

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE LA PISTA DE ATERRIZAJE,
CALLES DE RODAJE Y PLATAFORMA DE ESTACIONAMIENTO DEL
AEROPUERTO DE TALARA**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

ANGEL ANDRÉS AQUIJE PAREDES

LIMA – PERÚ

2011

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

A mis padres Angel y María, por su invaluable e incondicional apoyo y dedicación en mi desarrollo personal y profesional. A mi asesor, el Ing. Samuel Mora, maestro y amigo quien me brindó su confianza y transmitió los conocimientos técnicos necesarios para la elaboración del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a los Ingenieros Edgar Castillo, Marco Montalvo, María Campos y Nilo Polo, quienes me impulsaron a desarrollar el tema tratado y colaboraron con la realización de la presente tesis al tener la gentileza de transmitirme los conocimientos y documentos técnicos referentes al estudio realizado.

A mis maestros de la Universidad Nacional de Ingeniería, quienes siempre dieron lo mejor de sí para ejercer la noble tarea de enseñar tanto en la teoría como en la práctica.

A mis familiares y amigos que con su apoyo y comprensión colaboraron para la culminación de la tesis aquí presentada.

	Pág.
RESUMEN	04
LISTA DE CUADROS	06
LISTA DE GRÁFICOS	08
LISTA DE FIGURAS	09
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 01: ESTUDIO DE SUELOS Y CAPAS DEL PAVIMENTO.	
1.1 OBJETIVO.	17
1.2 METODOLOGÍA.	17
1.3 TRABAJOS DE CAMPO.	18
1.3.1 Registros de Excavación.	20
1.3.2 Ensayos de Laboratorio.	20
1.3.3 Perfil Estratigráfico.	23
1.3.4 Ensayos del Pavimento Asfáltico.	24
1.4 RESULTADOS OBTENIDOS.	24
1.4.1 Suelos.	24
1.4.2 Mezcla Asfáltica.	27
1.5 CONCLUSIONES.	29
CAPÍTULO 02: EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.	
2.1 OBJETIVO.	32
2.2 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.	
2.2.1 Metodología para el Relevamiento de Fallas.	32
2.2.2 Metodología para la determinación del PCI.	38
2.2.3 Resultados Obtenidos.	43
2.3 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO.	
2.3.1 Metodología para la determinación de la Rugosidad.	47
2.3.2 Resultados de Mediciones de Rugosidad.	50

2.3.3	Metodología de Medición de Resistencia al Deslizamiento y Profundidad de textura.	51
2.3.4	Resultados de la Medición de Micro y Macro textura.	55
2.4	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.	57
2.4.1	Metodología de Medición con Viga Benkelman.	58
2.4.2	Metodología de Análisis de la Información Deflectométrica.	64
2.4.2.1	<i>El Modelo de Hogg.</i>	64
2.4.2.2	<i>Deflexiones en el Modelo de Hogg.</i>	64
2.4.2.3	<i>Características y Utilización del Modelo.</i>	65
2.4.2.4	<i>Modelo de Carga.</i>	66
2.4.2.5	<i>Determinación de Parámetros del Modelo de Hogg.</i>	66
2.4.2.6	<i>Parámetros de Evaluación del Modelo de Hogg.</i>	70
2.4.3	Resultados de las Mediciones Deflectométricas.	75
2.5	NOTIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE SEGURIDAD DEL PAVIMENTO.	
2.5.1	Metodología	82
2.5.2	Determinación del Espesor Equivalente y CBR de diseño a utilizar.	89
2.5.3	Notificación del PCN en Pavimentos Flexibles.	92
2.5.4	Notificación del PCN en Pavimentos Rígidos.	94
2.5.5	PCN Adoptado.	98
2.5.6	Determinación de los valores del ACN utilizando el Programa COMFAA.	98
2.6	INTERVENCIONES Y ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN Y/O MANTENIMIENTO.	
2.6.1	Objetivo.	104
2.6.2	Análisis de las Propuestas de Intervenciones.	104
2.6.3	Intervenciones Adoptadas.	115
2.6.5	Procedimiento Constructivo.	115
	CAPÍTULO 03: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	118

CONCLUSIONES	119
RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍA	124
ANEXOS	
Anexo 01:	Registros de Excavación.
Anexo 02:	Ensayos de Suelos.
Anexo 03:	Reporte de las mediciones de rugosidad.
Anexo 04:	Reporte de los resultados de micro y macrotextura.
Anexo 05:	Reporte de los resultados de Deflectometría.
Anexo 06:	Panel Fotográfico.

RESUMEN

La Evaluación de los Pavimentos del Área de Movimientos del Aeropuerto de Talara, cuya finalidad es determinar el estado del pavimento en términos de su integridad estructural y su nivel de servicio para plantear alternativas de solución técnicas, se inicia con la recopilación de información analizando la documentación existente.

Se desarrolla la evaluación superficial, funcional y estructural de los pavimentos mencionados usando metodología descrita principalmente por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) y la FAA (Federal Aviation Administration). Se ejecutaron 8 prospecciones geotécnicas en los bordes de la pista de aterrizaje para conocer las propiedades físico-mecánicas de los estratos existentes.

Como resultado de los ensayos de laboratorio se tiene que los espesores y estratos del pavimento presentan gran irregularidad y la calidad de los materiales no son las recomendadas por las normas de la OACI. El valor de CBR del terreno de fundación es de 4.9% al 95% de la MDS y por tanto se considera en un nivel bajo.

Los espesores de asfalto en la pista de aterrizaje, determinados a partir de extracciones diamantinas, presentan medidas variables que van desde los 2.5 cm hasta los 20 cm registrando un promedio de 4.8% de contenido de cemento asfáltico. Se debe hacer hincapié en que el aeropuerto en estudio ha sido sometido a constantes recapeos y fue construido en el año 1956, pasando los 50 años de servicio y resistiendo el paso del fenómeno del niño de 1983 el cual afectó considerablemente la estructura.

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) para la pista es 20, valor que corresponde a la calificación de "muy pobre" y según el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos se recomienda la reconstrucción del pavimento. En las calles de rodaje se obtuvo como resultado promedio un valor de PCI igual a 36 que corresponde a la calificación "pobre". En la Plataforma, el valor de PCI es igual 46, encontrándose en estado "regular".

El índice de Rugosidad Internacional (IRI) para la pista de aterrizaje, alcanza un valor promedio de 5.23 mm/km obtenido con el equipo MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation) superando largamente el valor máximo permisible de 2 mm/km lo cual es concordante con los bajos valores obtenidos para los PCI por la situación crítica de la superficie de rodadura existente.

Para verificar las condiciones de seguridad y evitar el riesgo de hidroneo en las superficies, se realizaron ensayos de microtextura y macrotextura obteniendo resultados por encima de los mínimos permisibles. Sin embargo, se observa que el pavimento ha perdido las características originales de tratamiento superficial para el que fue diseñado, por tanto, la irregularidad de los valores presentados podría generar reducción en la eficacia del frenado antiderrapante o daños a los neumáticos.

El comportamiento estructural de sistema pavimento – subrasante e muestra deficiente. En general los resultados de deflexión se hallan por encima de los 40(0.01mm.) que es límite máximo permitido para las deflexiones en pavimentos aeroportuarios.

El valor del PCN notificado para el aeropuerto de Talara es de **PCN 20/F/C/X/T**.

LISTA DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1.3.1	Relación de Calicatas – Número de Muestras.	19
Cuadro 1.3.2	Resumen de Ensayos de Suelos.	22
Cuadro 1.4.1	Resultados obtenidos en el terreno de fundación.	25
Cuadro 1.4.2	Resultados obtenidos en el cimiento (sub-base granular).	26
Cuadro 1.4.3	Resultados obtenidos en el firme (base granular).	27
Cuadro 1.4.4	Resultados obtenidos en extracciones asfálticas.	29
Cuadro 2.2.1	Resultados del Índice de Condición del Pavimento.	44
Cuadro 2.3.1	Resultados de rugosidad.	50
Cuadro 2.3.2	Resultados de Microtextura y Macrotextura.	55
Cuadro 2.4.1	Coeficientes de Correlación para el Cálculo de R5 en el Modelo Hogg.	75
Cuadro 2.4.2	Coeficientes de Correlación para la Determinación de L ₀ en el Modelo Hogg.	75
Cuadro 2.4.3	Resultados de deflexiones en la pista de aterrizaje – Sector AB.	76
Cuadro 2.4.4	Resultados de deflexiones en la pista de aterrizaje – Sector BC1.	77
Cuadro 2.4.5	Resultados de deflexiones en la pista de aterrizaje – Sector BC2.	78
Cuadro 2.4.6	Resultados de deflexiones en la pista de aterrizaje – Sector CD.	79
Cuadro 2.4.7	Resumen de parámetros elásticos de la pista de aterrizaje.	81
Cuadro 2.4.8	Resumen de parámetros elásticos de la calle de rodaje “A”.	81
Cuadro 2.4.9	Resumen de parámetros elásticos de la calle de rodaje “B”.	81
Cuadro 2.5.1	Categoría de resistencia del terreno de fundación.	87
Cuadro 2.5.2	Categoría de presión máxima permisible de los neumáticos.	88
Cuadro 2.5.3	Resultados del CBR del terreno de fundación.	90
Cuadro 2.5.4	Espesores equivalentes (HEQ) – Según Modelo de Hogg.	90
Cuadro 2.5.5	Coeficientes según el tipo de material para cálculo de espesor equivalente.	91
Cuadro 2.5.6	Espesor equivalente (HEQ) – Según prospecciones geotécnicas.	92

Cuadro 2.5.7	ACN usando el programa COMFAA de las aeronaves comerciales del Perú.	99
Cuadro 2.6.1	Indicadores de mantenimiento según el rango de PCI.	105
Cuadro 2.6.2	Recomendaciones de Intervención en función del PCI.	105
Cuadro 2.6.3	Guías y Procedimientos para mantenimientos en Aeropuertos.	106
Cuadro 2.6.4	Clasificación de los niveles de fricción.	111
Cuadro 2.6.5	Límites establecidos para profundidad de textura en pistas de aeropuertos.	111
Cuadro 2.6.6	Listado de Intervenciones.	114

LISTA DE GRÁFICOS

		Pág.
Gráfico 1.3.1	Ubicación de Calicatas	18
Gráfico 1.3.2	Perfil Estratigráfico	23
Gráfico 1.4.1	Ubicación de Núcleos Diamantinos	28
Gráfico 2.2.1	Distribución del Aeropuerto de Talara.	33
Gráfico 2.2.2	Ubicación de unidades de muestreo.	35
Gráfico 2.2.3	Formato utilizado para el relevamiento de fallas.	40
Gráfico 2.2.4	Sectorización para evaluación superficial del pavimento.	44
Gráfico 2.2.5	Determinación del PCI del Aeropuerto de Talara.	46
Gráfico 2.3.1	Secciones para determinación de rugosidad.	48
Gráfico 2.3.2	Ecuación de correlación para equipo Bump Integrator.	50
Gráfico 2.3.3	Valores del IRI sobre la pista de aterrizaje.	51
Gráfico 2.3.4	Ubicación de Pruebas de microtextura y macrotextura.	55
Gráfico 2.3.5	Textura superficial en la pista de aterrizaje.	56
Gráfico 2.3.6	Coeficiente de resistencia al deslizamiento en la pista de aterrizaje.	57
Gráfico 2.4.1	Secciones para medición con Viga Benkelman	59
Gráfico 2.4.2	Deflectograma de la pista de aterrizaje – Sector AB.	76
Gráfico 2.4.3	Deflectograma de la pista de aterrizaje – Sector BC1.	77
Gráfico 2.4.4	Deflectograma de la pista de aterrizaje – Sector BC2.	78
Gráfico 2.4.5	Deflectograma de la pista de aterrizaje – Sector CD.	79
Gráfico 2.4.6	Deflectograma general de la pista de aterrizaje.	80

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 01	Imagen satelital del Aeropuerto de Talara.	12
Figura 02	Fenómeno de Hidroplaneo (Aquaplaning).	52
Figura 03	Péndulo del Transport and Road Research Laboratory.	53
Figura 04	Efecto de la textura de la superficie sobre el coeficiente de rozamiento neumático-superficie.	54
Figura 05	Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman.	60
Figura 06	Viga Benkelman y volquete utilizado en el ensayo de deflectometría.	62
Figura 07	Esquematación de medición con Viga Benkelman.	63
Figura 08	Significado cualitativo de los diferentes tipos de deflexiones.	72
Figura 09	Organigrama para cálculo de ACN.	83
Figura 10	ACN para pavimentos rígidos.	84
Figura 11	ACN para pavimentos flexibles.	85
Figura 12	Relaciones entre clasificaciones de suelos, índices CBR y valores K.	96
Figura 13	Obtención del PCN de la Plataforma del Aeropuerto de Talara	97
Figura 14	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave A319-100.	100
Figura 15	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave A320-100.	100
Figura 16	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave A321-100.	101
Figura 17	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave B737-100.	101
Figura 18	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave B737-200.	102
Figura 19	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave B767-300.	102
Figura 20	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave BAe 146-100.	103
Figura 21	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave BAe 146-200.	103
Figura 22	Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave Fokker 100.	104
Figura 23	Escala IRI según el Banco Mundial.	110

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

ACN:	Número de clasificación de aeronaves.
ASTM:	American Society of Testing and Materials
CBR:	California Bearing Ratio. Índice de penetración California.
CRD:	Coefficiente de resistencia al deslizamiento.
FAA:	Federal Aviation Administration
L.L.	Límite líquido
L.P.	Límite plástico
I.P.	Índice de plasticidad
IRI:	Índice de rugosidad internacional
MDS:	Máxima densidad seca.
Mpa:	Megapascal.
OACI:	Organización de Aviación Civil Internacional
OCH:	Óptimo contenido de humedad.
PCI:	Índice de Condición del Pavimento
PCN:	Número de clasificación de pavimentos.
VDC:	Valor deducido corregido
VDT:	Valor deducido total.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo de tesis se enmarca en la evaluación de los pavimentos del área de movimientos (pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento) del aeropuerto de Talara, dirigida a determinar las fallas tanto superficiales como estructurales identificando los problemas y proponiendo alternativas de solución técnicas que se basen en las Normas Internacionales adoptadas en nuestro país.

En los últimos años se han realizado tesis de grado que abarcan la evaluación de pavimentos en los sistema viales, en algunos casos con temas específicos como evaluación de pavimentos aplicando la Viga Benkelman o evaluación de rugosidad de pavimentos con el uso del Bump Integrator; también se han elaborado trabajos de mejoramiento, desarrollo y diseño de aeropuertos; sin embargo, no existe registro de alguna tesis que trate específicamente sobre el procedimiento y desarrollo de evaluación funcional y estructural de los pavimentos del área de movimientos de un aeropuerto, motivo por el cual se justifica la realización del presente estudio eligiendo este tema para llenar el vacío académico presentado, dado que es un punto que merece ser trabajado dejando registro del procedimiento y ejecución de la evaluación de pavimentos aeroportuarios.

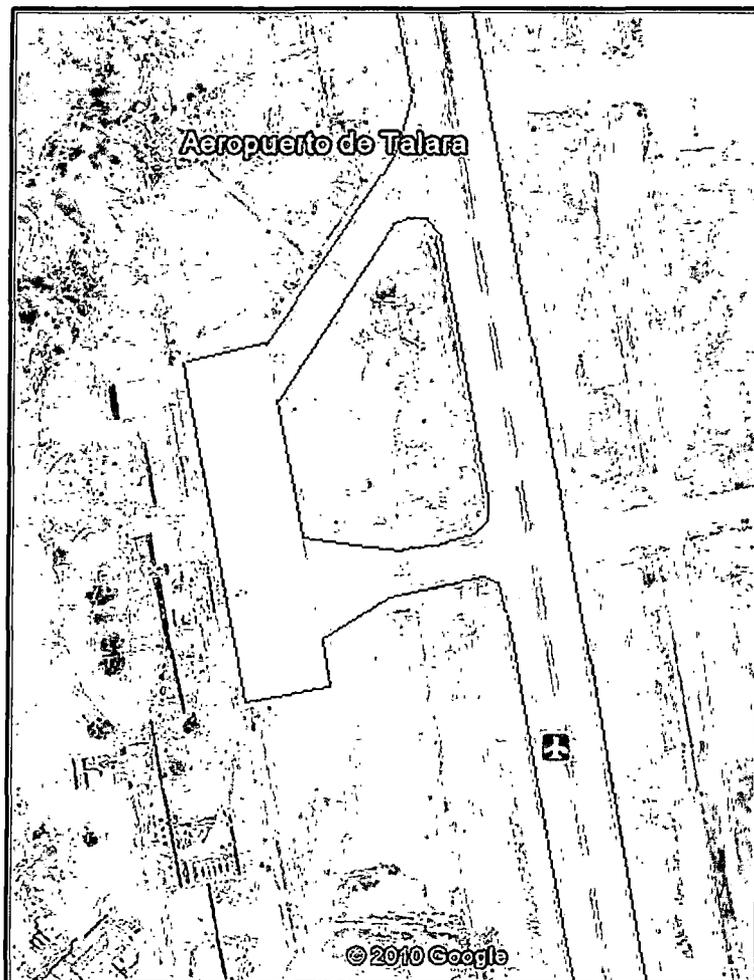
1. Generalidades

El Aeropuerto Cap. FAP Víctor Montes Arias, de la ciudad de Talara, se encuentra ubicado en el Distrito de Pariñas, Provincia de Talara en el Departamento de Piura y es la puerta de entrada al norte peruano. La temperatura de referencia es de 31.3°C. Las coordenadas del aeropuerto son 04°34'30.95"S y 81°15'19.58"W y se encuentra a una altura promedio de 85.95 msnm.

Este Aeropuerto fue construido en 1956 y ocupa un área de 144.88 hectáreas y un perímetro de 8197.87 metros. Colinda por el lado este con las instalaciones de la FAP.

Es un importante terminal del departamento de Piura y sirve como auxilio al Aeropuerto Internacional Capitán FAP Guillermo Concha Iberico de la ciudad de Piura además de brindar un mejor acceso a la localidad turística de Máncora, siendo una alternativa al aeropuerto de Tumbes.

Figura N° 01
Imagen satelital del Aeropuerto de Talara



La principales características del Aeropuerto son las siguientes:

Pista de Aterrizaje

Longitud:	2460.00 m
Ancho:	45.00 m
Elevación:	85.95 msnm
Tipo de superficie de rodadura:	Pavimento mixto, losa de concreto con recubrimiento asfáltico desde la progresiva 00+000 hasta la progresiva 00+300, y

pavimento flexible desde la progresiva 00+300 hasta la progresiva 02+460.
Designador de Pista: 17 / 35

Plataforma de Estacionamiento

Longitud: 210 m
Ancho: 50 m
Tipo de superficie de rodadura: Pavimento rígido, conformado por 420 losas de concreto de 5 x 5 metros.

Calles de Rodaje.

	Calle de Rodaje A	Calle de Rodaje B
Ancho:	22.5 m	22.8 m
Largo:	158.0 m	113.0 m
Tipo de superficie de rodadura:	Pavimento flexible	Pavimento flexible

A continuación se muestra el plano de ubicación del proyecto:

2. Definiciones

Los términos y expresiones indicadas a continuación tienen el siguiente significado:

Aeródromo. Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves.

Aeropuerto. Es el Aeródromo de uso público que cuenta con edificaciones, instalaciones, equipos y servicios destinado en forma habitual a la llegada, salida y movimiento de aeronaves, pasajeros y carga en su superficie. Todo Aeródromo que a juicio del estado posee las instalaciones suficientes para ser considerado de importancia en la Aviación Civil.

Área de maniobras. Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, excluyendo las plataformas.

Área de movimiento. Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras y las plataformas.

CBR: California Bearing Ratio. Índice de Penetración California. Relación de Resistencia del suelo determinado mediante comparación de la carga de penetración del suelo con un material normalizado.

Calle de rodaje. Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo.

Cimiento: Capa de material seleccionado especificado de espesor calculado colocadas sobre el terreno de fundación para soportar el firme. Llamado también sub-base granular.

Firme: Capa de material especificado de espesor designado que se apoya sobre un cimiento o el terreno de fundación para soportar la capa superficial o revestimiento. Llamado también base granular.

k : módulo de reacción del terreno de fundación. Representa la razón entre la carga aplicada y la deflexión debido a ella. Este parámetro se emplea para caracterizar el suelo del terreno de fundación en un pavimento de concreto.

Número de clasificación de aeronaves (ACN). Cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada categoría normalizada del terreno de fundación.

Número de clasificación de pavimentos (PCN). Cifra que indica la resistencia de un pavimento para utilizarlo sin restricciones.

Pista. Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.

Plataforma. Área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Terreno de fundación: Parte superior del suelo, natural o construido que soporta las cargas transmitidas por el pavimento.

Capítulo 01: ESTUDIO DE SUELOS Y CAPAS DEL PAVIMENTO

Capítulo 01: ESTUDIO DE SUELOS Y CAPAS DEL PAVIMENTO

1.1 OBJETIVO

El objetivo del estudio de suelos y de las capas del pavimento, es conocer las características físico - mecánicas de los materiales que conforman el pavimento y el terreno de fundación; y definir en forma objetiva el valor relativo de soporte que permita cuantificar el aporte de los materiales que conforman la actual estructura del pavimento. Del mismo modo permitirá efectuar el cálculo y reporte del PCN (Número de Clasificación del Pavimento) de las diferentes ramas del Aeropuerto de Talara.

1.2 METODOLOGÍA

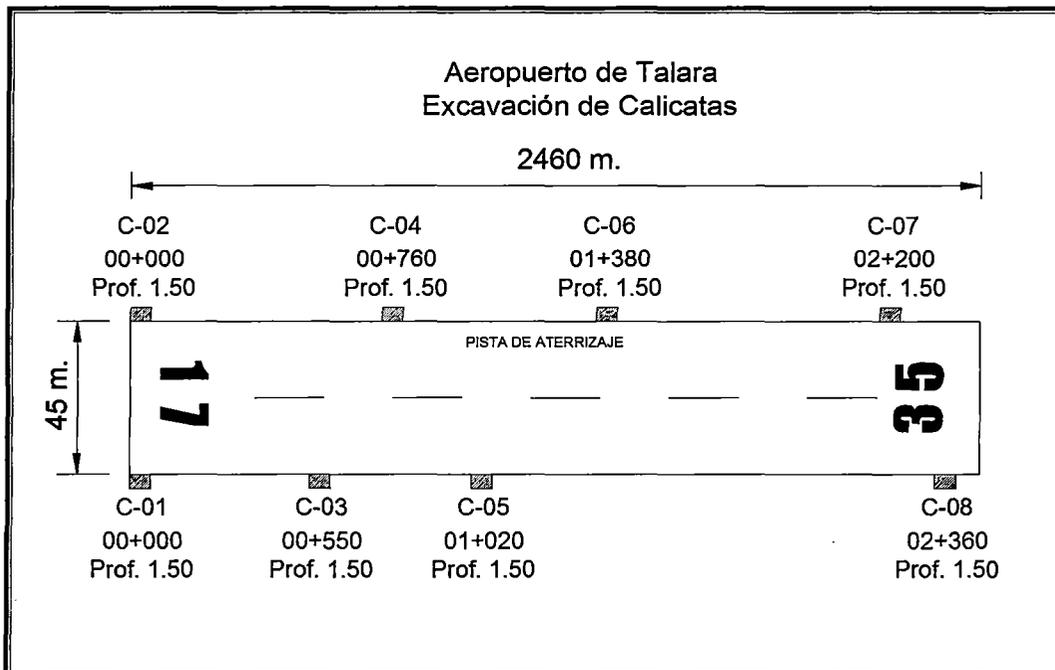
La metodología seguida para la ejecución del estudio ha comprendido las siguientes actividades:

- Elaboración de un programa de exploración de campo
- Excavación de calicatas, con una profundidad mínima de 1.50 m ó hasta encontrar imposibilidad de un mayor avance debido a la presencia de la napa freática, la existencia de suelos cementados, bolonería y/o mantos rocosos.
- Registro del perfil estratigráfico en cada calicata.
- Ejecución de ensayos de densidad in situ y humedad de campo en cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento.
- Muestreo representativo de las diferentes capas que componen el pavimento y terreno de fundación existente, para ensayos de clasificación.
- Muestreo del terreno de fundación que soporta la estructura del pavimento para la ejecución de ensayos de verificación de la capacidad portante, tales como Proctor y CBR.
- Ensayos de laboratorio y trabajos de gabinete para determinar las características generales de los suelos.

1.3 TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos de exploración de campo consistieron en la excavación manual de 8 calicatas de 1.50 m de profundidad. En el perfil estratigráfico y registros de excavación se muestran los espesores y características de las capas. Así mismo en el Gráfico 1.3.1 se detallan las ubicaciones de las prospecciones.

**Gráfico N° 1.3.1
 Ubicación de las Calicatas**



Nota: El croquis no está a escala.

A continuación en el Cuadro 1.3.1 “Relación de calicatas – Número de Muestras”, se relacionan el número de calicatas ejecutadas a lo largo de la pista de aterrizaje y plataforma de estacionamiento con el número de las muestras extraídas durante la ejecución de los trabajos de campo, de la siguiente manera:

Cuadro N° 1.3.1
Relación de Calicatas – Número de Muestras

Cuadro N° 1.3.1 Relación de Calicatas – Número de Muestras				
PROYECTO:		EVALUACION DE PAVIMENTOS - AEROPUERTO DE TALARA		
UBICACION:		AEROPUERTO DE TALARA		
MATERIAL:		MUESTRAS DE CALICATAS		
PROGRESIVA:		KM. 00+000 AL 02+460		
CALICATA	PROGRESIVA	LADO	MUESTRA	PROF.
C - 1	00+000	DERECHO	-	0.00-0.30
			M-1	0.30-1.10
			M-2	1.10-1.50
C - 2	00+000	IZQUIERDO	-	0.00-0.30
			M-1	0.30-0.90
			M-2	0.90-1.50
C - 3	00+550	DERECHO	-	0.00-0.05
			M-1	0.05-0.40
			M-2	0.40-1.05
C - 4	00+760	IZQUIERDO	-	0.00-0.05
			M-1	0.05-0.35
			M-2	0.35-1.15
C - 5	01+020	DERECHO	-	0.00-0.05
			M-1	0.05-0.35
			M-2	0.35-0.55
C - 6	01+380	IZQUIERDO	-	0.00-0.05
			M-1	0.05-0.20
			M-2	0.20-1.50
C - 7	02+200	IZQUIERDO	-	0.00-0.05
			M-1	0.05-0.20
			M-2	0.20-1.50
C - 8	02+460	DERECHO	-	0.00-0.05
			M-1	0.05-0.20
			M-2	0.20-0.90
			M-3	0.90-1.50

La metodología seguida para ejecutar las prospecciones de campo es la siguiente:

Se establece la ejecución de calicatas convenientemente espaciadas, las mismas cuya ubicación es fijada de acuerdo a la homogeneidad de los materiales. En cada una de las excavaciones se identifican los diferentes estratos del terreno y se obtienen muestras representativas para efectuar ensayos de laboratorio y determinar las características físicas del suelo. Se obtuvieron un total de 20 muestras de las calicatas, tanto de las capas de base,

sub base y terreno de fundación para la realización de los ensayos de Clasificación, Proctor y CBR.

También se han realizado ensayos de densidad de campo en cada capa para determinar el grado de compactación, mediante la utilización del Cono de Arena.

Es importante señalar que se han tenido en cuenta los requerimientos de seguridad establecidos por la administración del aeropuerto. Las calicatas fueron cubiertas y compactadas inmediatamente, a fin de garantizar la seguridad del aeropuerto, así como para evitar que se vean afectadas las capas inferiores por efecto de contaminaciones.

1.3.1 Registros de excavación

Durante la perforación de las calicatas, se llevó a cabo el registro de exploración, donde se registró la clasificación visual del suelo, humedad, compacidad, forma del agregado grueso, porcentaje de piedras mayores de 3 pulgadas y tamaño máximo, napa freática y materia orgánica. En cada perforación se efectuó el registro de exploración con su correspondiente vista fotográfica, las cuales se muestran en el panel fotográfico; así mismo los reportes de los registros de excavación aparecen en el Anexo 01: Registros de Excavación.

1.3.2 Ensayos de Laboratorio

Con las muestras de suelo que se obtuvieron de las excavaciones se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos del tipo estándar, de compactación y de capacidad de soporte, los mismos que fueron realizados en el laboratorio ubicado en la misma zona de trabajo.

Los ensayos realizados fueron:

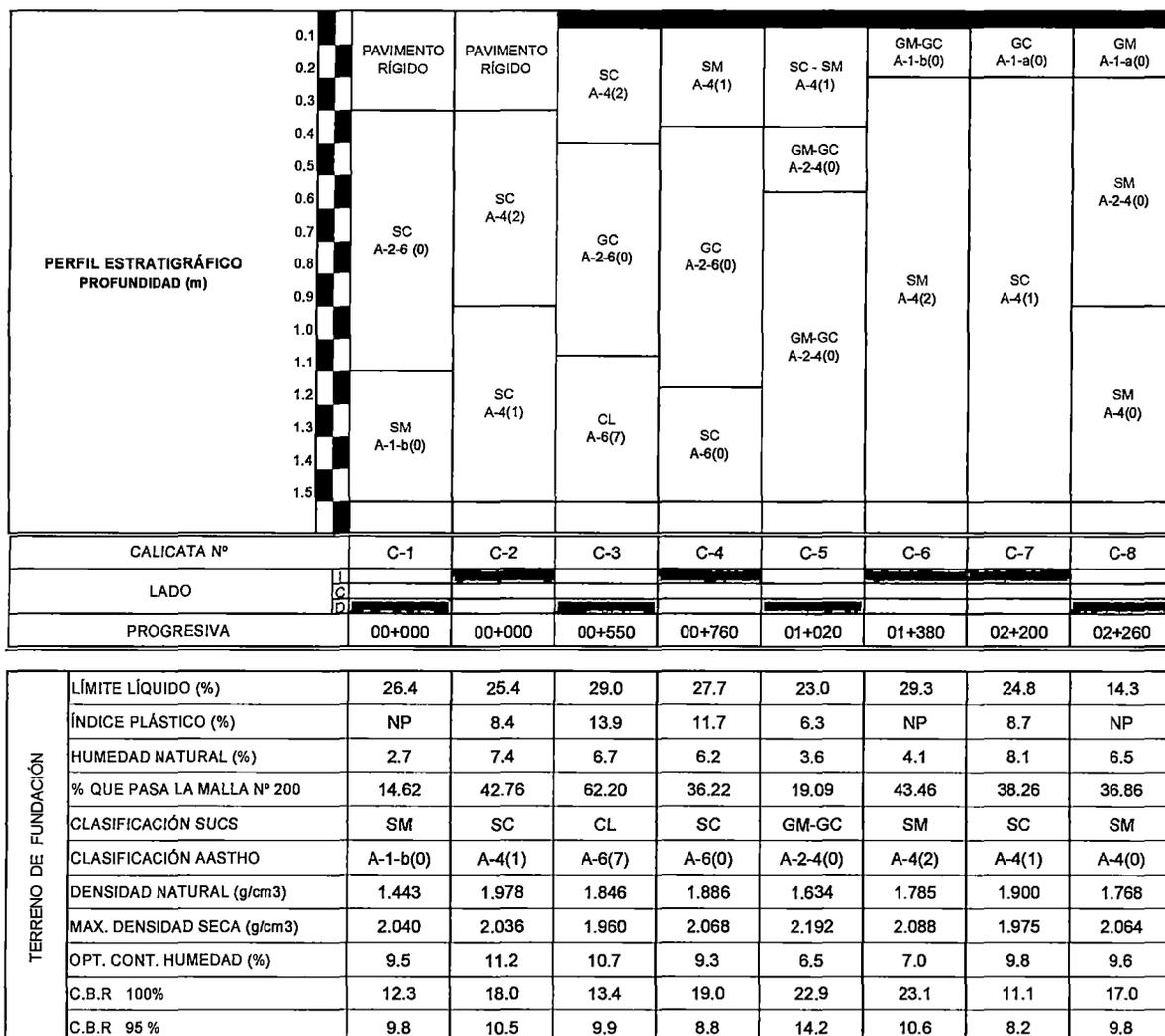
- | | | |
|---|--------------------------------------|-------------|
| - | Análisis Granulométrico por Tamizado | ASTM C-136 |
| - | Límite Líquido y Límite Plástico | ASTM D-4318 |
| - | Contenido de Humedad | ASTM D-2216 |

Estos ensayos fueron necesarios para clasificar los suelos según el sistema SUCS (ASTM D-2487) y el sistema AASHTO.

