

**ORGANIZACIÓN DE AVIACION CIVIL INTERNACIONAL
(OACI)**

**SEMINARIO SOBRE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS
CURSO RAPIDO SOBRE LA INTERACCION AERONAVE-PAVIMENTOS**

**22 AL 27 DE JULIO DE 2002
SANTA CRUZ-BOLIVIA**

**PONENCIA: Problemas en paquetes estructurales en pistas con pavimentos
rígidos
(EJEMPLO PRACTICO: Aeropuerto de la ciudad de Sucre - Bolivia)**

**Ing. M.Sc. Pedro Balcázar Nara
Jefe del Departamento Nacional de Obras Civiles
ADMINISTRACION DE AEROPUERTOS Y SERVICIOS
AUXILIARES A LA NAVEGACION AEREA - AASANA**

Capítulo I

GENERALIDADES

I.1 Antecedentes.

Sucre es la ciudad capital de la República de Bolivia y capital del departamento de Chuquisaca. Se encuentra situada al sur del país y actualmente cuenta con una población aproximada a los 220.000 habitantes.

En esta ciudad se encuentra la Corte Suprema de Justicia, que es el organismo de mayor jerarquía en la justicia boliviana.

El Aeropuerto de la ciudad de Sucre, denominado “Juana Azurduy de Padilla”, en homenaje a la ilustre dama que llegando al grado de Teniente Coronel en los ejércitos guerrilleros, combatió por la libertad del Alto Perú (hoy Bolivia), fue construido entre los años 1973 y 1977.

Se encuentra ubicado a 5 Km del centro de la ciudad. Esta a una elevación de alrededor de 2.900 m.s.n.m. La temperatura promedio es de 22,9 °C que corresponde al mes de octubre y la temperatura mínima es de alrededor de 4 °C en el mes de julio. El Aeropuerto está disponible todo el año con restricciones locales de operaciones por interferencia de obstáculos naturales (serranías próximas), especialmente se advierte la serranía del extremo sudoeste de la pista (aproximación al umbral 05) que por altura y proximidad, no permite la utilización total de la longitud de pista para los aterrizajes, habiendo sido necesario el desplazamiento del Umbral. Prácticamente no existen operaciones de despegue desde la pista 23. No tiene operaciones nocturnas.

A partir del año 1989, es decir 12 años después de su construcción, se inició un proceso de deterioro en un sector de la pista, aproximadamente entre las progresivas 1+900 a 2+400. A partir de entonces se efectuaron permanentes controles topográficos hasta 1993. Asimismo, se anularon dos alcantarillas que cruzaban la pista de aterrizaje.

I.2 Características técnicas del área de movimiento

Punto de Referencia	Lat	19° 00' 35" S
	Long.	65° 17' 38" W
Designación de la Pista		05 - 23
Longitud de la pista		2.876 m.
Ancho de la pista		30 m.
Zonas de seguridad		60 x 60
Franja de la pista		2.996 x 90
Resistencia Pavimento Rígido		PCN/40/R/B/X/T
Calles de rodaje		2
Ancho		15 m.
Resistencia Pavimento Rígido		PCN/40/R/B/X/T
Plataforma		159 x 90 = 13.500 m ²

Capítulo II

DISEÑO ORIGINAL DEL PAVIMENTO

II.1 Recopilación de datos del diseño

Deseamos establecer en el presente capítulo una rememoración del análisis y cálculo realizado en esa época, de tal manera de considerar que las fallas producidas son o no una consecuencia del mismo. De todas maneras, no pretendemos en el presente capítulo dar unas lecciones de diseño, sino más bien conocer el razonamiento empleado para realizar el cálculo.

Se estableció un período de diseño de 20 años, es decir de 1973 a 1992. Para este período de tiempo se realizaron todas las estimaciones futuras necesarias para el diseño de los diferentes elementos del aeropuerto. Sin embargo considerando que entró en pleno funcionamiento el año 1976, entonces los 20 años se contabilizan hasta el año 1996

II.2 Estudios

Para este diseño como para cualquier otro, se realizaron una serie de ensayos para el estudio de suelos, con el fin de obtener los parámetros de diseño para pavimentos, movimiento de tierras, etc. Una relación del número y su ubicación es la siguiente:

UBICACIÓN	N° DE POZOS
Franja de aterrizaje	
Lado izquierdo	35
Eje central	40
Lado derecho	32
Hombreras (zonas de relleno)	
Hombrea derecha	3
Hombrea izquierda	4
Eje de carreteo	11
Plataforma	9
Total	134

La profundidad de los pozos fue variable para efectos de correlación.

