

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACION ESTRUCTURAL, SUPERFICIAL Y
FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DE LA PISTA PRINCIPAL
AEROPUERTO DE PISCO: RENAN ELIAS OLIVERA**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERIA CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. GUZMAN GARCIA DANY JULIAN

Bach. ULLOA CLAVIJO JAVIER FRANCISCO

ASESOR: MSc. Guillermo Laso

LIMA – PERÚ

AÑO: 2015

DEDICATORIA

Está dedicado para aquellas personas que siempre nos han apoyado durante toda nuestra carrera universitaria, nuestras familias que siempre nos han apoyado cada día en este recorrido sin importarles cuan tarde sea o que tropiezos hayamos tenido siempre nos han apoyado y enseñado día a día que el camino que uno elige es el camino que uno debe tomar aunque te tropiece y caigas debes levantarte y seguir.

Bachiller Guzmán García, Dany

El presente trabajo está dedicado a mis A MIS padres por haberme dado el amor, cariño, comprensión y apoyo sin escatimar esfuerzo alguno que se requiriera en los momentos necesarios .Por compartir alegrías y tristezas, éxitos y fracasos, por todos los detalles que me han brindado durante mi vida como estudiante y por hacer de mi lo que soy ahora. Por ser los mejores padres, los amo

Bachiller Ulloa Clavijo, Javier

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a nuestros padres que con sus enseñanzas nos han indicado el camino que uno debe seguir, a nuestros profesores quienes con su guía nos han dado las herramientas necesarias para afrontar el día a día de nuestra carrera, y agradeciendo a los profesionales del jurado que no acompañan este día para lograr ser buenos ingenieros civiles.

Bachiller Guzmán García, Dany

Agradecimiento muy especial a mi familia y compañeros de trabajo que gracias a su ayuda esto no sería posible, un agradecimiento muy especial a la empresa que trabajo HOB ya que sin su colaboración no sería posible la presentación de este trabajo

Bachiller Ulloa Clavijo, Javier

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción de la realidad problemática	3
1.2. Formulación del problema:	6
1.2.1. Problema principal	6
1.2.2. Problemas secundarios	6
1.3. Objetivos de la investigación	7
1.3.1 Objetivo principal	7
1.3.2. Objetivos secundarios	7
1.4 Justificación de la investigación	7
1.5 Limitaciones en la investigación	9
1.6. Viabilidad de la investigación	9
CAPITULO II: MARCO TEORICO	10
2.1. Antecedentes de la Investigación	10
Materiales y estructura.	13
2.2 Bases Teóricas	14
2.2.3. Rugosidad	20
2.2.5 Pavimento	37
2.2.6. Resumen de Evaluación Estructural	38
2.2.7. La rugosidad de pavimentos en aeropuertos	40
2.2.8. Evaluación Superficial:	50
2.2.9. Macro y micro textura en el pavimento	84
2.3. Evaluación estructural:	87
2.3.1. Proceso de BACKFAA:	87

2.3.2. Programa COMFAA:	99
2.4. Evaluación funcional	102
2.5. Formulación de la hipótesis	105
2.5.1. Hipótesis general	105
2.5.2 Hipótesis secundarias	105
2.6. Variables	106
2.6.1. Variable Independiente	106
2.6.2. Variable Dependiente	106
2.6.3. Operacionalización de las Variables	106
CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO	107
3.1 Población y muestra	107
3.2. Ubicación del Proyecto	107
3.3. Descripción de los elementos conexos a evaluar	109
3.4. Técnicas de recolección de datos	111
3.4.1. Descripción de Instrumentos	111
3.3.2. Determinación de la Textura Superficial (Micro textura y Macrotectura) Ver Figura 35 y Figura 36	118
3.4. ESTUDIO DE SUELOS Y CAPAS DEL PAVIMENTO	120
3.5. Validez y Confiabilidad de los Instrumentos	129
3.5.1 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos	129
3.6. Evaluación no destructiva de pavimentos	139
3.7. Procedimiento de identificación del Boeing Bump	150
3.7.1. Boeing Bump Index	151
3.7.2. Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI	153
3.7.3. Metodología para la Determinación de la Rugosidad	154
3.8. Evaluación Estructural del Pavimento	156
3.8.1 Metodología de Medición de Deflexiones	156

3.8.2. Metodología de Análisis de la Información	156
CAPITULO IV: PRESENTACION DE RESULTADOS	162
4.1 Resultados Obtenidos	162
4.1.1 Evaluación Funcional	162
4.2. Evaluación Estructural del Pavimento	164
4.2.1. Indicadores de las Condiciones de Seguridad actuales del Pavimento	170
4.2.2. Método de Evaluación Técnica para determinación del PCN	173
4.3. Evaluación Superficial	195
4.4. Discusiones	198
CONCLUSIONES	199
RECOMENDACIONES	203
BIBLIOGRAFÍA	204
ANEXOS	206
Anexo Planos	
Anexo Evaluacion Estructural	
Anexo Ensayo de Laboratorio	
Anexo Evaluacion Superficial	
Anexo Evaluacion Funcional	

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Medicion de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio	20
Figura N° 2	Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva	21
Figura N° 3.	Diagrama del Perfilómetro estático MERLIN	23
Figura N° 4.	Tabla para el registro de los datos del MERLIN (Cundill, 1991)	25
Figura N° 5.	Relación entre el eje de medición y el plano de referencia	27
Figura N° 6	Imagen de Vehículo de Inicial	33
Figura N° 7	Vehículo de Medición	34
Figura N° 8	Gráfico de Perfilometro	36
Figura N° 9	Gráfico de Función del Equipo	36
Figura N° 10	Grafico de Evalaucion	41
Figura N° 11	Grafica de Zonas de Evaluación	50
Figura N° 12:	Ejemplo de una hoja de inspección para pavimento asfáltico	77
Figura N° 13:	Cálculo del valor corregido del PCI – Pavimento flexible	79
Figura N° 14:	Ejemplo de una hoja de levantamiento para pavimentos rígidos (PCC)	81
Figura N° 15:	Cálculo del valor corregido del PCI – Pavimento rígido	83

Figura N° 16. Deflexión Normalizada para subrasante utilizado para identificar sección de pavimento	93
Figura N° 17 Programa “BAKFFAA”	96
Figura N° 18 Programa “BAKFFAA”	96
Figura N° 19 Programa “BAKFFAA”	97
Figura N° 20. Evaluación estructural de pista de aterrizaje – Sector A	98
Figura N° 21 Operacion con el Programa COMFAA en modo ACN	101
Figura N° 22 Operación del Programa de COMFAA en modo espesor del pavimento.	101
Figura N° 23. Imagen de Carga de Archivo para la Evaluación de la Pista	103
Figura N° 24. Imagen de extracción de garfios de los datos introducidos	104
Figura N° 25. Imagen Curva de probabilidad de distribución	104
Figura N° 26. Imagen de los Valores que se reportan con los datos	105
Figura N° 27 Plano de ubicación	108
Figura N° 28 Plano de elementos conexos Evaluados	110
Figura N° 29 Deflectómetro de Impacto Modelo Kuab 240 – HWD	111
Figura N° 30 Partes del Deflectómetro de Impacto HWD Kuab 240	113
Figura N° 31: Índice de Condición del Pavimento (PCI) y escala de clasificación	114
Figura N° 32: Criterio de Aceptación de Rugosidad	115
Figura N° 33 – Imágenes del Perfilómetro Laser	116
Figura N° 34 – Imágenes de toma de datos del Perfilómetro Laser	117

Figura N° 35 - Péndulo Británico - Macro textura	119
Figura N° 36 - Circulo de Arena - Micro textura	119
Figura N° 37 Plano de ubicación de calicatas y diamantinas	128
Figura N° 38. Distribución por tipo de Suelo (SUCS)	135
Figura N° 39 Distribución por tipo de Suelo (AASHTO)	135
Figura N° 40 Sectores para el Relevamiento de fallas en Pista Principal	143
Figura N° 41. Clasificación PCI	144
Figura N° 42 Evaluación superficial de pista de aterrizaje	
Sector B	148
Figura N° 43. Evaluación superficial de pista de aterrizaje	
Sector C	149
Figura N° 44 Evaluación de la Rugosidad del Pavimento	
usando el BBI	154
Figura N° 45 Croquis - Líneas de Medición de Rugosidad	
en Pista Principal	155
Figura N° 46 Programa “BAKFFAA”	165
Figura N° 47 Programa “BAKFFAA”	166
Figura N° 48 Programa “BAKFFAA”	166
Figura N° 49 Evaluación estructural de pista de aterrizaje	
Sector A	167
Figura N° 50 Evaluación estructural de pista de aterrizaje	
Sector B	168
Figura N° 51. Evaluación estructural con Programa COMFAA	188
Figura N° 52. Evaluación estructural con Programa COMFAA	188