1.3.3 Perfil Estratigráfico

El perfil estratigráfico se define como una sección transversal natural de todos los horizontes del suelo desde la superficie hasta el terreno de fundación, el cual sirve para tener un juicio de los suelos y sus propiedades geomecánicas que conforman la estructura del pavimento existente incluyendo la capa bajo la subrasante. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio y de las prospecciones geotécnicas; a continuación se realiza una descripción detallada del perfil estratigráfico, del pavimento y terreno de fundación de acuerdo a lo indicado en el Gráfico N° 1.3.2 Perfil Estratigráfico.

Gráfico N° 1.3.2
Perfil Estratigráfico



1.3.4 Ensayos del Pavimento Asfáltico

Como parte del control de la condición de deterioro y/o envejecimiento del asfalto, se realizaron extracciones de núcleos diamantinos en la carpeta asfáltica de la pista de aterrizaje y calles de rodaje, a fin de conocer los espesores, el porcentaje del concreto asfáltico y la composición granulométrica del mismo.

Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Peso Unitario de Briqueta
- Análisis Granulométrico por Tamizado
- % de Cemento Asfáltico

1.4 RESULTADOS OBTENIDOS

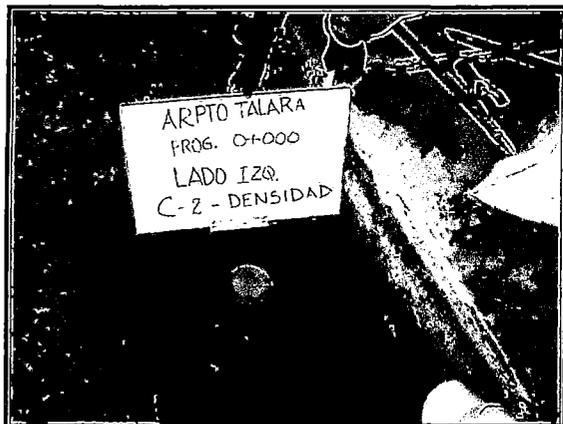
1.4.1 Suelos

(1) Terreno de Fundación

El material del terreno de fundación está conformado suelos arenosos de naturaleza no plástica y plástica, clasificados predominantemente como A-4(1), A-4(0), A-4(2), A-1-b(0), A-6(0) y A-2-4(0), siendo de color beige y sin presencia de bolonerías. La humedad natural se encuentra comprendida entre 2.7% y 8.1%.



En el Km 01+020, el terreno de fundación está compuesto por un material clasificado como GM-GC, según la clasificación SUCS, y A-2-4(0), según el sistema AASHTO.



Se realizó el ensayo de densidad in situ, mediante el método del cono de arena, AASHTO T-191, observándose que éstos suelos se hallan en estado compacto a semicompacto, sus densidades naturales se encuentran en el rango comprendido entre los 1.443 y 1.978 gr/cm³, es decir entre el 69% y el 91% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Así mismo se efectuaron ensayos de CBR en el terreno de fundación obteniéndose como resultado valores entre 8.2% y 14.2% para el 95% de la máxima densidad seca obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

Cuadro N° 1.4.1
Resultados obtenidos en el terreno de fundación

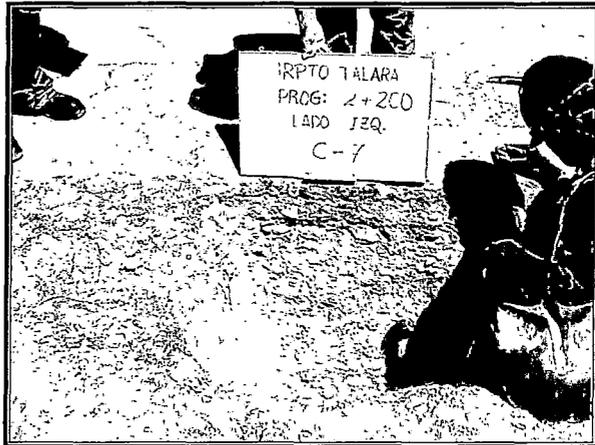
Descripción	Norma AASHTO	Resultados obtenidos (PROMEDIO)
Limite Líquido	T-89	25.0%
Indice Plástico	T-90	6.1%
CBR al 95%	T-193	10.23%
CBR al 100%	T-193	17.10%
MDS del Proctor Modificado	T-180	2.05 gr/cm ³

(2) Cimiento (Sub Base Granular)



La sub base está conformada por suelos gravosos, arenosos de naturaleza plástica, clasificados como A-2-6 (0) y A-2-4 (0), son suelos con porcentaje de bolonería sub angulosa de tamaño máximo 4" comprendido entre 1 a 2%. La humedad natural se halla comprendida entre el 3 y 10%.

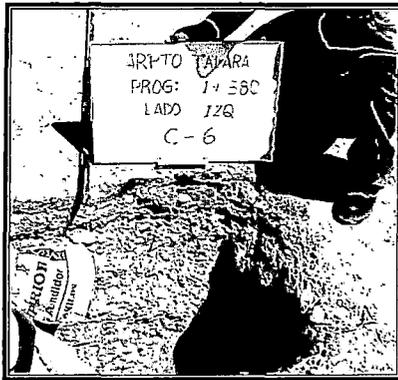
Se realizó el ensayo de densidad in situ, con el método del cono de arena AASHTO T-191, observándose que se halla en estado compacto a semicompacto, sus densidades naturales se encuentran en el rango comprendido entre los 1.316 y 2.207 gr/cm³, es decir entre el 61% y 100% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.



Cuadro N° 1.4.2
Resultados obtenidos en el cimiento (sub-base granular)

Descripción	Norma AASHTO	Resultados obtenidos (PROMEDIO)
Limite Líquido	T-89	25%
Indice Plástico	T-90	9%
MDS del Proctor Modificado	T-180	2.11 gr/cm ³

(3) Firme (Base Granular)



La base granular está conformada por suelos gravosos, arenosos y arcillosos de naturaleza plástica, clasificados como A-1-a (0), A-1-b (0), A-4(3) y A-4(1). La humedad natural se halla comprendida entre el 2 y 8%. Son suelos de color beige, en estado compacto a semi compacto cuyas densidades naturales en promedio registran valores del orden de los

1.958 gr/cm³.

Se realizó el ensayo de densidad in situ, con el método del cono de arena, obteniéndose como resultado promedio de compactación 85.9 %. Así mismo se efectuaron los ensayos de proctor modificado

Cuadro N° 1.4.3
Resultados obtenidos en el firme (base granular)

Descripción	Norma AASHTO	Resultados obtenidos (PROMEDIO)
Limite Líquido	T-89	22.1%
Indice Plástico	T-90	6%
MDS del Proctor Modificado	T-180	2.12 gr/cm ³

1.4.2 Mezcla Asfáltica



A fin de conocer los espesores, composición granulométrica y el porcentaje del contenido asfáltico, se efectuó la extracción de los núcleos diamantinos en la pista de aterrizaje y calles de rodaje. La ubicación de los núcleos diamantinos extraídos se muestra en el Grafico N° 1.4.1.

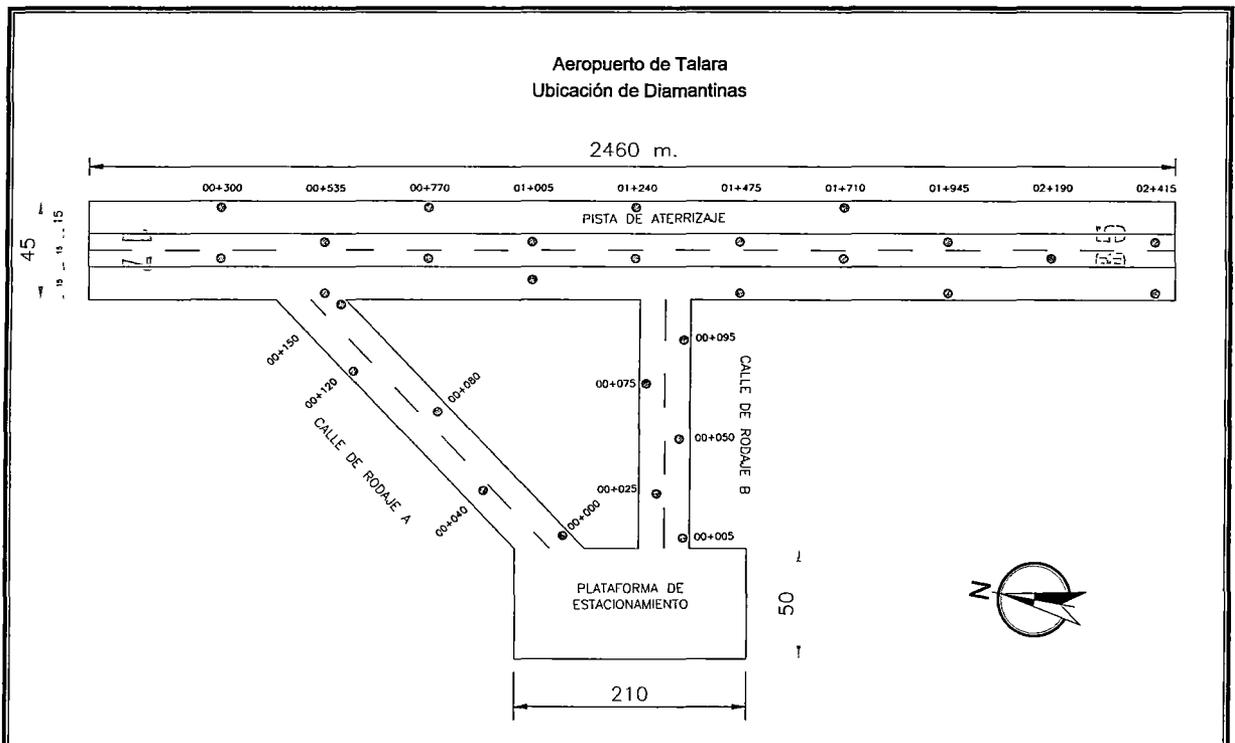
Se obtuvo como espesor promedio 9.5 cm. en la pista de aterrizaje, 8.0 cm. en la calle de rodaje A y 9.0 cm en la calle de rodaje B.

Debemos resaltar que los espesores de carpeta asfáltica encontrados en la pista de aterrizaje son bastante variables y van desde los 2.5 cm en la parte final de la pista, hasta los 20 cm en la zona cercana a los 300 primeros metros que son de pavimento rígido.



Algo similar ocurre en las calles de rodaje pero la variabilidad no se presenta tan marcada como en el caso anterior.

Gráfico N° 1.4.1.
Ubicación de Núcleos Diamantinos



La irregularidad en los espesores de la pista tiene relación con que el aeropuerto ha sido sometido a recapeos, tratamientos y parches en repetidas ocasiones haciendo que el espesor sea muy variable.

En la pista de aterrizaje se obtuvo como resultado promedio 4.8% de contenido de asfalto con un porcentaje de grava retenido en el tamiz N° 4 del 36.9%. Así mismo en las calles de rodaje se obtuvo 4.5% de contenido asfáltico, con un 37.2% de grava.

Cuadro N° 1.4.4
Resultados obtenidos en Extracciones Asfálticas

N°	SECTOR	LADO	% DE MATERIAL QUE PASA											PESOS		% DE AGREGADO		% DE ASFALTO
			1"	3/4"	3/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°30	N°60	N°100	N°200	INICIAL	FINAL	> N° 4	< N° 4	
1	00+535/00+770	CENTRO	100.0	96.7	87.5	80.5	64.4	50.1	38.4	29.0	15.6	5.5	3.4	1434.1	1361.9	35.6	64.4	5.03
2	00+535/00+770	DER-IZQ.	100.0	95.1	86.0	78.2	62.1	48.5	37.1	28.9	17.2	5.5	2.7	1442.2	1379.6	37.9	62.1	4.34
3	01+240/01+945/02+180	DER-IZQ.	100.0	98.2	88.4	79.7	62.9	49.9	38.2	28.5	16.8	4.4	2.4	1406.7	1334.9	37.1	62.9	5.10
4	CALLE RODAJE "A"		100.0	95.8	86.7	79.7	62.8	49.4	37.9	30.0	18.6	5.8	3.0	1692.2	1625.3	37.2	62.8	3.95
5	CALLE RODAJE "B"		100.0	96.4	87.1	78.3	62.9	49.5	37.8	30.0	18.5	5.6	3.6	1098.8	1042.7	37.1	62.9	5.11
n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	-	-	5	5	5	
Sumatoria	500.0	482.1	435.6	396.3	315.0	247.4	189.3	146.2	86.6	26.7	15.1	-	-	185.0	315.0	23.5		
Xp	100.0	96.4	87.1	79.3	63.0	49.5	37.9	29.2	17.3	5.3	3.0	-	-	37.0	63.0	4.7		
Mín	100.0	95.1	86.0	78.2	62.1	48.5	37.1	28.5	15.6	4.4	2.4	-	-	35.6	62.1	4.0		
Max	100.0	98.2	88.4	80.5	64.4	50.1	38.4	30.0	18.6	5.8	3.6	-	-	37.9	64.4	5.1		
Desv. Estandar	0.0	1.1	0.9	1.0	0.9	0.6	0.5	0.7	1.2	0.6	0.5	-	-	0.9	0.9	0.5		
Varianza	0.0	1.3	0.8	1.0	0.7	0.4	0.2	0.5	1.5	0.3	0.2	-	-	0.7	0.7	0.3		

1.5 CONCLUSIONES

El material que conforma el terreno de fundación es de tipo arenoso, cuyos finos de naturaleza no plástica y plástica hacen que el material se encuentre en estado de semi compactación, con humedades naturales entre 2.7 y 8.1% por debajo de la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor Modificado cuyos rangos se encuentran entre 6.5 y 11.2%. Presenta valores de límite líquido entre 14% y 29%. Los porcentajes de compactación obtenidos con densidad de campo se encuentran entre 69% y 91%.

Los valores de CBR de los materiales que conforman el terreno de fundación se encuentran entre 8.2% y 14.2% al 95% de la MDS. No hay homogeneidad en las características del material.

La sub base existente presenta humedades naturales que están por debajo del límite plástico, que nos indica la condición en estado sólido de los suelos, así mismo presenta valores de límite líquido entre 19% y 28%, el cual excede las especificaciones establecidas (max 25%) y un I.P. entre 4% y 13% que exceden el 6% recomendado por la OACI y el 4% presentado por la FAA en las Especificaciones Técnicas para construcción de Aeropuertos. Los porcentajes de compactación obtenidos del ensayo con densidad de campo se encuentran entre 61% y 100%, los cuales son relativamente bajos comparados con lo establecido en las especificaciones técnicas la cual indica que el grado de compactación del cimiento debe ser de 98% como mínimo en todos los casos.

Los materiales de base existente presentan humedades naturales del orden del 2.4% al 7.5% que se encuentran por debajo del límite plástico, lo que nos indica la condición en estado sólido de los suelos, así mismo se tiene valores de límite líquido promedio de 22% y un I.P. entre 1% y 11%, los cuales no cumplen las características de las especificaciones técnicas que indican que debe ser no plástico. Los porcentajes de compactación obtenidos con densidad de campo de encuentran entre 79% y 97%, los cuales son valores bajos respecto al 100% requerido.

Con respecto a las capas asfálticas, con los núcleos diamantinos se realizaron los respectivos lavados asfálticos de los cuales se obtuvo como resultado promedio 4.8% de cemento asfáltico. Debe resaltarse que la pista de aterrizaje del aeropuerto en estudio ha sido sometida a recapeos en rehabilitaciones consecutivas, lo cual aumenta los niveles de gradación de carpeta asfáltica.

Capítulo 02: EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

Capítulo 02: EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

2.1 OBJETIVO

Presentar los resultados de la evaluación de la condición superficial y estructural de pavimentos mediante ensayos no destructivos, determinando el grado de serviciabilidad, rugosidad y capacidad estructural de la vía para determinar los niveles de intervención en la estructura analizada.

Para efectuar la evaluación del pavimento se realizó una inspección visual del estado de deterioro del pavimento, medición de la condición superficial mediante relevamiento de fallas para la determinación del valor de PCI (Índice de Condición del Pavimento), mediciones de rugosidad para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), medición de deflexiones utilizando la Viga Benkelman para la determinación de la capacidad portante, y mediciones del coeficiente de fricción y textura del pavimento para la determinación del grado de seguridad al deslizamiento.

2.2 EVALUACIÓN DE CONDICIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

La evaluación del pavimento tiene por objetivo la determinación del valor del Pavement Condition Index (PCI), los resultados de esta evaluación permitirán establecer el estado de deterioro del pavimento y los niveles de intervención a recomendar.

2.2.1 Metodología para el Relevamiento de Fallas

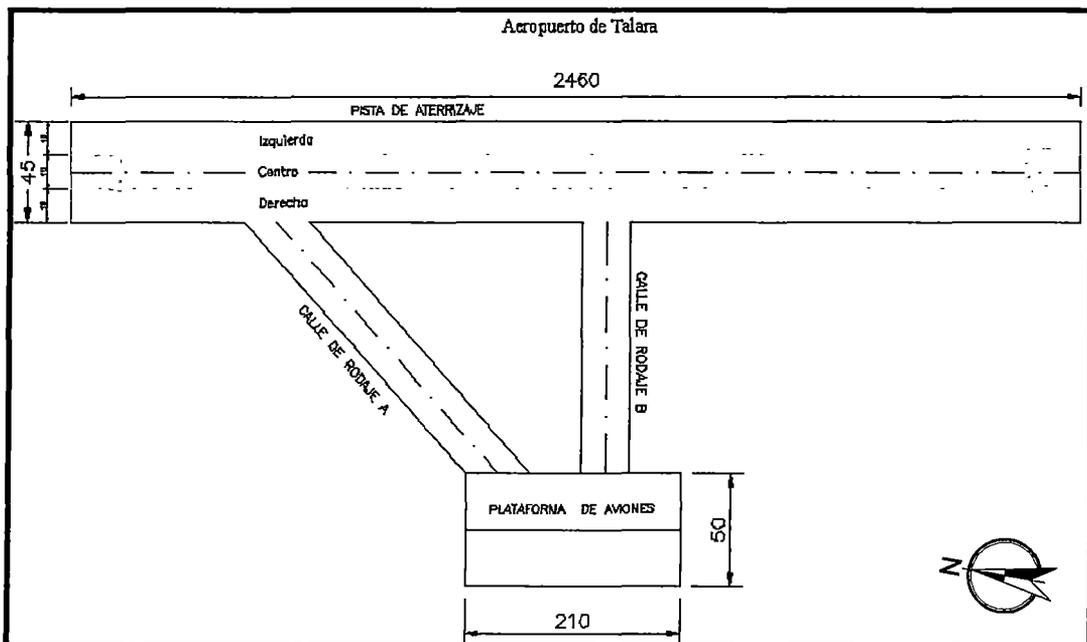
La evaluación de la condición superficial del pavimento se ejecutó mediante el relevamiento de fallas tomando como referencia la metodología establecida en la Norma ASTM D 5340 – 98 (Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys).

El proceso de evaluación se efectuó siguiendo 2 etapas, la primera correspondiente al trabajo de campo y la segunda a la etapa de gabinete para la determinación de los valores de PCI.

A. Labores de Campo

Para llevar a cabo los trabajos de campo se ha efectuado en la pista de aterrizaje una distribución de 15m por 30m, área que corresponde a cada unidad de muestreo de 450 m², éstas dimensiones fueron ubicadas sobre el pavimento a fin de facilitar al evaluador la identificación de las fallas existentes. La pista de aterrizaje ha sido dividida en 3 secciones de 15 metros de ancho cada una, siendo denominadas: YLPD, YLPC, y YLPI, así mismo se ha evaluado la plataforma de estacionamiento de aeronaves, la cual está conformada por losas de concreto de 5m x 5m, agrupando 20 losas en una unidad de muestreo. La distribución del aeropuerto es la siguiente:

Gráfico N° 2.2.1
Distribución del Aeropuerto de Talara



▪ Pista de Aterrizaje

El ancho de la pista de 45 m, se dividió en 3 franjas de 15 m cada una (esto en la zona del pavimento asfáltico, desde el km 00+300 hasta el km 02+460), al inicio de la pista, desde el 00+000 hasta 00+300, el pavimento es de concreto, estando los 30 metros centrales cubiertos por una capa de carpeta asfáltica de 2" en promedio.

En los extremos derecho e izquierdo de los 300 metros iniciales, la parte del concreto (de 7.5 metros de ancho por lado) se agrupó el equivalente a 18 losas y se aplicó la norma mencionada para hacer el relevamiento de fallas. En el mismo tramo, pero en la parte central, se procedió a evaluar como carpeta asfáltica considerando las fallas producidas por la condición de encontrarse sobre losas de concreto, todo esto de acuerdo a la norma ASTM D 5340-98.

En los 2160 metros restantes, es decir, la pista de aterrizaje en su mayoría, se dividió el ancho en 3 partes iguales de 15 m. (derecho, centro e izquierdo). A lo largo se hizo una sectorización también en 3 partes que conforman el sector 02, sector 03 y sector 04 de 720 metros de largo cada sector, los cuales se complementan con el sector 01 que es conformado por los 300 m. iniciales de la pista constituido por pavimento mixto (carpeta asfáltica sobre concreto hidráulico).

En total, a lo largo de la pista de aterrizaje se definieron 246 unidades de muestreo.

A continuación se muestran 2 ejemplos de la nomenclatura utilizada para identificar cada unidad de muestreo establecida en la pista de aterrizaje:

YLP1D4: Evaluación en el Aeropuerto de Talara, sobre la pista de aterrizaje en el sector 01 y corresponde a la cuarta unidad de muestreo de lado derecho.

YL: Aeropuerto de Talara
P1: Pista de aterrizaje (sector 01)
D4: 4^{ta} unidad de muestreo del lado derecho.

YLP3C9: Evaluación en el Aeropuerto de Talara, sobre la pista de aterrizaje en el sector 03 y corresponde a la novena unidad de muestreo de la parte central.

YL: Aeropuerto de Talara
P3: Pista de aterrizaje (sector 03)
C9: 9^{na} unidad de muestreo de la parte central.

▪ Calles de Rodaje

De acuerdo a las dimensiones de las calles de rodaje se definieron 15 unidades de muestreo para la calle de rodaje A y 12 unidades de muestreo para la calle de rodaje B. Estas unidades son de 225 m². A continuación se muestra la nomenclatura utilizada para identificar cada unidad de muestreo establecida en las calles de rodaje:

YLCRAI3: Evaluación en el Aeropuerto de Talara, sobre la calle de rodaje "A" y corresponde a la tercera unidad de muestreo del lado izquierdo.

YL: Aeropuerto de Talara

CRA: Calle de rodaje "A".

I3: 3^{ra} unidad de muestreo del lado izquierdo.

▪ Plataforma de Estacionamiento de Aeronaves

Se establecieron unidades de muestreo conformadas por 20 losas cada una, y teniendo un total de 420 losas se registraron 21 unidades de muestreo, cubriendo así toda el área de estacionamiento compuesta por 10'500 m² (210 x 50 metros). A continuación se muestra la nomenclatura utilizada para identificar cada unidad de muestreo establecida en la plataforma de estacionamiento de aeronaves:

YLPTD15: Evaluación en el Aeropuerto de Talara, sobre la plataforma de estacionamiento y corresponde a la décimo quinta unidad de muestreo.

YL: Aeropuerto de Talara

PT: Plataforma de estacionamiento

D15: 15^{va} unidad de muestreo.

El Gráfico 2.2.2 esquematiza las unidades de muestreo obtenidas en la pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento.

Selección de las Unidades de Muestreo a ser Inspeccionadas

El número de unidades de muestra a ser inspeccionadas puede variar desde todas las unidades en una sección hasta el número de unidades de muestra que permita un nivel de confianza del 95% o hasta un número menor.

El número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas (**n**) en una determinada sección para obtener un nivel de confianza adecuado (95% de confiabilidad), se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Ns^2}{\left[\left(\frac{e^2}{4} \right) (N - 1) + s^2 \right]}$$

e : error aceptable en la estimación del PCI de la sección +/- 5 puntos del PCI.

s : desviación estándar del PCI entre unidades de muestra de la misma sección.

N: Número total de unidades de muestra en la sección.

Sin embargo un nivel de confiabilidad menor al 95%, dependiendo de las condiciones en que se encuentre el pavimento, puede ser usado según las condiciones y objetivos de la inspección, la siguiente tabla presenta un criterio alternativo para determinar el número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas:

DADAS	A INSPECCIONAR
1 a 5 unidades de muestreo	1 unidad de muestra
6 a 10 unidades de muestreo	2 unidades de muestra
11 a 15 unidades de muestreo	3 unidades de muestra
16 a 40 unidades de muestreo	4 unidades de muestra
Más de 40 unidades de muestreo	10%

De este modo, dado el estado en que se encuentra el pavimento del aeropuerto, para un total de 246 unidades de muestreo obtenidas de la aplicación de la

fórmula indicada en líneas anteriores, para la evaluación de la pista de aterrizaje, el 10%, corresponderá a 25 unidades a inspeccionar.

Sin embargo, dado que el aeropuerto en estudio se encuentra en muy mal estado, se han evaluado todas las unidades de muestreo definidas, es decir, toda la pista de aterrizaje.

Una vez que se ha determinado el número de unidades de muestra, se calcula el intervalo de espaciamiento entre las unidades, el intervalo de espaciamiento (i) se calcula con la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato superior:

$$i = \frac{N}{n}$$

N : Número total de unidades de muestreo en la sección

n : Número total de unidades de muestreo a ser analizadas

Este criterio no fue utilizado para el presente trabajo en el aeropuerto de Talara dado que se relevaron las fallas del 100% de las unidades muestreo.

Procedimiento para la inspección

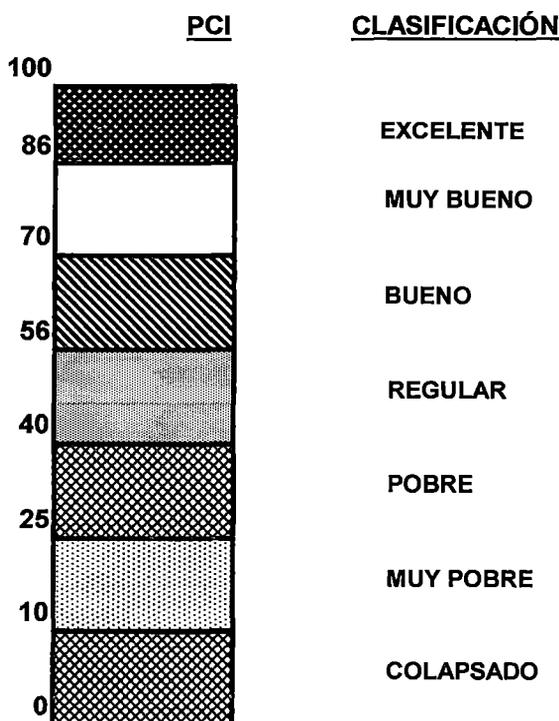
El procedimiento para la inspección, así como las definiciones y guías para la cuantificación de las fallas se ha realizado bajo los lineamientos establecidos en la Norma ASTM D 5340 – 98 ASTM (Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys), con cuyos datos se ha procedido a calcular el valor de PCI.

B. Trabajos de gabinete

Los trabajos de gabinete han consistido en preparar los archivos electrónicos de las planillas de relevamiento de fallas, donde se han consignando los tipos de falla y su grado de severidad.

2.2.2 Metodología para la determinación del PCI (Índice de Condición del Pavimento)

El Índice de Condición del Pavimento es una calificación numérica asociada a la condición del pavimento que varía entre 0 y 100, valores a los cuales se asocia una descripción verbal que varía de Colapsado a Excelente, según se muestra a continuación:



La información obtenida en el relevamiento de fallas, se utiliza para calcular el PCI de cada unidad de muestra, el PCI de la sección de pavimento se determina en base a los valores de PCI determinados para cada unidad de muestra.

El proceso de cálculo es similar, tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos, la diferencia es que en el caso de los flexibles se analiza en función a las unidades de muestreo, establecidas en base a un área de 450 m², y en los rígidos en función al número de losas; una vez definidos los tipos de falla, clasificadas según el grado de severidad y según el tipo de pavimento, se hallan los totales para definir la densidad en que ésta se presenta:

$$\text{Densidad (\%)} = \frac{\text{Área de las fallas}}{\text{Área de unidad de muestreo (450 m}^2\text{)}}$$

Con este valor se calculan los Valores Deducidos (VD) utilizando las curvas que se muestran en la Norma ASTM D 3540, según sea el tipo de pavimento rígido o flexible.

VD = F (Densidad, Nivel de severidad)

Luego se procede a calcular el Valor Deducido Corregido (VDC), a partir del cálculo del número máximo de fallas permitidas "m":

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95} \right) * (100 - HDV)$$

HDV = Mayor valor deducido individual para la muestra "i"

A partir del máximo Valor Deducido Corregido (VDC) se calcula el PCI de la unidad de muestra analizada, según la siguiente expresión:

$$PCI = 100 - VDC$$

A continuación se presenta, un **ejemplo de cálculo** para pavimento asfáltico; en el caso de un pavimento de concreto el proceso es similar, con la excepción de que se utilizan las curvas exclusivas para pavimentos rígidos y el porcentaje de densidad se calcula en función al número de losas.