Los resultados de los ensayos efectuados fueron:

PROMEDIOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE CBR

	DENSIDAD MAX. gr/cm ³	HUMEDAD OP. %	CBR %
Promedio	1.62	24.8	6.1

*En las conclusiones en el diseño final se señala que en general los suelos investigados son muy plásticos y de acuerdo a la clasificación de la FAA se identifican como suelos E-7 y E-8 que se los describe como: “**Terrenos con fuerte proporción de arcilla, eminentemente cohesivos, muy deformables, cambian bastante de volumen bajo la acción de la humedad**”*

II.3 Sub rasante

Con una capacidad de soporte $k = 2.50 \text{ Kg/cm}^3$ y un coeficiente de compactación no menor de 95% de densidad Proctor Modificado.

Se determinaron dos zonas de relleno y se las identifica de la siguiente manera:

Zona 1. Relleno de subrasante ubicada entre progresivas (0+950 – 1+275).

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se estableció lo siguiente:

Suelos con un Índice de Plasticidad entre 6 y 15, con un Límite Líquido menor que 40 (25 a 30). Los suelos de esta zona corresponden a los tipos E-6 y E-7 de la clasificación de la FAA.

Las densidades máximas de AASHO T-180 oscilan entre 1.4 y 2.0 con humedades óptimas de 15 a 25% y humedades naturales del 12 al 25%

Zona 2. Relleno de subrasante ubicada entre progresivas (2+025 – 2+700).

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se estableció lo siguiente:

Suelos con un Índice de Plasticidad entre 7.7 y 17.5, con un Límite Líquido entre 26.4 a 44.5. Los suelos de esta zona corresponden a los tipos E-6 y E-7 de la clasificación de la FAA, con algunas variantes a E- 8 y E-9.

Las densidades máximas de AASHO T-180 oscilan entre 1.5 y 2.0 con humedades óptimas de 15 a 28% y humedades naturales del 10 al 26%

Las características de estos suelos para su empleo en aeropuertos son las siguientes:

- Su calificación como cimientos no sujeto a heladas, es de regular a malo.
- Compresibilidad y entumecimiento, media.
- Grado de expansión, moderado
- Permeabilidad prácticamente impermeable.
- Capilaridad regular a elevada.
- Elasticidad mediana
- Condiciones de compactación y equipo, regular a bueno, con rodillo pata de cabra.

Durante la perforación de pozos se detectó en la zona 2, un nivel freático alto lo que determinó la instalación de un sub dren por debajo de la cuneta de evacuación del escurrimiento superficial.

II.4 Dimensionamiento de la capa sub base

Para la obtención del valor del módulo "K" de reacción del suelo, adoptó el método de las Placas Indeformables de Carga, con el sistema de cargas reiteradas. Asimismo, se realizó el modelo de una masa de suelo, en las condiciones más naturales para realizar el ensayo de placa.

Con estos trabajos, el valor promedio encontrado para el módulo "K" utilizando la placa de Ø 30" fue de 261 pci. Sin embargo de ello y considerando el suelo de baja calidad, con porcentajes de hinchamiento de 4 % a 6 % y la pérdida casi total de su valor soporte (CBR), se redujo su valor en un 60 % , por lo que el valor "K" para el cálculo de la sub base fue de:

$$K = 0.40 K' = 0.40 \times 261 = 104,4 \text{ pci.} = 2.88 \text{ Kg/cm}^3$$

Con este valor, se determinó un **ESPESOR DE SUB BASE DE 28 CM**

II.5 Aspectos técnicos considerados en el diseño del pavimento rígido

- a. Los pavimentos rígidos se caracterizan por sus deformaciones verticales originadas por las ruedas de aeronaves que van acompañadas por fuertes esfuerzos de flexión.
- b. El aspecto principal de su selección está en función de las características del terreno, cargas a soportar, intensidad de tráfico, condiciones

climatológicas y básicamente, el aspecto económico.

- c. Su diseño se basa en una gran cantidad de datos recopilados por la experimentación, observación y análisis matemático.
- d. Las causas principales que originan esfuerzos se deben, básicamente, a cargas de ruedas, cambios por diferencia de temperatura, fricción entre losa y fundación y alabeo.
- e. Para disminuir los esfuerzos provocados por cambios de temperatura, humedad y retracción del hormigón, la losa se divide por juntas y que por su función pueden ser: de contracción, dilatación, construcción y falsas; aspectos estos analizados en los ítemes correspondientes.