Figura N° 53. Evaluación estructural con Programa COMFAA	189
Figura N° 54. Evaluación estructural con Programa COMFAA	189
Figura N° 55. Evaluación estructural con Programa COMFAA	190
Figura N° 56. Evaluación estructural con Programa COMFAA	191
Figura N° 57. Evaluación estructural con Programa COMFAA	191
Figura N° 58. Evaluación estructural con Programa COMFAA	192
Figura N° 59. Evaluación estructural con Programa COMFAA	192
Figura N° 60. Evaluación estructural con Programa COMFAA	193
Figura N° 61. Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector B	196
Figura N° 62. Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector C	197

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Elementos Conexos - Aeropuerto Pisco	109
Cuadro N° 2. Relación de Calicatas – Número de Muestras	129
Cuadro N° 3. Resumen de Ensayo de Laboratorio Calicatas	133
Cuadro N° 4. Resumen de Ensayo de Laboratorio Calicatas	134
Cuadro N° 5. Relación de extracciones diamantinas.	137
Cuadro N° 6. Resumen de Ensayos de Laboratorio Diamantinas	138
Cuadro N° 7. Resultados PCI en cada Sección	146
Cuadro N° 8. Valores Calculados de BBI	162
Cuadro N° 9. Valor relativo de soporte (CBR) de subrasante	170
Cuadro N° 10. Codificación de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Rígido	172
Cuadro N° 11. Codificación de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Flexible	172
Cuadro N° 12. Codificación de la Presión de Inflado - Pavimento Flexible	172
Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013	174
Cuadro N° 14. Características de las Aeronaves con Incidencia en el Cálculo del PCN	183
Cuadro N° 15. Resultados del programa COMFAA	187
Cuadro N° 16. K de subrasante	193
Cuadro N° 17. Determinación de espesores de pavimento rígido	194

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterio alternativo para determinar el número de unidades de muestra a inspeccionar	73
Tabla 2. FAA Software Tools for Pavement Analysis, Evaluation And Design	88
Tabla 3. Therical Basis of FAA Software Tools	90
Tabla 4. Tupe of Back – Calculatin Software Tool Requires for Each Load Scenario	92
Tabla 5. Módulo de Young	95
Tabla 6. Ratios de Poisson	95
Tabla 7. Módulo de Young	164
Tabla 8: Valores iniciales	165

INDICE DE FALLAS

PAVIMENTO FLEXIBLE

Falla 1: Piel de cocodrilo	51
Falla 3: Agrietamiento en bloque	52
Falla 4: Corrugación	53
Falla 5: Depresión	53
Falla 6: Erosión por fatiga	54
Falla 7: Grieta de reflexión de junta	55
Falla 8: Grieta longitudinal y transversa	55
Falla 10: Parche	56
Falla 11: Pulimiento de Agregados	57
Falla 12: Ahuellamiento	57
Falla 13: Desplazamiento de pavimento asfáltico por losas rígidas	58
Falla 14: Deslizamiento agrietados	58
Falla 15 Hinchamiento	59

PAVIMENTO RIGIDO

Falla 1: Estallido	60
Falla 2: Grieta de esquina	60
Falla 3: Grietas longitudinales, transversales y diagonales	61
Falla 4: Fisuras de durabilidad ("D")	62
Falla 5: Falla por sello de junta	63
Falla 6: Parches pequeños	63
Falla 7: Parches grandes	64
Falla 9: Bombeo	65

Falla 10: Desprendimiento, Fisuras erráticas, mapa de fisuras	66
Falla 11: Asentamiento	66
Falla 12: Losa fragmentada	67
Falla 13: Fisuras por retracción	67
Falla 14: Desprendimiento en junta	68
Falla 15: Desprendimiento en esquina	68

RESUMEN

La presente tesis para optar el grado de Ingeniero Civil se titula “**Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal aeropuerto de Pisco: Renán Elías Olivera**”. El objetivo de la investigación ha sido explicar los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” para cumplir con la Norma establecida por las FAA. La metodología utilizada es de tipo descriptivo – aplicada y de diseño cualitativo – cuantitativo. La hipótesis general ha comprobado lo siguiente: “existe una relación significativa entre los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” y el cumplimiento con la Norma establecida por las FAA para llegar a ser admitido como aeropuerto alterno del Jorge Chávez. La validación de la Hipótesis ha quedado comprobada y demostrada a través del análisis de los diferentes estratos del suelo, espesores característicos del suelo de fundación por medio de calicatas y las características de la pista asfáltica del Aeropuerto Renán Elías Olivera y el cumplimiento de la Norma establecida por la Federal Aviation Administration (FAA), generando la conclusión general, como resultado de la comprobación de la hipótesis global mediante el siguiente enunciado: “...Se ha podido determinar que la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal aeropuerto de Pisco: Renán Elías Olivera cumple con los requerimientos de la FAA para ser un aeropuerto alterno al Jorge Chávez”.

Palabras claves: Evaluación estructural, superficial, funcional, pavimento, suelo, estratos, calicatas, espesor, diamantinas, carpeta asfáltica.

ABSTRACT

This thesis for the degree of Civil Engineer is entitled "Structural evaluation, functional surface and the floor of the main runway airport in Pisco: Renan Elias Olivera". The aim of the research was to explain the elements of structural, surface and functional assessment of the main runway pavement Airport Pisco "Renan Elias Olivera" to meet the standard set by the FAA. The methodology is descriptive - applied design and qualitative - quantitative. The general assumption has proven that: "there is a significant relationship between structural elements, surface and functional assessment of the main runway pavement Airport Pisco" Renan Elias Olivera "and compliance with the standard set by the FAA become accepted as an alternate airport Jorge Chavez. Validation of the hypothesis has been tested and demonstrated through the analysis of different soil layers, soil thickness characteristic foundation through pits and characteristics of the asphalt airport runway Renan Elias Olivera and compliance with the standard set by the Federal Aviation Administration (FAA), generating the overall conclusion as a result of the verification of the overall hypothesis by the following statement: "... It has been determined that the structural, surface and functional evaluation of pavement from the main runway airport Pisco: Renan Elias Olivera meets the requirements of the FAA to be an alternate airport Jorge Chavez. "

Keywords: structural, surface, functional evaluation, pavement, soil strata, pits, thick, diamond, asphalt.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la presente investigación titulada **“EVALUACION ESTRUCTURAL, SUPERFICIAL Y FUNCIONAL DEL PAVIMENTO DE LA PISTA PRINCIPAL DEL AEROPUERTO DE PISCO: RENAN ELIAS OLIVERA”**, tiene como objetivo explicar los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” para cumplir con la Norma establecida por las FAA.

La estructura de la tesis es de cinco capítulos, en el primero se desarrolla el enfoque de problema, determinándose objetivos y la justificación de la investigación, se determina que el diseño de aeropuertos debe reflejar el entendimiento conjunto de varios factores relacionados, que incluyen las características de la aeronave, tráfico aéreo, seguridad, ruido en comunidades cercanas y obstáculos en la zona de seguridad, por lo que el diseño se vuelve interdisciplinario (Whitford, 2003). Los requerimientos funcionales de los pavimentos son evaluados antes de su diseño, ya que es importante que estos provean una superficie durable, operativa bajo cualquier condición climática, segura y que brinde confort en su uso. En la etapa de diseño se debe evaluar el tipo de pavimento a utilizar (flexible o rígido), selección de materiales para base y subbase, tratamientos de subrasante, diseño de espesores de capas de pavimento y sistemas de drenaje. Los pavimentos pueden clasificarse en dos categorías, flexible (usualmente mezcla asfáltica) o rígido (hormigón).