Cálculo del PCI para pavimentos flexibles

Como ejemplo, en el caso del cálculo de la unidad de muestra **YLP219**, se tiene:

1. Sumar la cantidad total de cada tipo de falla según su grado de severidad y registrarla en la columna total de la planilla de evaluación del índice de condición del pavimento.
2. Calcular el porcentaje de densidad dividiendo el tipo de falla y su nivel de severidad entre el área total de la unidad de muestreo.
3. Determinar el valor deducido para cada tipo de falla y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas "*Valor deducido de daño*" que se muestran en la Norma ASTM D 3540 como se observa a continuación:

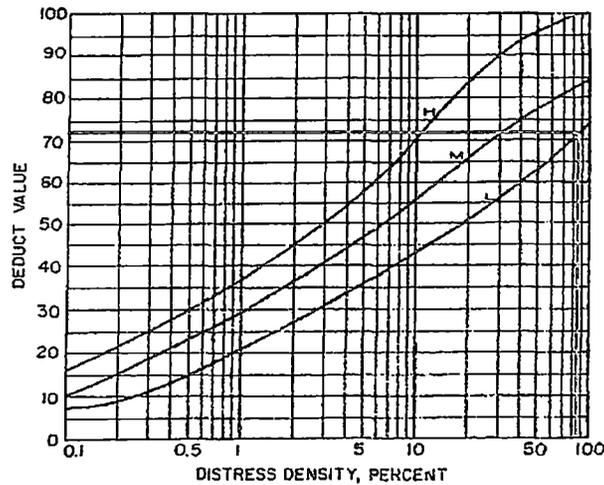
Determinación del Valor Deducido

DEFECTO Y SEVERIDAD	CANTIDAD			TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO
1 L	383.24			383.24	85.16	72.00
5 L	25.62			25.62	5.69	20.00
10 M	48.36	18.40		66.76	14.84	35.00



D 5340

AC Pavement Deduct Curves

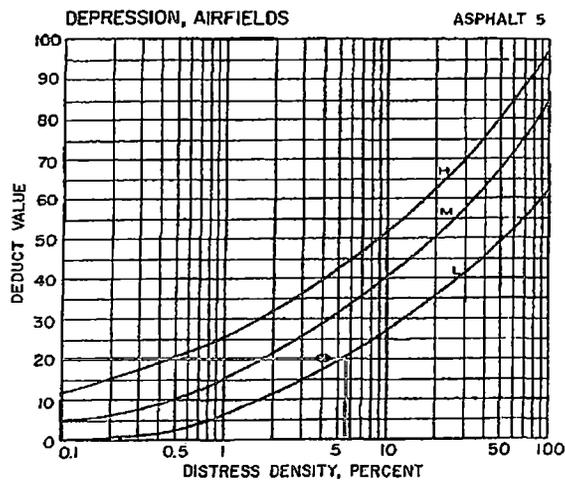


Distress 1, Alligator Cracking – Piel de Cocodrilo



D 5340

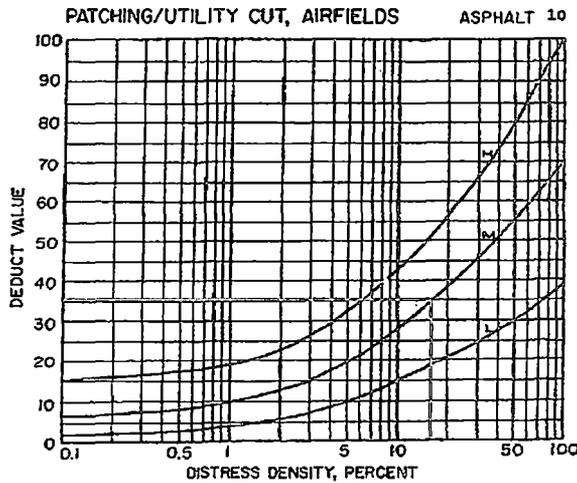
AC Pavement Deduct Curves



Distress 5, Depression - Depresión

D 5340

AC Pavement Deduct Curves



Distress 10, Patching - Parchado

4. Determinar el Valor Deducido Corregido, calculando “m”, a partir del máximo Valor Deducido, para el ejemplo:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95} \right) * (100 - 72) = 3.65$$

Observamos que: el valor de “m” es mayor al número total de valores deducidos, por lo cual se usarán todos los valores deducidos.

Se ordenan los Valores Deducidos en forma descendente; luego determinamos el número de valores deducidos, “q”, mayores que 5, determinamos el valor deducido total (VDT) sumando todos los valores deducidos individuales. El valor deducido corregido (VDC), se obtiene de la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento; luego reducimos el menor valor individual deducido mayor que 5, a 5, así repetimos hasta que se cumpla la condición “q” igual a 1.

Se calcula el total de los valores deducidos ordenados y se obtiene el Valor Deducido Corregido a partir del valor “q” establecido en los gráficos de la Norma ASTM 5340.

Los resultados de PCI de cada sección son:

Cuadro N° 2.2.1
Resultados del Índice de Condición del Pavimento

SECCIÓN	CÓDIGO DE LA SECCIÓN	VALOR DE PCI DE LA SECCIÓN	VALOR DE PCI	PROM.	CLASIFICACIÓN
Pista de Aterrizaje (Pavimento mixto) (Sector 01)	YLP1I	16	23	23	MUY POBRE
	YLP1C	30			
	YLP1D	22			
Pista de Aterrizaje (Sector 02)	YLP2I	21	21	20	MUY POBRE
	YLP2C	27			
	YLP2D	16			
Pista de Aterrizaje (Sector 03)	YLP3I	20	25	20	MUY POBRE
	YLP3C	32			
	YLP3D	23			
Pista de Aterrizaje (Sector 04)	YLP4I	16	17	36	POBRE
	YLP4C	19			
	YLP4D	16			
Calle de Rodaje A	YLCRAI	34	36	36	POBRE
	YLCRAC	32			
	YLCRAD	41			
Calle de Rodaje B	YLCRBI	39	35	36	POBRE
	YLCRBC	38			
	YLCRBD	27			
Plataforma de Estacionamiento	YLPT	46	46	46	REGULAR

Pista de Aterrizaje

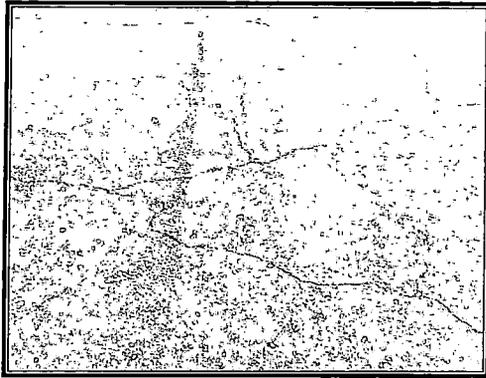
El valor de PCI obtenido en la pista de aterrizaje de pavimento flexible, corresponde a la valoración de fallas generalizadas correspondientes en su mayoría a las denominadas envejecimiento/disgregación y piel de cocodrilo, registrándose también depresiones y gran cantidad de parchados.

En los primeros 300 m (sector 01) de la cabecera de la pista, denominada zona 17, los laterales tanto izquierdo y derecho presentan graves agrietamientos en las losas de concreto, así como desnivel entre una losa y otra, y el descascamiento de las mismas.

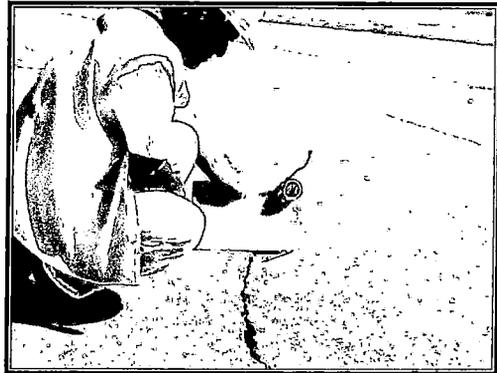
En esta zona, la parte central, correspondiente a carpeta asfáltica aplicada sobre concreto, presenta claramente grietas por reflexión de juntas; se han generado grietas en bloque y también el envejecimiento de la carpeta asfáltica, característica principal a lo largo de toda la pista de aterrizaje.

En el sector 02 (km 00+300 – km 01+020), las fallas tipo piel de cocodrilo y envejecimiento/disgregación pueden ser apreciadas claramente, siendo las partes más afectadas los extremos de la pista, ya que según lo indican los testigos diamantinos, la zona central ha recibido tratamiento en años anteriores. Es característica de éste sector las marcas del caucho de las ruedas de las aeronaves que aterrizan en el aeropuerto en estudio; esto, como es lógico, ocurre en la parte central de la pista de aterrizaje.

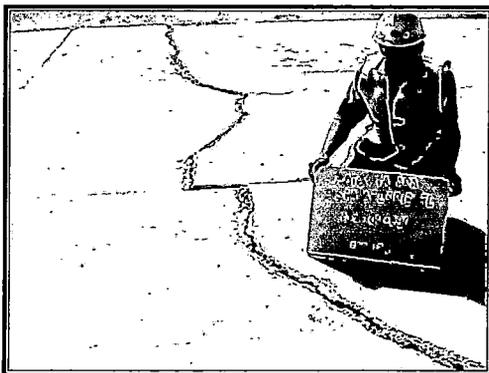
Los sectores 03 y 04 presentan envejecimiento, piel de cocodrilo y parches en grandes cantidades y de diversos tamaños. Debemos considerar que el aeropuerto de Talara ha sido construido en el año 1956, motivo por el cual los parchados son abundantes. El sector 04 (km 01+740 – km 02+460) es el que superficialmente se encuentra en peor estado, el envejecimiento es severo y la piel de cocodrilo puede llegar a severidad media, presentando también depresiones leves y corrugaciones.



Pista de Aterrizaje. Sector 01 (Km 00+000 – Km 00+300). Agrietamiento en Bloque.



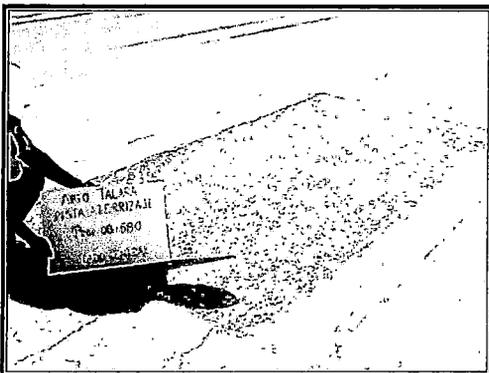
Pista de Aterrizaje. Sector 01. Pavimento mixto. Grieta Longitudinal.



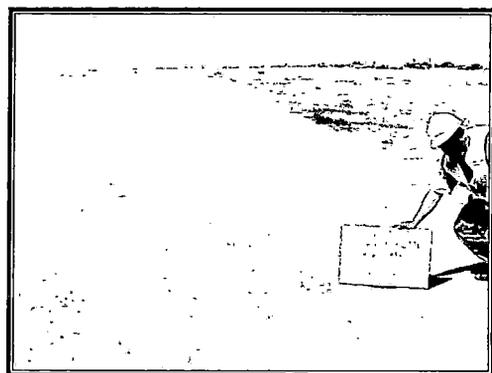
Pista de Aterrizaje. Km 00+290. Lado izquierdo. Grieta longitudinal de alta severidad.



Pista de Aterrizaje. Km 00+590. Parte central. Grietas en bloque y envejecimiento.



Pista de Aterrizaje. Km 00+580. Parte central. Parchado, piel de cocodrilo y envejecimiento.



Pista de Aterrizaje. Km 00+970. Lado derecho. Parches, piel de cocodrilo y envejecimiento.

Calles de Rodaje

El valor de PCI de 36, en calles de rodaje, corresponde a la valoración de fallas encontradas del tipo envejecimiento/disgregación, derrame de combustible y algunas grietas longitudinales y transversales.

Plataforma de Estacionamiento

La plataforma de estacionamiento de aeronaves presenta, en algunas losas, grandes grietas longitudinales, así como grietas desordenadas, esto ocurre en la minoría de los casos. Se observan grietas por retracción en pequeña medida y daño a sellos de juntas de severidad leve y media.

En el Gráfico 2.2.5, se presentan las unidades de muestreo evaluadas con su respectivo valor de PCI, así como los valores de PCI promedio de cada sección.

2.3 EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO

La evaluación de la condición funcional del pavimento tiene por finalidad determinar el estado o calidad superficial del pavimento en cuanto a los siguientes rubros: Estado actual de deterioro de la superficie de rodadura, pérdida de textura y resistencia al deslizamiento.

2.3.1 Metodología para la Determinación de la Rugosidad

Según la American Society of Testing and Materials (ASTM), la rugosidad es la desviación de la superficie del pavimento respecto de una superficie plana verdadera con las dimensiones características que afectan la dinámica del vehículo y calidad del recorrido.

Para la determinación de estas mediciones se definieron 4 secciones longitudinales, distribuidas de la siguiente manera, en la pista de aterrizaje del aeropuerto:

Gráfico N° 2.3.1
Secciones para determinación de rugosidad

Sector AB	Eje Izquierdo	a 17.5 m. del Eje Central
	Eje Derecho	a 12.5 m. del Eje Central
Sector BC1	Eje Izquierdo 1	a 2.5 m. del Eje Central
	Eje Izquierdo 2	a 5.0 m. del Eje Central
Sector BC2	Eje Derecho 1	a 2.5 m. del Eje Central
	Eje Derecho 2	a 5.0 m. del Eje Central
Sector CD	Eje Izquierdo	a 17.5 m. del Eje Central
	Eje Derecho	a 12.5 m. del Eje Central

EJES	Ancho de sección (m)	Sentido de la Medición
AB	15	Ida - Vuelta
BC1	7.5	Ida – Vuelta
BC2	7.5	Ida – Vuelta
CD	15	Ida - Vuelta

En cada sección se tomaron medidas de rugosidad con equipo Bump Integrator cada 100 m, en sentido ida y vuelta, teniendo un total de 8 líneas de lectura de datos. Así mismo, se estableció el mismo proceso para la ejecución de las mediciones con equipo MERLIN, complementando el proceso con mediciones en calles de rodaje y plataforma de estacionamiento.

Entre los equipos que se han utilizado para medir la rugosidad de la pista de aterrizaje en sus secciones AB, BC y CD se encuentra el rugosímetro tipo “BUMP INTEGRATOR UNIT” (Unidad integradora de muelles), este equipo va montado en la tolva de una camioneta, conectado directamente con el diferencial del eje trasero mediante un cable flexible adecuadamente tensado. Conforme el vehículo recorre la superficie a una velocidad uniforme, la “Unidad Integradora” mide los

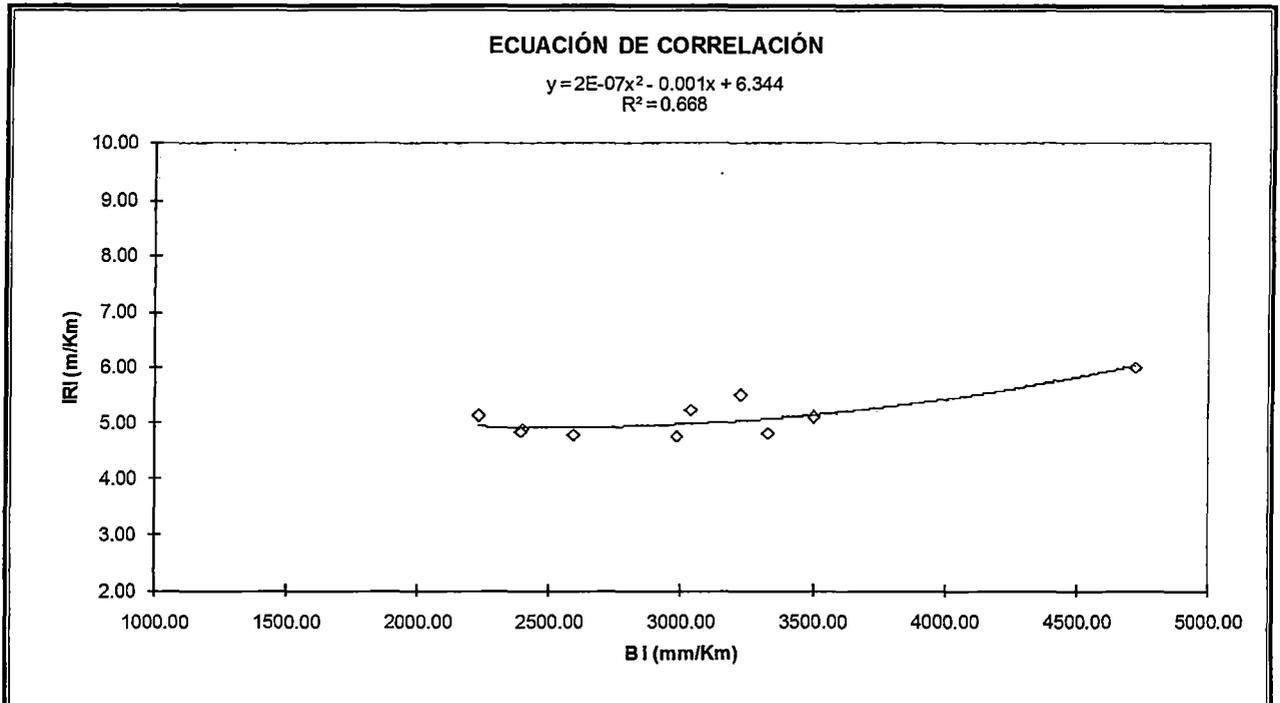
movimientos relativos entre el chasis y el eje trasero registrando los datos con la unidad contadora instalada en el panel de control de la cabina. El otro rugosímetro empleado es el MERLIN, equipo de diseño simple fabricado especialmente para su uso en países en vías de desarrollo. Este rugosímetro requiere de dos personas para su ejecución, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota, los cuales recorren a pie el sector en estudio efectuando 200 mediciones a intervalos regulares abarcando una distancia de 400 m. aproximadamente.

Para efectos de la presente tesis, se presentan las mediciones de rugosidad con equipo MERLIN y con rugosímetro "BUMP INTEGRATOR", debidamente calibrado, equipo tipo respuesta que permite correlacionar sus resultados con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Para la calibración se hicieron mediciones de rugosidad con equipo Bump Integrator en unidades BI en las mismas zonas en las que se efectuaron las mediciones con el equipo MERLIN.

La curva y ecuación de calibración para el aeropuerto de Talara es:

$$\text{IRI} = 2\text{E}-07 \text{BI}^2 + 0.001\text{BI} + 6.344$$

Gráfico N° 2.3.2
Ecuación de correlación para equipo Bump Integrator



2.3.2 Resultados de las Mediciones de Rugosidad

El IRI promedio obtenido con equipo MERLIN es de 5.23 mm/km, el valor característico obtenido con equipo BUMP INTEGRATOR es de 5.99 mm/km, para el 95% de confiabilidad, según se muestra a continuación:

Cuadro 2.3.1
Resultados de Rugosidad

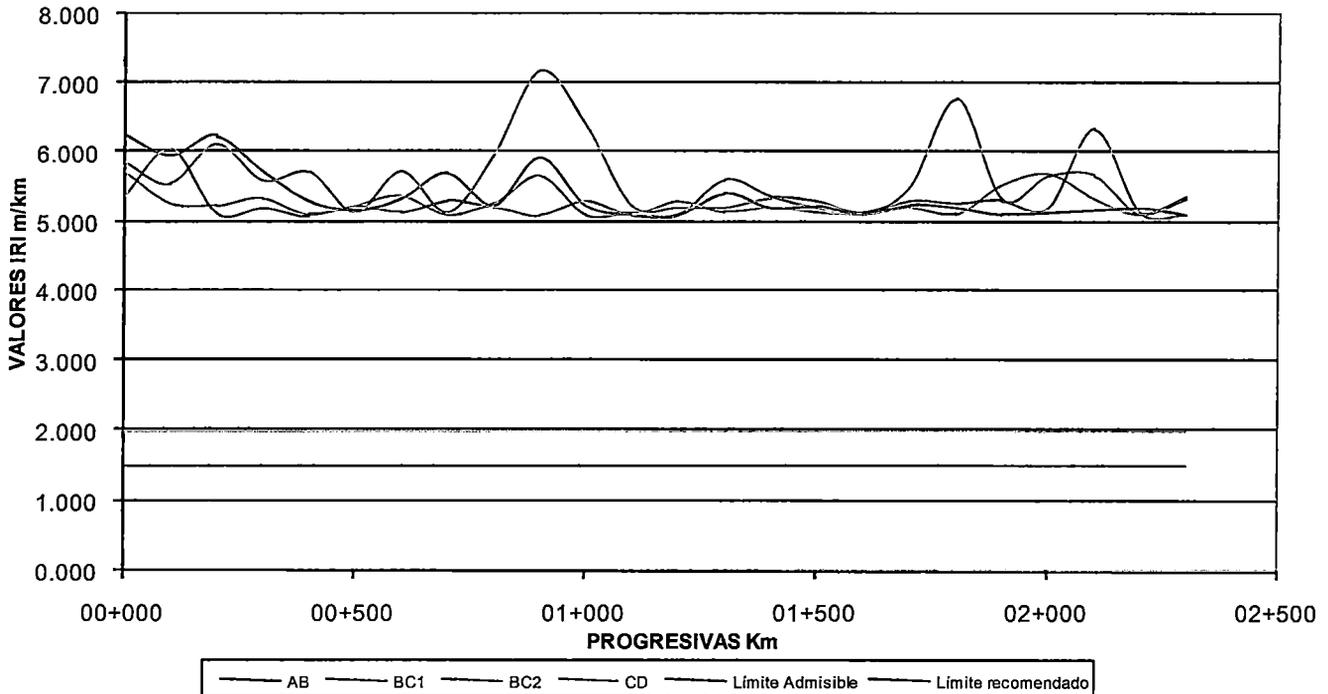
SECCIÓN	MERLIN	BUMP INTEGRATOR		
	IRI _p	IRI _p	Desv.Est	IRI _c
AB	5.21	5.39	0.37	6.00
BC1	4.69	5.33	0.31	5.84
BC2	5.05	5.27	0.18	5.57
CD	5.98	5.64	0.64	6.53
PROMEDIO	5.23	5.41	0.38	5.99

A continuación se muestra el espectro de rugosidad obtenido con equipo Bump Integrator en cada una de las secciones de la pista de aterrizaje, los resultados obtenidos superan ampliamente el valor recomendado de 1.50 m/km, así como

también el límite permisible 2 m/km. El detalle de la adopción de los parámetros referenciales admisibles, aparece en el ítem 2.6 Propuesta de Intervenciones.

Gráfico N° 2.3.3

VALORES DEL IRI SOBRE LA PISTA DE ATERRIZAJE



2.3.3 Metodología de Medición de Resistencia al Deslizamiento (Microtextura) y Profundidad de Textura (Macrotextura).

El Anexo 14 al Convenio de sobre Aviación Civil Internacional exige que la superficie de una pista pavimentada esté construida de modo que proporcione características de buen rozamiento cuando se encuentra mojada.

Con el aumento constante de la masa de las aeronaves y el consecuente aumento significativo en la velocidad de despegue y de aterrizaje, han surgido problemas operacionales con los tipos clásicos de superficies de pista, siendo uno de los más importantes y potencialmente peligroso el fenómeno de hidroplaneo (aquaplaning), al que se considera responsable de varios incidentes y accidentes sufridos por las aeronaves. La experiencia ha indicado que una adecuada textura superficial, aparte de reducir el riesgo de hidroplaneo,

proporciona un nivel de rozamiento mayor en todos los grados de humedad, que van desde la superficie humedecida hasta la inundada.

Figura N° 02
Fenómeno de Hidroplaneo (Aquaplaning)



La microtextura viene a ser la propiedad que poseen los agregados de presentar una superficie áspera, capaz de romper la película de agua residual en la superficie al contacto del neumático; es una característica que depende de la capacidad de los agregados de presentar y conservar durante el mayor tiempo posible sus aristas intactas frente al desgaste y ofrecer una buena resistencia al pulido. Una adecuada microtextura establece un contacto “seco” entre las asperezas de la superficie y el relieve del neumático en presencia de una película de agua delgada y viscosa.

El coeficiente de fricción permite medir la microtextura del pavimento en el sector de ensayo, mientras más áspero es el pavimento, mejor es su comportamiento frente a las fuerzas de deslizamiento en pistas cuyas superficies se encuentran húmedas.

La macrotextura representa la presencia de irregularidades de algunos milímetros de altura en la superficie del pavimento, esta característica contribuye al drenaje superficial del agua entre el neumático y la pista y determina la disminución de adherencia cuando la velocidad se eleva. En el aspecto

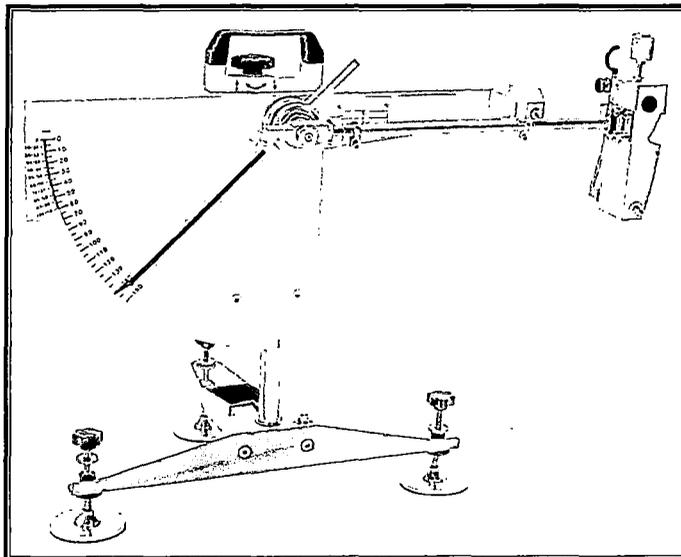
operacional es de gran importancia debido a que, a velocidades elevadas, es más crítica la falta de rozamiento suficiente con respecto a la distancia de parada y a la capacidad de control de la dirección.

El ensayo de círculo de arena permite medir la macrotextura del pavimento en el sector de ensayo, a mayor volumen cuantificado, más porosa la superficie.

Como parte del control del nivel de seguridad que ofrece el pavimento, se han efectuado mediciones de micro y macro textura en la superficie de rodamiento empleado los métodos de resistencia al deslizamiento y círculo de arena, respectivamente. Las zonas de trabajos realizados en el área de maniobras del aeropuerto de Talara se muestran en el Gráfico 2.3.4.

Para el control de resistencia al deslizamiento se ha utilizado el equipo denominado British Portable Skid Resistance Tester. Este aparato sirve para obtener un coeficiente de fricción que mantiene correlación con la fuerza de fricción real y ayuda a valorar las características deslizantes de la superficie del pavimento. Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo, cuyas características corresponden a ciertas especificaciones, provisto en su extremo de una zapata de caucho, la pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

Figura N° 03
Péndulo del Transport and Road Research Laboratory
(British Portable Skid Resistance Tester)





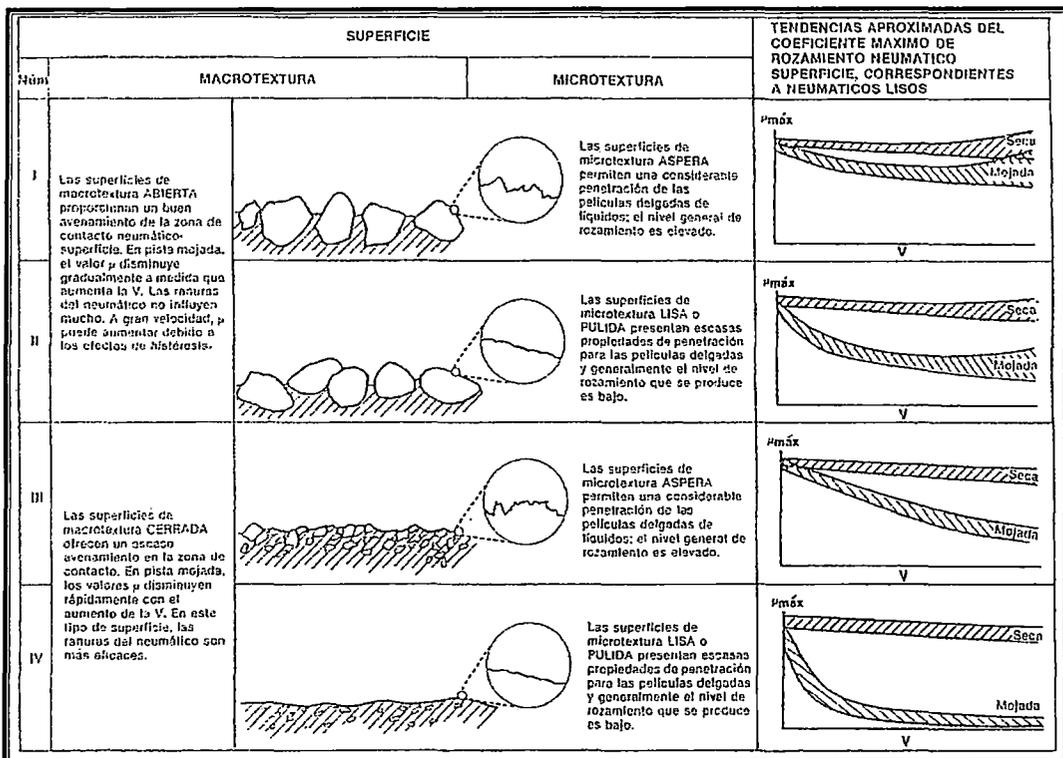
Ejecución de ensayos de microtextura
Péndulo de fricción



Ejecución de ensayos de macrotextura
Círculo de arena

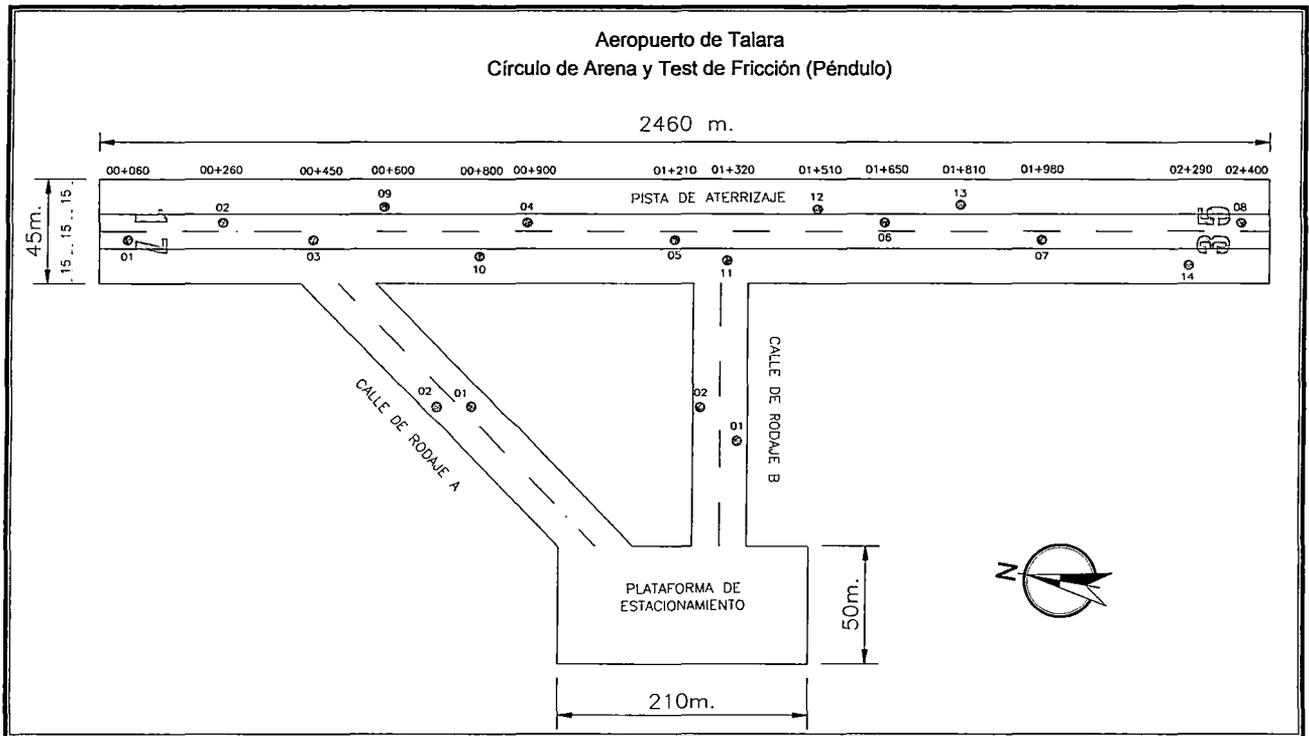
Tanto la microtextura como la macrotextura son componentes vitales del rozamiento en superficie mojada. El efecto combinado de micro y macrotextura de una superficie, sobre el rozamiento con pista mojada resultante en función de la velocidad se ilustra en la Figura N° 04

Figura N° 04
Efecto de la textura de la superficie sobre el coeficiente de rozamiento neumático-superficie



Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) – Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3: Pavimentos.