II.5.1 Corrección del módulo de reacción de la sub base

El módulo de reacción "K" de la sub base para el diseño del pavimento rígido, se obtuvo con los ábacos de la Portland Cement Association. Para un espesor de la sub base de 28 cm. = 11.02 pulg. y el módulo de reacción "K" de la sub rasante ya determinado = 104.4 pci:

$$K \text{ de la sub base} = 180 \text{ pci.} = 4.982 \text{ Kg/cm}^3$$

II.5.2 Pavimento

El pavimento empleado en la construcción del Aeropuerto es del tipo rígido formado por losas de hormigón de cemento portland, asentadas sobre la subbase. La mayoría de las losas son de 5.00 m de largo por 3.75 m de ancho, sin embargo existen algunas que varían en longitud pero manteniendo el mismo ancho, ubicadas especialmente en las intersecciones con las calles de rodaje.

Pavimento Tipo A

De 30 cm. de espesor construido en la pista de aterrizaje en una longitud de 2675 m por 30 de ancho, entre las progresivas 0+000 a 0+625 y 0+825 a 2+875, también en el ojal de giro del umbral 05, en las calles de rodaje en una longitud de 366 m por 15 m de ancho, en sobre anchos de las calles de rodaje y en la plataforma en una superficie de 150 m por 62.50 m.

Pavimento Tipo B

De 27 cm. de espesor, construido en la pista de aterrizaje en una longitud

de 200 m por 30 m de ancho, entre las progresivas 0+625 a 0+825.

Pavimento Tipo C

De 20 cm. de espesor, construido en la plataforma de estacionamiento en una superficie de 150 m por 7.50 m, destinado al tráfico de servicio a plataforma.

Para la preparación del hormigón se empleó cemento Pórtland normal FANCESA y agregados acopiados en los ríos cercanos a Sucre.

El hormigón fue preparado en planta con la siguiente dosificación:

Cemento	350 Kg/m ³
Aire	0.34 cm ³ /kg cemento para 4 a 5% en vol.
Arena	33% en volumen
Grava 1 ½"	45% en peso del agregado grueso
Grava 2 ½"	55% en peso del agregado grueso
Agua	Asentamiento máximo 7 cm.

II.5.3 Determinación del espesor de la losa de hormigón

Para la determinación del espesor del pavimento, se efectuó el cálculo por tres métodos:

- a. Federal Aviation Administration (FAA)
- b. Portland Cement Association (PCA)
- c. Westergaard.

a. Método de la FAA (Agencia Federal de Aviación)

Aeronave de diseño BOEING 727/100

Módulo de reacción o asentamiento de la sub base $K=180 \text{ pci.} = 4.982 \text{ Kg/cm}^3$.

Peso total de la aeronave de diseño=140,000 lbs.= 63,504 Kg..

De tablas del ASPHALT INSTITUTE

Rueda de proa 13,342 lbs = 6,052 Kgs

Tren Principal 126,658 lbs. = 57,452 Kgs

Carga sobre rueda gemela (Dual) — 63,329 lbs = 28,726 Kg..

DE ÁBACOS DE LA F.A.A. H = 11.80" = 30 CMS

b. Método de la Portland Cement Association (PCA)

La PCA señala que normalmente en diseño de pavimentos para aeropuertos se utilizan las resistencias a los 90 días, puesto que condiciones de evaluación de estudios y exámenes han demostrado que el uso de resistencias menores como ser la correspondiente a 28 días, dan por resultado pavimentos sobredimensionados. Tenemos entonces el siguiente análisis:

Fatiga de rotura cilíndrica a los 28 días.

$$f'c = 5,000 \text{ psi.} = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de rotura o resistencia a la flexión

$$MR = 9 \ 5,000 = 640 \text{ psi.} = 45 \text{ Kg/cm}^2.$$

Factor de seguridad en áreas críticas PS = 1.73

Fatiga admisible del hormigón trabajando a la flexo tracción:

$$ft = 45/1.73 = 26.012 \text{ kg/cm}^2 = 369.971 \text{ psi}$$

De ábacos y para una carga de 63,329 lbs. Y tomando un valor de

$K = 180 \text{ pci}$, se tiene el espesor del pavimento $h = 11.6" = 29.5 \text{ cm}$

Esta última determinación de h es para aeronaves Boeing 727/100 con tren de aterrizaje dual exclusivamente.

c. Método de Westergaard

Este método que fue considerado el más apropiado y exacto, analiza las fatigas máximas de flexo tracción y los espesores de pavimentos para cargas a diferentes presiones de inflado de los neumáticos.