En la actualidad los pavimentos son uno de los puntos medulares en cuanto a operación de los aeropuertos se refiere, es por eso que el objetivo de esta tesis es proveer la información necesaria acerca del pavimento del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” en la actualidad.

Debido a que en algunos aeropuertos del Perú se ha detectado que las pistas, calles de rodaje y plataformas no se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento, a causa de varios factores como pueden ser, el tipo de terreno natural que no cumpla con las especificaciones de resistencia y estabilidad, malas inspecciones que no detecten deterioros y fallas, una mala elaboración, ejecución de las tareas preventivas y correctivas del programa de mantenimiento, entre otras.

Por consiguiente la tesis tiene como finalidad proporcionar la “Evaluación Funcional, estructural y superficial del aeropuerto de Pisco” “Renán Elías Olivera”, para así tener un mejor control del mantenimiento del Pavimento y posterior inserción como un aeropuerto alternativo al Aeropuerto Internacional “Jorge Chávez”.

Así como la suficiente información para poder tener un mejor control del mantenimiento, inspecciones y operación de los pavimentos aeroportuarios en Perú, ya que manteniendo los pavimentos en buen estado los aeropuertos puede declararse en condiciones seguras y convertirse en el aeropuerto alternativo del Jorge Chávez.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Las aerolíneas demandan planes de contingencia para enfrentar congestión de pasajeros y aviones por la demora en la construcción de segunda pista y nuevo terminal en el aeropuerto internacional.

En horas punta, el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez se congestiona tanto que muchos aviones no son atendidos en los estacionamientos asignados a los vuelos comerciales, sino en áreas destinadas a la Fuerza Aérea, la Marina y la Policía Nacional.

Esa situación la advirtió Carlos Palacín, ex presidente de la Asociación Peruana de Empresas Aéreas (APEA), y fue corroborada por la Asociación de Empresas de Transporte Aéreo Internacional (AETAI) y por otros operadores aéreos.

Anotó que la congestión está afectando a las aerolíneas, porque los aviones deben mantenerse en el aire esperando que se desocupen los espacios en el aeropuerto. Así, ya no pueden entrar más aeronaves ni nuevos operadores aéreos, dijo Palacín.

En las horas punta (entre las 7 y 10 de la mañana, y de 9 de la noche a 1 de la mañana), las aeronaves que no alcanzan espacio son conducidas al Grupo Aéreo N° 8 de la FAP, refirió Carlos Gutiérrez, gerente general de AETAI.

Aseveró que estacionar las naves en áreas remotas, al norte y sur del terminal principal, operado por Lima Airport Partners (LAP), es un problema porque además de estar alejadas no tienen suministro de combustible cisterna que los provean.

Además, eso está provocando congestión, demoras y dificultades para el abordaje de pasajeros y el transporte de equipajes, añadió.

El problema, explicó, es que el aeropuerto Jorge Chávez, cuando se concesionó y amplió en el año 2001, se hizo con la idea de que tuviera capacidad para atender hasta 10 millones de pasajeros por año, pero al 2010 ya estaba atendiendo a un promedio de 10.2 millones anualmente.

En el año 2011 ya ha movido 11.6 millones de viajeros, y al cierre de este año se proyecta que deberá movilizar a 13 millones de pasajeros, es decir que la demanda ya ha sobrepasado la capacidad del aeropuerto, que está al tope, refirió Gutiérrez.

Por esta razón, planteó que el Ministerio de Transportes, junto con LAP y Corpac, diseñe un plan de contingencia para resolver la falta de capacidad para atender a las aeronaves, y el ya insuficiente servicio que se está dando a los pasajeros en el terminal.

Como está ahora, y al ritmo anual de crecimiento de la demanda de vuelos, estimada en 15% anual, el problema continuará en el aeropuerto hasta dentro de 4 a 5 años más, cuando esté construida la segunda pista y una nueva terminal de pasajeros, advirtió.

Cifras y Datos

Operación. Hoy, en el aeropuerto se atienden 25 operaciones de vuelo por hora, en promedio. Esa cantidad podría aumentarse hasta 40 por hora si hay una mejor gestión, dice AETAI.

Abordaje. Hay 19 mangas para abordaje y entre 15 y 20 posiciones remotas alejadas del terminal aéreo al norte y al sur del aeropuerto, donde también son atendidas las aeronaves.

Pedido. Aerolíneas Contigo Perú planteará al Ministerio de Transportes que le

permita operar en Las Palmas, ante la falta de espacio en el aeropuerto Jorge Chávez.

Actualmente existen 54 aeropuertos en todo el Perú, siendo el más importante el Aeropuerto Jorge Chávez. Pero este no es el único aeropuerto internacional del Perú. Los de Arequipa, Tacna, Iquitos, Pucallpa, Talara, Cusco, Trujillo y Juliaca son también de categoría internacional. Pero debido a la baja demanda de pasajeros internacionales, la mayoría de estos no reciben vuelos desde el exterior. El Aeropuerto de Chiclayo es considerado internacional por ser el aeropuerto alternativo al Jorge Chávez en el norte del país. Aeropuerto Nacional de Lima 18 Esta es otra razón por la que en la ciudad de Lima se necesita un aeropuerto alternativo para vuelos nacionales. Si no hay demanda para vuelos internacionales en otras ciudades, todos estos vuelos llegan a Lima, saturando el Aeropuerto Jorge Chávez. Actualmente el aeropuerto Jorge Chávez tiene un tráfico promedio mensual de 431 ,020(1) pasajeros en total, de los cuales casi el 42% (180,514 pasajeros) son de tráfico nacional. En algunos meses, como julio o agosto esta cantidad aumenta llegando a ser los vuelos nacionales el 47% del tráfico aéreo del aeropuerto Jorge Chávez. Además este se encuentra rodeado por zonas urbanizadas y debido a la dirección de la pista de aterrizaje, las aeronaves deben sobrevolar los distritos de Carmen de la Legua y Bellavista

Con el incremento actual de los vuelos aéreos y el incremento de turistas a nuestro país, se ve afectado la capacidad de nuestro aeropuerto principal “Aeropuerto Jorge Chávez” , el cual se prevé que llegara a su máxima capacidad, por tal motivo se concibió la idea de ampliar la capacidad de uno de los aeropuertos de nuestro país, y con el afán de que servirá como un aeropuerto alternativo al principal, para poder derivar vuelos de emergencia o una cantidad de aeronaves, motivo por el cual se mandó a evaluar el estado del la pista principal del aeropuerto de Pisco, para saber si cumplía con los estándares que la FAA recomienda para ser un aeropuerto internacional o alternativo.

El futuro comercial de este aeropuerto es bastante promisorio pues su operación ha sido concesionado a una empresa privada ADP Perú, debido a que se ubica en una zona altamente turística como es la Bahía de Paracas que actualmente (año 2012) viene recibiendo inversiones hoteleras de gran magnitud. Su cercanía a la zona de las mundialmente famosas Líneas de Nazca refuerzan aún más las posibilidades de este aeropuerto para su uso como base de vuelos turísticos en aviones menores.

Una empresa privada viene preparando una inversión en equipos de refrigeración, importante para el desarrollo de nuevas rutas sucursales de exportación, con el objetivo de anticipar el aumento de exportaciones de perecederos que se prevé para los próximos años, eligiendo el renovado aeropuerto de Pisco. Este es un proyecto a futuro, cuando empiece a aumentar el número de aeronaves y se convierta en una alternativa para la exportación. Este tipo de inversiones le dará la capacidad al aeropuerto para ampliar el espectro comercial, manejando pasajeros, carga seca y carga refrigerada, principalmente para la exportación.

1.2. Formulación del problema:

1.2.1. Problema principal

- ¿Cómo la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumple con la Norma establecida por las FAA?

1.2.2. Problemas secundarios

- a. ¿Cómo los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA?
- b. ¿Cómo los espesores y características del suelo de fundación por medio de calcatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA?

- c. ¿Cómo la obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo principal

- Explicar los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” para cumplir con la Norma establecida por las FAA.

