

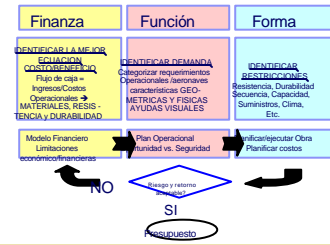
## La función "Seguridad Operacional en el diseño de una pista"



Ing. Horacio E. Rossi  
[rossi@rdct.com](mailto:rossi@rdct.com)

## Diseñar es lograr el mejor compromiso entre las "3 F"

- El mecanismo "3 F" de diseño:



## La funcionalidad = respuesta a los requerimientos aeronáuticos

- La funcionalidad de una pista esta dada por la capacidad de sus características geométricas y de sus características físicas de resultar adecuadas a los requerimientos de la operación aeronáutica:
- CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS:**
- Ancho, largo (distancias declaradas), pendiente, uniformidad, configuración de ayudas visuales.
- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:** textura superficial (macro y micro textura)

## Si se trata de usar una pista así:



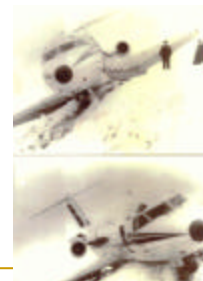
Pista 16-34 en Base Aeronaval Ushuaia

## Puede suceder.....



Esto.....

## O si hay nieve.....



Esto.....

## Pero no solo en el hemisferio sur ....



GCO fit#17 Brussels Airport (EBBR) to JFK overran rwy 4R by 238 feet and came to a stop in the Aircraft Arrestor Bed. N703GC sustained minor damage.

## Vuelo Air France 358 en Toronto agosto 2005



## Hydroplaneo

- De AUG, 2, 2005: 'A miracle' no deaths as Air France flight skids off runway, burns in Toronto, (de la TV canadiense sobre el vuelo AF358)
- "A pesar de la intensidad del fuego, Levasseur dijo que los inversores de los 4 reversores del avión podían determinar que por lo menos 3 de los 4 reversores del avión funcionaban al aterrizar. Los reversores normalmente proporcionan entre 5 y 10% de la fuerza necesaria para parar el avión. El resto del poder de frenado es proporcionado por los frenos y los spoilers ..."
- La seguridad del aterrizaje está ligada a la capacidad de las cubiertas de transmitir al suelo la fuerza de frenado que quite inercia a la masa del avión.
- Por ello en caso de lluvia, la seguridad de la operación está ligada a la capacidad de la superficie del pavimento de evacuar el agua y evitar la formación sobre la pista de una película hidráulica que provoque hidroplaneo.
- El estudio del fenómeno del hidroplaneo surge a fines de los años 60, principios de los 70.

## Marco normativo

- Se aplican normas y recomendaciones ICAO, expresadas en el inc. 3.1.22 y 3.1.24 y apéndice A, inc. 7.8 del Anexo 14, en el manual de servicios de aeropuertos parte 2 y en el manual de diseño de aeropuertos, parte 3.
- Suplementariamente se aplican advisory circulars de la FAA:
  - AC 150/5320-12A (sobre textura superficial)
  - AC N° 150/5370-8 (texturado mecánico = grooving)

## DRENAJE SUPERFICIAL

El problema del hidroplaneo depende de:

- 1) Drenaje superficial:** (definido por la geometría de la superficie y su capacidad de drenaje):  
En la mayoría de los casos es función de las pendientes superficiales (composición vectorial de la pendiente transversal con la pendiente longitudinal, limitadas por el anexo 14, inc. 3.1.11 a 3.1.17) y por la regularidad de la superficie, (Anexo 14, I Attachment A, inc 5.1 que prescribe que la separación entre una regla de 3 mts y cualquier punto de la superficie no debe exceder 3mm). -

## MACROTEXTURA

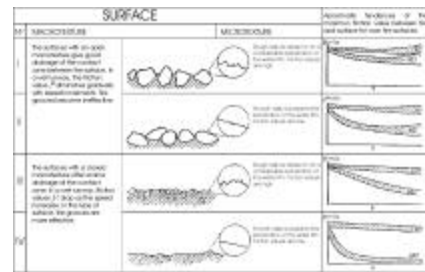
El problema del hidroplaneo también depende de:

- 2) Drenaje de la interfase cubierta/superficie:** (que es función de la macrotextura del pavimento y de los canales en las cubiertas). El objeto de este drenaje es evacuar el agua que se acumula por presión dinámica en frente de la cubierta disminuyendo la posibilidad de formación de la curia de presión dinámica en el frente de avance. -
- Anexo 14 de la ICAO, en el apartado 3.1.22 recomienda que la textura promedio de una superficie de una pista nueva debe ser al menos 1 mm, y en el manual de servicios de aeropuertos, parte 2, proporciona una orientación respecto de los métodos aceptados para cuantificar dicha macrotextura, (parche de arena y parche de grasa), este último método es descrito también en la AC 150/5320-12A, sección 6. -
- Para una pista en uso, la AC 150/5320-12B, (Cap. 3, sección II, Paragraph 33), establece una media de 0,63 mm medida con el parche de grasa y con la frecuencia de control de este valor en función de número de operaciones anuales. -