Desde el punto de vista teórico, se toma en cuenta el área de contacto por llanta y se establece un sistema de ejes coordenados, dando lugar así a un estudio bastante complejo. El inconveniente de este método es que no se puede relacionar exactamente el módulo de reacción al espesor y a la rigidez de apoyo o cimentación. Se acepta, desde ya, que un ensayo de placa

ejecutado sobre una fundación conduce a valores elevados del módulo de reacción, pero cuando la losa de hormigón, está cargada, su propia rigidez hace que comprometa a capas profundas del suelo. La curvatura de la losa es pequeña, y es probable que la sub base no juegue un papel importante, a menos que tenga un espesor adecuado; de todas maneras, el factor fundamental de la determinación del espesor del pavimento no es único requisito dentro del complicado problema, y más bien se diría que es el conjunto losa, sub base y sub rasante que juegan el papel importante de resistencia, por supuesto, adecuadamente diseñados y proporcionados. De ahí la importancia capital de una adecuada captación y uniformidad de la sub rasante y sub base.

Consideraron el cálculo siguiente:

Carga sobre rueda gemela	= 63,329 lbs.	= 28,726 Kgs.
Carga por rueda	= 31,665 lbs	= 14,363 Kgs
Presión de inflado	q= 166 psi.	= 11.671 Kgs/cm ²
Area de contacto	= 31,665/166	= 90.753 pul ²
	=1,230.662 cm ²	

Si asumimos una altura de losa h= 30 cms y realizados los respectivos cálculos, el Factor de Seguridad que impone este método estará comprendido entre 1.7 y 2.0, aconsejado para las áreas críticas. Por consiguiente SE ADOPTA UNA ALTURA DE H = 30 CM

<u>METODO</u>	<u>ESPESOR OBTENIDO EN CM</u>
F.A.A.	30.0
P.C.A	29.5
WESTWRGARD	30.0

En conclusión, se adopta una altura de losa de 30 cms en todas las áreas críticas y un espesor de $0.9 \times 30 = 27$ cms en áreas no críticas.

Para la calle de rodaje de vehículos de servicio a plataforma, entre el edificio terminal y la plataforma se adopta un espesor de 20 cms para la losa.

II.6 Tamaño de las losas, tipo y ubicación de juntas

II.6.1 Consideración de aspectos técnicos.

Para el diseño integral de las juntas de los pavimentos de hormigón, se consideraron los siguientes factores fundamentales:

- Ancho del pavimento.
- Espesor del pavimento.
- Ancho del equipo de pavimentación.
- Pavimento con o sin malla de hierro.
- Características del agregado pétreo grueso.
- Carga y frecuencia del tránsito.
- Condiciones climatológicas.
- Experiencia local.

Prácticamente se tomaron en cuenta todos ellos siguiendo los lineamiento generales especificados por las siguientes Instituciones:

- a) Portland Cement Association. "Design of Concrete Airport Pavement". P.O.A. (1.973)
- b) Federal Aviation Administration "Airport Paving". F.A.A. (1.971)

II.6.2 Dimensiones de las losas

La P.C.A. recomienda que, para pavimentos de hormigón de menos de 30 cms, de altura y para los de 30 a 37.5 cms. de altura con tránsito canalizado, la separación entre las juntas longitudinales no debería superar los 3.75 mts.

Como esta última recomendación se aplica a las calles de rodaje y por la ubicación y funcionalidad en la primera etapa también a las "zonas críticas" de la pista, se adopta para todo el proyecto el mencionado distanciamiento entre las juntas longitudinales.

En cuanto al distanciamiento entre las juntas transversales se adoptaron 5 mts. por las siguientes razones:

- a. La P.C.A. (año 1.973) recomienda que la relación entre el largo de la losa y el ancho no debe superar en exceso a 1.25. En consecuencia $5.00/3.75 = 1.33$.
- b. Para espesores *menores* de 30 cm. la separación de las juntas transversales no debería superar los 4.50 mt. cuando se utiliza grava como agregado pétreo; con piedra partida se podría llegar hasta los 7.50 mt. de separación. En el proyecto del aeropuerto estaba previsto utilizar grava como agregado pétreo.

Como no se contaba con condiciones óptimas en cuanto a la calidad del agregado y del hormigón a emplear y además que el diseño

geométrico adoptado imponía que en ciertas áreas el tránsito sea canalizado, el criterio fue adoptar tamaños de losas cuyo comportamiento satisfactorio era ya conocido.