1.3.2. Objetivos secundarios

- a. Determinar cómo los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA.
- b. Determinar cómo los espesores y características del suelo de fundación por medio de calicatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA.
- c. Explicar cómo la obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA.

1.4 Justificación de la investigación

La poca información y la falta de bibliografía en el tema nos estimulan a elaborar la presente tesis y durante su desarrollo sea tratado de explicarla lo más didáctico posible para el entendimiento de futuras generaciones de ingenieros civiles que desean incursionar en el tema ya que en la actualidad son pocos los ingenieros especialistas en aeropuertos. Los aeropuertos no pueden tener pavimentos con bajo desempeño y arriesgar las operaciones aéreas, esto puede causar el cierre parcial o total del aeropuerto, por obras de

mantenimiento correctivo a causa de malas reparaciones, de igual manera sufrir sanciones por el incumplimiento de las normas en cuanto a conservación y mantenimiento, además de tener un alto costo seguro por su baja seguridad. Otro factor importante es saber si las aeronaves que operan ese aeropuerto son el tipo de aeronave crítica establecida en su manual de aeródromo y de no ser el caso proponer un alargamiento de la pista en base a las normas mencionadas por el anexo 14 de la OACI, para evitar el frenado brusco y disminuir la vida útil del pavimento en la pista, o en su caso realizar inspecciones con mayor frecuencia para detectar inmediatamente la falla.

Es ampliamente reconocido que cuando un pavimento se le realizan inspecciones de manera continua, trabajos de mantenimiento, éste tendrá un mejor desempeño y una mayor demanda. En pocas palabras se convierte en un aeropuerto más seguro.

Este estudio es conveniente porque sirve como ejemplo en estudios futuros de otros aeropuertos del país. El estudio que se realizara en el pavimento de la pista principal del aeropuerto de Pisco es de suma importancia ya que con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta si es que los pavimentos de la pista principal del aeropuerto de Pisco se encuentran en condiciones para su uso, el posterior aumento del tráfico aéreo y llegar a la conclusión si es que cumple con las normas exigidas por la **FAA** para que sirva como aeropuerto alternativo del aeropuerto internacional "Jorge Chávez" y de esta manera se podría incrementar los vuelos a este aeropuerto.

Esto implicaría mayores oportunidades económicas para la población, aumentando el turismo en forma notoria, también originaría el aumento industrial de la zona, aumentando el stand de vida de la población, originando un importante activo de la infraestructura logística nacional, los cuales posibilitan el comercio por carga aérea, que si bien representa el medio más costoso, también ofrece niveles de servicio muy altos por los tiempos de transportación asociados. Esto para cargamentos sensibles a la rapidez de

entrega, adquiere una importancia estratégica y le confiere a la ciudad de Pisco la posibilidad de establecer rutas comerciales de gran impacto económico.

Originaria el incremento de trabajos en la localidad por ende mejoras económicas en sus habitantes

1.5 Limitaciones en la investigación

El aeropuerto de pisco presenta 9 elementos conexos, pero la presente tesis se limita a la evaluación de la pista de aterrizaje por ser uno de los elementos principales del aeropuerto de Pisco y por qué es el que recibe mayor daño por la carga de aeronaves y por qué puede provocar desastres si no se tiene un control eficiente de las fallas o problemas presente en ella.

1.6. Viabilidad de la investigación.

En la actualidad en el Perú existen pocos ingenieros civiles especialistas del tema, por eso nosotros presentamos una guía práctica y de fácil entendimiento de los puntos más resaltantes que exige la FAA para aeropuertos internacionales Este trabajo es de suma importancia ya que con los resultados obtenidos en esta investigación podremos demostrar que este aeropuerto cumple con las condiciones para convertirse en el aeropuerto internacional alterno del Perú.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Delgado & Quispe (2012) en su investigación acerca del Diseño del pavimento de un aeropuerto indican que en el área planteada como emplazamiento del aeropuerto posee un relieve llano y continuo, libre de accidentes topográficos tales como: ríos, barrancos, linderos, etc., por cual la construcción de una pista de aterrizaje es factible. El objetivo ha sido diseñar el pavimento del área de movimiento de un aeropuerto, ubicado en Punta Hermosa, utilizando el método de la FAA. Por otro lado, se encontró ubicado a una distancia aproximada de 2km de una zona urbana (esto representa una ventaja ya que a esta distancia los ruidos que se generan con la puesta en marcha de las turbinas son menos intensos). En cuanto al tipo de suelo encontrado en la zona, este contiene materiales finos tales como arcillas y limos, los cuales serán empleados en la subrasante de la estructura del pavimento evaluando si es necesario estabilizarlo con algún otro material. Por otro lado, el nivel freático de la zona está ubicado a 15m de la superficie. Otra ventaja que posee la ubicación elegida es la cercanía a las canteras Loma Verde y Limatambo. El material de estas canteras debe ser evaluado para verificar si las características que posee son las adecuadas para la base y subbase del proyecto, asimismo, se debe verificar que el volumen del material que poseen sea suficiente para abastecer al proyecto.

Por otro lado, se ha encontrado la investigación de Martínez y Ventocilla, quienes realizaron el trabajo titulado “Rehabilitación de pavimentos del Aeropuerto del Cusco usando modificadores de asfalto”, en la investigación se señala que La poca información y la falta de bibliografía sobre diseño de pavimentos de Aeropuertos Civiles en nuestro medio, nos motivan a elaborar la investigación y durante su desarrollo se ha tratado de ser lo más didáctico posible para que de este modo sirva de guía a los alumnos y a toda persona que desee incursionar en dicha especialidad. La presente Tesis es el resultado de una interacción de evaluaciones de campo como los resultados de los

ensayos del sistema de canteras, pavimento existente, humedad natural, mix de aeronaves que operan y de topografía. Así mismo de la traducción de manuales y catálogos, ya que nuestro País está afiliado y se rige por las normas de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), por los métodos de diseño de la Federal Aviation Administration (FAA) entidad oficial de la aeronáutica civil en los E.E.U.U y a las especificaciones técnicas para la construcción de aeropuertos. De La información obtenida tanto en campo como en el laboratorio, se tienen las siguientes conclusiones y recomendaciones: El valor de CBR que presenta el aeropuerto, obtenido de la ejecución de calicatas. Tiene un valor promedio de 4% (al 95% de la MDS). Estos suelos no son recomendados como material de fundación, debiéndose efectuar una estabilización del material o su reemplazo por material (relleno) de mejor calidad. La siguiente tabla muestra el resumen de valores de CBR encontrados de para el Sistema de Pistas que conforma el Aeropuerto (a través de la ejecución de calicatas).

También se cuenta con la investigación de Bohórquez (2014) el proyecto tuvo por finalidad el diseño de la estructura de pavimento del Aeródromo de Panguipulli. En la actualidad, el aeródromo posee una pista no pavimentada por lo que las operaciones dependen de las condiciones del terreno, limitando la conectividad aérea de la Región de los Ríos. El diseño de pavimento se hará en base a la caracterización del suelo y de su capacidad de soporte, junto con la frecuencia de uso y el tipo de aeronave que utilizaría la pista considerando una vida útil de 20 años. Para esto, se cuenta con estadísticas de vuelo, y datos de la Dirección de Aeropuertos de la Región de los Ríos y del Club Aéreo que administra el aeródromo. El objetivo fue diseñar la estructura de Pavimento del aeródromo de Panguipulli, determinando el espesor total de la estructura de pavimento junto a los espesores individuales de las capas de mezcla asfáltica en caliente, base y subbase, basado en análisis de suelos realizado en el Aeródromo de Panguipulli, y normativas de diseño utilizadas por el Ministerio de Obras Pública.

En la actualidad nuestro país han habido varios estudios de pavimentos de Aeropuertos situados en el interior del país unos de los que hemos podido recopilar es el “Evaluación: estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal aeropuerto de Pisco: Renán Elías Olivera”, el informe realizado por la corporación Aeropuertos del Perú (ADP) indican que se tuvo como principal objetivo. “definir en base al análisis e inspección de campo las alternativas de mantenimiento periódico requeridas por el sistema de pistas por el aeropuerto de Pucallpa a fin de continuar de manera segura las operaciones previstas en el aeropuerto por un periodo de 3 a 4 años así mismo identificar y caracterizar la fuente de materiales a emplear en la solución definida”.