Gráfico 2.3.4
Ubicación de Pruebas de Microtextura y Macrotextura



2.3.4 Resultados de la Mediciones de Micro y Macrotextura

El valor de coeficiente de fricción promedio en la pista de aterrizaje es de 0.57 y en las calles de rodaje se ha obtenido un promedio de 0.62. Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 2.3.2
Resultados de Microtextura y Macrotextura

SECCIÓN	MICROTEXTURA Valor Característico	MACROTEXTURA		
		10 cm ³ Promedio	25 cm ³ Promedio	50 cm ³ Promedio
AB	0.57	2.61	2.39	3.31
BC	0.58	1.83	2.23	2.05
CD	0.55	2.97	2.71	2.19
Calle de Rodaje A	0.63	1.99	2.08	2.04
Calle de Rodaje B	0.61	2.44	4.23	4.57
PROMEDIO	0.59	2.37	2.73	2.83

Los resultados de micro y macrotextura se reportan en el Anexo 04. En las zonas de recorrido a velocidad de las aeronaves, donde se observa mayor porcentaje de áridos descubiertos, los valores de microtextura son mayores. El detalle de la adopción de los parámetros referenciales admisibles, aparecen en el ítem 2.6 Propuesta de Intervenciones.

A continuación se muestran los espectros obtenidos, en el caso de la macrotextura para el ensayo con 50 cm³ de arena sobre la pista de aterrizaje.

Gráfico 2.3.5
Textura superficial en la pista de aterrizaje (50 cm³ de arena)

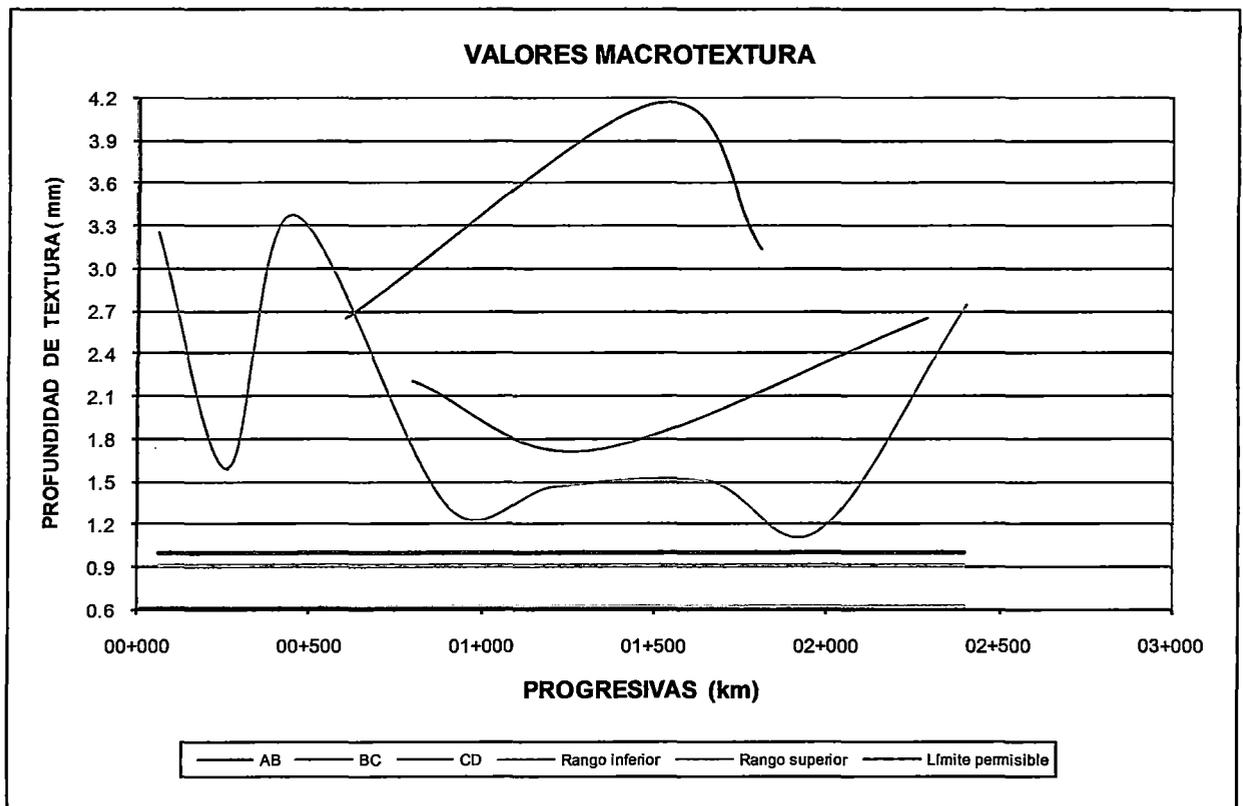
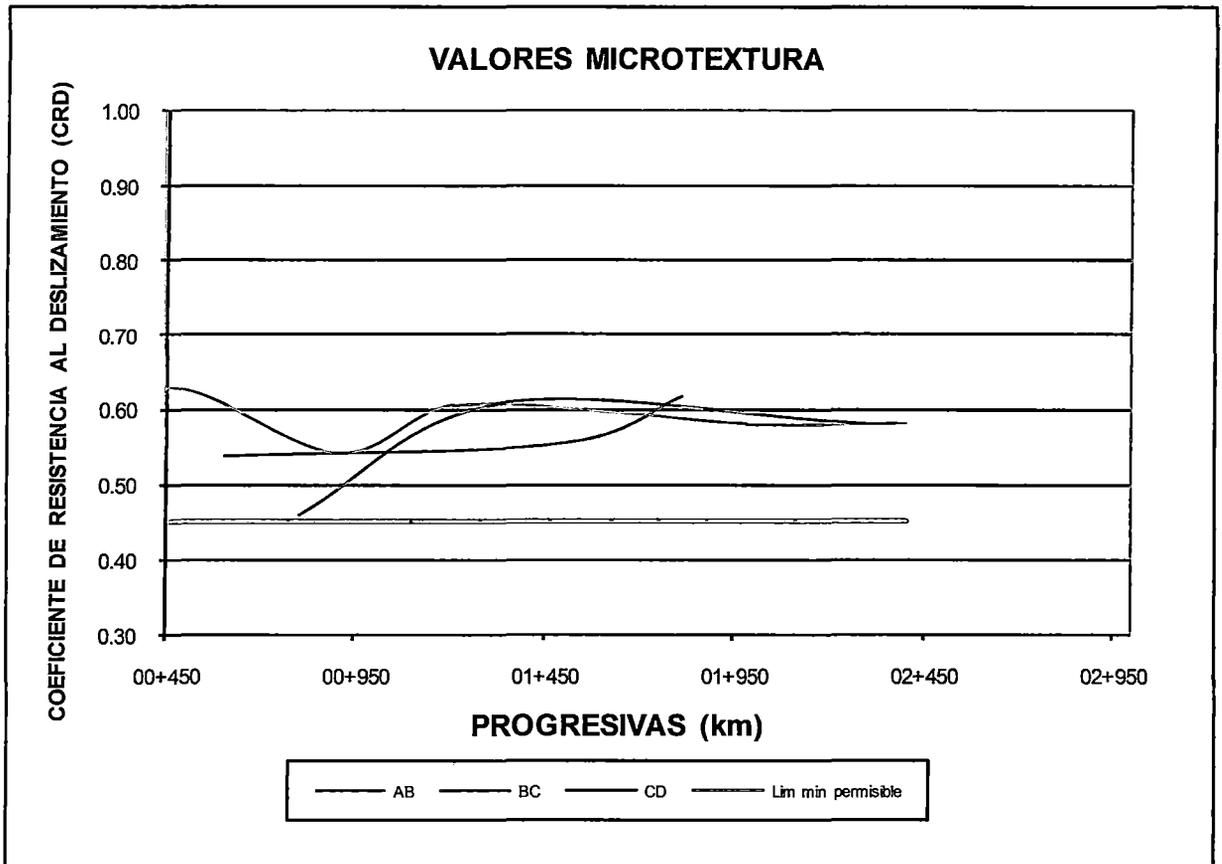


Gráfico 2.3.6
Coefficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) en la pista de aterrizaje



2.4 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento-subrasante en una estructura vial o aeroportuaria existente en cualquier momento de su vida de servicio, permitiendo calcular cuán deformable es el paquete estructural a partir de ensayos de deflexión. El sistema pavimento –subrasante se deforma asumiendo una curva denominada curva de deflexión. En este caso tales medidas han sido tomadas con una Viga Benkelman de doble brazo. Debemos señalar que según el Advisory Circular DC/5370-11A, establecido por el U.S Department of Transportation de la Federal Aviation Administration, titulado Evaluación de Pavimentos en Aeropuertos usando Ensayos No Destructivos,

establece la metodología de evaluación deflectométrica conocida como Viga Benkelman, ítem 12. Static Devices.

La alternativa de evaluación presentada en esta tesis es "no destructiva" y se basa en la interpretación de las deflexiones medidas en la superficie de un pavimento las cuales reflejan una respuesta global del sistema pavimento-subrasante bajo una carga dada. Su medición es simple, rápida, económica y "no destructiva", es decir, no se alteran el equilibrio ni la integridad del sistema.

2.4.1 Metodología de Medición con Viga Benkelman

Para medir las deflexiones en la superficie del pavimento se ha utilizado una "Viga Benkelman" bajo la carga de un eje posterior de 8.2 tn y presión de inflado de 75 a 85 psi. La Viga Benkelman, que funciona como una palanca que rota alrededor de un eje fijo, fue usada para medir las deflexiones a varias distancias del eje de la carga (curva de deflexiones). Los resultados de estas mediciones han sido tomados para el cálculo de la capacidad estructural del pavimento mediante la utilización del Modelo de Hogg. De igual manera que en el caso de la medición de la rugosidad, para la determinación de los controles deflectométricos, se definieron 4 secciones longitudinales distribuidas de la siguiente manera sobre la pista del aeropuerto:

EJES	Ancho de sección (m)	Sentido de la Medición
AB	15	Ida - Vuelta
BC1	7.5	Ida – Vuelta
BC2	7.5	Ida – Vuelta
CD	15	Ida - Vuelta

Gráfico N° 2.4.1
Secciones para medición con Viga Benkelman

Sector AB	Eje Izquierdo a 17.5 m. del Eje Central
	Eje Derecho a 12.5 m. del Eje Central
Sector BC1	Eje Izquierdo 1 a 2.5 m. del Eje Central
	Eje Izquierdo 2 a 5.0 m. del Eje Central
Sector BC2	Eje Derecho 1 a 2.5 m. del Eje Central
	Eje Derecho 2 a 5.0 m. del Eje Central
Sector CD	Eje Izquierdo a 17.5 m. del Eje Central
	Eje Derecho a 12.5 m. del Eje Central

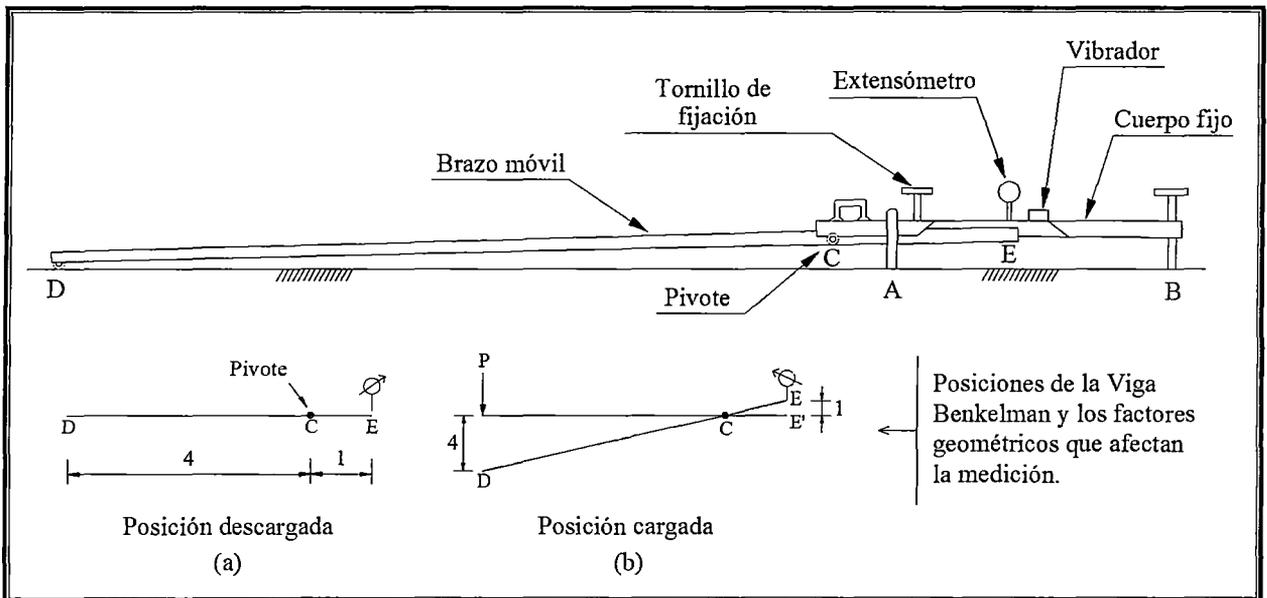
Se tomaron medidas de deflexión cada 50m. alternados en tresbolillo en la pista de aterrizaje.

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la Figura N° 05, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie.

Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Ver figura 2.4.1 b).

Figura N° 05
Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman



Fuente: Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.
(Ph.D Mario S. Hoffman / Ing. Pablo del Águila).

El procedimiento a seguir para la ejecución del ensayo es el siguiente:

- El punto de pavimento ensayado es marcado convenientemente con una línea transversal a la pista.
- Las ruedas duales externas del camión volquete se colocan sobre el punto seleccionado quedando éste ubicado entre ambas ruedas. Para una correcta ubicación de la rueda dual se coloca en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en el punto anterior, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas cubiertas de la rueda dual.
- Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las cubiertas de la rueda dual.
- Se retira la traba de la viga y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que el brazo de medición quede en contacto con el vástago del dial.
- El flexímetro se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm.
- Se gira la esfera del flexímetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero). El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Las divisiones para medición que se especifican en el dial son de 0.01 mm con un límite máximo de lectura de 25 mm.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 10 m. o más.
- Con el objeto de recopilar información para la utilización del Modelo de Hogg, se toman lecturas intermedias a fin de obtener la distancia a la cual la relación $DR/D\theta = 0.5$, en donde $D\theta$ es la deflexión máxima y DR la deflexión medida a la distancia R. Puesto que el valor de la deflexión máxima no es conocida desde un inicio, con la finalidad de automatizar la

obtención de DR se realizan lecturas sistemáticas a 25, 30, 40, 50, 70, 100, 500 y a más de 500 cm. hasta que la lectura en el dial se estabilice. Al efectuar el ensayo de deflectometría, la recuperación del pavimento se lee en el dial mediante el giro de la aguja en sentido antihorario.

- Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo), cuyas dimensiones serán aproximadamente entre 4 y 10 cm de profundidad y 10 mm de diámetro emplazado sobre la línea demarcada entre el punto de medición y el borde del pavimento (a no menos de 0.25 m del mismo).
- Se llena con agua el orificio y, una vez transcurrido un tiempo prudencial necesario para permitir que el líquido adquiera la temperatura del pavimento, se inserta el termómetro y se lee la temperatura.

Esta metodología es empleada por el programa BENKEL 3.7, el cual utiliza el Modelo de Hogg para idealizar la estructura pavimento – subrasante. Los materiales de este sistema pueden ser caracterizados en base al análisis e interpretación de las curvas de deflexiones.

Figura N° 06
Viga Benkelman y volquete utilizado en el ensayo de deflectometría

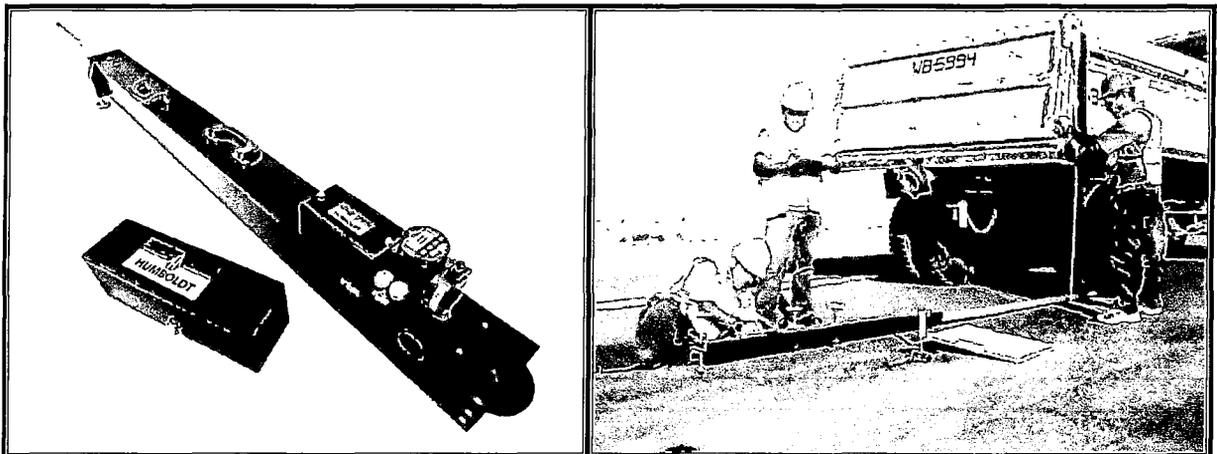
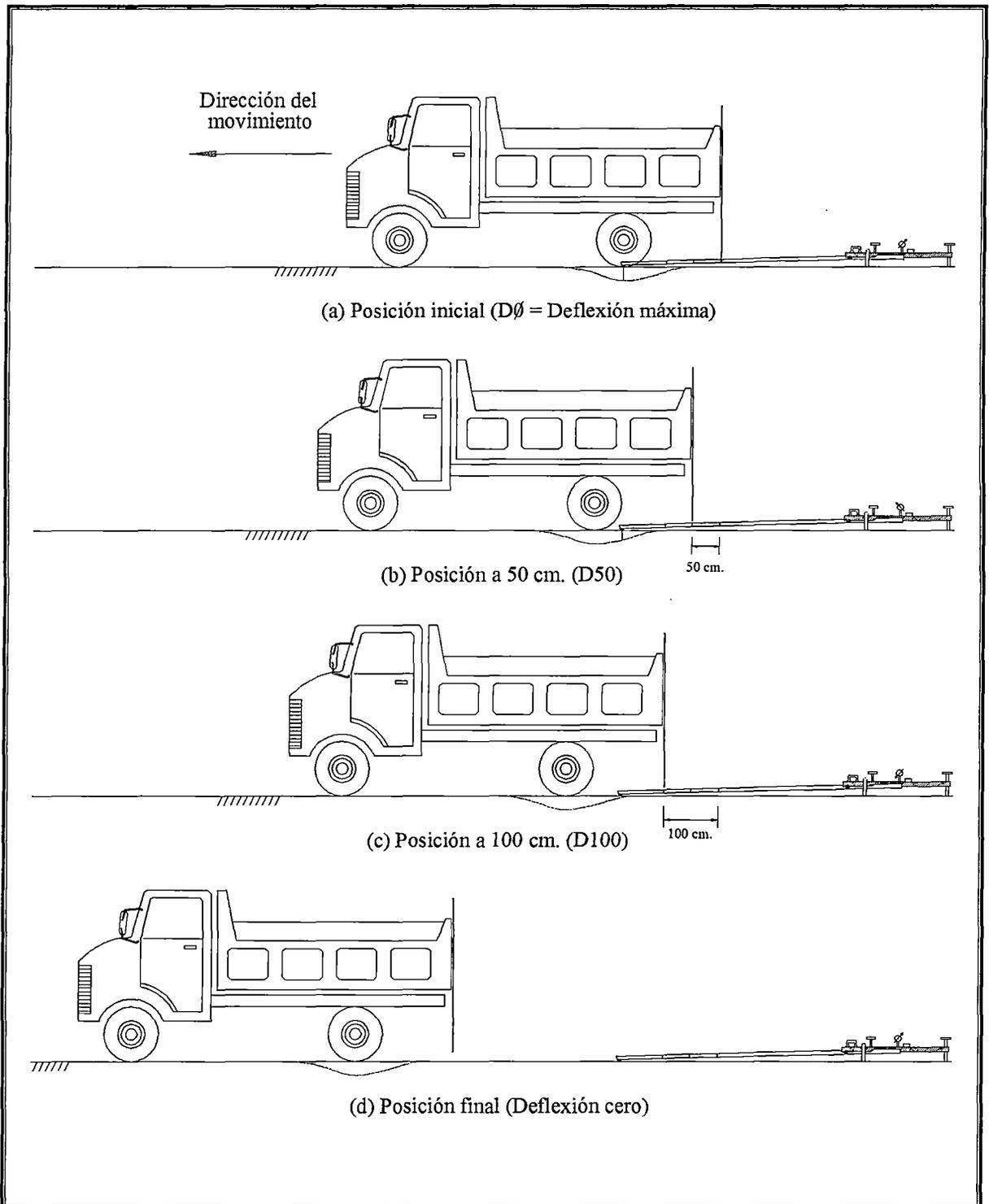


Figura N° 07
Esquemmatización del proceso de medición con la Viga Benkelman



Fuente: Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones.
(Ph.D Mario S. Hoffman / Ing. Pablo del Águila).

2.4.2 Metodología de Análisis de Información Deflectométrica

El modelo conocido como el "Modelo de Hogg" constituye la base matemática de la metodología usada para la presente tesis de grado, la cual mediante el uso de modelos elásticos para pavimentos y la medición experimental de deflexiones, determina la capacidad estructural de la estructura pavimento-subrasante.

En base a las deflexiones medidas en campo, el programa utilizado para esta evaluación, BENKEL 3.7, permite determinar los módulos de elasticidad del pavimento y del terreno de fundación, CBR y el Módulo de Resiliencia del terreno de fundación, parámetro que servirá para calcular el espesor de refuerzo o estructura de pavimento nuevo.

El programa BENKEL se basa en el método racional del análisis de deflexiones utilizando el Modelo de Hogg para idealizar la estructura pavimento – subrasante. Las deflexiones producidas en la superficie del pavimento son determinadas mediante la Viga Benkelman.

El método de evaluación está basado en la interpretación de curvas de deflexiones reemplazando la estructura real con un modelo teórico.

2.4.2.1 Modelo de Hogg

En el año 1944, A.H.A. Hogg presentó la solución matemática del modelo que se conoce por su nombre. Este modelo representa al pavimento como una placa delgada con una cierta rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, sustentada por una capa elástica homogénea e isotrópica, de espesor que puede ser infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa.

2.4.2.2 Deflexiones en el Modelo de Hogg

La expresión matemática desarrollada para el cálculo de las deformaciones en la superficie del sistema viene dada por una integral infinita de funciones Bessel y funciones angulares hiperbólicas, la cual, para el caso de una carga uniformemente distribuida circular de radio "a" tiene la siguiente forma:

$$\Delta_{(z=0;r)} = \frac{(1 + \mu_0) p.a}{2(\mu_0) E \phi} \int_0^{\infty} \frac{J_0(mr/l_0) J_1(ma/l_0)}{m^4 + m \phi(mh/l_0)} dm \quad (1.1)$$

Donde “ μ_0 ” es el módulo de Poisson de la subrasante, “ $E\phi$ ” (kg/cm^2) es el módulo de elasticidad de la subrasante, “ l_0 ” es la longitud característica, “ r ” es la distancia horizontal en la superficie de la placa desde el eje de carga y “ ϕ ” viene dada por la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{\text{Senh } m \text{ Cosh } m + \frac{m}{3 - 4\mu_0}}{\text{Senh}^2 m \frac{m^2}{(3 - 4\mu_0)^2}} \quad (1.2)$$

Siendo “ m ” la variable de integración.

2.4.2.3 Características y Utilización del Modelo

El modelo presentado y los conceptos desarrollados en torno a él, hacen posible caracterizar los materiales del sistema pavimento - subrasante en base al análisis e interpretación de las curvas de deflexiones.

Para hacer uso del Modelo de Hogg no se necesita conocer el espesor de las capas del pavimento, ya que las curvas de deflexiones de superficie teóricas, diseñadas mediante la ecuación (1.1), dependen solamente de la longitud elástica $L\phi$, lo que constituye una ventaja toda vez que la experiencia demuestra que en la mayoría de los pavimentos evaluados o se desconoce el espesor ó es difícil controlar su variación.

En el modelo se introduce, mediante la variable “ H ”, una capa rígida a una profundidad finita. En el procedimiento de evaluación ésta representa a una capa rocosa existente o funciona como un factor de ajuste que limita la extensión horizontal de las curvas de deflexiones teóricas, que de otra manera serían infinitas, lo que se contradice con las curvas experimentales. Por otro lado, la extensión finita de las curvas de deflexiones medidas puede obedecer a una conducta no lineal de los materiales del pavimento y terreno de fundación y no implica necesariamente que realmente exista una capa rígida. Para la utilización

del modelo se sugiere la introducción de una capa rígida a una profundidad igual a 10 veces la longitud elástica del pavimento.

2.4.2.4 Modelo de Carga

La carga en el ensayo con la Viga Benkelman proviene del eje trasero simple con una llanta doble de un camión. La carga del eje es del orden de las 18,000 libras y la presión de inflado es de 75 a 85 psi. En el modelo de carga se asume que la presión de inflado es igual a la presión de contacto, que la huella de contacto de cada llanta es circular y de radio "A" y, que hay una distancia de "3A" entre los centros de cada llanta, por equilibrio se establece la siguiente relación:

$$A = \sqrt{\frac{P'}{\pi p}} \quad (1.3)$$

donde:

A	=	Radio de la huella circular de contacto
P	=	Carga de ensayo
P'	=	Carga sobre una llanta = P / 2
p	=	Presión de Inflado

De esta manera, si la carga del eje es 18,000 libras (4,500 libras por llanta) y la presión de inflado es 80 psi:

$$A = \sqrt{\frac{4500}{\pi 80}} = 4.23" = 10.7 \text{ cm}$$

El análisis y el programa de computadora aceptan cualquier valor de carga y presión de inflado.

2.4.2.5 Determinación de Parámetros del Modelo de Hogg

a) Determinación de R5

R5 es la distancia "R" del centro geométrico de la llanta doble en dirección longitudinal, en la cual se obtiene que la relación DR/DØ = 0.5 en la curva de deflexiones. Para el Modelo de Hogg se ha establecido que R5 puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R5 = R \frac{A^C - B}{(A(D\phi/DR - 1))^C - B} \quad (1.4)$$

Donde:

- R = Distancia a la que se mide la deflexión DR
(Ejemplo: R = 60 cm)
- D ϕ = Deflexión Máxima
- DR = Deflexión a la distancia R
- A, B y C = Coeficientes de correlación (Cuadro N° 2.4.1)

El valor de R5 sirve de insumo para determinar la longitud elástica (L ϕ) del pavimento.

b) Determinación de la longitud elástica (L ϕ)

La longitud elástica (L ϕ) del pavimento puede calcularse usando la ecuación (1.3)

$$L\phi = \frac{Y.R5 + \sqrt{(Y.R5)^2 - 4.A.X.R5}}{2} \quad (1.5)$$

Donde:

- R5 = Calculado en la ecuación (1.4)
- A = Radio de la huella circular de la carga
- X, Y = Coeficientes de correlación (Cuadro N° 2.4.2).

El valor de L ϕ sirve de insumo para determinar el módulo de elasticidad del terreno de fundación (E ϕ).

c) Determinación del Módulo de Elasticidad del terreno de fundación (E ϕ)

La determinación del módulo de elasticidad del terreno de fundación constituye un punto central de la metodología de evaluación. Para desarrollar soluciones numéricas programables en computadora, esta determinación se efectúa en dos pasos:

Primer Paso:

Consiste en establecer la relación teórica entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un cociente dado del valor $A/L\phi$. La rigidez se define como el cociente entre la carga y la deflexión ($S = P/D\phi$).

La relación teórica se calcula por medio de la ecuación:

$$S_0/S = 1 - M(A/L\phi - 0.10) \quad (1.6)$$

Donde:

- S_0 = Rigidez para carga puntual
- S = Rigidez para carga de área
- M = Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:
 - Para $H/L\phi = 10$; $\mu = 0.5$, $M = 0.52$
 - Para $H/L\phi = 10$; $\mu = 0.4$, $M = 0.48$
 - Para $H/L\phi = \infty$; $\mu =$ cualquier valor, $M = 0.44$

Segundo Paso:

Una vez determinado el valor de S_0/S , se calcula el módulo de elasticidad del terreno de fundación por medio de la siguiente ecuación:

$$E\phi = \frac{K \cdot I \cdot P}{L\phi \cdot D\phi} S_0/S \quad (1.7)$$

Donde:

- K = Coeficiente numérico que depende del coeficiente de Poisson de la subrasante y que adopta los siguientes valores:

Para $\mu = 0.5$; $K = 1.5$

Para $\mu = 0.4$; $K = 1.633$

- I = Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para $H/L\phi = 10$; $\mu = 0.4$ $I = 0.1689$

Para $H/L\phi = 10$; $\mu = 0.5$ $I = 0.1614$

Para $H/L\phi = \infty$, $\mu =$ cualquier valor, $I = 0.1925$

- P = Carga total en la llanta doble
 $L\emptyset$ = Longitud elástica (ecuación 1.5)
 $D\emptyset$ = Deflexión Media Máxima

d) Determinación del Módulo de Elasticidad Equivalente del Pavimento (E^*)

El módulo de elasticidad equivalente del pavimento (E^*) representa a todas las capas del pavimento por encima de la subrasante. Para un pavimento flexible típico, compuesto de carpeta asfáltica y base granular, el módulo E^* representa a la carpeta y la base combinadas con un espesor total igual a la suma de los espesores de cada capa.