EN RESUMEN, SE ADOPTÓ LOSAS DE 3.75 MTS, POR 5 MTS.

II.6.3 Distribución de Juntas

a. Barras Pasadores

De acuerdo a las recomendaciones de la F.A.A. se proveyeron barras pasadores en las juntas de dilatación de las calles de rodaje y en todas las juntas transversales de la “zona crítica” de la pista, de las calles de rodaje y en las juntas transversales de la plataforma.

Aunque la P.C.A. recomienda el empleo de barras pasadores solo en pequeñas zonas localizadas, la experiencia indicó como factor de seguridad para la adecuada transferencia de las cargas, ampliar más el empleo de los mismos pero con la precaución fundamental que sean debidamente colocados.

b. Barras de Unión

Siguiendo los lineamientos de la P.C.A. y de la F.A.A. se adoptaron los siguientes criterios:

- Para calles de rodaje de anchos menores de 22.5 mt. todas las juntas longitudinales deben llevar barras de unión.
- Para pavimentos de anchos mayores de 22.5 mt. Llevarán barras de unión las juntas longitudinales ubicadas a menos de 11.25 mt. de los bordes libres de los pavimentos. Este es el caso de la pista y la plataforma.
- Las barras de unión deben ser de hierro superficialmente bien formado y de alto límite de fluencia.
- Para el dimensionamiento de las barras de unión y su separación se emplearon gráficos de la P.C.A. (año 1.973), Para la primera junta longitudinal se adoptaron barras de 5/8” de diámetro, 70 cms. de longitud y separadas 80 cms. La F.A.A. recomienda barras de unión de 5/8” de diámetro, 75 cms. de longitud y separadas 75 cms. Ambos criterios son prácticamente coincidentes en ese aspecto.

c. Materiales para relleno y sellado de juntas

El proyecto contempló la colocación de varios materiales de distintos tipos para el relleno y sellado de las juntas.

- Para la parte inferior de las juntas de dilatación se emplea relleno premoldeado de madera compresible tratada con aceite de creosota.
- Para la parte inferior de todas las juntas transversales de contracción y las longitudinales se utiliza espuma de goma.
- Para el sellado superior de todas las juntas se ha previsto emplear mezclas plásticas similares a los productos PARA-PLASTIC O SIKA-FLEX.

II.6.4 Perfil transversal tipo

El diseño correspondiente al perfil transversal, pista, calles de rodaje y plataforma, fue elaborado sobre la base de consideraciones de orden operacional y económico fundamentalmente tratando, de enmarcarse a las recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

II.6.5 Alcantarillas

Luego del respectivo análisis, se determinó que para el caudal máximo de lluvia, se necesitaba 0.53 m, entonces se colocaron tuberías de chapas "ARMCO" de 0.60 m.

Asimismo, con la finalidad de colaborar en la evacuación de aguas por las cunetas, se construyen zanjas de coronación, que descargan en las respectivas quebradas.

II.7 Algunos cálculos métricos

a. Hormigón de Cemento Portland

Pista de aterrizaje	26 864	m ³
Calles de rodaje	1 667	m ³
Plataforma de estacionamiento	4 339	m ³
Total	32 870	m ³

En el computo por metro cuadrado se discrimina para tres diferentes espesores de losa:

<u>Tipo de Pavimento</u>	<u>Espesor en cm</u>	<u>Superficie en m²</u>
A	30	100.233
B	27	8.678
C	20	2.285

b. Barras

No. de pasadores 1" = 77.333 - 34.800 ml - 139.200 kg
 No. de barras de unión 5/8" = 60.842 - 42.590 ml - 66.015 kg

c. Juntas

Espuma de goma para juntas = 49.602 ml de diferentes dimensiones
 Material plástico para sellado de juntas = 7509 lts

d. Costo

La ejecución de este proyecto sin considerar el movimiento de tierras fue de alrededor de \$us. 15.000.000.-

Capítulo III

ESTUDIOS REALIZADOS

A partir de la generación del problema, es decir el año 1989 hasta el año 1994, se da curso a una serie de estudios, tanto topográficos como de suelos, de tal manera de realizar un seguimiento técnico al desarrollo de las deformaciones y fisuras de las losas

de pista. Damos la relación de algunos de ellos.

III.1 Estudio de Suelos en 1991

La detección de asentamientos diferenciales en algunos sectores de la pista de aterrizaje motivó a realizar estudios de suelos en los sectores críticos, con la finalidad de encontrar soluciones a los problemas de las deformaciones en la pista.