La evaluación de antecedentes nos permite determinar la historia de construcción, rehabilitación, mantenimiento y evaluación de los pavimentos del aeropuerto y el estado actual en el que se encuentra.

En el presente estudio las principales conclusiones que se llegaron fueron las siguientes

“No se aprecia mayor evidencia de ahuellamiento severos de mezclas asfálticas”. El estado del pavimento es producto del tiempo en servicio y/o carencia de conservación oportuna”. Señala también la humedad natural es bastante acentuada en los estratos inferiores donde se emplaza la infraestructura aeroportuaria alcanzando en ciertos sectores valores superiores a 30%. “El sistema existente permite establecer su insuficiencia para efectuar el drenaje de las aguas pluviales tanto de las franjas laterales como en la pista principal” “Es indispensable que se efectuó un tratamiento previo al agregado fino (sea la cantera: Nueve Piura o Cambio 90) consistente en el empleo de aditivo (tipo amina) para mejorar la adherencia.”. Es de suma importancia señalar que el pavimento lo evaluado por el MTC en el año 2000 fue reemplazado en su superficie de rodadura y que este estudio y sus conclusiones son aplicables a nuestra evaluación. En el estudio de este aeropuerto en particular ha sido evaluado por **HOB Consultores en el 2007**

cuyo fin fue determinar las características superficiales y estructurales del pavimento y que de los resultados obtenidos podemos citarlos a continuación:

Materiales y estructura.

Pista: Mezcla asfáltica de 14 cm. Base granular de 19.7 cm. Sub base gravilla de 23.3 cm y un CBR de la subrasante fue de 7% (Corporación Aeropuertos del Perú (ADP), 2012).

Condición superficial del pavimento. Se efectuó la inspección (método PCI) en el tercio izquierdo de la pista con un valor promedio de 76, con valores de condición de pavimento desde regular a excelente,

Irregularidad superficial, se midió con el instrumento Merlín. La pista de aterrizaje tiene un promedio de IRI de 1.8 m/Km.

(Corporación Aeropuertos del Perú (ADP), 2012)..

Resistencia al Deslizamiento, Se utilizó un Péndulo Británico en 14 puntos de ensayo. La Pista de Aterrizaje quedando dentro del rango 0.42 - 0.72 especificado.

Macro textura, se utilizó el método de la mancha de arena. Los resultados en 18 puntos ensayados fueron: La Pista de Aterrizaje tienen un promedio de Heq: 0.44 quedando dentro del rango 1.0 mm esperado

Evaluación de JBO Ingenieros SAC - año 2009, fue efectuado por la empresa JBO Ingenieros SAC a solicitud de ADP en diciembre del 2009. Esta evaluación se realizó al pavimento que actualmente se encuentra en servicio. Los aspectos resaltantes fueron: a) Pista Principal, gran cantidad de grietas ocupando casi el 90% de la pista, desprendimiento en algunos sectores, b) *Calles de Rodaje y Plataforma*

- La Calle de Rodaje - Alpha, que cuenta con carpeta asfáltica nueva, presenta alto grado de desprendimiento de finos; sin embargo se aprecia escasa cantidad de fisuras.
- La Calle de Rodaje - Bravo, que aún cuenta con antigua carpeta asfáltica, presenta grietas y fisuras tipo piel de cocodrilo, así como asentamientos de severidad alta
- La plataforma de aviones, ha sido reparada parcialmente, contando en sus extremos derecho e izquierdo con nueva carpeta asfáltica, que presentan las mismas deficiencias que la calle de Rodaje N° 1, es decir, peladuras, y fisuras en las juntas de construcción (principalmente el lado izquierdo).
- En la parte central, en un sector aún se conserva la carpeta antigua, pero en mal estado, con grietas y fisuras, mientras que al otro sector se le ha retirado la carpeta y cuenta con un tratamiento asfáltico que se encuentra en regular estado.

2.2 Bases Teóricas

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad resistente del sistema en una estructura vial existente, en cualquier momento de su vida de servicio esta evaluación estructural consiste en Auscultación del pavimento (técnicas de recolección de datos como son la cantidad y severidad de fallas que tiene nuestro pavimento) y la segunda la aplicación de la metodología a utilizar para definir los resultados finales de la evaluación estructural.

En la auscultación del pavimento habría que considerar Temperatura,

humedad, tiempo y tipo de carga que sufre nuestro pavimento.

Esta evaluación estructural de pavimentos aumenta paulatinamente en estas últimas décadas en el pasado esta evaluación se realizaba por medio de calicatas para saber el perfil estratigráfico que tiene nuestro pavimento, y así darnos cuenta de la resistencia estructural del pavimento, estas pruebas además que eran destructivas quitaban tiempo y eran demasiadas caras para el estudio del pavimento; esto ha originado la aparición de modelos teóricos tales como el desarrollado por Burmister, Boussinesq (1885) y Hogg (1995), este último se conoce como modelo de Hogg que 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 infinito o limitado por una base rígida, horizontal y perfectamente rugosa; dicha metodología se fundamenta en la forma y dimensión de la curva de deflexiones.

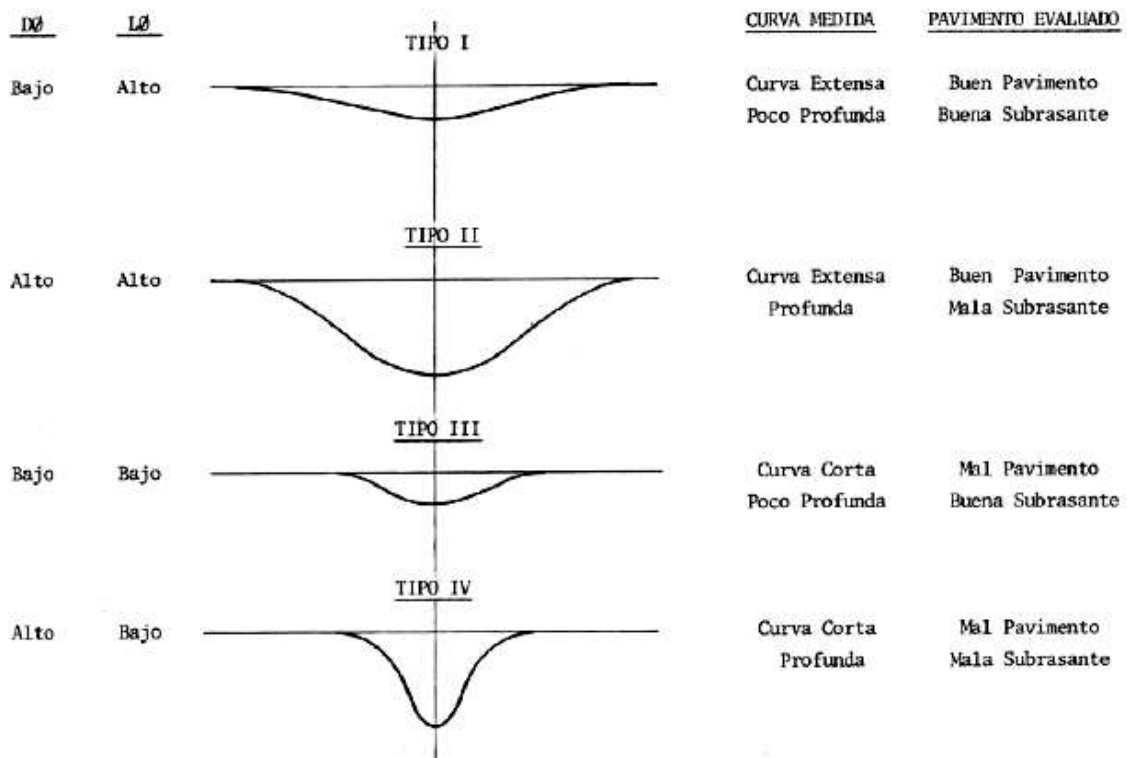
Los primeros equipos de deflectometría; la Viga Benkelman fue el resultado de estos primeros estudios y el primer equipo adoptado de forma extensa para la obtención de deflexiones.