Una solución programable aproximada ha sido propuesta por Ullidts (1977, 1980) y se basa en los siguientes conceptos. El módulo combinado (E^*) de la carpeta asfáltica y la base, con un espesor $HC = H1 + H2$ se determina usando el concepto del espesor equivalente. Este espesor equivalente se determina con la siguiente ecuación:

$$HEQ = 0.9 \times HC (E^* / E\emptyset)^{1/3} \quad (1.8)$$

La relación entre la deflexión máxima ($D\emptyset$), el módulo de elasticidad de la subrasante ($E\emptyset$) y el módulo de elasticidad del pavimento (E^*) está expresada por la siguiente relación:

$$D\emptyset = \frac{(1+\mu)P}{2\pi} \left\{ \frac{1}{E^*} \left[\frac{2(1-\mu)}{r} - \frac{1}{R1} \left(2(1-\mu) + \left(\frac{Z1}{R1} \right)^2 \right) \right] + \frac{1}{E\emptyset} \left[\frac{1}{R2} \left(2(1-\mu) + \left(\frac{Z2}{R2} \right)^2 \right) - \frac{1}{R3} \left(2(1-\mu) + \left(\frac{Z3}{R3} \right)^2 \right) \right] \right\} \quad (1.9)$$

Donde:

- r = 1.5 A
 $Z1 = HC + 0.6 A^2/HC$
 $R1 = \sqrt{Z1^2 + (1.5A)^2}$
 $Z2 = HE + 0.6 A^2/HE$
 $HE =$ Ecuación (1.8)

$$\begin{aligned}R2 &= \sqrt{Z2^2 + (1.5A)^2} \\Z3 &= (HE + NL\emptyset) + 0.6 A^2 / (HE + NL\emptyset) \\R3 &= \sqrt{Z3^2 + (1.5A)^2} \\N &= 10 \text{ para base rocosa a espesor finito } (H/L\emptyset = 10) \\N &= 100 \text{ para base rocosa a espesor infinito } (H/L\emptyset = \infty) \\P &= \text{Carga de ensayo} = 2\pi A^2 p \text{ (} p = \text{presión de inflado)}\end{aligned}$$

La ecuación (1.9) se resuelve iterativamente para determinar el valor de E^* para cualquier combinación de valores de $E\emptyset$, HC , P , p , $D\emptyset$, R , DR $H/L\emptyset$ y μ .

2.4.2.6 Parámetros de Evaluación del Modelo de Hogg

Según se ha expuesto, la metodología de evaluación estructural de pavimentos basada en la interpretación de deflexiones de superficie se sustenta matemáticamente en el Modelo de Hogg y en conceptos de la teoría de la elasticidad y resistencia de materiales. Los insumos para el procesamiento de los datos se dividen en cuatro (4) categorías:

- a) Datos de Carga (P y p)
- b) Deflexiones medidas ($D\emptyset$, DR y R)
- c) Datos de pavimento (espesores y características de las capas)
- d) Parámetros del modelo ($H/L\emptyset$ y μ)

La metodología, por su parte, produce los siguientes datos de salida: $L\emptyset$, $E\emptyset$ y E^* . Obviamente, los datos de salida dependen de los datos de entrada. La carga de ensayo es generalmente un dato fijo para cada proyecto y salvo circunstancias especiales debe estar en el rango recomendado de $P=18$ ksi y $p=75-85$ psi.

La selección de una o más distancias "R" depende del estudio o proyecto y del criterio del ingeniero, aunque es común y práctico medir como mínimo, $D0$, $D40$, $D50$ y $D100$ a distancias de 0, 40, 50 y 100 cm. del eje de la carga.

Los espesores y características de las capas del pavimento no siempre se conocen, a menos que existan datos históricos de construcción y/o diseño o se perforen calicatas. Esta información es necesaria para determinar "HC", cuyo

valor influye en "E*" pero no influye en los valores de L_0 y E_0 , siendo esta característica importante en el Modelo de Hogg. El significado de los parámetros del modelo se discuten a continuación:

a) Significado de L_0

La longitud característica (L_0) del pavimento es, por definición, un parámetro que refleja la rigidez relativa entre un pavimento y su subrasante. Por tratarse de una relación de rigideces, el valor de L_0 permite una rápida evaluación cualitativa del sistema pavimento - subrasante.

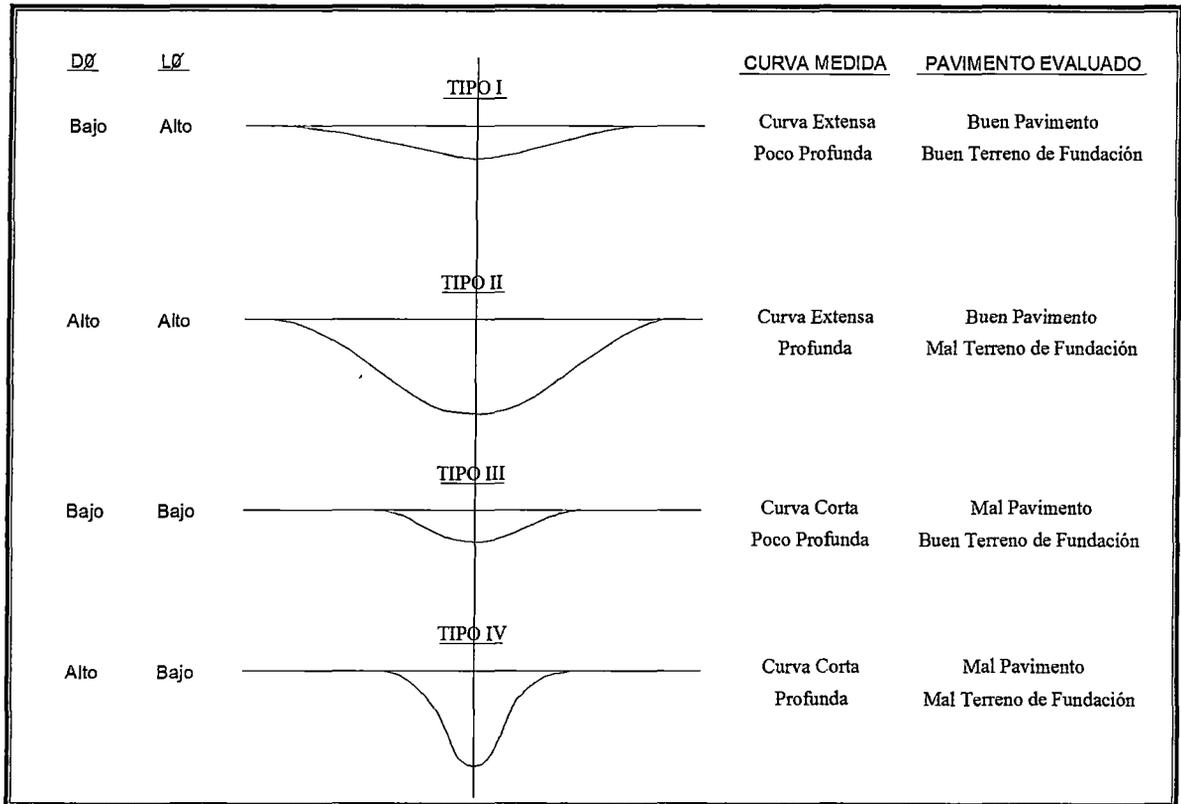
En un extremo de la escala puede pensarse en un pavimento rígido (losa de concreto) sobre un terreno de fundación débil con un L_0 del orden de los 80 cm. En el otro extremo se encuentra un pavimento compuesto de una capa granular sin revestimiento sobre un terreno de fundación fuerte y un L_0 del orden de los 15 cm.

La determinación de L_0 en el proceso de evaluación depende solamente del cociente DR/D_0 y del valor R. Es decir que 2 pavimentos cualesquiera con igual cociente DR/D_0 a una misma distancia R dada, tienen el mismo L_0 aunque DR y D_0 sean diferentes. Los valores específicos de D_0 y DR influyen en los módulos E_0 y E^* según se explica más adelante.

b) Significado de E_0 y su relación con el CBR

El parámetro E_0 representa el módulo de elasticidad de la masa de subsuelo que participa en la deformación del sistema pavimento - subrasante. E_0 es inversamente proporcional a D_0 y a L_0 , es decir que E_0 es menor cuando mayor es la deflexión y la longitud característica del pavimento para una relación de rigideces S_0/S dada, y viceversa. El primer caso corresponde a un pavimento que tiene una curva de deflexiones profunda y extensa y, en general pueden establecerse las relaciones cualitativas entre las características de la curva de deflexiones y el sistema.

Figura N° 08
Significado cualitativo de los diferentes tipos de deflexiones



Fuente: Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones. (Ph.D Mario S. Hoffman / Ing. Pablo del Águila).

A pesar que el módulo $E\emptyset$ es un parámetro mecánico fundamental del subsuelo, se ha establecido, además, una relación entre este valor y el valor de CBR del terreno de fundación, para facilitar el diseño del refuerzo requerido o para chequear diseños usando métodos tradicionales. Esta relación ha sido establecida experimentalmente, comparando los valores de $E\emptyset$ obtenidos de la metodología de evaluación estructural, usando deflexiones medidas con la viga Benkelman y valores de CBR obtenidos en sitio.

De numerosas comparaciones de este tipo se ha podido establecer la siguiente relación:

$$E\emptyset = (100 \text{ a } 160) \times \text{CBR} \quad (1.10)$$

Para $E\emptyset$ expresado en Kg/cm^2 y CBR en porcentaje

El coeficiente numérico (100 a 160) de la relación (1.10) se denomina “Factor de CBR” y se recomienda utilizar un factor de 110 para ensayos rutinarios a menos que exista alguna razón que justifique su cambio.

c) Significado de E^* y HC

El valor E^* representa un módulo de elasticidad compuesto o equivalente de todas las capas del pavimento con un espesor “HC”. El espesor “HC” usado influye en el valor de E^* de manera que cuando menor es el valor de “HC” mayor es el valor de E^* obtenido.

Los valores HC y E^* están interconectados y son, en cierta medida, intercambiables. Para ilustrar este concepto, para fines de diseño, se puede optar por un espesor pequeño de excelentes materiales (bajo HC y alto E^*) o un espesor grande de materiales mediocres (alto HC y bajo E^*). En ambos casos se trata de proteger al terreno de fundación contra esfuerzos excesivos y se cuenta para esto con varias combinaciones de HC y E^* (los extremos serían un pavimento rígido vs. un pavimento flexible).

En base a consideraciones de diseño y a la teoría de capas elásticas, Hoffman (1977) ha establecido que un pavimento flexible, adecuadamente diseñado, debe guardar una relación modular $EP/E\phi$ entre 2 y 4, pudiéndose usar, para fines prácticos, la relación:

$$EP = 3 E\phi \quad (1.11)$$

En base al concepto de rigidez flexionante, se plantea que si el pavimento evaluado con módulo de elasticidad E^* y espesor HC es equivalente a un pavimento nuevo con módulo EP y espesor HEQ, se debe guardar la siguiente relación entre la rigidez flexionante del pavimento evaluado y la del pavimento nuevo:

$$E^* (HC)^3 = EP(HEQ)^3 \quad (1.12)$$

Luego, Introduciendo la relación (1.11) en la ecuación (1.12) se obtiene que :

$$E^* (HC)^3 = 3E\phi (HEQ)^3 \quad (1.13)$$

$$\frac{HEQ}{HC} = \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{E^*}{E\phi} \right)^{1/3} \quad (1.14)$$

La ecuación (1.14) constituye la base para asignar un crédito estructural al pavimento existente con módulo E^* y espesor HC.

Si un pavimento evaluado tiene una relación modular $E^*/E\phi$ de 3, su HC es totalmente utilizable desde el punto de vista estructural ($HEQ/HC = 1$). En cambio, si la relación modular evaluada es 2, sólo un 87% del HC cuenta como espesor estructural utilizable. Por el contrario, si la relación modular es 5, el espesor estructuralmente utilizable es igual al 118% de HC dando así crédito al buen módulo E^* evaluado en el pavimento existente. El Espesor HEQ puede considerarse entonces como el espesor efectivo en términos de "base granular" del pavimento existente de acuerdo a los valores de HC, E^* y $E\phi$ evaluados.

d) Parámetros $H/L\phi$ y μ

La metodología de evaluación permite la selección de la profundidad de la "capa rocosa" y puede optarse por el valor $H/L\phi = 10$ o $H/L\phi = 100$ que corresponde a una capa rocosa en el infinito. La adopción de uno u otro valor de $H/L\phi$ influye en todos los resultados de la evaluación $L\phi$, $E\phi$ (CBR) y E^*

Para estudios rutinarios se recomienda el uso del $H/L\phi = 10$ que implica que la capa rocosa se encuentra a una profundidad igual a 10 veces la longitud característica del pavimento. Así, para una $L\phi$ de 20cm. se asume una capa rocosa de 2.0m. de profundidad, para $L\phi$ igual a 40 cm. la capa rocosa se encuentra a 4.0 m. de profundidad, y así sucesivamente. Como se indicó previamente, el uso de un $H/L\phi$ finito (10 en este caso) produce resultados de evaluación más satisfactorios y representativos.

El valor $H/L\emptyset =$ (Capa rocosa en el infinito) puede usarse para evaluar la sensibilidad de los resultados o para chequear el grado de concordancia entre curvas de deflexiones medidas y curvas teóricas cuando se cuenta con varios valores de deflexiones medidos a diferentes distancias del eje de la carga.

En cuanto al coeficiente de Poisson " μ " las soluciones aceptan los valores 0.4 y 0.5, recomendándose usar 0.4 para trabajos rutinarios. De todas maneras, las diferencias en los resultados entre uno u otro valor no exceden típicamente del 10%.

Cuadro N° 2.4.1
Coeficientes de Correlación para el Cálculo de R5 en el Modelo Hogg

H/L \emptyset	μ	A	B	C
∞	Cualquier Valor	3.115	0	0.584
$\frac{10}{DR/D\emptyset} > 0.7$	0.5	2.460	0	0.592
$\frac{10}{DR/D\emptyset} < 0.7$	0.5	371.1	2	0.219
$\frac{10}{DR/D\emptyset} > 0.426$	0.4	2.629	0	0.548
$\frac{10}{DR/D\emptyset} < 0.426$	0.4	2283.4	3	0.2004

Cuadro N° 2.4.2
Coeficientes de Correlación para la Determinación de L \emptyset en el Modelo Hogg

H/L \emptyset	μ	X	Y
10	0.5	0.183	0.620
10	0.4	0.192	0.602
∞	Cualquier Valor	0.180	0.525

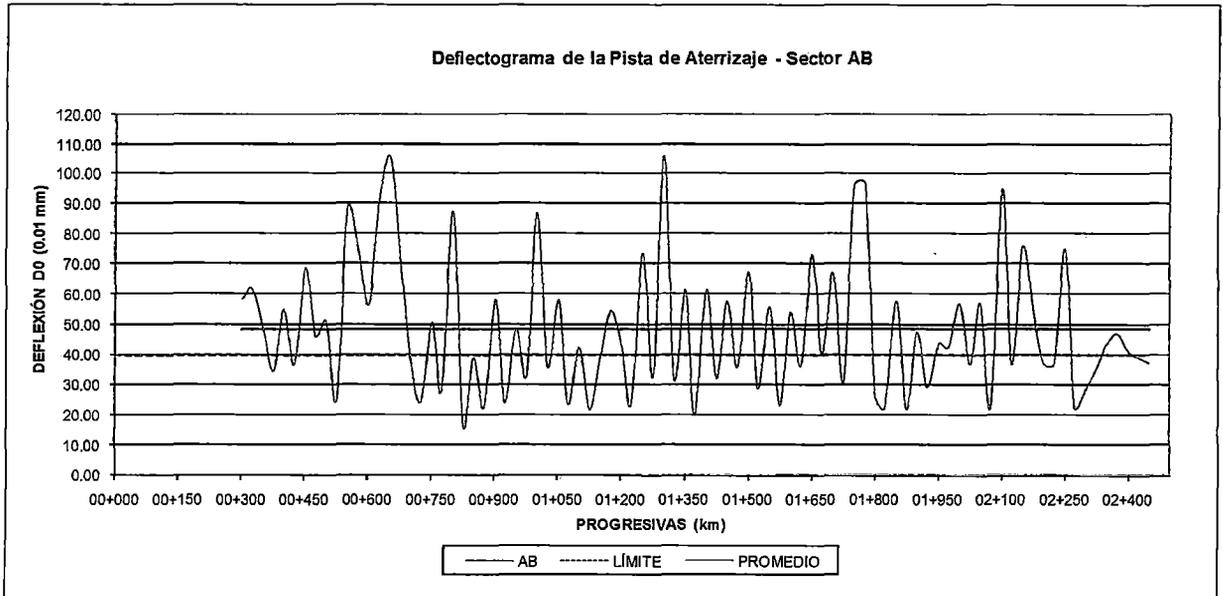
2.4.3 Resultados de las Mediciones Deflectométricas

Se muestran las curvas de deflexión obtenidas para cada sección del pavimento, donde se aprecia que en general, los valores de deflexión promedio son mayores a 40 (0.01 mm), estos resultados indican inadecuado comportamiento estructural

del pavimento. El detalle de la adopción de los parámetros referenciales admisibles, aparece en el ítem 2.6 Propuesta de Intervenciones.

El valor de deflexión promedio de la sección AB en la pista de aterrizaje muestra un valor de 48.59 (0.01 mm). La deflexión característica alcanza un valor de 84.65 (0.01 mm), el radio de curvatura promedio es de 198 m.

Gráfico N° 2.4.2



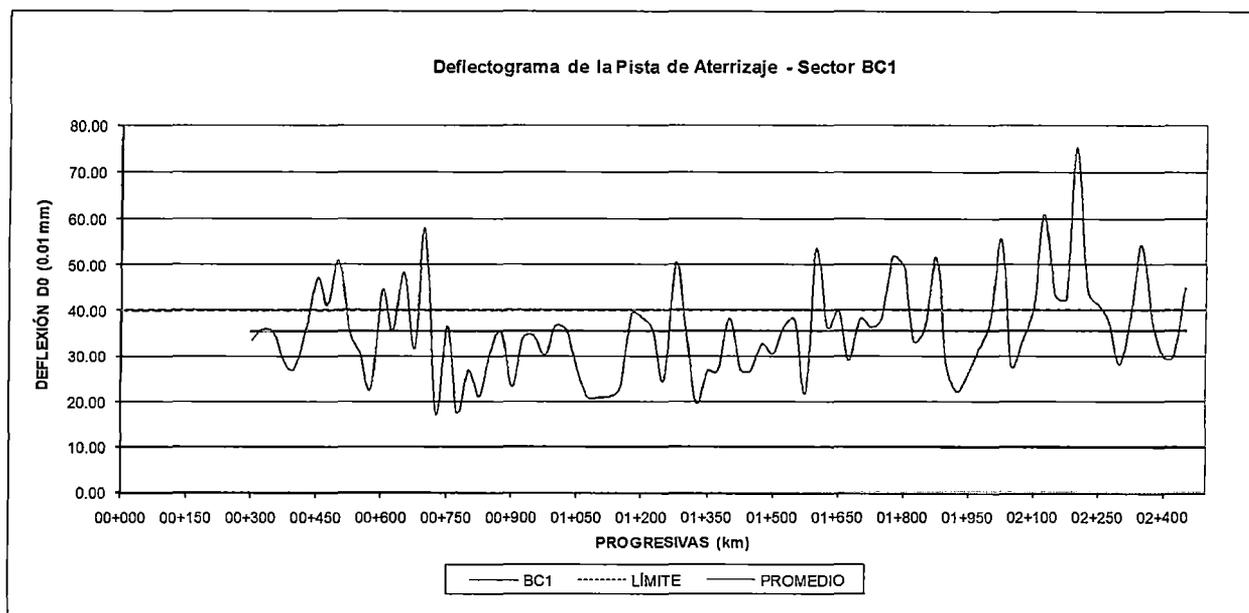
Cuadro N° 2.4.3

Resultado de deflexiones en la pista de aterrizaje – sector AB

Estación (Km)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
	Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	Dk25 (0.01 mm) 2 do. Dial	
PROMEDIO	48.59	26.23	198
MAX. OBTENIDO	105.84	67.57	856
MIN. OBTENIDO	16.75	7.44	54
DESV. ESTANDAR	21.92	13.33	
CARACTERÍSTICA	84.65	48.17	

El valor de deflexión promedio de la sección BC1 muestra un valor de 35.66 (0.01 mm), los tramos de deflexión en esta sección muestran un comportamiento más homogéneo comparado con la sección AB, tal como podemos observar en los diferentes valores de desviación estándar. El valor de radio de curvatura promedio es 262 m.

Gráfico N° 2.4.3

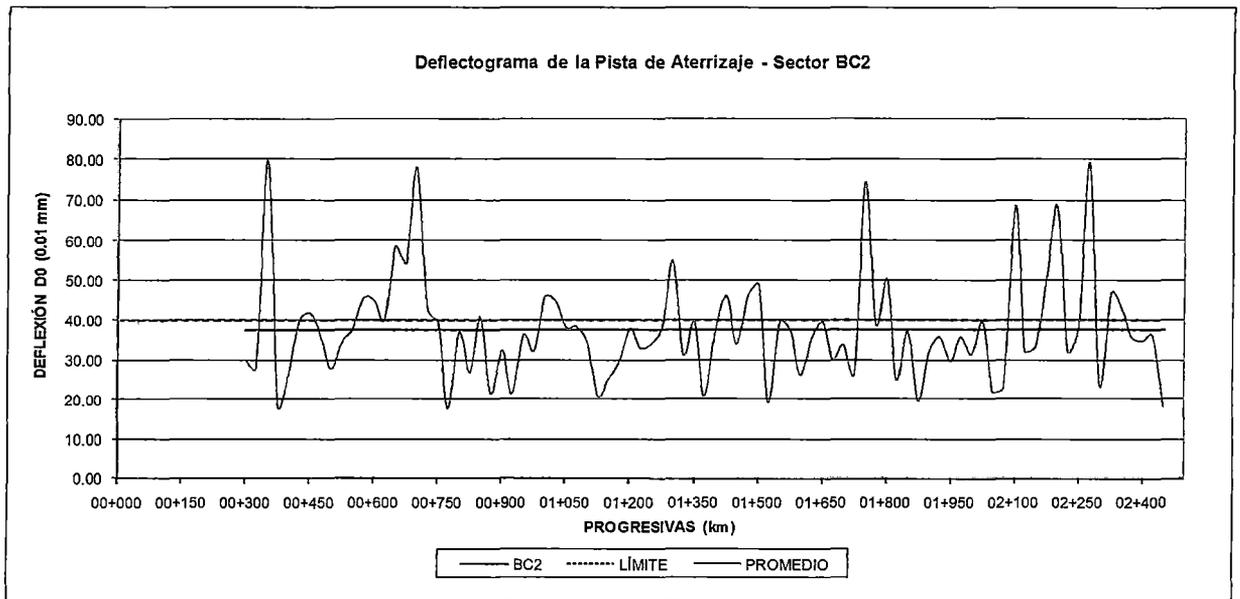


Cuadro N° 2.4.4
Resultado de deflexiones en la pista de aterrizaje – sector BC1

Estación (Km)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
	Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	Dk25 (0.01 mm) 2 do. Dial	
PROMEDIO	35.66	20.48	262
MAX. OBTENIDO	75.19	43.23	875
MIN. OBTENIDO	17.73	5.77	84
DESV. ESTANDAR	10.53	6.99	
CARACTERISTICA	52.99	31.97	

El valor de deflexión promedio de la sección BC2 en la pista de aterrizaje muestra un valor de 37.75 (0.01 mm). El radio de curvatura promedio es de 258 m.

Gráfico N° 2.4.4

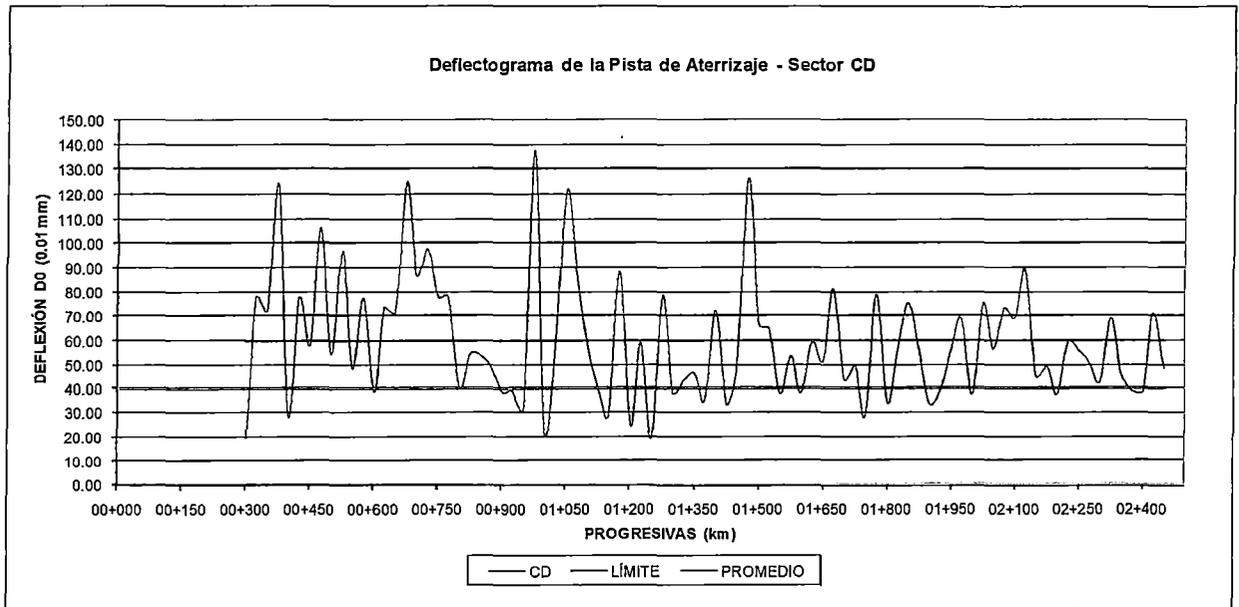


Cuadro N° 2.4.5
Resultado de deflexiones en la pista de aterrizaje – sector BC2

Estación (Km)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
	Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	Dk25 (0.01 mm) 2 do. Dial	
PROMEDIO	37.75	20.75	258
MAX. OBTENIDO	80.00	46.64	1738
MIN. OBTENIDO	17.99	8.93	70
DESV. ESTANDAR	13.48	7.89	
CARACTERISTICA	59.92	33.73	

El valor de deflexión promedio de la sección CD en la pista de aterrizaje muestra un valor de 59.75 (0.01 mm). El radio de curvatura promedio es de 158 m.

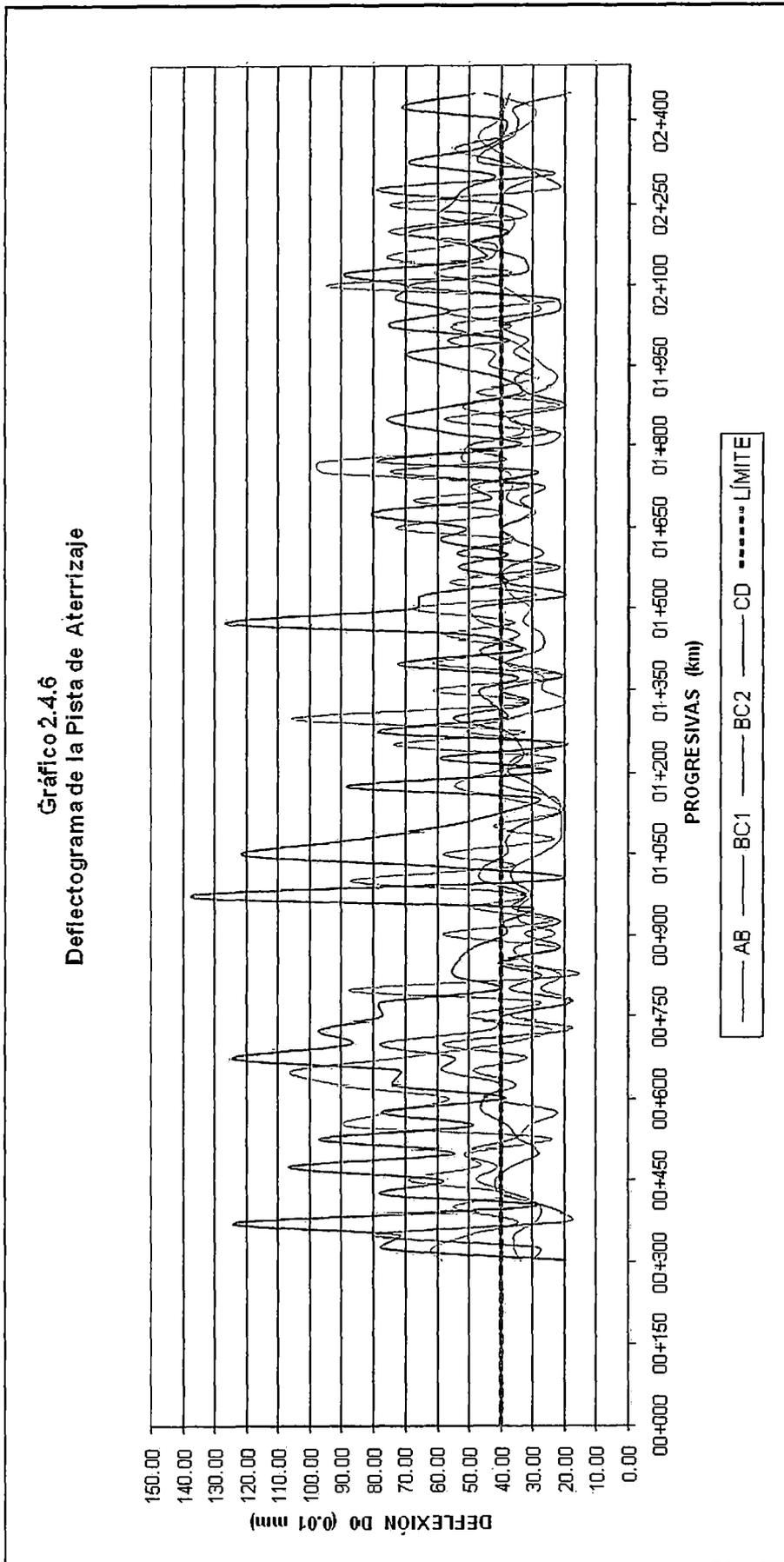
Gráfico N° 2.4.5



Cuadro N° 2.4.6
Resultado de deflexiones en la pista de aterrizaje – sector CD

Estación (Km)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
	Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	Dk25 (0.01 mm) 2 do. Dial	
PROMEDIO	59.75	32.86	158
MAX. OBTENIDO	137.40	98.76	537
MIN. OBTENIDO	19.27	9.75	35
DESV. ESTANDAR	25.46	16.35	
CARACTERISTICA	101.63	59.76	

El espectro de deflexiones general de la pista de aterrizaje se muestra en el Gráfico 2.4.6



Con los resultados de deflexión obtenidos se ha procedido a la aplicación del Modelo de Hogg; considerando las secciones de evaluación establecidas, el valor de deflexión máxima y el espesor del pavimento. El resumen de los parámetros elásticos obtenidos para las diferentes secciones del aeropuerto, se muestran en los cuadros siguientes:

Cuadro N° 2.4.7
Resumen de los Parámetros Elásticos de la Pista de Aterrizaje

SECCIÓN	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
AB	48.59	24.08	51.12	28.86	928.92	13.11	8.4	1913.63	2.12	70.68
BC1	35.67	17.33	53.26	28.16	1102.07	15.54	9.96	2375.96	2.27	72.07
BC2	37.75	18.21	47.61	24.70	1155.61	16.31	10.46	2196.21	1.91	68.44
CD	59.76	28.46	48.40	25.18	774.12	10.92	6.98	1485.79	1.95	68.92

Cuadro N° 2.4.8
Resumen de los Parámetros Elásticos de la Calle de Rodaje "A"

SECCIÓN	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
AB	43.13	19.67	45.49	23.40	1087.63	15.34	9.83	2158.04	2.04	47.99
BC	40.37	19.56	56.94	30.36	1098.57	15.49	9.94	2655.16	3.81	54.99

Cuadro N° 2.4.9
Resumen de los Parámetros Elásticos de la Calle de Rodaje "B"

SECCIÓN	D0 0.01mm	DR 0.01 mm	R5 cm	L0 cm	E0 Kg/cm2	Mr Ksi	CBR (%)	E* Kg/cm2	E*/E0	HEQ (cm)
AB	46.44	23.68	52.68	27.80	782.10	11.02	7.06	2062.26	2.68	52.29
BC	43.72	20.96	51.02	26.80	919.26	12.96	8.32	2383.62	2.48	51.15

2.5 NOTIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL PAVIMENTO

La OACI especifica en el Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional que la resistencia de un pavimento destinado a aeronaves de masa superior a 5700 Kg, se dará a conocer mediante el método del número de clasificación de aeronaves – número de clasificación de pavimentos (ACN-PCN). La condición del pavimento actual se obtendrá mediante el número de clasificación del pavimento PCN.