Por ello se procedió a la toma de densidades naturales por el método de la arena y del volumenómetro, efectuándose además ensayos de laboratorio de humedad natural, límites de Atterberg, granulometrías, clasificación, próctor T-180 , ensayos de CBR y ensayos de penetración normal S.P.T.

En sus conclusiones este informe señala: “Realizados los ensayos de campo y de laboratorio, se puede indicar que el material que conforma la capa de sub base granular, en un espesor de 0.60 m corresponde a suelo gravo areno limoso, de clasificación A-2-4(0) de baja plasticidad, con relativo porcentaje de exceso en sobre tamaño a 2” en algunos sectores, cuyo proctor de acuerdo al ensayo de compactación AASHO T-180 es de 2.26 Kg/dm³, con una humedad óptima entre 4.80 y 5.60% de las diferentes muestras ensayadas; *su grado de compactación en obra alcanza a un 91% de su densidad máxima*, los valores de CBR varían entre 40 y 56% al 95% de su densidad máxima.

III.2 Evaluación del Pavimento e interpretación de resultados

Finalmente el año 1994, se lleva a cabo un estudio completo que fundamentalmente contempló los aspectos que a continuación se detallan.

III.2.1 Inventariación de Fallas y Defectos.

La inventariación de losas del aeropuerto, se efectuó de acuerdo al método de la FAA, el cual además de mostrar las fallas en cada losa da como resultado una evaluación del área considerada, puesto que es un sistema de evaluación que contempla todos los tipos de fallas que puedan tener estos pavimentos, desde el punto de vista superficial, pero que da todas las pautas necesarias para definir las zonas que estarían en proceso de deterioro o con problemas que deban ser solucionados a corto plazo. Asimismo se detectan las zonas en progresivo desarrollo de deterioro, pudiendo de esta manera prever los estudios y soluciones definitivas a largo plazo, sin perjudicar en un grado elevado las operaciones aéreas

Resultado:

En pista: 219 losas con fisuramientos entre 12 y 35 mm de abertura.
En calles de rodaje y plataforma: Fisuras referenciadas a la época de la construcción por efectos de contracción.

III.2.2 Trabajos Topográficos

Se levantaron secciones transversales de 100 m de ancho con mediciones cada 5 m y espaciadas cada 2m, entre las progresivas 1+800 a progresiva 2+300. Se realizaron comparaciones con otros levantamientos.

Resultado:

Hundimientos hasta de 60 mm entre las progresivas 1+900 y 1+960, mayormente en bordes de pista. Se puede decir que la zona de deformación, se encuentra en constante movimiento

III.2.3 Estudios Geológico y Geofísicos

Se programó el estudio geofísico por el método de refracción sísmica, con el fin de determinar las características estructurales en la zona de asentamientos y de esta manera verificar la existencia de posibles fallas geológicas de las cuales se tenía referencias vagas y sin documentación. Para este estudio se colocaron 8 puntos de explosión, situados a ambos lados de la pista.

Resultado:

No se observan fallas estructurales que estén activas y de importancia por lo que se descarta la influencia de fallas geológicas.

III.2.4 Estudio Hidrológico y Drenaje

Se pudo detectar que se habían clausurado dos de las alcantarillas de cruce de pista antes de la zona afectada, motivo por el cual el caudal de la zanja de drenaje del lado derecho recibía un aporte mayor al de diseño original. Así mismo se constato que las zanjas de coronamiento, estaban también aportando con su caudal y material de arrastre a la zanja principal.

Resultado:

En el canal próximo a la zona de falla (Prog. 2+100), el caudal de aporte

sobre pasa la capacidad del canal provocando un rebalse hacia la franja de pista.

Al contar la zona con corrientes subterráneas de diferente origen y sin curso definido, su presencia afecta en gran medida al humedecimiento adicional de la sub rasante.

III.2.5 Estudio de Suelos

Los ensayos se ejecutaron conforme a las especificaciones de las normas ASTM o su correspondiente a las normas AASHTO.

Tomando en cuenta que las mayores variaciones de humedad se encontrarían en las cercanías del borde de pista, se efectuaron los ensayos de densidad en esta zona en sus diferentes capas. Los ensayos de permeabilidad y consolidación se ejecutaron con muestras no alteradas, las mismas que fueron extraídas en campo y procesadas en laboratorio, las cuales contenían la humedad óptima del material y el 95% de compactación especificado para la construcción.