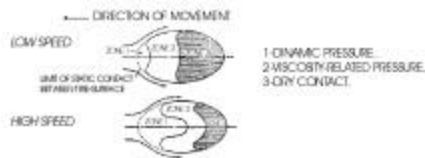
## MICROTEXTURA

- 3) Ruptura de la capa viscosa por penetración: (definida en gran medida por la micro textura de la superficie del pavimento, ya que la goma de las cubiertas es intrínsecamente lisa). -
- En las normas no existe ninguna forma de evaluación directa de la micro textura, pero existen referencias directas con la medición de valores de fricción (tanto en condición seca como en presencia de agua) a su vez la micro textura de la superficie se puede correlacionar con la angularidad de los agregados finos sin que se especifiquen métodos de medición. -

## MACRO y MICROTEXTURA



## Relación de presiones en función de la velocidad



## LA VELOCIDAD DETERMINA QUE TEXTURA TIENE MAYOR INFLUENCIA SOBRE LA ACCIÓN DE FRENADO

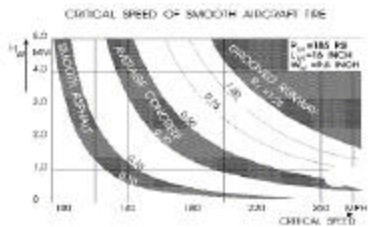
## Velocidad crítica

- De los gráficos anteriores, vemos que la velocidad es un componente fundamental del fenómeno de hidroplaneo y como tal es objeto de estudios específicos para determinar aquella velocidad a la cual se inicia dicho fenómeno. Esta velocidad es llamada "velocidad crítica"
- Los primeros estudios realizados por HORNE TRAFFORD y LELAND, llegaron a ecuaciones simplificadas que proporcionan la velocidad crítica  $V_p$  como una función de la presión de inflado de las cubiertas:
- $V_p \text{ [mph]} = 9 \cdot \sqrt{p \text{ [lb/pulg}^2\text{]}}$
- Donde  $V_p$  es la velocidad crítica de hidroplaneo medida en nudos y  $p$  la presión de inflado de las cubiertas medida en libras por pulgada cuadrada. -

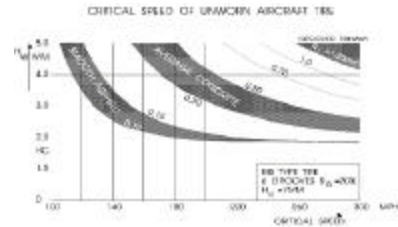
## Fórmulas mas completas

- El manual de servicios de aeropuertos, sección 2, nos da la velocidad crítica en unidades métricas como
  - $V_c \text{ [km/h]} = \sqrt{6,35} \cdot \sqrt{p \text{ [kPa]}}$
  - Mientras que estudios posteriores de SCHMIDT G. - "Hydroplaning of aircraft tires" realizados en el Goodyear International Tire Technical Center, completa estos estudios entregando una ecuación que toma en cuenta las propiedades de la superficie del pavimento, el espesor de la capa de agua la forma del contacto de la cubierta y la presión de inflado:
  - $V_c = \frac{\sqrt{12 p \text{ [lb/in}^2\text{]} \cdot (Lm/Wm)}}{\sqrt{d \cdot \ln[1+(Hw/Rt)+\sqrt{(Hw/Rt)^2+(Hw/Rt)}]}}$
  - donde  $Lm$  y  $Wm$  son el largo y ancho del contacto respectivamente,  $p$  [lb/in<sup>2</sup>] es la presión de inflado,  $d$  es la densidad del agua,  $Rt$  la profundidad de la macro textura y  $Hw$  el espesor de la capa (o lámina de agua) sobre la superficie.
- MAS ADELANTE SE VERA COMO PUEDEN DISCREPAR ESTAS FORMULAS EN UN CASO REAL.