2.2.1 Viga Benkelman

Desarrollada en el Road Test de la AASHO en 1952. Consiste en un dispositivo sencillo que opera por medio de una palanca suspendida de un bastidor que trasmite la deflexión vertical del punto de medida a un comparador (ver fig. 2.8 y 2.9). Este equipo debe ser usado con un camión cargado, normalmente con 80 KN en un eje, con llantas duales infladas a una presión de 0.48 a 0.55 Mpa (70 a 80 Psi). Las mediciones se realizan colocando la punta de la viga entre las dos ruedas y midiendo la deflexión cuando el vehículo se retira. Los resultados de las deflexiones se leen en un dial indicador.

Generalmente, la punta de la viga se coloca a 1.20m adelante del par de ruedas, se toma una lectura inicial y al retirar el camión, se toma la lectura

máxima y una final del parámetro. Este equipo de bajo costo de utilización posee dos desventajas principales: la primera el bajo rendimiento de muestreo y segundo la falta de proveer un cuenco de deflexiones.



Valores característicos de deflexiones en pavimento.

La base matemática de la viga Benkelman, lo constituye el Modelo de Hogg, en donde 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

Los bajos rendimientos del equipo y las innovaciones tecnológicas abrieron dos vías de desarrollo dentro de los equipos de deflectometría, por un lado se inició el desarrollo de equipos basados en el mismo principio de la Viga Benkelman con los equipos tipo impacto, que aplican un impulso de carga de corta

duración para simular el paso de una rueda del vehículo en alta velocidad. Los primeros equipos de tipo impacto se desarrollaron en Dinamarca y Holanda en la década de los 60.

Actualmente la combinación de los métodos empíricos y mecanicistas han creado una nueva línea denominada métodos mecanicistas empíricos, en los que la parte mecanicista está dada por la respuesta estructural del pavimento en forma de tensiones, deformaciones y deflexiones, determinados a través del uso de modelos matemáticos y la parte empírica utilizada para relacionar estas respuestas con el comportamiento del pavimento in situ.

Por lo tanto se puede mencionar que el análisis del pavimento por medio de técnicas no destructivas se basa en la interpretación de deflexiones es decir que es un proceso de diseño inverso (retro cálculo) ya que se utiliza la respuesta del sistema (pavimento–subrasante) para establecer sus características estructurales.

El cálculo o análisis inverso puede considerar la aplicación de los equipos como el Deflectómetro de impacto que registran datos tomados en campo que son la deflexión, que sufre el pavimento al impactar este con una carga que simula la presión de las ruedas del vehículo gracias a esto se puede determinar el módulo resiliente (M) de la subrasante y el modulo efectivo (E) de la capa del pavimento (rodadura + base y súbbase) para establecer espesores de refuerzo a través del cálculo del número estructural (SN).

Es importante aclarar que al utilizar la metodología no destructiva, para la evaluación estructural de pavimentos a través de deflexiones no implica dejar de realizar ensayos destructivos como las calicatas, ya que cuando se está en presencia de evaluaciones estructurales de carreteras que no cuentan con antecedentes históricos de construcción y diseño, se procede a realizar calicatas para verificar. Tipos de materiales y homogeneidad de las capas que conforman el pavimento.

Al definir el término deflexión, lo más acertado sería considerarlo como la medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento, al paso de una carga en función del tipo y del estado del pavimento. El cuenco de deflexiones se define como el conjunto de deflexiones que se producen entre el punto de aplicación de la carga en un pavimento y sus alrededores.

La caracterización del cuenco de deflexiones está basada en tres parámetros básicos, que si bien no otorgan un estado representativo de la estructura del pavimento, sirven para generar una visión y condición de homogeneidad del proyecto, entre ellos tienen:

- Deflexión máxima normalizada: corresponde a la deflexión medida por el sensor ubicado bajo el plato de carga y se normaliza por medio de la siguiente fórmula:

$$D_o \text{ normalizada} = d_o \text{ (carga aplicada / carga normalizada)}$$

Con esta normalización se pueden evaluar tramos sin que tenga influencia la variación de cargas entre ensayos e igualmente normalizar para temperatura.

- AREA: provee una estimación de la rigidez relativa de la sección del pavimento, particularmente de las capas ligadas, debido a que es muy insensible a la rigidez de la subrasante.

- Índice de curvatura de la superficie: refleja la rigidez relativa de las capas superiores de un pavimento.

De forma general, hay tres tipos de equipo para determinar las deflexiones del pavimento según metodologías no destructivas los cuales son:

- ✓ Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.
- ✓ Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas vibratorias.
- ✓ Equipos de medición de deflexiones por medio de cargas de impacto.

Para cualquiera de ellos el principio es el mismo y consiste en aplicar una carga de magnitud conocida a la superficie del pavimento y medir las deflexiones.

2.2.2 Falling Weight Deflectometer), de marca KUAB

La primera KUAB 2m-FWD fue fabricado en 1976 por la Administración de Carreteras de Suecia con la intención de mejorar en el diseño de todos los demás equipos de pruebas no destructivas deflexión disponible en ese momento. Desde entonces, más de ochenta los sistemas de pruebas de 2m-FWD KUAB se han entregado en todo el mundo a las agencias gubernamentales de transporte, centros de investigación, laboratorios de ensayo de materiales y consultores privados. A través de veinte años de pruebas, el KUAB 2m-FWD se ha convertido en un sistema de prueba experimentado en el campo del transporte. Varias de las características únicas incorporadas en la primera unidad se mantienen como las innovaciones reconocidas hasta hoy. Todo KUAB 2m-FWDs están fabricados con materiales de calidad y mano de obra, lo que garantiza el sistema de prueba proporcionará un servicio fiable durante muchos años. De hecho, la unidad prototipo construido en 1976 está todavía en uso hoy en día.

El KUAB 2m-FWD es un remolque montado dispositivo de carga impulso dinámico que puede ser remolcado por cualquier vehículo de remolque adecuado. El equipo está completamente encerrado en una carcasa metálica para la protección contra los elementos nocivos, y la prueba se puede realizar con todos los dispositivos de seguridad en su lugar. Puertas de la bodega en la parte inferior de la carcasa abierta de forma automática durante la prueba, lo que elimina la necesidad de que el operador FWD para dejar el vehículo remolcador. El KUAB 2m-FWD cumple o excede todos los requisitos de la norma ASTM ASTM D 4694-96 y el protocolo de calibración SHRP para equipos FWD. A continuación se presentan algunas de las características únicas de él KUAB 2m-FWD:

- ✓ Configuración Misa Dos: el factor más significativo en la producción de un pulso de carga que simula los efectos reales de un vehículo en movimiento
- ✓ segmentado Placa de carga: lo que asegura una distribución uniforme de la presión sobre el área total de la placa.
- ✓ Los sismómetros: la deflexión sensores de medición con un rango de 0 a 200 milésimas de pulgada (0 a 5080 micras).

2.2.3. Rugosidad

2.2.3.1. Fundamentos Teóricos

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la Distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. **La Figura N° 1** presenta esa cuerda promedio.

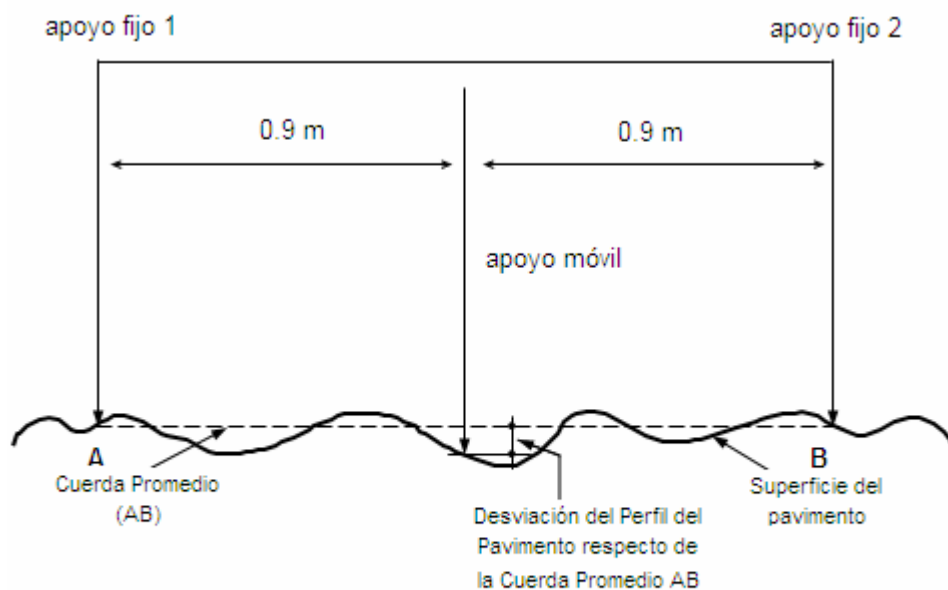


Figura N° 1 Medicion de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio

Ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie Del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El Desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los Mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario Metodología para la determinación de la rugosidad Ing. Pablo del Águila De los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión 0.03 Medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo Largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas Condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (**Ver Figura N°2**).

