricos; la temperatura y la humedad lo descomponen, incluso los tipos de asfaltos más modernos. Nos referimos a aquellos que envejecen lentamente porque se "autorregeneran". Son de vida limitadísima.

Si consideramos los efectos causados en una pista de asfalto calculada para una presión de inflado, cuando ésta aumenta (recuérdese hemos dicho que está dentro de lo posible), podemos calificarlos de casi desastrosos. Inmediatamente

se marcarán las rodadas de los aviones, quebrando la uniformidad de la pista, como primer efecto, y originando líneas de fractura, que producirán desprendimiento y proyección de piedras, no solamente en la superficie del firme, sino en su misma masa. Al poco tiempo se presentarán baches. Las piedras sueltas serán proyectadas violentamente por la acción de las ruedas, que pasarán por aquéllas a velocidades que pueden ser del orden de 180 kms. hora. (Hace algún tiempo recogimos en una carretera los heridos de un accidente de automóvil producido por la rotura del parabrisas por el choque en éste de una piedra proyectada por otro automóvil que no marcharía a más de 100 kms. hora.)

c) Duración y entretenimiento:

Partimos del supuesto que ambos firmes se han construido con verdadero cuidado, sin olvidar las precauciones que deben tenerse en cuenta mientras se realiza la obra.

El hormigón de cemento tiene una vida ilimitada; prácticamente no precisa otro entretenimiento que rellenar periódicamente de material plástico las juntas de dilatación, y esto por el deterioro de este tipo de material.

En cambio, como ya hemos indicado anteriormente, el asfalto envejece, pierde su elasticidad, se hace agrio y quebradizo, y, por último, los agentes atmosféricos lo descomponen rápidamente. La humedad atmosférica y el calor lo atacan rápidamente, y a los tres o cuatro años es preciso bachear la pista. Labor esta relativamente sencilla en una carretera, porque puede cortarse la mitad en algunos sectores, circulándose con cierta precaución por la misma. Sin embargo, todo el mundo recuerda el estado de las alas de un coche después de rodar por una carretera de asfalto en reparación.

¿Puede repararse una pista de un aeropuerto lo mismo que una carretera?

Indudablemente, no. Será preciso cortar los vuelos en la pista deteriorada durante un tiempo siempre mayor que el conveniente para el servicio del aeropuerto; en ocasiones supondrá cerrarlos al servicio. Pero ¿qué sucedería si periódicamente se cerrara una estación del ferrocarril por reparación en su infraestructura?

Además, según decimos anteriormente, las pistas de asfalto "se arrugan". Los frenazos de los aviones arrastran el firme, originando una onda en el asfalto, que tiende a crecer con la temperatura, contribuyendo a la larga a producir esa ondulación que se observa en las carreteras y que tan molesta es para el ocupante de un automóvil, a pesar de que su velocidad es limitadísima y está en manos del conductor regularla en cada momento para evitar molestias o resonancias perjudiciales. En el avión esta velocidad sigue una ley que no puede variar el piloto. Podrá aterrizar antes o después de una zona determinada; pero, en el mejor de los casos, tiene que prescindir de un trozo de pista que le podía haber evitado maniobras.

Las resonancias, que en un coche, a la

larga, no causan más que desajustes en su estructura, en el avión pueden producir averías de importancia incalculable.

d) Estudio económico.

Pistas de hormigón de cemento.

Para éstas se precisa grava, arena y cemento.

De estos materiales, los dos primeros se encuentran en las proximidades de la obra en cantidad suficiente para todas las pistas y de inmejorable calidad. La distancia media de aprovisionamiento es del orden de 5 kms., y se proyecta su suministro en gran parte a base de vagones, sobre vía de 0,60 m., y quizá de un ferrocarril de 1,00 m. Una parte habrá de hacerse con camiones; pero se procura, en atención a la carencia de éstos y a economizar el consumo de combustible, que sea el mínimo. El cemento puede llevarse a la obra por ferrocarril hasta una distancia media de 7 kms., desde la que será preciso trasladarlo en camiones, caso de no dar resultado el establecimiento de una vía de un metro desde la estación de San Fernando del Jarama a pie de obra. A este ferrocarril se alude anteriormente para el acopio de unos 150.000 metros cúbicos de piedra.

La cantidad de cemento necesaria supone el 6 por 100 de las producciones de los años 1943 y 1944, y si consideramos que la mitad puede emplearse en lo que resta de año y la otra mitad en 1946, no supone más que el 3 por 100 anual.

El precio por metro cuadrado es de 66,05 pesetas; dinero todo él invertido en materiales y jornales españoles.

Solución asfalto.

Los materiales necesarios son: grava, arena, gravilla porfídica, asfalto.

Respecto a los dos primeros, sería preciso repetir lo dicho anteriormente con ocasión del hormigón de cemento, sin más que añadir que se precisan 1,8 veces más.