## Velocidad crítica para cubiertas gastadas



## Velocidad crítica para cubiertas nuevas



## Repavimentación pista 16-34

- Las especificaciones requerían para esta repavimentación, una macro textura promedio de una profundidad de 1,5 mm mientras que especificaba mezclas asfálticas cerradas capaces de resistir ciclos de congelamiento/deshielo (tipo ET4/ET5 de Vialidad Nacional).
- Los resultados de secciones de prueba con estas mezclas indicaron que la estructura cerrada lograba una macro textura promedio de 0,3 mm, mientras que la estructura abierta (asimilable al tipo III de mezclas del Asphalt Institute para altas cargas de servicio) entregaba valores entre 1,0 y 1,3 mm de profundidad de la macrotextura. – Las evaluaciones se realizaron con el método del parche de arena.
- También se realizaron secciones de prueba sin compactación (solo a efectos de estudio) y se observó que obtenían 2 a 3 veces la textura de las correspondientes mezclas compactadas.-
- También se realizaron pruebas de permeabilidad que resultaron determinantes a la hora de elegir mezclas cerradas para garantizar la durabilidad frente a ciclos de congelamiento y deshielo.
- Para proporcionar macro textura, dicha superficie se texturizó por percusión refleja una vez concluida la repavimentación.

## Pista 16-34 luego de texturado

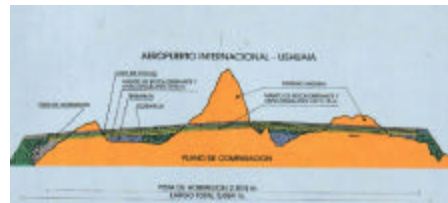


Macrotextura promedio 1mm medido con parche de arena

## Pavimentación de pista 07-25 de Ushuaia

- Diseñada en hormigón para el tráfico de diseño previsto que incluye aeronaves de fuselaje ancho y jets de alta performance a lo largo de una vida útil de 20 años. -
- A fin de evitar el hidroplaneo y obtener la macro textura requerida, se especificó el texturado del hormigón con peine de acero en estado plástico.
- Por motivos económicos durante la hiperinflación de 1987 a 1989, se redujo la cantidad de hormigón en un 25%, aumentando por ello el requerimiento de resistencia para mantener vida útil y geometría.

## Características geométricas (drenaje superficial)



- La pista se ha diseñado con las máximas pendientes transversales admitidas por el Anexo 14 para una pista categoría 4E y una pendiente longitudinal variable que optimiza los 10.000.000 de metros cúbicos de movimiento de suelo que se requirieron.
- Componiendo vectorialmente la pendiente transversal de 1,5% con la pendiente longitudinal se obtienen tres secciones con diferente pendiente:
- SECTION I: 1,70% (aprox 1.270 m from threshold 25)
- SECTION II: 1,52% (central portion, 580 mts)
- SECTION III: 1,70% (aprox 950 m from threshold 07)

## La restricción climática: Sacando muestras en invierno



## Uniformidad superficial

- Es muy importante considerar la necesidad de evitar que se formen charcos de agua (tanto por el espesor de la lámina crítica en hidroplaneo, como por que en invierno los charcos pueden congelarse y generar por sí condiciones de deslizamiento) y por ello se debe cumplir estrictamente con Attachment A , sección 5.1 del Anexo 14 que recomienda que la superficie se verifique con una regla de 3 mts. y en ningún punto y en cualquier dirección debe verificarse una luz mayor de 3mm entre la regla y la superficie (verificada con una moneda del grosor apropiado). Esta recomendación resulto crítica para los bordes de las fajas primarias, hormigonadas con encofrado deslizante que tendian a deformarse al perder soporte del encofrado deslizante.
- El problema se superó limitando el asentamiento del hormigón a 20 mm y utilizando los dispositivos provistos en la pavimentadora, que a la salida del encofrado aplican una sobre presión, elevando levemente los bordes y compensando este asentamiento.
- Se logró evitar todo tipo de encharcado (pendiente+uniformidad).

## Pista 07-25 de Ushuaia



## Tren de pavimentacion



## Texturado con peine metálico



Puente de curado y texturado CMI, modelo TC 250. - Peine de acero,  $\blacktriangleright$  dientes 100 mm de longitud,  $\blacktriangleright$  relación ancho/separación = 3/1,3.  $\blacktriangleright$  ancho total del peine = 1,50 mts

## Pavimentación pista 07-25



Reparación de un borde, termocuplas y texturizado

## La macrotextura obtenida

- El objetivo de diseño era 1mm de profundidad media de acuerdo a ICAO, Anexo 14, inciso 3.1.24
- El proceso fue llevado a cabo por texturado del hormigón de asentamiento 2 cm, en estado plástico conformando una superficie tipo C6 de acuerdo a la Advisory Circular 150/5320-12A, sección N° 1-4.
- Los primeros resultados pudieron ser medidos una vez que se completo el curado de los primeros 400 mts en Abril 1994, y utilizando el método del parche de grasa, se concluyo que los valores alcanzados promediaban 0,50 mm.