Resultado:

En la capa sub rasante la humedad óptima ha sido sobrepasada, en algunos casos hasta en un 20%.

En la capa sub base se encontraba con humedades debajo de las óptimas, lo cual se reflejaba en una baja de la densidad con relación al óptimo de compactación.

Las granulometrías se encontraban dentro de las especificaciones.

La humedad excesiva en la capa sub rasante ha producido hinchamientos en las capas inferiores y su respectiva respuesta en la superficie, produciendo fisuramientos y rotura de losas.

La capacidad portante del terreno de fundación, se ha visto disminuida debido al aumento de la humedad.

El análisis general de los resultados, señala la existencia del ingreso de agua en la sub rasante, a través de la franja y su dificultad de drenaje subterráneo rápido.

III.2.6 Estudio del Pavimento Rígido

El estudio del pavimento rígido se ha efectuado extrayendo muestras

representativas de la pista, con una maquina a rotación, para luego someterlas a la compresión y de esta forma obtener los parámetros que han sido utilizados para la evaluación del pavimento rígido.

Resultado:

Tensión Promedio de rotura (19 años) = 337 kg/cm²

III.2.7 Revisión del Diseño.

Teniendo en cuenta y como base, los datos de los ensayos efectuados en laboratorio y campo, se ha realizado el rediseño del pavimento, considerando primeramente la utilización real de la pista a la fecha conforme al tráfico de aeronaves que operaba, reduciéndolo a operaciones equivalentes de la aeronave de diseño B727-200; luego se transformó el valor del C.B.R. de campo al valor del módulo de reacción de la sub rasante y con el nuevo valor promedio de la resistencia a la flexión del hormigón; dando como resultado la estructura actual necesaria. De esta forma se puede definir entre la posibilidad de que la falla del pavimento haya sido o no por causas de sobrecarga o por falla en el comportamiento de los suelos u otras causas.

Resultado:

Luego del análisis de los ensayos, y del tráfico de aeronaves, se determina que la losa del pavimento no ha sido sometida a exceso de cargas ni a tráfico elevado, por lo que se descarta la posibilidad de falla estructural por sobrecarga.

Capítulo IV

SOLUCION PROPUESTA

De acuerdo al análisis realizado, se logra identificar los sectores con problemas y sus soluciones respectivas son las siguientes:

- En el sector entre progresivas 1 + 890 a 1 + 930 donde se produjeron los asentamientos e hinchamientos, se debe retirar el bolsón de arcilla existente en todo el área..

- Se construirán dos sub drenes longitudinales paralelos a la pista de aterrizaje, a una distancia de 22.5 metros del eje de pista, a una profundidad de 1 .60 a 2.00 metros y con una pendiente longitudinal de 1.5 % siguiendo la gradiente de la pista.
- En los fisuramientos longitudinales, se procederá a rellenar las dichas fisuras con material epóxico de alta resistencia, en espera de que se realice la consolidación del terreno debido a la construcción del sub dren.
- Se reconstruirán las zanjas de coronamiento.
- Se substituirán todas las alcantarillas de tipo ARMCO, con alcantarillas de hormigón.
- Se efectuará el perfilado y compactado de los márgenes de pista entre progresivas 1 + 700 a 2 + 900 con un recubrimiento de tratamiento superficial doble.
- Se efectuará el perfilado y compactado de la franja en toda la extensión de la pista.
- Se repondrán 64 losas que fueron retiradas, con las mismas dimensiones (3.75m x 5 m> y el mismo espesor de las losas de la pista. Asimismo, se repondrán 40 losas, removidas para el cambio de las alcantarillas.

Capítulo V

TRABAJOS DE MEJORAMIENTO REALIZADOS

V.1 Sistema de sub drenes

El año 1996, con la finalidad de evitar el ingreso de agua al área misma de la pista, se colocaron sub drenes paralelos al eje de pista, con cámaras de inspección cada 100 metros, asimismo se mejoró las zanjas de coronamiento y se realizó un perfilado y compactado a la franja de pista.

V.2 Mejoramiento del aeropuerto

El año 2001 se dio curso al proyecto con la ejecución de los siguientes trabajos:

- Cambio de 210 losas en pista.
- Reconfiguración de la sub base.
- Reconstrucción de márgenes de pista.
- Señalización horizontal de pista.
- Remoción de alcantarilla 1+180 y colocado de tubería de hormigón armado de 1.00 m de diámetro.