Pero, respecto a la gravilla porfídica, es preciso llevarla desde Colmenar Viejo, con una distancia de aprovisionamiento de 20 kms., que supone un viaje redondo de 40 kms. Como la cantidad de material de esta clase que hay que aprovisionar es de 170.000 m³ y el transporte no puede hacerse más que en camión, supone 113.333 viajes de camión (cada uno 1,5 m³), que supone un recorrido de kilómetros 4.533.320, con un consumo de 1.813.328 litros de gasolina (suponiendo 40 litros cada 100 kms., aunque los Hispanos de 3 Tm. gastan del orden de 50 litros en esta distancia), producto de importación.

Suponiendo que la duración media de unas cubiertas es de 10.000 kms., como los vehículos llevan seis ruedas, supone el desgaste total de 2.720 cubiertas y la destrucción de 26 camiones. El parque de camiones necesario, suponiendo que realizaran cada día seis viajes y en el aprovisionamiento se empleen cuatro meses, es de 189 unidades, más las necesarias de reserva para prevenir averías.

Con relación al asfalto, como cada m² de pista precisa 35 kgs., la totalidad de las mismas requiere 35.000 000 de kgs., todos ellos de importación; el importe de esta partida es de 42 millones de pesetas, de las cuales 32 millones se irían al extranjero, junto con el importe de los 1.813.328 litros de gasolina. No descontamos la gastada en acopiar el cemento porque el acopio desde la estación a la obra del asfalto supone una cifra equivalente.

El precio por m² de firme de esta clase es de 135,74 pesetas; es decir, que están

$$\text{en la relación de } \frac{135,74}{66,05} = 2,4.$$

En el cuadro, que representa el resumen de lo expuesto, se condensan las conclusiones deducidas a lo largo de este somero estudio, exponiendo de una manera clara las indudables ventajas que supone el que las pistas de los aeropuertos modernos sean de hormigón.

Ventajas que en nuestro caso no son solamente funcionales o de duración, sino constructivas, ya que facilitan el acarreo a la obra de los materiales necesarios, suprimiendo el transporte de la gravilla porfídica. Se evita la salida de España de divisas para pago de un material cuyo empleo en las obras restringiría de una manera casi total su utilización en carreteras, calles, etc., ya que parece difícil conseguir 35.000 Tm. de asfalto, ade-

más de las que normalmente se necesitan para estos importantísimos menesteres, y esto dando por supuesto que fuera fácil conseguir este material en el plazo conveniente para la rápida ejecución de estas obras.

Su construcción en cemento, forma en que se han proyectado, puede llevarse a un ritmo rapidísimo, solamente limitado por el suministro de este elemento.

Si, como parece, la entrega del mismo puede hacerse a razón de 12.000 Tm. mensuales, a fines del año en curso se podría abrir el tráfico en tres de las pistas principales, terminándose la obra total del campo de vuelos en la primavera de 1946.

	PISTAS DE HORMIGON DE CEMENTO	PISTAS DE ASFALTO
Longitud de rodadura en el despegue.....	1.....	1,01
Longitud de rodadura en el aterrizaje.....	1.....	0,985
Superficie.....	Lisa.....	Inicialmente lisa; luego ondulada.
Vibraciones creadas o detenidas en el avión.....	No.....	Sí.
Posibilidad de aumento de la presión de ruedas.....	Sí.....	Muy poca.
Posibilidad de soportar aviones más pesados.....	Sí.....	Ligeramente.
Espesor de enchachado.....	10 centímetros.....	25 centímetros.
Relación de espesores.....		2,5
Espesor de pista.....	28 centímetros.....	50 centímetros.
Espesor total.....	38 centímetros.....	75 centímetros.
Relación de espesores.....		2,97
Duración.....	Treinta años.....	Diez a doce años.
Relación de duración.....	3 a 2,5.....	0,33 a 0,4
Conservación.....	Prácticamente nula.....	Bacheo continuo a partir del cuarto año.
Reparación.....	Casi nula.....	Difícil y costosa.
Aumento en el consumo de combustible en el aprovisionamiento de materiales.....		1.813 328 litros.
Precio por metro cuadrado.....	66,05 pesetas.....	135,74 pesetas.
Relación de precios.....	0,49 pesetas.....	2,04 pesetas.
Toneladas de cemento.....	91.000.....	
Toneladas de asfalto.....		35.000
Costo del cemento.....	20.500.000 pesetas.....	
Costo del asfalto.....		42.000.000 de pesetas.
Importación.....		32.000.000 de pesetas, más el valor de 2.000.000 de litros de gasolina.
Presupuesto de las pistas.....	66.050 000 pesetas.....	135.740 000 pesetas.
Diferencia en más en el asfalto.....		69.690.000 pesetas, más el valor de cerca de 2.000.000 de litros de gasolina.