2.5.1 Metodología

Para la determinación del PCN nos referimos al método ACN/CPN que fue desarrollado por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) y está descrito en la Parte 3: Pavimentos, del "Manual de Diseño de Aeródromos" y al procedimiento establecido en el Circular Advisory 150/5335-5a de la FAA (Administración de Aviación Federal).

2.5.1.1 Definiciones

ACN: se define como la cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento para determinada resistencia normalizada del terreno de fundación.

PCN: se define como la cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones.

2.5.1.2 Determinación del ACN

El ACN de una aeronave para la masa y la categoría de terreno de fundación seleccionados es el doble de la carga derivada de rueda simple, la cual se expresa en miles de kilogramos. La presión normalizada de los neumáticos en rueda simple es de 1.25 Mpa. El número de clasificación de las aeronaves (ACN) se define sólo para las cuatro categorías de terrenos de fundación (resistencia alta, mediana, baja y ultra baja). El factor dos (2) en la definición numérica del ACN se emplea para lograr una escala conveniente del ACN con relación a la masa bruta, de modo que todas las cifras del ACN puedan emplearse con razonable exactitud.

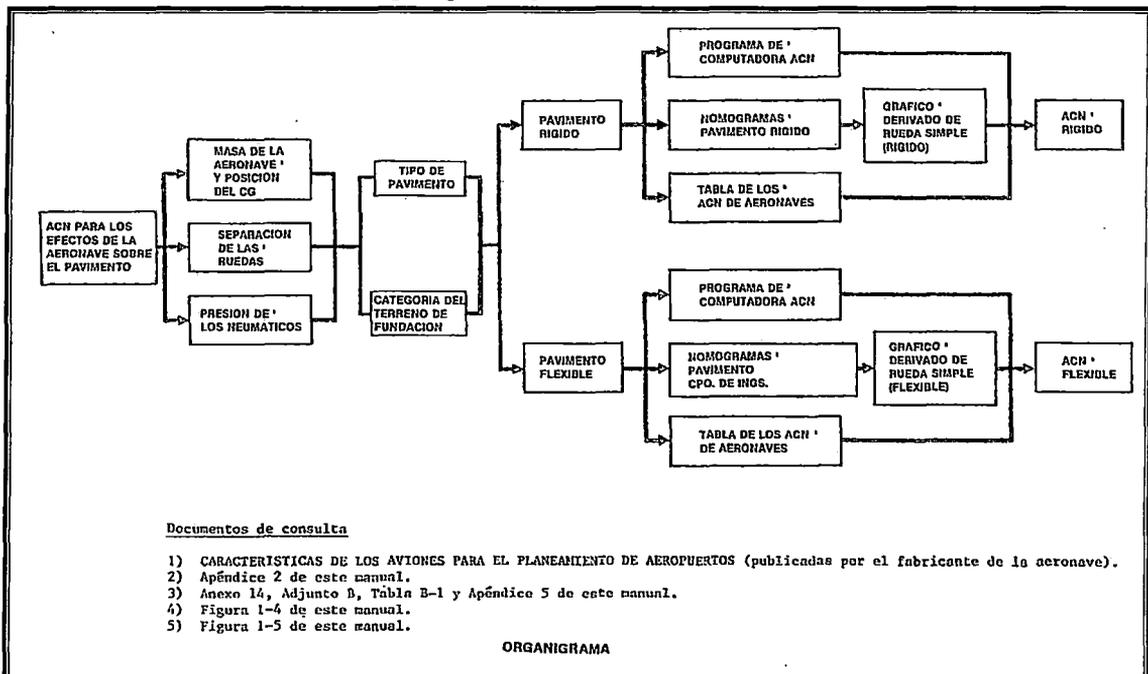
Dado que una aeronave opera en diversas condiciones de masa y centro de gravedad, en los cálculos del ACN se han adoptado las siguientes convenciones:

- El ACN máximo de una aeronave se calcula con la masa y C.G. que producen la máxima carga del tren de aterrizaje principal sobre el pavimento, generalmente, se trata de la masa máxima sobre la plataforma y del correspondiente C.G. en posición retrasada.

- En las correspondientes cartas y tablas del ACN de la aeronave, ésta aparece como función de la masa bruta de la aeronave y el C.G. de la misma como un valor constante correspondiente al valor máximo ACN y con los neumáticos inflados a la presión para la masa máxima sobre la plataforma.
- Los valores ACN para condiciones específicas son los que se ajustan a los efectos de la presión de los neumáticos y/o la posición del C.G. con una masa bruta especificada para la aeronave.

El valor numérico del ACN expresa el efecto estructural relativo de una aeronave sobre diferentes tipos de pavimentos según la resistencia especificada del terreno de fundación, con carga sobre una rueda. Para facilitar la utilización del método, los fabricantes publican documentos con características de sus aeronaves y los ACN calculados con dos masas diferentes: la máxima en la plataforma y una masa representativa de operación en vacío, tanto en pavimentos rígidos como flexibles para cuatro categorías normalizadas del terreno de fundación. En el organigrama que sigue se explica de manera simple cómo se calcula el ACN de una aeronave según el método ACN-PCN.

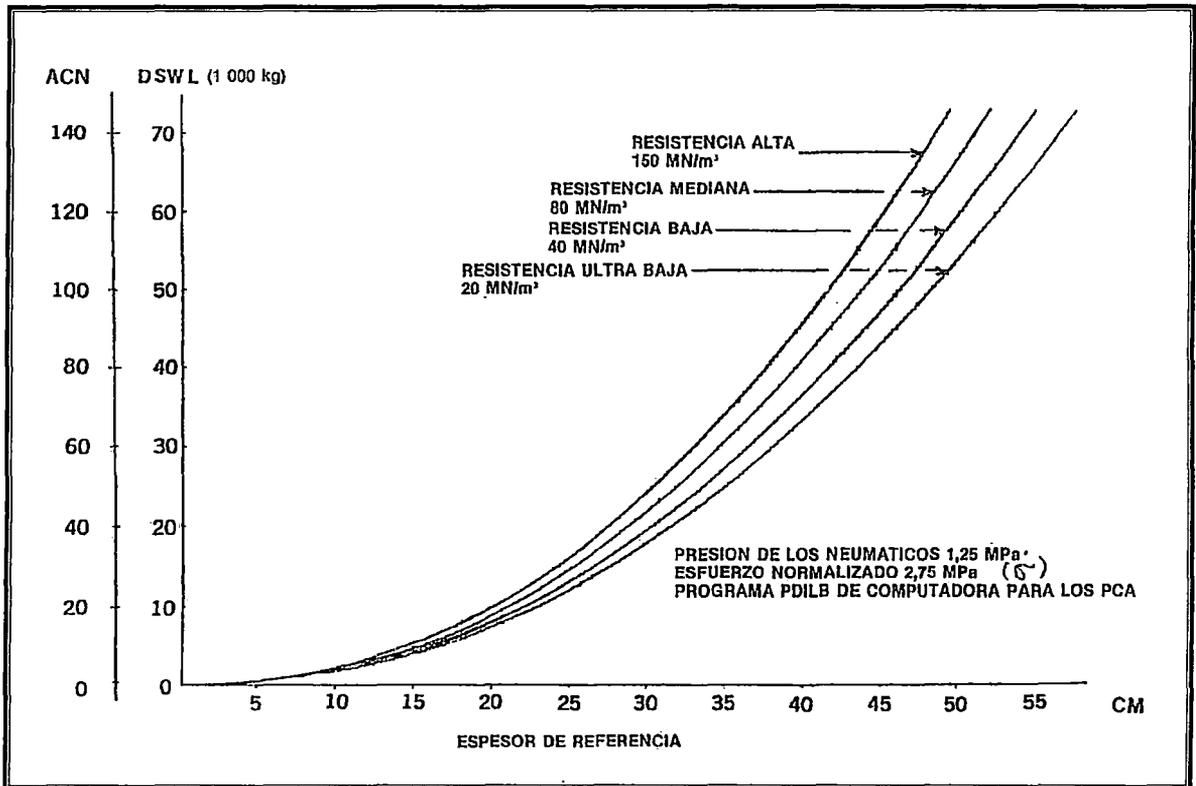
Figura N° 09
Organigrama para cálculo de ACN



Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) – Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3: Pavimentos.

Para pavimentos rígidos se puede calcular el ACN utilizando el gráfico de conversión que se muestra en la Figura N° 10 y los gráficos de espesor de pavimento que publican los fabricantes de aeronaves. La figura incluye una escala de ACN que permite leer directamente el ACN.

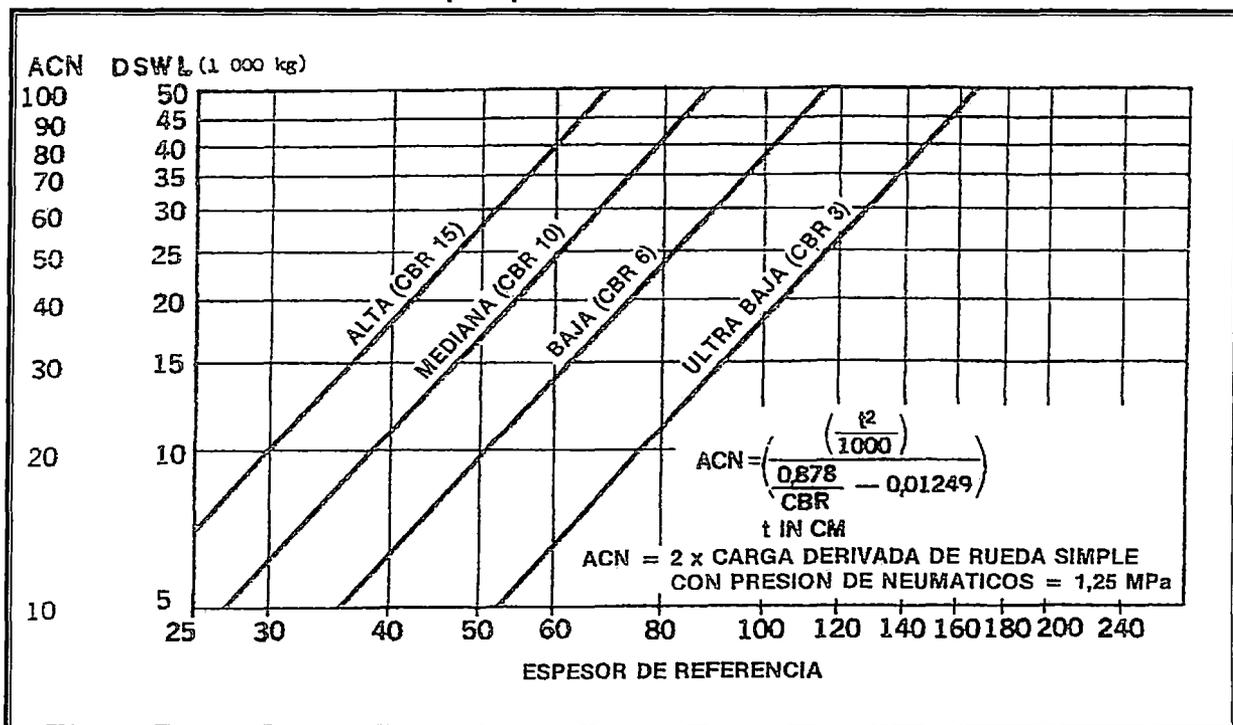
Figura N° 10
ACN para pavimentos rígidos



Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) – Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3: Pavimentos.

Para pavimentos flexibles se puede calcular el ACN utilizando el gráfico de conversión que se muestra en la Figura N° 11 y los gráficos de espesor del pavimento requerido publicados por los fabricantes de aeronaves.

Figura N° 11
ACN para pavimentos flexibles



Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) – Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3: Pavimentos.

2.5.1.3 Determinación del PCN

El número de clasificación del pavimento (PCN), es un coeficiente 1/500 de la masa que según la evaluación puede soportar el pavimento cuando se aplique mediante una rueda sencilla normal a una presión de neumáticos de 1.25 Mpa. El coeficiente PCN establecido para un pavimento indica que el mismo es capaz de soportar aeronaves que posean ACN de magnitud igual o menor. El ACN para comparación con el PCN debe ser el ACN de la aeronave establecida para el tipo particular de pavimento y la categoría del terreno de fundación del pavimento clasificado. Este es posible determinar mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$P.C.N. = \frac{1}{500} \left(\frac{HEQ^2}{\frac{1}{0.57 \times C.B.R.} - 0.025} \right) \quad (1)$$

Donde:

- HEQ** : es el espesor equivalente del pavimento que deberá determinarse mediante el empleo de coeficientes de equivalencia.
- CBR** : es el % de la capacidad portante del terreno de fundación.

En términos fundamentales, la determinación de la condición del pavimento en términos de PCN es el proceso de determinar el ACN para la aeronave crítica seleccionada y reportar el valor ACN como PCN para la estructura del pavimento. Bajo estas condiciones, cualquier avión con un ACN menor o igual que el valor reportado de PCN con toda seguridad puede operar en el pavimento sin estar supeditado a cualquier limitación en la presión de los neumáticos.

La información sobre la resistencia del pavimento es notificada a través de un código que utiliza cinco elementos que son:

1. El valor numérico del PCN
2. El tipo de pavimento
3. La resistencia del terreno de fundación
4. La presión de los neumáticos
5. El método de evaluación

1.- El valor numérico del PCN

Es una indicación relativa de la resistencia del pavimento en términos de una carga de rueda simple patrón. El PCN indicará que una aeronave con un ACN igual o inferior al PCN notificado puede operar sobre ese pavimento a reserva de cualquier limitación, con respecto a la presión de neumáticos o la masa total de la aeronave.

2.- El Tipo de Pavimento

Para los fines de notificación de la resistencia del pavimento, los pavimentos deben clasificarse en rígidos (R) y flexibles (F).

3.- Resistencia del Terreno de Fundación

Se clasifica utilizando valores medios para cada categoría de resistencia de la sub rasante, siendo los valores de los parámetros de CBR para pavimentos flexibles y el módulo de reacción K, para pavimentos rígidos, según los valores indicados en el Cuadro N° 2.5.1.

Resistencia Alta

Para los pavimentos rígidos, el valor tipo de $K=150\text{MN/m}^3$ y comprende todos los valores de K superiores a 120MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo de $\text{CBR}=15$ y comprende todos los valores superiores a 13.

Resistencia Media

Para los pavimentos rígidos, el valor tipo de $K=80\text{MN/m}^3$ y comprende todos los valores K entre 60 y 120MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo de $\text{CBR}=10$ y comprende todos los valores CBR entre 8 y 13.

Resistencia Baja

Para los pavimentos rígidos, el valor tipo de $K=40\text{MN/m}^3$ y comprende todos los valores K entre 25 y 60MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo de $\text{CBR}=6$ y comprende todos los valores CBR entre 4 y 8.

Resistencia Ultra Baja

Para los pavimentos rígidos, el valor tipo de $K=20\text{MN/m}^3$ y comprende todos los valores K inferiores a 25MN/m^3 ; para los pavimentos flexibles, el valor tipo de $\text{CBR}=3$ y comprende todos los valores CBR inferiores a 4.

Cuadro N° 2.5.1
Categoría de resistencia del terreno de Fundación

RESISTENCIA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN	TIPO DE PAVIMENTO				CLAVE
	RÍGIDOS		FLEXIBLES		
	K (MN/m ³)	K Representativo	C.B.R. (%)	C.B.R. Representativo	
ALTA	> 120	150	> 13	15	A
MEDIA	120 - 160	80	8 - 13	10	B
BAJA	60 - 25	40	4 - 8	6	C
ULTRA BAJA	< 25	20	< 4	3	D

4.- La presión de los neumáticos

En pavimentos con superficie de concreto asfáltico, pueden ser restringidos dependiendo de las condiciones climáticas y de la calidad de mezcla asfáltica. Para registrar la presión de los neumáticos, la presión máxima admisible considera los siguientes límites:

- Alta : sin límites de presión
- Media : presión máxima 1.50 Mpa (217psi)
- Baja : presión máxima 1.00 Mpa (145psi)
- Muy Baja : presión máxima 0.50 Mpa (72psi)

Cuadro N° 2.5.2
Categoría de presión máxima permisible de los neumáticos

CATEGORÍA	PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE (Mpa)	CLAVE
ALTA	SIN LÍMITE	W
MEDIA	1.01 a 1.50	X
BAJA	0.51 - 1.00	Y
MUY BAJA	0 a 0.50	Z

5.- Método de evaluación

El sistema PCN, reconoce dos métodos de evaluación del pavimento.

Evaluación Técnica

Si la evaluación presentada representa el resultado de un estudio Técnico, el método de evaluación debe ser codificado con la letra T.

Evaluación Experimental

Basado en la experiencia de las aeronaves que operan usualmente en el pavimento, el método de evaluación debe ser codificado con la letra U

2.5.2 Determinación del Espesor Equivalente y CBR a utilizar en la notificación del PCN en pavimentos flexibles

Los resultados de la verificación estructural del pavimento ha permitido obtener entre sus indicadores más representativos, en la aplicación de la teoría elástica mediante el modelo de Hogg, el HEQ de la estructura y el CBR del terreno de fundación; parámetros con los cuales se ha procedido a calcular el valor de PCN, complementariamente tanto el espesor como el CBR de las capas del pavimento, han sido verificados in situ mediante la extracción de muestras para la obtención del CBR de laboratorio, control de espesores y calidad de los materiales que conforman las capas.

Según recomendaciones de la OACI (Organización de Aeronáutica Civil Internacional) el CBR que se adopte en el cálculo del PCN, será el más bajo que se obtenga durante la serie de ensayos, en cada metodología aplicada, se detallará el criterio adoptado.

A continuación se describen dos Metodologías de trabajo.

a) Metodología con Datos Obtenidos en el Modelo de Hogg

Los parámetros de HEQ y CBR del terreno de fundación, se obtuvieron en la evaluación estructural del pavimento (ítem 2.4.2), el espesor HEQ es representado de acuerdo a los valores de HC, E^* y $E\emptyset$ analizados. HC es el espesor total del pavimento existente, E^* es el módulo de elasticidad representativo del pavimento y $E\emptyset$ módulo de elasticidad del terreno de fundación.

Con la finalidad de obtener un valor consistente con las recomendaciones de la OACI, los resultados de CBR han sido procesados estadísticamente al 85 percentil para definir los valores que intervendrán en el cálculo, a continuación, en el Cuadro 2.5.3, se muestran los valores de CBR obtenidos para cada sección del pavimento:

Cuadro N° 2.5.3
Resultados del CBR del Terreno de fundación

CBR Modelo Hogg	N° Datos	Promedio (%)	PERCENTIL
			85%
PISTA DE ATERRIZAJE	348	8.95	4.9
CALLE DE RODAJE	24	8.97	6.0
PLATAFORMA DE ESTACIONAMIENTO	-	-	-

Para el HEQ se ha considerado, de igual manera que en el caso anterior, al 85% del percentil de los datos. Los resultados obtenidos se indican en el cuadro N° 2.5.4, para cada sección de pavimento.

Cuadro N° 2.5.4
Espesores Equivalentes (HEQ) – Según Modelo de Hogg

ESPESOR DE BASE GRANULAR EQUIVALENTE HEQ (cm.)	N° Datos	VALORES DETERMINADOS	
		Promedio	PERCENTIL
			85%
PISTA DE ATERRIZAJE	348	62	56.8
CALLE DE RODAJE	24	63	56.8
PLATAFORMA DE ESTACIONAMIENTO	-	-	-

b) Metodología con Datos Obtenidos de la Exploración Geotécnica y Ensayos de Laboratorio

En el caso de los ensayos destructivos por medio de calicatas y obtención de los espesores reales de la capas de revestimiento, firme y cimiento, el espesor equivalente de una capa es igual al espesor real multiplicado por un coeficiente numérico o coeficiente de equivalencia. El espesor equivalente del pavimento es igual a la suma de los espesores equivalentes de sus capas. Los valores que se indican en el cuadro siguiente pueden utilizarse como referencia.

Cuadro N° 2.5.5
Coefficientes según el tipo de material para cálculo de espesor equivalente

Nuevos materiales	Coefficiente de equivalencia
Mezcla asfáltica densa del tipo hormigón	2.0
Mezcla de arena – grava ligada con asfalto.	1.5
Emulsión arena – grava.	1.2
Arena – grava tratada con hidrantes hidráulicos (cemento, ceniza, barro).	1.5
Grava machacada de grano uniforme.	1.0
Arena tratada con hidrantes hidráulicos.	1.0
Gravilla	0.75
Arena	0.5

Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) – Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3: Pavimentos.

Los valores de CBR son los obtenidos mediante ensayos de laboratorio para el terreno de fundación sobre el cual se coloca el pavimento.

Debido a la gran irregularidad de espesores y estratos de los pavimentos encontrados y mostrados en el perfil estratigráfico, así como a la prospección realizada solo en los bordes de la pista se optó para la realización de la presente tesis tomar los datos de la exploración geotécnica de manera conservadora. Se debe considerar que por razones de seguridad y funcionamiento del aeropuerto en estudio, las 8 prospecciones geotécnicas fueron realizadas a los bordes derecho e izquierdo de la pista de aterrizaje y no en los sectores centrales tal como se muestra en el Gráfico 1.3.1 “Ubicación de calicatas” del ítem 1.3.

Cuadro N° 2.5.6
Espesor Equivalente (HEQ) - Según prospecciones geotécnicas

Capa	Espesor promedio	Coefficiente de equivalencia	Espesor equivalente por capa
Revestimiento	7.5	1.2	9.0
Firme	25.0	1.0	25.0
Cimiento	30.0	0.5	15.0
		Espesor equivalente (HEQ)	49.0

De los resultados de ensayos de laboratorio obtenemos que el CBR de la pista de aterrizaje es de 8.2%.

2.5.3 Notificación del PCN en Pavimentos Flexibles

Primer Método

En base a los resultados de Espesores Equivalentes de Base Granular (HEQ), y del CBR del terreno de fundación, determinados mediante el modelo de Hogg, se determinó el valor del PCN utilizando la fórmula anteriormente mencionada:

$$P.C.N. = \frac{1}{500} \left(\frac{HEQ^2}{\frac{1}{0.57 \times C.B.R.} - 0.025} \right)$$

Donde: HEQ: espesor equivalente del pavimento en cm.
CBR: CBR del terreno de fundación.

Valor de PCN en la Pista de Aterrizaje.

Reemplazando los valores de espesor equivalente HEQ=56.8 y CBR=4.9 del terreno de fundación de la pista de aterrizaje se obtiene:

PCN 20 / F / C / X / T

- F= pavimento flexible.
- C= CBR subrasante entre 4 y 8%.
- X =presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.
- T= evaluación técnica

Valor del PCN en Calles de Rodaje

Reemplazando los valores de espesor equivalente HEQ=56.8 y CBR=6.0 del terreno de fundación de las calles de rodaje se obtiene:

PCN 24 / F / C / X / T

- F= pavimento flexible.
- C= CBR subrasante entre 4 y 8%.
- X =presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.
- T= evaluación técnica.

Segundo Método

En base a los resultados de la exploración geotécnica que como se mencionara se realizó, por razones de seguridad, únicamente en los bordes derecho e izquierdo de la pista, encontrándose gran irregularidad en los espesores y estratos del pavimento.

Valor de PCN en la Pista de Aterrizaje.

Reemplazando los valores de espesor equivalente HEQ=49.0 y CBR=8.2 del terreno de fundación de la pista de aterrizaje se obtiene:

PCN 25 / F / B / X / T

- F= pavimento flexible.
- B= CBR subrasante entre 8 y 13%.
- X =presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.
- T= evaluación técnica.

Tercer Método

Consiste en calcular el PCN del pavimento, a partir de la determinación del valor más alto de ACN para la lista de las aeronaves que hacen uso del aeropuerto,

los valores de ACN pueden ser determinados alternativamente de los datos publicados por los fabricantes; de acuerdo al código de cada aeronave se obtienen la masa total de despegue, el porcentaje de carga en el tren de aterrizaje, presión de los neumáticos y el ACN de cada aeronave para el tipo de pavimento y clasificación del terreno de fundación.

Valor de PCN en la Pista de Aterrizaje.

Utilizando la Figura N° 11 se buscan los valores de espesor de referencia y CBR correspondiente a la pista de aterrizaje en estudio y se observa que su correspondiente valor de ACN que equivale a 20.

Entonces:

PCN 20 / F / C / X / T

F= pavimento flexible.

C= CBR subrasante entre 4 y 8%.

X =presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.

T= evaluación técnica.

Valor del PCN en Calles de Rodaje

Utilizando la Figura N° 11 se buscan los valores de espesor de referencia y CBR correspondientes a las calles de rodaje en estudio y se observa que su correspondiente valor de ACN que equivale a 24.

Entonces:

PCN 24 / F / C / X / T

F= pavimento flexible.

C= CBR subrasante entre 4 y 8%.

X =presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.

T= evaluación técnica.

2.5.4 Notificación del PCN en Pavimentos Rígidos

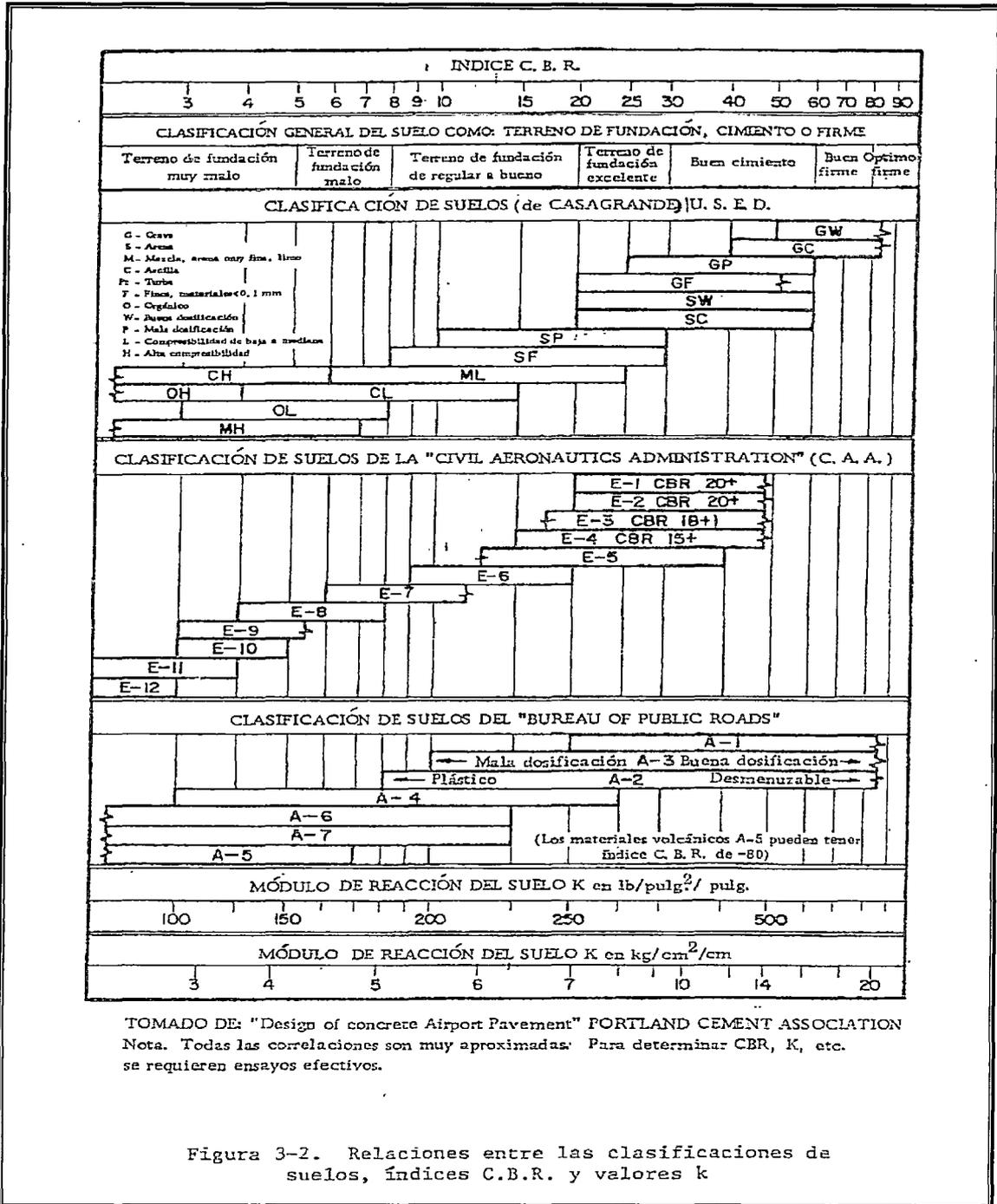
La plataforma de estacionamiento del aeropuerto de Talara, corresponde a un pavimento rígido según las indicaciones establecidas en el ítem 3.3.2 del Manual

de Proyectos de Aeródromos de la OACI, donde se establece que un pavimento será rígido si el elemento estructural predominante corresponde a losas de concreto de cemento Portland; para este caso, la losa de concreto tiene un espesor de 30 cm.