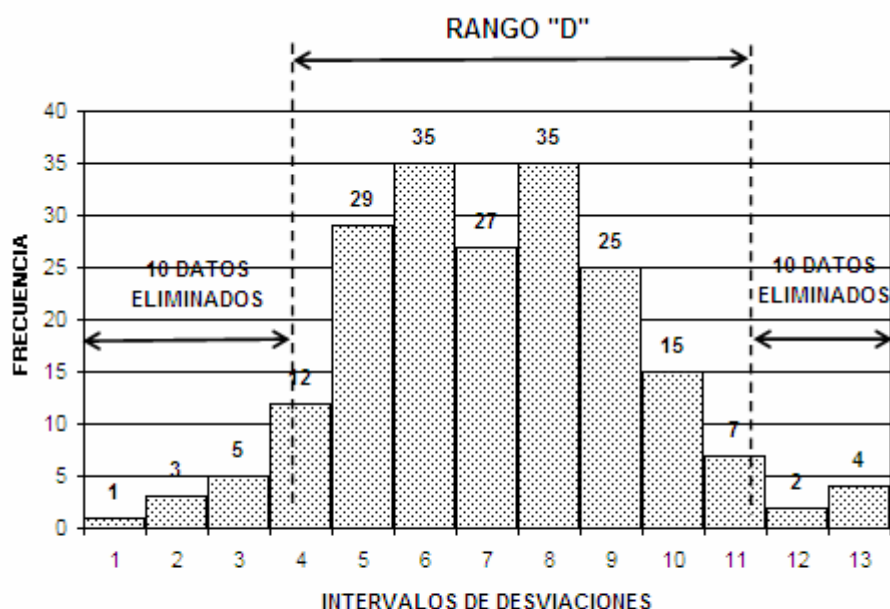


Figura N° 2 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”. El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal

como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia (5).

2.2.3.2. Perfiló metro laser

Resumen:

La medición del Índice de Rugosidad Internacional IRI mediante la utilización del perfiló metro estático MERLIN es un factor importante en la determinación de las condiciones de una carretera. La necesidad de la automatización de la toma de datos así como el cálculo del IRI en campo fijan los requerimientos principales para este proyecto. Para obtener las variaciones con respecto a la cuerda promedio se utilizan acelerómetros, midiendo el recorrido por la determinación del giro de la rueda del perfiló metro estático MERLIN. De las pruebas realizadas se obtuvieron resultados satisfactorios, reduciendo los costos de operación y el tiempo para el procesamiento de los datos.

Palabras clave: MERLIN, Índice de Rugosidad Internacional, IRI, Perfiló metro estático, Acelerómetro, Microcontrolador.

ELECTRONIC INSTRUMENT FOR ESTIMATING INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI) BASED ON THE MERLIN PROFILOMETER

ABSTRACT

Measuring the International Roughness Index IRI through the use of MERLIN profilometer is a key factor in determining road conditions. The need of data collection automation and the calculation of IRI into field data acquisition automation set the main requirements for this project. Variations are determined using accelerometers, and the distance is measured in terms of the rotation of the wheel of MERLIN profilometer. The results were satisfactory, reducing operating costs and the processing time.

Keywords: MERLIN, International Roughness Index, IRI, Profilometer static accelerometer, microcontroller.

Recibido: junio 2010 **Revisado:** mayo 2012

Traducción:

"La medición de la rugosidad, Índice Internacional (IRI) mediante el uso de MERLIN, el perfiló metro es un factor clave en la determinación de las condiciones del

Camino. La necesidad de la automatización, de la recopilación de datos y el cálculo del IRI en la automatización de adquisición de datos de campo y de fijar los requisitos principales para este proyecto. Las variaciones se determinan utilizando acelerómetros, y la distancia se mide en términos de la rotación de la Rueda de MERLIN perfiló metro. Los resultados fueron satisfactorios, lo que reduce los costos de operación y el tiempo de procesamiento.”

2.2.3.2.1 Reseña del Perfilómetro laser:

Para la determinación de las condiciones de las vías, se utilizan diferentes métodos. Uno de los más utilizados es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). El cálculo del IRI presenta varias ventajas frente a otros índices como, por ejemplo, el PSR (Present Serviceability Rate) (Del Águila, P. 1999), entre ellas se puede mencionar que es estable en el tiempo, permite reproducir el perfil de la vía, es representativo de los efectos de la rugosidad, su escala comienza en cero, es compatible con cualquier tipo de Perfilómetro, es coherente con las normas internacionales establecidas y está relacionado con otras medidas de rugosidad.

Por todo lo anterior el IRI es, hoy en día, una referencia para la evaluación de las condiciones de las vías, siendo recomendado por el Banco Mundial. Entre los distintos tipos de equipo para la determinación del IRI (ya sean bajo un principio de medición estático o dinámico), el Perfilómetro estático MERLIN (Machine Evaluating Roughness using Low cost Instrumentation) destaca entre ellos, por su bajo costo de construcción y excelente desempeño. Razón por la cual el equipo electrónico desarrollado se ha elaborado instrumentando a este perfilómetro (Cundill, 1996). **(Figura 2.1)**

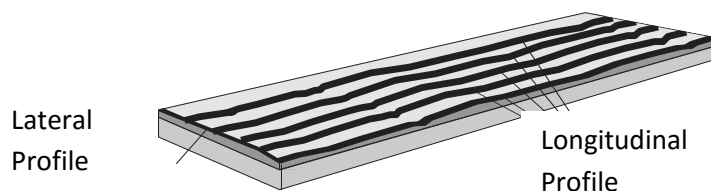


Figura N° 3. Diagrama del Perfilómetro estático MERLIN

entonces, este arreglo puede resolver hasta 0,5 mm de desviación del terreno con un rango dinámico de 25 mm de amplitud y que contiene a la desviación cero.

Para determinar la rugosidad de pavimento se usa la distribución de frecuencias de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio establecida entre el punto de apoyo de la rueda y del pie posterior, los cuales están separados por 1,80 m.

Para obtener una medida significativa, el método del MERLIN requieren la determinación de 200 muestras de desviaciones (con respecto de la cuerda promedio), cada una ellas separadas a intervalos constantes de 2 m a lo largo de un tramo de 400 m de la vía.

En la **Figura 4**, se presenta la tabla para el registro de los datos obtenidos con el MERLIN.