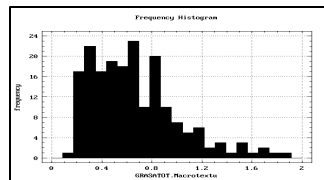
## El programa de medición

- FAA AC 150/5320-12A y el manual de servicios de aeropuertos, sección 2 inc. 2.3.6, especifican el uso de un cilindro que contiene 15 cm<sup>3</sup> de grasa, (mas importante que la cantidad es el conocimiento EXACTO de la cantidad usada); con un pistón se expela la grasa que se distribuye con una espátula en un campo de 10 cms de ancho.
- Este campo esta delimitado con cinta de enmascarar (o una plantilla metálica) y cuidando de no extenderse fuera de los limites, se mide la máxima longitud que llega a cubrirse al despararrar la grasa con la espátula. Dividiendo el volumen de grasa por la superficie del área cubierta se obtiene la profundidad media.
- Es importante el promedio de las mediciones, pero también su uniformidad para asegurar un frenado uniforme.
- Debido a la canalización del tráfico, se estudiaron 2 losas a cada lado del eje (las denominadas E, F, G, and H comprendiendo 11,25 metros)
- Para obtener un muestreo representativo, se fija una población mínima a muestrear: en 2800 mts. hay 467 losas de manera que el numero total de losas a estudiar es  $467 \times 4 = 1868$  losas equivalentes a 63.045 m<sup>2</sup>, por lo que el objetivo fue muestrear como mínimo la raíz cuadrada de 1868 = 43 muestras.
- A su vez las losas se subdividieron en subsectores de 60 cm x 60 cm, sectores que también se eligieron por métodos aleatorios, finalmente se concluyo en la necesidad de diferenciar etapas de pavimentación, aumentando el número total de ensayos.
- El muestreo total alcanzo a 234 determinaciones de las cuales 189 se consideraron de utilidad para caracterizar la pista.

## Los resultados

- Se distinguen un periodo de Enero a Mayo 1994 y un segundo periodo entre Setiembre y Noviembre 1994, en el cual con los primeros resultados a la vista, se rigidizó el peine y reforzó el texturizado.
- Surge que el sector de menor textura es la tira de losas F (este del eje de pista) donde la textura promedio es de 0,53 con valor mínimo por sector de 0,47 mm mientras que en la tira H se alcanzo un valor promedio de 0,83 mm con valor máximo por sector de 0,92. (aunque con mayor dispersión).
- Consistentemente el segundo sector arrojó valores mas próximos a 1 mm, pero no alcanza el valor especificado.
- El valor promedio es 0,68 mm, valor que cumple lo requerido por FAA para una pista en operación, pero no alcanza lo recomendado por ICAO para una pista nueva. (32% debajo).
- Se determinó:
  - valor mínimo y valor promedio por sectores
  - desviación estándar de la muestra
  - descripción de la muestra mediante histogramas

## Descripción grafica



Se observa una mayor dispersión sobre los sectores donde se reforzó el texturizado.

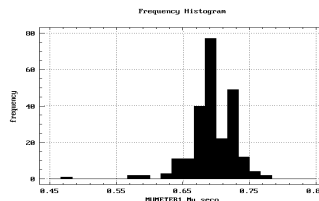
## Medición de la fricción

- Habiendo determinado que en virtud de los valores de macrotextura medidos puede existir un problema de falta de fricción entre pista y cubierta, se realizaron previo a la certificación de la pista, determinaciones del coeficiente de fricción de acuerdo al art. 3.2.5 del manual de servicios de aeropuertos, parte 2, y la sección 11.f de la Advisory Circular AC 150/5320-12A, como también 11.g (en presencia de agua).



Mu-meter, Bison Instruments Inc, model 801 EN 817

## Resultados de Mu-meter para pista seca





## Conclusiones

- Para el valor mas bajo de la macro textura efectivamente medida, solamente la operación de un Boeing B727, aproximando la pista de Ushuaia con cubiertas gastadas y en presencia de una lluvia de intensidad tal que se presenta una vez cada 25 años operaría en condiciones próximas a la condición de hidroplaneo.
- Si en cambio se asume el valor medio, las velocidades operacionales se encuentran entre 50 y 100 km/h bajo las velocidades críticas calculadas teniendo en cuenta la totalidad de los parámetros que influyen en el fenómeno.
- Se debe observar que la fórmula que toma en consideración únicamente la presión de inflado, arroja valores sustancialmente inferiores (del lado de la seguridad) a la fórmula exacta. Podríamos concluir que no es dable operar cuando vemos que existe seguridad adecuada.

## Muchas Gracias



Ing. Horacio E. Rossi  
Cel Ph. 54 (92944) 560880  
Ph. +54 (2944) 442018  
Fax 54 (2944) 442018  
[rossi@rdc1.com](mailto:rossi@rdc1.com)