En cuanto a la metodología de cálculo, se toma en cuenta el módulo de reacción del terreno de fundación (k), un esfuerzo normalizado sobre el concreto de 2.75 Mpa. y el espesor de la losa, datos con los que se obtiene, a través de la Figura N° 10 el valor de ACN el cual es notificado como PCN.

Se ha tomado el valor del módulo de reacción “ k ” del terreno de fundación correspondiente considerando los valores de la tabla de “Relaciones entre las clasificaciones de suelos, índices CBR y valores k ” propuesto por la OACI, para lo cual usaremos el valor de CBR obtenido en la evaluación estructural del pavimento.

Figura N° 12
Relaciones entre clasificaciones de suelos, índices CBR y valores K



Fuente: Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) – Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3: Pavimentos.

A partir de los valores mostrados en la figura anterior se puede obtener una ecuación lineal que relacione el valor de CBR del terreno de fundación con el módulo de reacción "k" la cual se muestra a continuación:

$$K = A + B \times \text{CBR}$$

$$R^2 = 0.994$$

Donde:

$$A = 30.58364363$$

$$B = 2.009294012$$

$$K = \text{Módulo de reacción del terreno de fundación (MN/m}^3\text{)}$$

$$\text{CBR} = \text{Resistencia del terreno de fundación.}$$

Por lo tanto, para el CBR = 4.9 se tiene que el módulo de reacción del terreno de fundación es igual a 40 MN/m³.

El espesor de la losa de concreto de la plataforma es de 30 cm. Luego, utilizando el gráfico de la Figura N° 10 obtenemos el valor de ACN igual a 36, por lo tanto el PCN de la plataforma del aeropuerto de Talara es:

PCN 36 / R / C / X / T

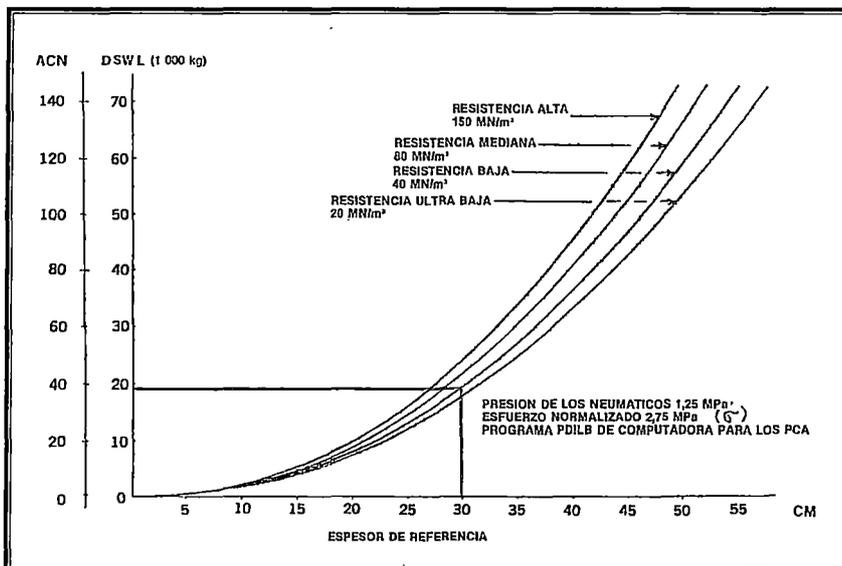
R= pavimento rígido.

C= módulo de reacción del terreno de fundación entre 25 y 60 MN/m³.

X = presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.

T= evaluación técnica.

Figura N° 2.5.5
Obtención del PCN de la Plataforma del Aeropuerto de Talara



2.5.5 PCN Adoptado

Considerando que el PCN es una cifra que indica la resistencia del pavimento y el ACN la cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento para determinada resistencia normalizada del terreno de fundación, es decir una relación directa entre la resistencia del pavimento y la carga que genera la aeronave, se establece, en base a los cálculos realizados en los ítems 2.5.3 y 2.5.4 del presente trabajo de tesis, que el valor de PCN representativo del aeropuerto de Talara es:

AEROPUERTO DE TALARA	PCN 20/ F / C / X / T
----------------------	-----------------------

F= pavimento flexible.

C= CBR subrasante entre 4 y 8%.

X =presión de inflado de 1.01 a 1.50Mpa.

T= evaluación técnica.

2.5.6 Determinación de los valores del ACN utilizando el Programa COMFAA.

El Programa COMFAA es un software utilizado por la Administración de Aviación Federal de los Estados Unidos para el cálculo del ACN siguiendo los procedimientos y condiciones establecidos por la OACI y el procedimiento está descrito en el AC 150/5335-5a "Método estándar para la notificación de la resistencia de pavimentos de aeropuertos - PCN".

El Software COMFAA en general opera en dos modos de cálculo: El Modo de cálculo ACN y el Modo de espesores del pavimento.

Por encontrarse a nivel de asfalto, la pista de aterrizaje del aeropuerto de Talara se enfocará como un pavimento flexible. Utilizando este programa se ha calculado el ACN así como el espesor del pavimento para una determinada Aeronave para este efecto la recomendación de la OACI es establecer un patrón estándar de presión de inflado de 181 psi (1.25 Mpa) y un promedio de 10,000 coberturas para la Aeronave en un periodo de vida útil de 20 años del pavimento.

Al respecto debemos de señalar que al carecer de un registro de las principales aeronaves que se esperan en este aeropuerto, el cálculo del PCN se ha limitado a efectuar una verificación con los espesores del pavimento que se han encontrado para cada aeronave utilizando el programa COMFAA. En el siguiente cuadro se pueden observar los valores encontrados:

Cuadro N° 2.5.7
ACN usando el programa COMFAA de las aeronaves comerciales del Perú

Aeronave	Peso de Operación (Kg.)	Presión de Llantas (Mpa.)	ACN F/C	Espesor Requerido (cm.)
A319-100	64,400	1.19	36.4	69.74
A320-100	68,400	1.38	40.3	73.45
A321-200	89,400	1.46	57.6	87.79
B737-100	50,349	1,02	28.9	62.15
B737-200	58,332	1.26	35.2	68.60
B767-300	187,334	1.38	72.2	98.25
BAe 146-100	37,308	0.88	21.0	53.06
BAe 146-200	40,600	0.88	23.5	56.01
Fokker 100	44,680	0.98	29.8	63.16

Según los cálculos realizados, el espesor promedio de la pista de aterrizaje del aeropuerto de Talara es 57 cm, y de los espesores requeridos en el Cuadro N° 2.5.7 podemos señalar que la pista de aterrizaje y despegue no está apta para recibir a las aeronaves A319-100, A320-100, A321-200, B737-100, B737-200, B767-300 y Fokker 100; por otro lado las aeronaves BAe 146-100 y BAe 146-200 requieren espesores de 53.06 cm. y 56.01 cm. respectivamente, por lo que se asume para el aeropuerto en estudio un valor de PCN equivalente a 24 F/C/X/T, sin embargo por cuestiones de seguridad se continúa con la notificación presentada en el ítem 2.5.5: PCN 20 F/C/X/T.

En las páginas siguientes se muestran los cálculos obtenidos del programa COMFAA para la elaboración del Cuadro N° 2.5.7.

Figura N° 14
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave A319-100

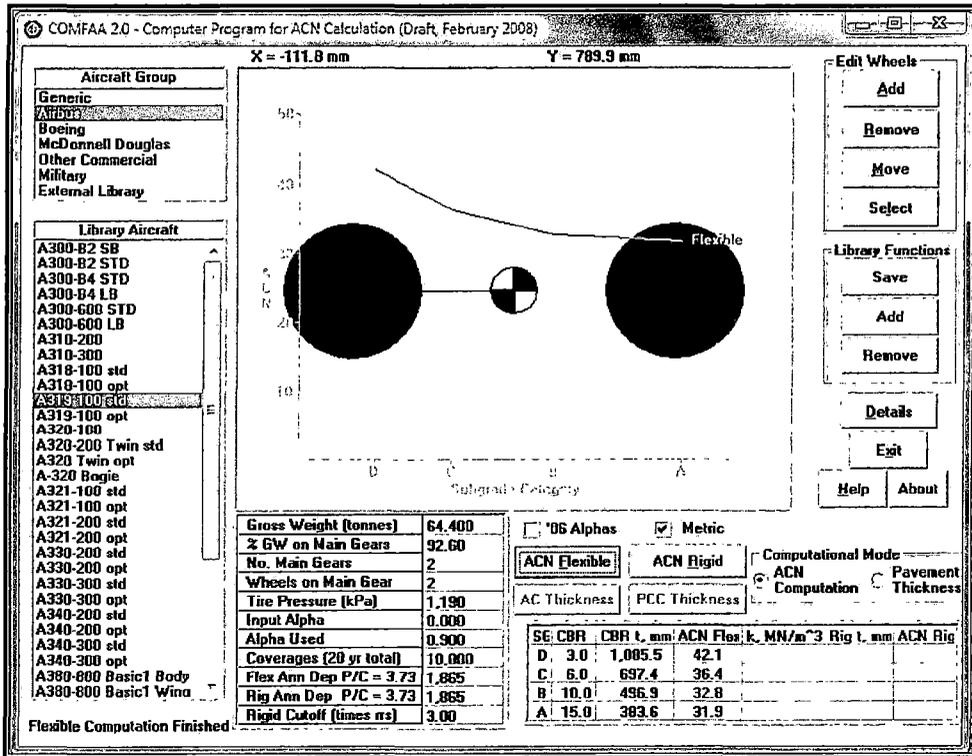


Figura N° 15
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave A320-100

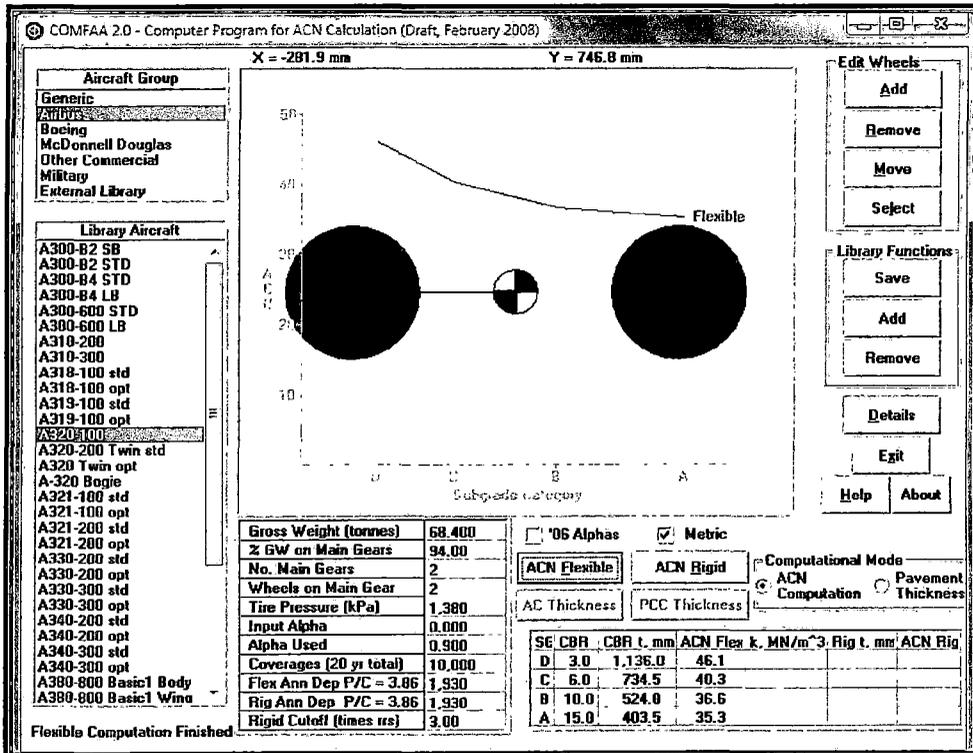


Figura N° 16
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave A321-200

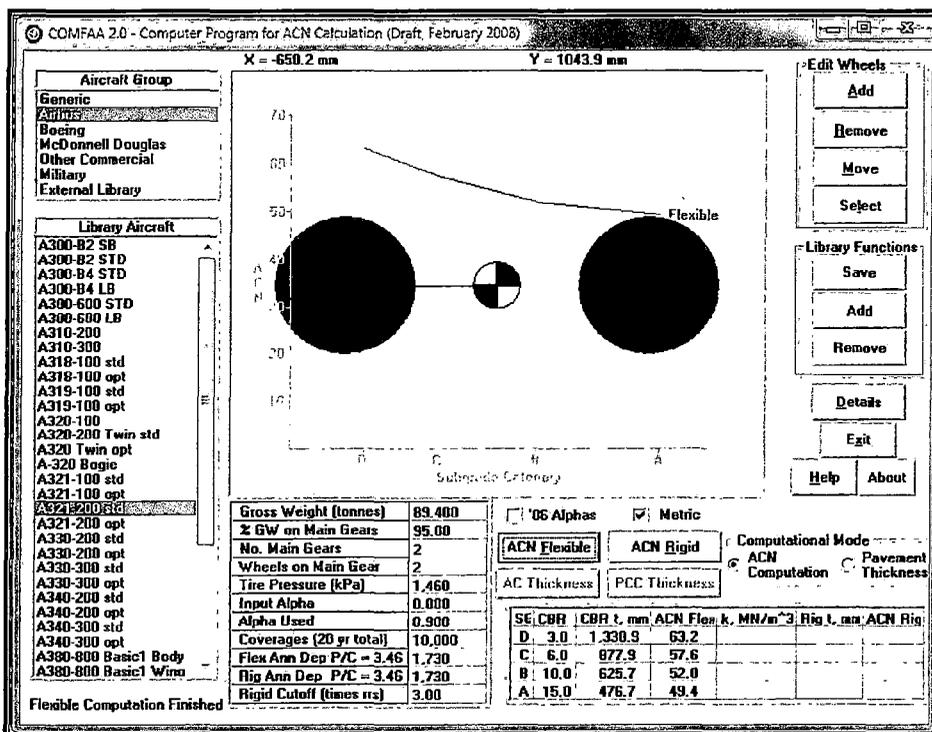


Figura N° 17
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave B737-100

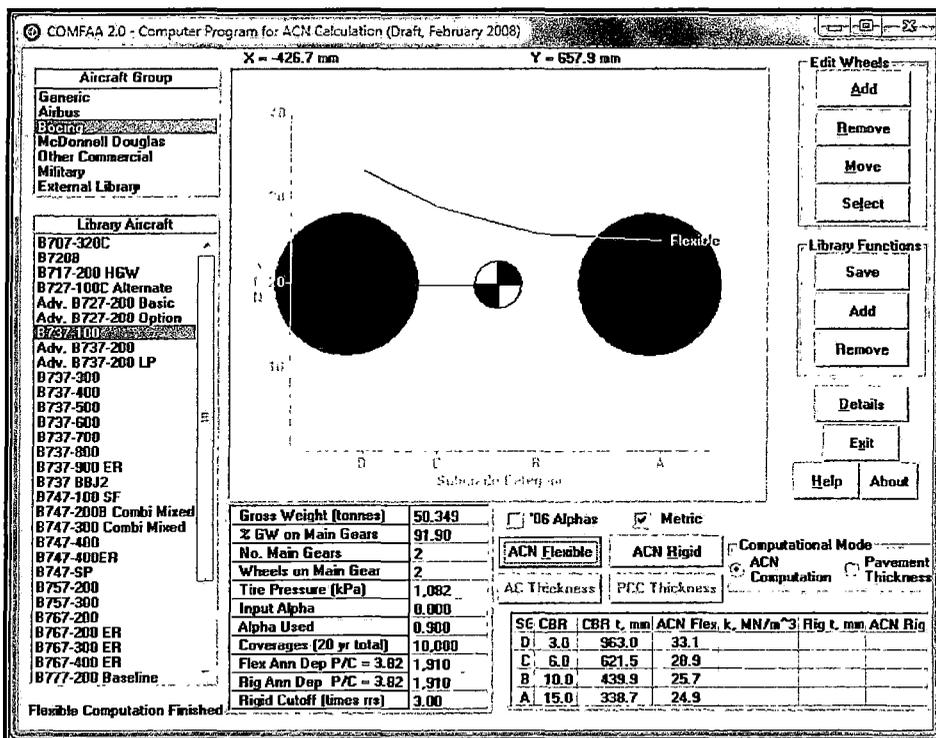


Figura N° 18
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave B737-200

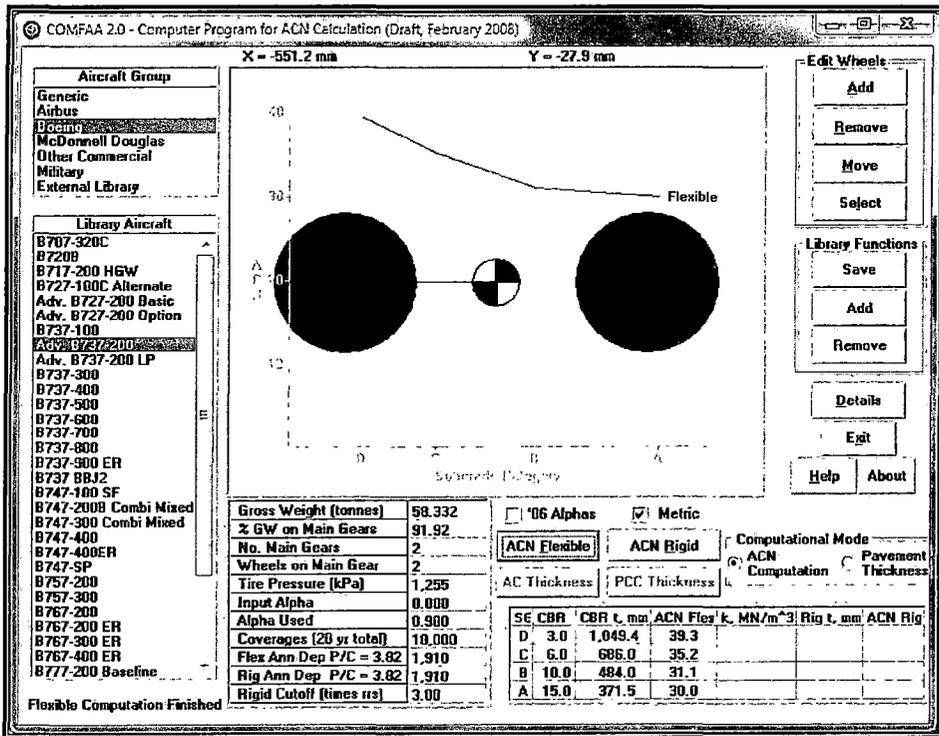


Figura N° 19
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave B767-300

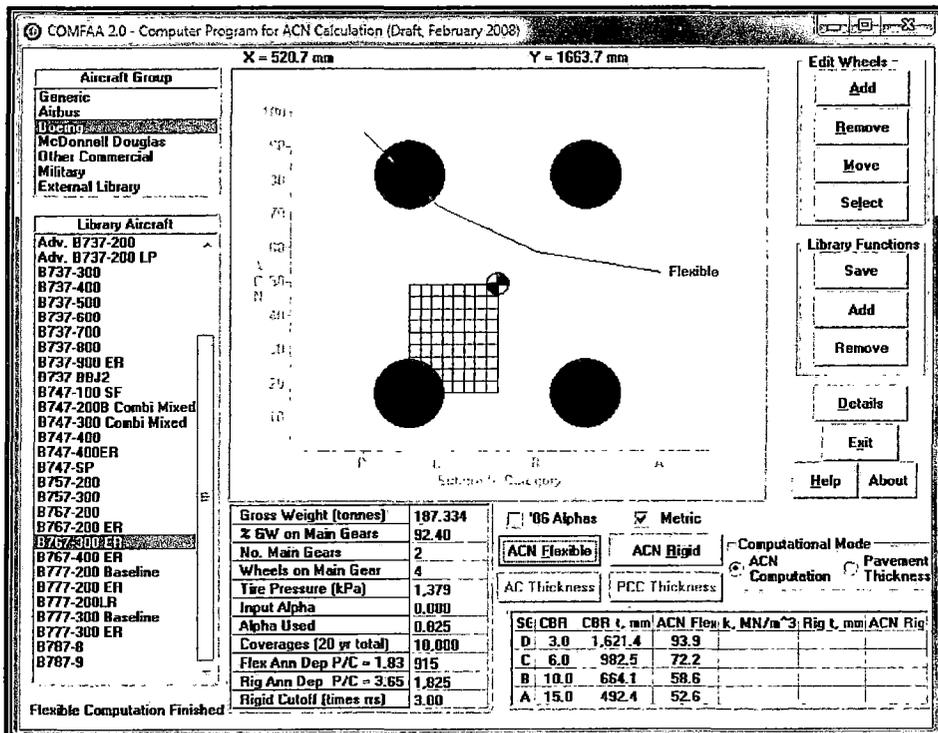


Figura N° 20
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave BAe 146-100

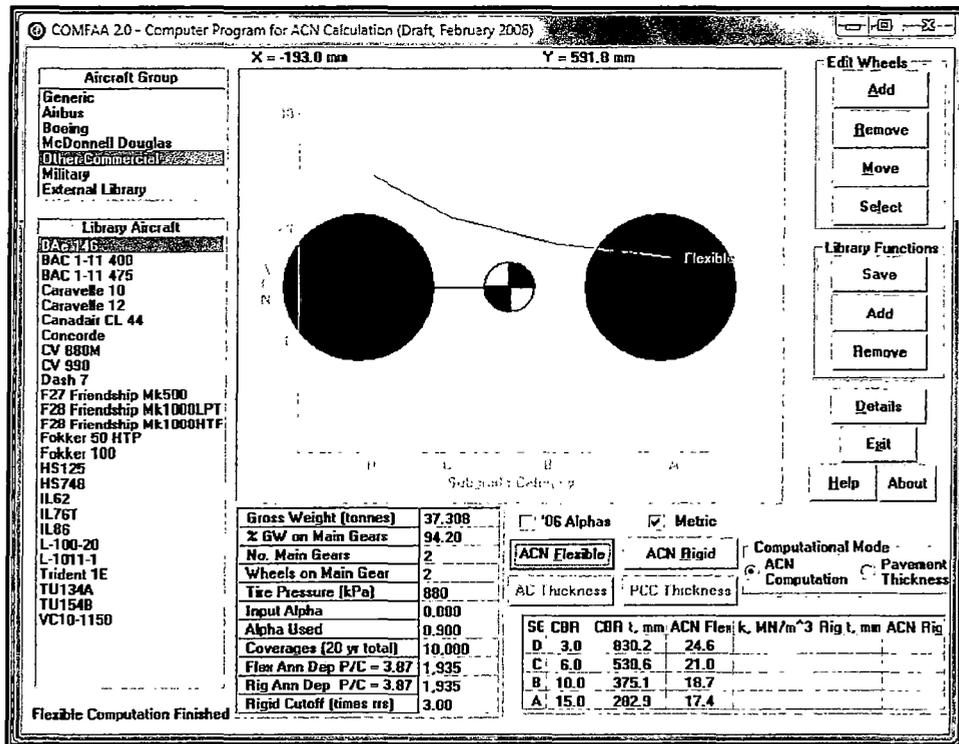


Figura N° 21
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave BAe 146-200

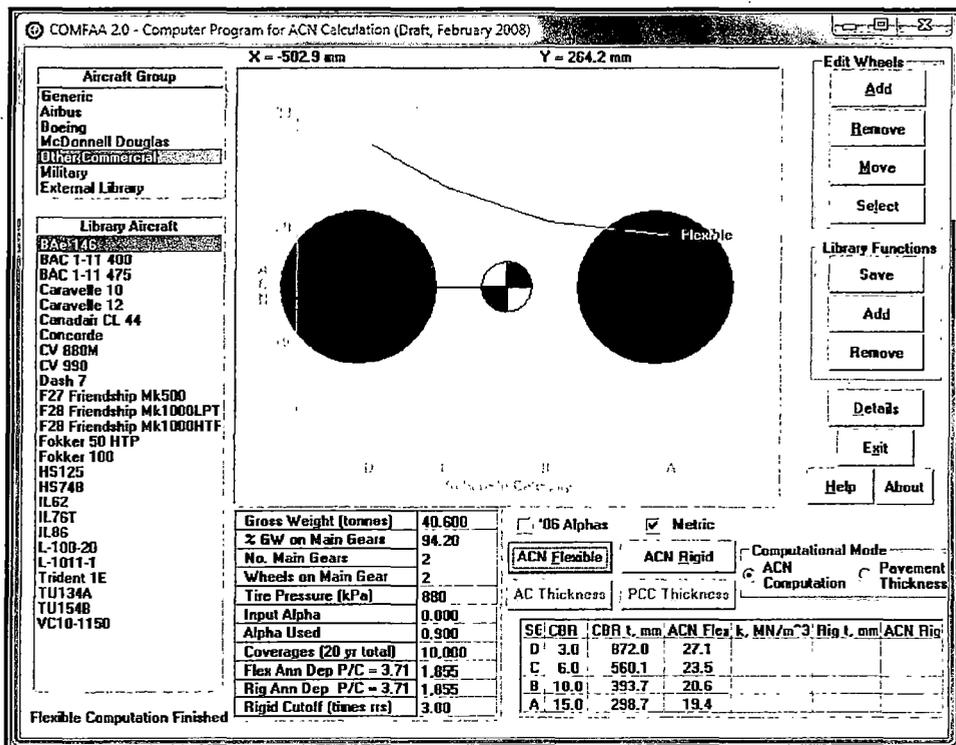
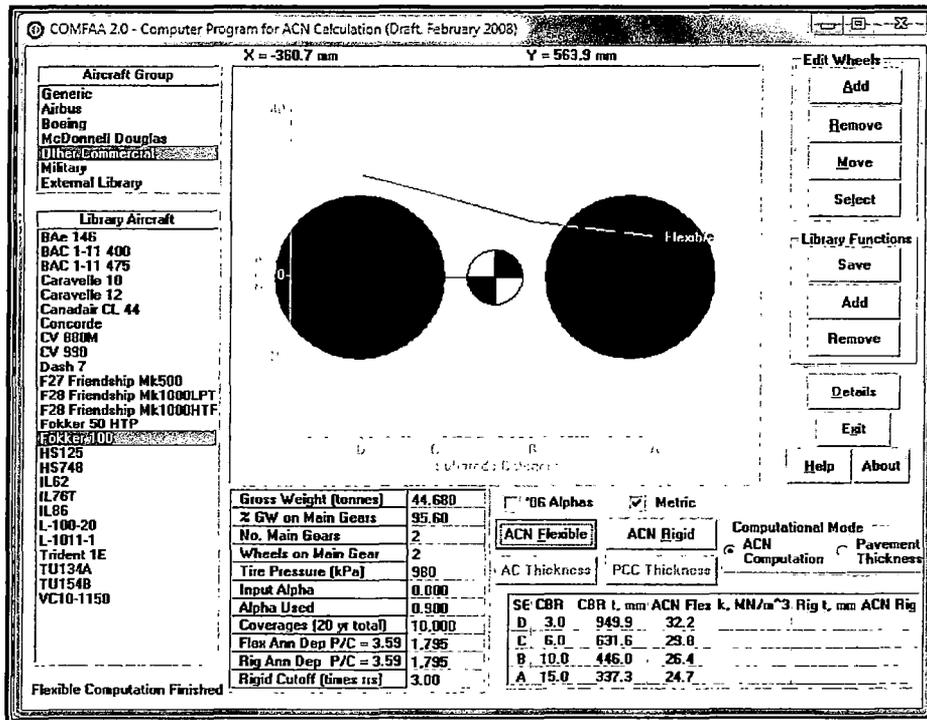


Figura N° 22
Cálculo del ACN y el espesor de referencia para la aeronave Fokker 100



2.6 INTERVENCIONES Y ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN Y/O MANTENIMIENTO

2.6.1 Objetivo

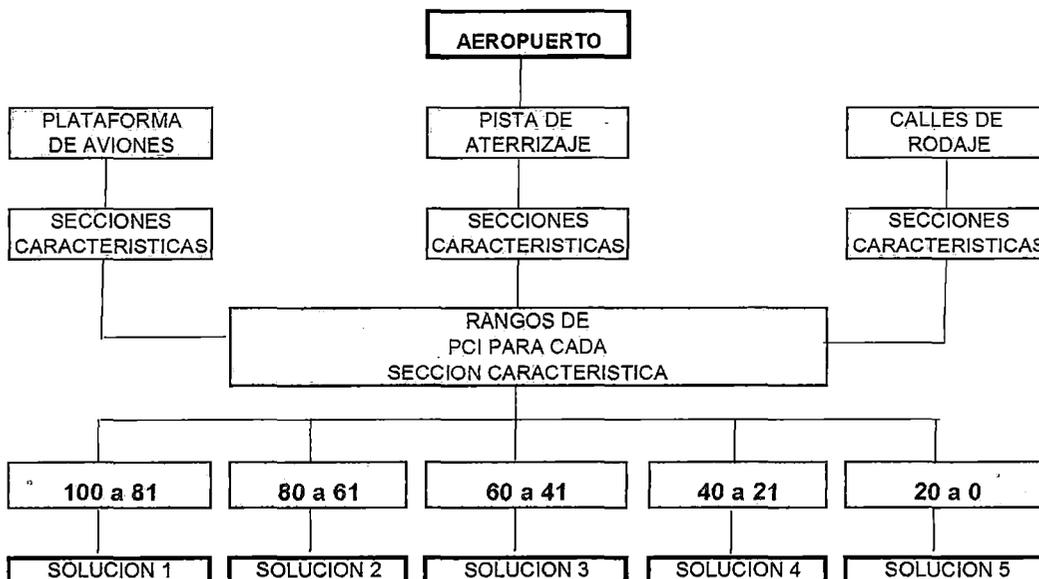
Proponer las obras necesarias que permitan mejorar la condición superficial del pavimento y aumentar la resistencia del mismo a fin de aumentar el PCN del aeropuerto y permitir el ingreso de aeronaves previstas para los próximos años.

2.6.2 Análisis de las Propuestas de Intervenciones

2.6.2.1 En función al valor del PCI

Siendo el valor del PCI, un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento, proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también sus condiciones operacionales.