V.2.1 Análisis del proyecto de mejoramiento

En la ejecución misma del proyecto, se presentaron las siguientes situaciones:

- a. Después de realizar un inventario físico en la pista se determinó que ya se requería cambiar 322 losas de 5.00 x 3.75 m. Pero por el costo elevado solo se prioriza cambiar las losas que se encuentren únicamente en total fisuramiento y/o asentamiento.
- b. En la Prog. 2+130, la berma presentó un asentamiento de 23 cm.
- c. Se presentan vacíos de 12 cm. de espesor bajo la losa de hormigón.
- d. Los drenes en este sector no han funcionado adecuadamente, por lo que fue necesario realizar sub drenes transversales para optimizar el drenaje y poder evacuar las aguas de lluvia de una mejor manera.
- e. La pista se encuentra confinada por capas impermeables de arcilla, impidiendo la salida del agua a través de los sub drénes construidos, lo que ocasiona la pérdida de finos por un lavado continuo.
- f. Existe un total represamiento del agua en pista, existiendo la presencia de agua a 12 cm. por debajo de la cara inferior de las losas.
- g. Se toma como solución a los vacíos presentados entre las losas y la súbbase, la utilización de inyecciones de un mortero de cemento con arena en una proporción de 1:2, esta relación tiene el fin de

abaratar el costo de las inyecciones, logrando:

- Rellenar los vacíos y reponer toda la superficie de asiento de losa, para evitar la aparición de más losas fisuradas, y en las ya existen rajaduras mejorar su base de asiento.
 - Mejorar la sub-base con la reposición de finos, logrando un mejor terreno de asiento de losas.
 - Impermeabilizar la parte superior de la Sub-base por la presencia del mortero de cemento, evitando una mayor pérdida de finos.
- h. No se procede al cambio de la alcantarilla, por el período que tenía que cerrarse el aeropuerto. Se realiza una limpieza general de la misma y se rellena sus vacíos y se la recubre con pintura epóxica.
- i. Se cambia en total 236 losas, procediéndose a la inyección de mortero de cemento para estabilizar las losas y evitar su deterioro.
- j. Se colocan conectores de fierro 10 mm. cada 30 cm. para garantizar la transmisión de cargas y un refuerzo de acero estructural de diámetro 10 mm. cada 30 cm. en las losas
- k. Se procede a la nivelación de varias losas con inyecciones de mortero de cemento.

Actualmente esta en plena ejecución el proyecto de reparación de juntas.

Capítulo VI

COMENTARIOS FINALES

Sin duda alguna, el problema que estamos atravesando con la deformación de las losas de la pista, nos lleva a determinar que cualquier inconveniente en uno de los elementos que componen el paquete estructural del pavimento, nos puede directamente conducirnos al colapso. En este caso la falla se produce por exceso de humedad en la sub base, que es la capa de transición entre la rigidez de las losas y del suelo mismo de fundación.

Sabemos que una falla de este tipo, que bien podemos llamarla estructural, puede rápidamente llevarnos a una falla funcional, es decir que puede producirse una incapacidad del pavimento para cumplir con las funciones para las cuales fue construido.

En este aeropuerto, ya se estaba produciendo una falla funcional debido a los asentamientos y diferencias de altura entre losas, eran cada vez más pronunciadas, sin que aun se hayan producido las fallas estructurales.

Si bien en la etapa de construcción, se debe tener el máximo cuidado el alcanzar las densidades de diseño, en la etapa de operación el control de ingreso de agua al paquete del pavimento debe ser también riguroso. Esto nos lleva a determinar un mantenimiento permanente de los sistemas de drenaje y de las juntas en el pavimento.

Por la experiencia vivida en esta obra, cuyo cambio de losas, no solo representó un “perfecto trabajo de joyería”, sino también la paciencia y habilidad técnica de los profesionales participantes, consideramos necesario insistir en la necesidad de que permanentemente se ejecuten obras de mantenimiento en los aeropuertos.

Consideramos por esta experiencia y si el caso se presenta nuevamente en uno de nuestros aeropuertos, que la forma más práctica de solucionar este problema es la inyección de un mortero de hormigón para nivelar losas y posteriormente proceder a aplicar un recapamiento.

Sin lugar a dudas, nuestro país igual que la mayoría de los países que participamos en este evento, no tiene las condiciones económicas para realizar los mantenimientos de rigor, sin embargo, los que administramos aeropuertos debemos fundamentalmente tomar conciencia que es menester ingresar en la etapa preventiva tomando en cuenta la gerencia de pavimentos, por ser la menos onerosa económicamente en la administración aeroportuaria.