Las estrategias de mantenimiento a considerar, en función al valor de PCI, establecidas por el U.S Army Corps Engineers, Construction Engineering Research Laboratory, U.S Army Engineering and Housing Support Center, se muestran a continuación:



Cuadro N° 2.6.1
Indicadores de mantenimiento según el rango del PCI

Rango de PCI	Solución	Indicación de Intervención
100 a 81	1	Mantenimiento de rutina
80 a 61	2	Intervenciones más superficiales
60 a 41	3	Carpeta asfáltica funcional < 5 cm
40 a 21	4	Carpeta asfáltica estructural > 5 cm
20 a 0	5	Reconstrucción

Cuadro N° 2.6.2
Recomendaciones de intervención en función al PCI

SECCIÓN	VALOR DE PCI	INTERVENCIÓN
Pista de Aterrizaje	20	Reconstrucción
Calle de Rodaje A	36	Colocar carpeta estructural > 5 cm
Calle de Rodaje B	35	Colocar carpeta estructural > 5 cm
Plataforma de Estacionamiento	46	Colocar carpeta funcional < 5 cm

Para el caso de la ejecución de intervenciones superficiales, es posible determinar las necesidades de reparación y mantenimiento, según las 10 estrategias de mantenimiento establecidas en el Manual “Guías y Procedimientos para Mantenimiento de Pavimentos en Aeropuertos” de la FAA, a partir de la siguiente clasificación de fallas superficiales:

Cuadro N° 2.6.3
Guías y Procedimientos para Mantenimiento en Aeropuertos

Tipo y número de falla (Método PCI)	Estrategia	Trabajos a realizar
Grieta Piel de Cocodrilo Falla 1 – Severidad baja.	EM1	Nada que hacer.
Grieta Piel de Cocodrilo Falla 1 – Severidad media.	EM2	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 8" (20 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Grieta Piel de Cocodrilo Falla 1 – Severidad alta.	EM3	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 16" (40 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Exudación Falla 2	EM4	Aplicar agregado fino en el área afectada. El agregado debe ser calentado a 150 °C. Pasar rodillo neumático. Cuando el agregado se enfríe, barrer las partículas. Si es necesario, repetir el proceso.
Grietas en Bloque Falla 3 – Severidad baja	EM1	Nada que hacer.
Grietas en Bloque Falla 3 – Severidad media	EM5	Limpiar las grietas con aire comprimido para retirar las partículas sueltas. Sellar las grietas con asfalto diluido (o emulsión asfáltica).
Grietas en Bloque Falla 3 – Severidad alta	EM6	Limpiar las grietas con aire comprimido para retirar las partículas sueltas. Sellar las grietas con asfalto diluido (o emulsión asfáltica) y arena.
Corrugación Falla 4 – Severidad baja	EM1	Nada que hacer.
Corrugación Falla 4 – Severidad media	EM2	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 8" (20 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")

Tipo y número de falla (Método PCI)	Estrategia	Trabajos a realizar
Corrugación Falla 4 – Severidad alta	EM3	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 16" (40 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Depresión Falla 5 – Severidad baja	EM1	Nada que hacer.
Depresión Falla 5 – Severidad media	EM2	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 8" (20 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Depresión Falla 5 – Severidad alta	EM3	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 16" (40 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Erosión por Carbonización Falla 6	EM7	Aplicar lechada asfáltica con granulometría adecuada.
Grietas por Reflexión de Juntas / Grietas Longitudinales / Transversales Fallas 7 y 8 – Severidad baja y media (Apertura < 3 mm)	EM5	Limpiar las grietas con aire comprimido para retirar las partículas sueltas. Sellar las grietas con asfalto diluido (o emulsión asfáltica).
Grietas por Reflexión de Juntas / Grietas Longitudinales / Transversales Fallas 7 y 8 – Severidad alta (Apertura > 3 mm)	EM6	Limpiar las grietas con aire comprimido para retirar las partículas sueltas. Sellar las grietas con asfalto diluido (o emulsión asfáltica) y arena.
Contaminación por Aceite Falla 9	EM8	Aplicar niebla asfáltica sobre la superficie del pavimento previamente limpiada.
Parche Falla 10 – Severidad baja	EM1	Nada que hacer.
Parche Falla 10 – Severidad media	EM2	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 8" (20 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Parche Falla 10 – Severidad alta	EM3	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recomprimir 16" (40 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")

Tipo y número de falla (Método PCI)	Estrategia	Trabajos a realizar
Agregado Pulido Falla 11	EM7	Aplicar lechada asfáltica con granulometría adecuada.
Disgregación / Envejecimiento Falla 12 – Severidad baja	EM8	Aplicar niebla asfáltica sobre la superficie del pavimento previamente limpiada.
Disgregación / Envejecimiento Falla 12 – Severidad media	EM7	Aplicar lechada asfáltica con granulometría adecuada.
Disgregación / Envejecimiento Falla 12 – Severidad alta	EM9	Retirar la carpeta asfáltica, efectuando cortes rectangulares. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4").
Hundimiento de sendas de rodaje Falla 13 – Severidad baja	EM1	Nada que hacer.
Hundimiento de sendas de rodaje Falla 13 – Severidad media	EM2	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recompactar 8" (20 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Hundimiento de sendas de rodaje Falla 13 – Severidad alta	EM3	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recompactar 16" (40 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Elevación en encuentro de losas Falla 14	EM2	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Escarificar y recompactar 8" (20 cm) de base. Imprimir la base. Aplicar riego de liga en la base. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")
Grietas por Deslizamiento Falla 15	EM10	Retirar la carpeta asfáltica en el área afectada hasta 30 cm. (1 pie) después de sus límites. Limpiar la superficie con aire comprimido o escoba. Aplicar una camada liviana de riego de liga. Dejar que cure el riego de liga. Aplicar y compactar carpeta asfáltica de 10 cm (4")

De acuerdo al análisis de las fallas superficiales predominantes, se pueden establecer las siguientes intervenciones:

Pista de Aterrizaje

En la zona de pavimento rígido (300 metros iniciales), las grietas de severidad alta que se presentan en el concreto, así como el agrietamiento en bloque, grietas longitudinales y transversales, y envejecimiento del asfalto, inducen a la reconstrucción de esta zona, dado que el pavimento se encuentra dañado

excesivamente tal como muestran los resultados de PCI (pobre y muy pobre). Estas fallas se visualizan en el Anexo N° 06 correspondiente al Panel Fotográfico.

El pavimento flexible tiene como resultado de PCI un valor de 20, así como valores elevados de deflexión (ensayo de deflectometría) que reflejan el mal estado de la pista, para estos resultados, el cuadro de recomendaciones de intervención indica la reconstrucción de la misma.

Haciendo un análisis exhaustivo de la condición del pavimento, se toman en cuenta los valores de Índice de Condición del Pavimento y la deflectometría obtenida del ensayo de Viga Benkelman para generar un cuadro de intervenciones por cada unidad de muestreo, teniendo como resultado gran cantidad de parchados profundos, intervenciones que superan ampliamente el 50% del área de la pista, lo cual justifica la reconstrucción sugerida.

Calles de Rodaje

De manera similar al caso de la pista de aterrizaje, las deflexiones máximas obtenidas, así como los valores de Índice de Condición del Pavimento, recomiendan parchados profundos y parchados superficiales en porcentajes elevados, motivos por los cuales se recomienda la reconstrucción de ambas Calles de Rodaje.

Plataforma de estacionamiento

En la Plataforma de Estacionamiento se recomienda hacer los respectivos tratamientos de fisuras así como la reparación de las juntas. Considerando que el pavimento rígido que constituye la plataforma se encuentra en regular estado de conservación, éste se mantendrá y será mejorado de acuerdo a las especificaciones técnicas.

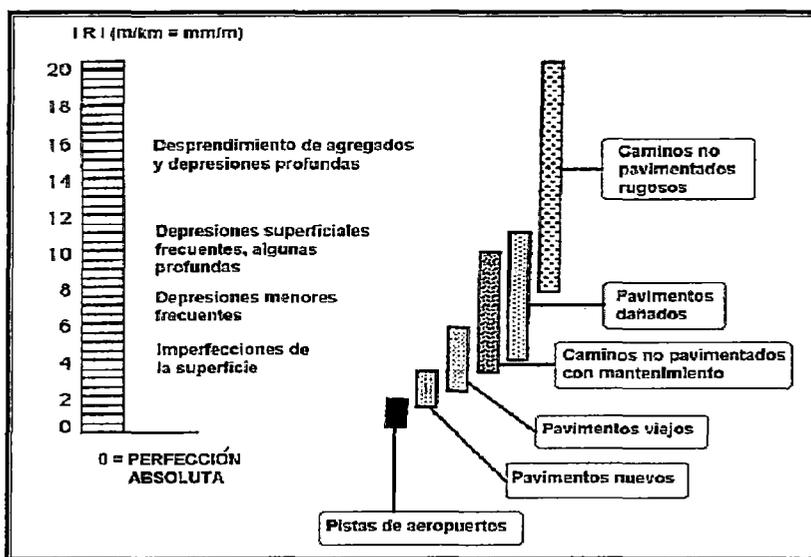
Las unidades de muestreo con valores de PCI calificados como "muy pobres" deberán ser reconstruidas debido a que presentan grietas de severidad alta, daño a sellos de juntas y descascamiento.

Posterior a la reparación del concreto se recomienda la aplicar carpeta asfáltica en espesor de 2" de acuerdo a las especificaciones presentadas.

2.6.2.2 En referencia a la funcionalidad del pavimento

En lo referente a la funcionalidad del pavimento, las estrategias de mantenimiento involucran el análisis de los parámetros de rugosidad, microtextura y macrotextura de la superficie; para ello se han considerado las siguientes calificaciones y diagnósticos establecidos por el U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. En el caso particular de la rugosidad, se ha tomado como orientación la escala IRI recomendada por el Banco Mundial, la misma que se encuentra dentro de los rangos establecidos por la Dirección Nacional de Vialidad de la República Argentina, ésta recomienda 2 m/km como valor máximo tolerable, y 1.5 m/km como el más apropiado para pistas de aeropuertos.

Figura N° 23
Escala IRI según el Banco Mundial



Con respecto a las condiciones de microtextura del pavimento, debe considerarse que aún cuando la zona donde se ubica este aeropuerto es costera, los niveles de servicio que ofrece este indicador es de vital importancia para evaluar la seguridad en el frenado de las aeronaves, es por ello que se han adoptado los niveles de control del valor del coeficiente de fricción establecidos en el Advisory Circular AC 150/5320-12C.

En cuanto a macrotextura se refiere, es de importancia recordar que esta propiedad se relaciona con la seguridad que debe ofrecer la superficie a la aeronave en condiciones húmedas para evitar el riesgo de hidroplaneo. Con relación a los

límites permisibles establecidos para este parámetro, para pistas de aeropuertos, se han seguido las indicaciones establecidas por el autor HUGUES, T.F, en su publicación "Tratamiento de la Superficie de los pavimentos de aeropuertos para mejorar su resistencia al deslizamiento e hidroplaneo". El Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional, establece que esta profundidad no debería ser inferior a 1 mm. para superficies nuevas.

Cuadro N° 2.6.4
Clasificación de los Niveles de Fricción

	40 mph			60 mph		
	Minimum	Maintenance Planning	New Design/ Construction	Minimum	Maintenance Planning	New Design/ Construction
Mu Meter	.42	.52	.72	.26	.38	.66
Dynatest Consulting, Inc. Runway Friction Tester	.50	.60	.82	.41	.54	.72
Airport Equipment Co. Slidometer	.50	.60	.82	.34	.47	.74
Airport Surface Friction Tester	.50	.60	.82	.34	.47	.74
Airport Technology USA. Safegate Friction Tester	.50	.60	.82	.34	.47	.74
Findlay, Irvine, Ltd. Gripster Friction Meter	.43	.53	.74	.24	.36	.64
Tatra Friction Tester	.48	.57	.76	.42	.52	.67
Norsemeter RUNAR (coated at fixed 16% slip)	.45	.52	.69	.32	.42	.63

Fuente: U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration. AC 150/5320-12.

Cuadro N° 2.6.5

Límites establecidos para profundidad de textura en pistas de aeropuertos

CONDICIÓN	PROFUNDIDAD DE LA MACROTEXTURA
BUENA	1.8 mm a 0.9 mm
MEDIA	0.9 mm a 0.6 mm
MALA	0.6 mm a 0.25 mm
MUY MALA	Menor de 0.25 mm

Fuente: HUGUES, T.F. "Tratamiento de la Superficie de los pavimentos de aeropuertos para mejorar su resistencia al deslizamiento e hidroplaneo".

Pista de Aterrizaje y Calles de Rodaje

Los valores de rugosidad promedio en la pista de aterrizaje muestran valores que se ubican muy por encima del valor permisible de 2 mm/km. Respecto a la microtextura, se tiene un promedio de 0.59, que satisface el requerimiento mínimo para aeropuertos de 0.45, sin embargo de acuerdo al Cuadro N° 2.6.4 para la calificación de los niveles de fricción, se obtiene que un valor deseable de fricción requerido para trabajos de mantenimiento, con equipos tipo Surface Fricción Tester, debe ser mayor de 0.60. Las profundidades de macrotextura superan ampliamente el valor mínimo de 1.0 mm recomendado por la OACI, presentando una macrotextura abierta pero completamente irregular lo cual es indicativo de un desgaste total de áridos y ligante en la superficie de rodadura. En el Manual de Diseño de Aeródromos, Parte 3: Pavimentos; se menciona que debe existir la mayor uniformidad posible en la textura, requisito importante para evitar fluctuaciones indebidas en el rozamiento disponible que como consecuencia reduciría la eficacia del frenado antiderrapante o podría causar daños a los neumáticos.

Por lo tanto, si bien en cuanto a macrotextura se refiere, se satisface el requerimiento mínimo, la estrategia de mantenimiento recomendada es la reconstrucción total, debido a que el pavimento ha perdido las características originales de tratamiento superficial para el que fue diseñado, actualmente muestra características de afirmado, ello explica los valores altos obtenidos en los ensayos de micro y macrotextura. Esta solución se hace extensiva a la calle de rodaje.

Plataforma de Estacionamiento

En cuanto a funcionalidad, la plataforma de estacionamiento ofrece aceptable performance a la circulación de las aeronaves, complementariamente se tiene en cuenta que básicamente la función de esta sección es la de recibir cargas estáticas de las aeronaves a bajas velocidades.

Será necesario remover las losas dañadas excesivamente, pero esto no representa un gran porcentaje de la plataforma, razón por la cual se plantean las intervenciones descritas en las especificaciones técnicas para optimizar el comportamiento funcional de la zona de estacionamiento de aeronaves.

2.6.2.3 En función a la Evaluación Deflectométrica

Los resultados de la verificación estructural del pavimento han permitido obtener entre sus indicadores más representativos, las deflexiones máximas y mínimas así como radios de curvatura; así mismo la aplicación de la teoría elástica mediante el Modelo de Hogg, ha servido para encontrar el HEQ de la estructura y el CBR del terreno de fundación.

Observaciones hechas en el Perú tienen indicado que, cuando un pavimento tiene deflexiones máximas medias por abajo de 0.40 mm, en general, el mismo no presenta problemas estructurales. En cuanto a este aspecto, Van Til & Valerga en su publicación "Applications of a Theoretical Procedure to Airfield Pavement Evaluation and Overlay Design" sugirieron un valor de 0.35 mm como límite para las deflexiones máximas.

Los resultados obtenidos de la evaluación deflectométrica han sido representados en cuadros resúmenes y gráficos ilustrativos de los espectros de deflexión, estos resultados permiten analizar la tendencia del espectro; así, mientras menor sea el valor de deflexión mejor será el comportamiento estructural del pavimento, a menores valores de radio de curvatura, más débil será el terreno de fundación; en este caso se ha tomado como parámetro referencial los valores de deflexión permisible dentro del rango de la seguridad, de 40 (0.01 mm) según una publicación presentada en la página web <http://www.lima.icao.int> de la Oficina Regional Sudamericana de la OACI cuya sede se encuentra en la ciudad de Lima, complementariamente para el radio de curvatura se considera un valor mínimo de 100 m.

A partir de los resultados de deflexión obtenidos, se establecen los requerimientos estructurales del pavimento en cada una de las siguientes secciones:

Pista de Aterrizaje

Los valores de deflexión obtenidos en la pista de aterrizaje muestran un deficiente comportamiento estructural del pavimento, el mismo que se refleja en su superficie donde se han encontrado fallas que denotan deficiencia estructural, este comportamiento es corroborado al correlacionar estos resultados con la evaluación

estructural por componentes, mediante excavación de 8 perforaciones, donde se ha observado que el grado de compacidad de las capas de cimiento y firme es en promedio el 85% de la MDS obtenida en el ensayo Próctor Modificado, en el caso del terreno de fundación el grado de compacidad presenta un promedio de 82%.

En general los valores de deflexión se hallan por encima de los 40 (0.01 mm), y se considera realizar un parchado superficial para rangos de deflexión comprendidos entre 40 (0.01 mm) y 60 (0.01 mm) o parchado profundo para deflexiones mayores a 60 (0.01mm) y radios de curvatura inferiores a los 100 m.

Respecto al comportamiento de la mezcla asfáltica, ésta muestra valores altos de rigidez, ello se debe a la oxidación que ha sufrido la parte superficial, los resultados de los ensayos de extracción por centrifugado arrojan un valor promedio de 4.72%, con un valor mínimo de 4.69 y un máximo de 4.81%.

En base a estas consideraciones, las estrategias de mantenimiento de ejecución de parchados superficiales y profundos son las más adecuadas para los trabajos de mantenimiento.

Calles de Rodaje

El valor promedio de deflexión en calles de rodaje es de 43.4 (0.01 mm), con un valor máximo de 64.4 (0.01 mm) y un mínimo de 29.7 (0.01 mm), con lo cual el nivel de intervención definido para la pista de aterrizaje también es el más adecuado en estas áreas.

Plataforma de estacionamiento

Está constituida por 420 losas de concreto de 5x5 metros, los valores de deflexión calculados por transferencia de carga para esta zona permiten concluir que el estado estructural de la plataforma de estacionamiento es aceptable.

El Cuadro 2.6.6, muestra el resumen de los parámetros de control para la definición del nivel de las intervenciones en las unidades de muestreo analizadas.

2.6.3 Intervenciones adoptadas

Debido a los diferentes tipos de fallas encontrados en la pista de aterrizaje y calles de rodaje con grados de severidad media y alta, así mismo, teniendo en cuenta los ensayos defletoométricos, cuyos resultados obtenidos se encuentran por encima del máximo especificado, el cual indica un inadecuado comportamiento estructural del pavimento, y dado que el porcentaje de áreas comprometidas con parchados superficiales y parchados profundos alcanza el **76.4%** del área total, se recomienda ejecutar una **reconstrucción total** de la estructura del pavimento o en su defecto la implementación de los densos trabajos de mantenimiento en zonas específicas que corresponden en la mayoría de los casos a realizar parches superficiales y profundos, así como colocación de carpeta estructural, labores las cuales son brevemente descritas en el ítem 2.6.4 Procedimiento Constructivo.

En la plataforma de estacionamiento (pavimento rígido), se recomienda hacer la remoción de las losas de concreto dañadas excesivamente, es decir, en la unidades de muestreo cuyo resultado arroja la calificación de "muy pobre". En los casos que esto no suceda se propone llevar a cabo la reparación de grietas transversales, longitudinales, diagonales y de esquina, sellos de juntas y posteriormente aplicar 2" pulgadas de carpeta asfáltica.

2.6.4 Procedimiento Constructivo

El proceso constructivo a seguir en la reconstrucción del pavimento de la pista de aterrizaje y calles de rodaje del aeropuerto de Talara será el siguiente:

1. Remoción del la carpeta asfáltica existente.
2. Perfilado y compactado en zona de corte.
3. Escarificado de la Base existente.
4. Colocación de Base Granular nueva
5. Imprimación
6. Colocación de carpeta estructural > 5 cm.

En la plataforma de estacionamiento las medidas son las siguientes:

1. Remoción de losa existente
2. Escarificado y compactado de la base existente (nueva sub base).
3. Colocación de pavimento de concreto con cemento Portland.
4. Sellado de juntas.

El presente estudio sugiere una carpeta asfáltica de 2" sobre la losa existente luego de la reparación de ésta. A continuación se presenta el resultado del programa LEDFAA, software proporcionado por la FAA que toma parámetros genéricos en lo que a aeropuertos se refiere.

The screenshot shows the LEDFAA software interface for modifying a pavement section. The window title is "LEDFAA - Modifying Section AConRigid in Job Talara".

Section Names

Talara AConRigid **Des. Life = 20** **SCI = 50** **%CDFU = 100**

Layer Material	Thickness (in)	Modulus or R (psi)
P-401 AC Overlay	2.00	200,000
PCC Surface	12.00	700
P-209 Cr Ag	12.00	22,850
Subgrade	k = 50.7	4,018

Total thickness to the top of the subgrade, t = 26.00 in

Modifying Structure

Aircraft

Back **Help** **Life** **End Modify** **Add/Delete Layer** **Save Structure**

Capítulo 03: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Capítulo 03: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se presentan Especificaciones Técnicas para la construcción de Aeropuertos que son la adecuación al idioma español del Advisory Circular N° 150/5370-10e “Standards for Specifying Construction of Airports” propuesto por la FAA (Federal Aviation Administration), así como también corresponden a las especificaciones adoptadas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Se menciona el listado de las Especificaciones Técnicas adoptadas, ya que por la extensa cantidad de páginas que comprenden, aproximadamente 170, su desarrollo es presentado anexo a la presente Tesis de Grado en versión digital tanto en inglés como es español.

El contenido de las Especificaciones Técnicas es el siguiente:

- ITEM P-152 – Excavaciones y Terraplenes.
- ITEM P-154 – Capa de cimiento (sub-base)
- ITEM P-208 – Capa de firme (base)
- ITEM P-401 – Planta de mezclas bituminosas.
- ITEM P-501 – Pavimento de Concreto de Cemento Portland.
- ITEM P-602 – Capa de Imprimación bituminosa.
- ITEM P-605 – Sellado de juntas en pavimento de concreto.
- ITEM P-620 – Pintura de pista.
- ITEM P-632 – Tratamiento de grietas.
- ITEM P-633 – Limpieza de caucho adherido.

CONCLUSIONES

Entre las conclusiones que pueden establecerse para la presente evaluación podemos citar las siguientes:

- El material que conforma el terreno de fundación es de tipo arenoso con presencia de arcilla, con humedades naturales entre 2.7% y 8.1% por debajo de la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor Modificado cuyos rangos se encuentran entre 6.5% y 11.2%.
- Las determinaciones realizadas in situ y en laboratorio mediante ensayos destructivos y no destructivos, han permitido obtener parámetros superficiales, estructurales, funcionales y las características de las capas de materiales que conforman la estructura del pavimento. Superficialmente se ha realizado el relevamiento de fallas para la determinación del PCI; estructuralmente se han ejecutado ensayos de deflectometría con equipo Viga Benkelman; en cuanto a funcionalidad, se ha evaluado parámetros de rugosidad, microtextura y macrotextura, y finalmente se han obtenido las características de los materiales granulares y capa asfáltica evaluados en laboratorio.
- Se plantea una estructura muy aproximada del pavimento ya que habiéndose construido el Aeropuerto en estudio en el año 1956 no se cuentan con los datos de diseño de la época por lo tanto no se dispone de los espesores ni de las características físico-mecánicas de los materiales utilizados. En la evaluación realizada se efectuaron 8 prospecciones geotécnicas donde se registraron estratos muy irregulares tanto en profundidad (espesores) como en el tipo de suelo, observándose estructuras heterogéneas en las diversas calicatas efectuadas. Se debe indicar que por razones de seguridad la administración del aeropuerto no permitió la excavación de calicatas en el interior de la pista de aterrizaje realizándose las mismas en los bordes externos, por lo tanto es necesario considerar las limitaciones de trabajo para elaborar una estructura promedio. Con las consideraciones mencionadas la estructura actual de los pavimento rígido queda definido en una capa de 30 cm. de concreto sobre una capa de 30 cm. de material areno arcilloso. Para la pista de aterrizaje predominantemente de pavimento asfáltico se tiene un

promedio de 7.5 cm de carpeta asfáltica sobre 25 cm de base o firme (GM-GC) sobre una sub-base o cimiento de 30 cm. de arena arcillosa (SC).

- El terreno de fundación (término utilizado por la Organización de Aviación Civil Internacional para definir la parte superior del suelo, natural o construido, que soporta las cargas del pavimento) se define como arena arcillosa (SC), material encontrado en varias de las calicatas ejecutadas. Se presenta gran cantidad de arcillas en el suelo en estudio y es muy posible, dado lo antecedentes de la zona, que debido a la presencia de arcillas expansivas se hayan generado también fallas en el pavimento además de los motivos antes mencionados sobretodo el hecho que ya han transcurrido más de 50 años de la construcción del aeropuerto siendo probable también que haya cumplido su vida útil.
- Ante la presencia de arcilla en los suelos estudiados, verificando los altos porcentajes de expansión máxima y basados en el artículo "Arcillas y lutitas expansivas en el Norte y Nororiente peruano" presentado por el Ing. Juan Rojas y por el Dr. Jorge Alva Hurtado se concluye que los suelos de la zona de Talara presentan problemas de expansión, lo cual asociado a que en el año 1983 el departamento de Piura sufrió la ocurrencia del Fenómeno del Niño sometiendo al pavimento a cambios bruscos en su contenido de humedad. Por lo tanto ante la presencia de suelos expansivos, ésta sería una de las causas del deterioro del pavimento manifestadas en ondulaciones e hinchamientos.
- El valor del PCI 20, obtenido en la pista de aterrizaje (pavimento asfáltico), corresponde a la valoración de fallas denominadas envejecimiento/disgregación y piel de cocodrilo, registrándose también gran cantidad de parchados pequeños, medianos y grandes.
- El valor de PCI 35, en las calles de rodaje las cuales son de pavimento asfáltico, corresponde a la valoración de fallas encontradas del tipo envejecimiento/disgregación y agrietamiento, así mismo el valor de PCI de 46, en plataforma de estacionamiento conformada por losas de concreto, corresponde a la valoración de fallas encontradas del tipo agrietamiento, daño

a sellos de juntas y descascaramiento, tanto en las juntas como en las esquinas.

- Los resultados obtenidos reflejan el estado actual del pavimento en sus condiciones superficiales, estructurales y funcionales, sobre las cuales se han fijado las propuestas de intervenciones, para tal efecto se han tenido en cuenta lo establecido en la Norma ASTM D 5340 – 98 ASTM (Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys), Circulars Advisors del U.S Department of Transportation Federal Aviation Administration, AC-150-5335-5a, AC-150-5320 y publicaciones de la OACI (Organización Aviación Civil Internacional) como el Manual de Proyecto de Aeródromos y el Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional.
- Las determinaciones realizadas para evaluar cada parámetro han sido representativas del área o sección que se ha analizado, en algunos casos donde ha sido posible aplicar el criterio estadístico para el procesamiento de los datos, este ha sido aplicado. Los resultados de estos parámetros han sido expresados en relación a los límites y/o requerimientos establecidos en los documentos señalados en el ítem anterior, complementados con los señalados por Normas AASHTO y ASTM para el caso de requerimientos de calidad de los materiales que conforman la estructura de pavimento.
- Se muestran las curvas de deflexión obtenidas para cada sección del pavimento, donde se aprecia que en general, los valores de deflexión promedio son mayores a 40 (0.01 mm), estos resultados indican inadecuado comportamiento estructural del pavimento. En el caso de la plataforma de estacionamiento, por tratarse de un pavimento de concreto, se ha analizado la transferencia de cargas sobre el pavimento rígido de 30 cm de espesor.
- Los resultados de la verificación estructural del pavimento han permitido obtener entre sus indicadores más representativos, las deflexiones máximas y mínimas así como radios de curvatura. La aplicación de la teoría elástica mediante el modelo de Hogg, ha servido para encontrar el HEQ de la estructura y el CBR del terreno de fundación.

- La notificación de resistencia del pavimento PCN, ha sido realizada en base a los criterios establecidos por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) en el “Manual de Diseño de Aeródromos, Parte 3: Pavimentos, y en base a los procedimientos establecidos en el Circular Advisory 150/5335-5a de la FAA (Administración de Aviación Federal).
- El valor de PCN notificado para el aeropuerto de Talara es **PCN 20/F/C/X/T**.
- En cuanto a las propuestas de intervenciones en función al PCI del pavimento, en la pista de aterrizaje se requiere la total reconstrucción de la estructura del pavimento, esta solución también se aplica a las calles de rodaje; respecto a la plataforma de estacionamiento, se recomienda remover las losas dañadas en gran proporción y aplicar sello de juntas y tratamiento de fisuras para la mayoría de las losas, posteriormente se sugiere aplicar una capa de 2” de carpeta asfáltica.

RECOMENDACIONES

Se mencionan las siguientes recomendaciones para el Aeropuerto de Talara:

- Dado el requerimiento del aeropuerto de recibir aeronaves de mayor envergadura, es necesario ejecutar las siguientes intervenciones:

En la pista de aterrizaje y calles de rodaje

- Remoción del tratamiento superficial existente
- Perfilado y compactado en zonas de corte
- Escarificado en base granular
- Colocación de base granular nueva
- Imprimación
- Colocación de carpeta estructural > 5 cm.

En la plataforma de estacionamiento

- Remoción de losa existente
 - Escarificado y compactado de la base granular existente.
 - Colocación de pavimento de concreto con cemento Portland.
 - Sellado de juntas.
- La calidad de los materiales y el proceso constructivo en sí deben ser cuidadosamente vigilados, de tal manera de garantizar la calidad de la reconstrucción de la estructura del pavimento, se recomienda utilizar carpeta estructural mayor de 5 cm, espesor que debe ser definido mediante un diseño de pavimento.
 - Se debe tener en consideración las especificaciones técnicas para construcción de aeropuertos mencionadas el capítulo 03 del presente trabajo ya que corresponden a las adecuaciones de las normas establecidas por la FAA especialmente para pavimentos de aeropuertos.
 - Deberán realizarse monitoreos periódicos del comportamiento superficial y estructural de la pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento, a fin de determinar oportunamente las labores de mantenimiento del pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) American Society for Testing and Materials ASTM D 5340 – 1998. Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys.
- 2) Federal Aviation Administration. FAA – U.S. Department of Transportation – Advisory Circular N° 150/5320-12C. Measurement, Construction and Maintenance of Skid-resistant Airport Pavement Surfaces.
- 3) Federal Aviation Administration. FAA – U.S. Department of Transportation – Advisory Circular N° 150/5320-17. Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals. 2004.
- 4) Federal Aviation Administration. FAA – U.S. Department of Transportation – Advisory Circular N° 150/5335-5A. Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength -PCN. 2006
- 5) Federal Aviation Administration. FAA – U.S. Department of Transportation – Advisory Circular N° 150/5370-11A. Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements. 2004.
- 6) Federal Aviation Administration. FAA – U.S. Department of Transportation – Advisory Circular N° 150/5370-10E. Standard for Specifying Construction of Airports. 2009.
- 7) Del Águila Rodríguez, Pablo. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones. (Ensayos no destructivos). 1985.
- 8) Del Águila Rodríguez, Pablo. MERLIN equipo para rugosidad. Manual del Usuario. Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos.
- 9) Organización de Aviación Civil Internacional. Manual de Proyecto de Aeródromos (DOC 9157-AN/901). Parte 3 – Pavimentos. 1983.
- 10) Organización de Aviación Civil Internacional. Normas y Métodos Recomendados Internacionales. Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional - Aeródromos Vol. I: Diseño y operaciones de aeródromos. 2008.
- 11) Sáez Alván, Lucía del Pilar. Mantenimiento de Pavimentos flexibles de aeropuertos mediante árboles de decisión para la indicación de estrategias de mantenimiento. 2002.