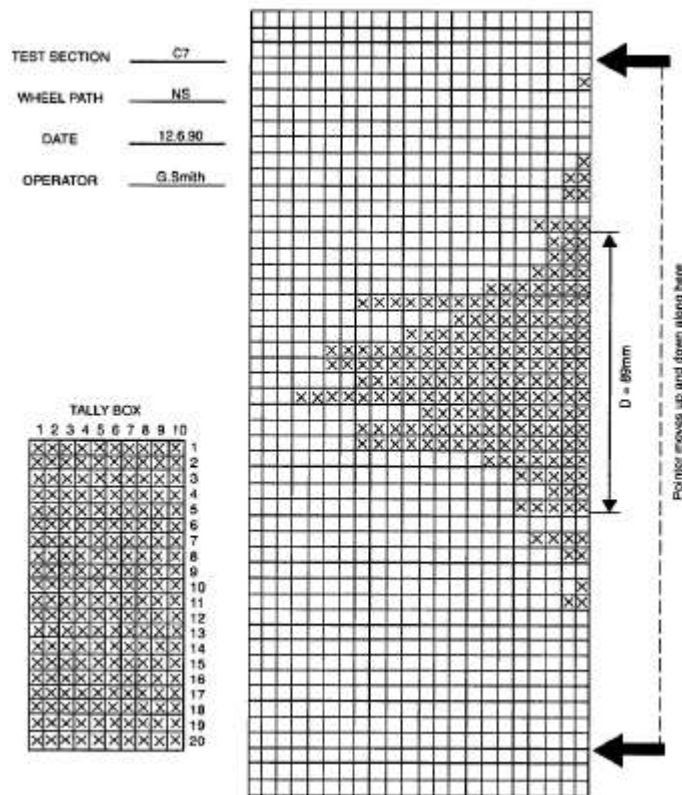


Figura N° 4. Tabla para el registro de los datos del MERLIN (Cundill, 1991)

Definiendo el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 muestras, se puede obtener una medida de la dispersión del perfil de la vía y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad. Por definición la medida de la dispersión es el rango de la muestra (designado por **D**) que se determina después de eliminar el 10% de las mediciones (10 datos en cada extremo del histograma). El valor D es conocido como la rugosidad en unidades "MERLIN" (Cundill, 1996).

Hoy en día, se estima el valor D mediante el estudio estadístico de los datos, para obtener un resultado con menor error.

Para obtener el índice IRI en Venezuela, se aplica la siguiente expresión:

$$IRI = 2,7 \cdot 10^{-7} D^3 - 1,34 \cdot 10^{-4} \cdot D^2 + 6,69 \cdot 10^{-2} D - 0,35347 \quad (1)$$

Expresión desarrollada por Carvajal (Lynch et al. 2006).

Método utilizado para la determinación de la rugosidad del pavimento

El procedimiento para la medición de la inclinación utilizando acelerómetros (Freescale Semiconductor 2005) es la base con la cual se plantea este método. Al colocar un acelerómetro solidario al pie móvil del MERLIN, se puede realizar la medición del ángulo de inclinación y con este ángulo se puede determinar la variación en altura del pavimento.

$$h \approx d \cdot \tan\left(\text{sen}^{-1}\left(\frac{a_{\text{móvil}}}{g}\right)\right) \quad (2)$$

Dónde: **h** es la altura del terreno respecto a la cuerda promedio, cuyo margen de variación tiene una amplitud D o bien la rugosidad del terreno en unidades "MERLIN". La distancia entre el punto de pivote y el punto de contacto con el terreno se denomina d y $a_{\text{móvil}}$ es la medición de la aceleración en la dirección del eje de medición, asumiendo que la aceleración de la gravedad g es constante. Sin embargo, si la vía presenta alguna inclinación el valor resultante de $a_{\text{móvil}}$ tiene componentes tanto de la inclinación del acelerómetro como de la inclinación del plano de referencia. Para corregir esto se adosó otro

acelerómetro a la estructura, a fin de establecer la inclinación de referencia. En la **Figura 5**, se puede observar la relación entre los ejes de medición y de referencia.

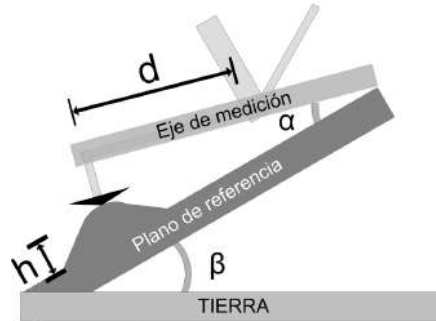


Figura Nº 5. Relación entre el eje de medición y el plano de referencia

Donde la desviación del pavimento vendría dado por

$$h = d \cdot \tan \left(\text{sen}^{-1} \left(\frac{a_{\text{fijo}}}{g} \right) - \text{sen}^{-1} \left(\frac{a_{\text{movil}}}{g} \right) \right) \quad (3)$$

y

$$a_{\text{fijo}} = g \cdot \text{sen}(\beta) \quad (4)$$

$$a_{\text{movil}} = g \cdot \text{sen}(\beta - \alpha) \quad (5)$$

Dónde: β es el ángulo de inclinación del terreno y α es el ángulo producido por la desviación del terreno más su inclinación.

Para simplificar estas expresiones se linealizan utilizando la aproximación de ángulos pequeños. Reduciendo de esta manera las exigencias computacionales sobre el procesador.

$$h \approx d \cdot \left(\frac{a_{\text{fijo}}}{g} - \frac{a_{\text{movil}}}{g} \right) \quad (6)$$

¿Qué aplicación tiene el Perfil metro laser Motorizado?

1. Para controlar la condición de una red de camino para los sistemas de manejo de pavimento (PMS),
2. para evaluar la calidad de construyeron o repararon recientemente

secciones,

3. para diagnosticar la condición de los sitios específicos y determinar los remedios apropiados, y
4. para estudiar la condición de los sitios específicos para la investigación.

Los requisitos técnicos para estas categorías cubren bastante un rango. Una red de camino puede requerir la medición de miles de kilómetros por el año. En ciertos estados, más de 10,000 kilómetros por el año se puede perfilar. Al otro extremo, un programa de investigación podría suponer las medidas frecuentes de sitios que son sólo varios cien pies de longitud, con el intento de identificar formas sutiles del deterioro a su comienzo.

Interpretación:

Lo más común para interpretar la información de perfil metro es reducir los valores arrojados por el equipo y luego promediarlo. Para obtener la información de cualquier tipo de un perfil medido, existen dos requisitos básicos:

1. el perfil debe ser capaz de ir midiendo durante su recorrido la información
2. el software de computadora debe existir para procesar los valores medidos para extraer la información deseada (tal como un índice sumario).

Es posible para el conjunto de números obtenido para un perfil sencillo, para estar elaborado varios cronometran, usando análisis diferentes para extraer varios tipos de información. Sin embargo, puede ser un desafío para calcular las estadísticas.

La tecnología que mide perfiles han existido desde los años '1960. Somos inmóviles trate de deducir qué hacer con los datos. Gran parte del material siguiente en el libro pequeño cubrirá los análisis que pueden ser aplicados a las medidas de perfil crudas.

El concepto de un perfil verdadero es que es simple y depende sólo en la geometría. La definición será el mismo en 100 años como es hoy. Así, las estadísticas que se definen basándose en el perfil verdadero son eternas.

Es absolutamente esencial que los datos de red tomados este año sean directamente comparables a los datos de los años anteriores, y el próximo año. El necesidad de obtener datos sobre la condición de aspereza que son consistentes año tras año pueden ser el factor máximo contribuyendo a la popularidad de los perfileros.

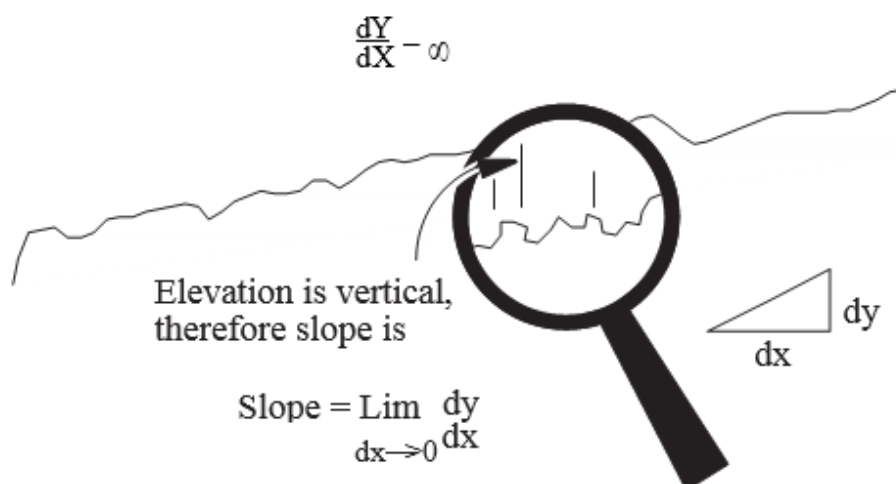
Proceso de señales:

Las señales son elaboradas principalmente por dos razones:

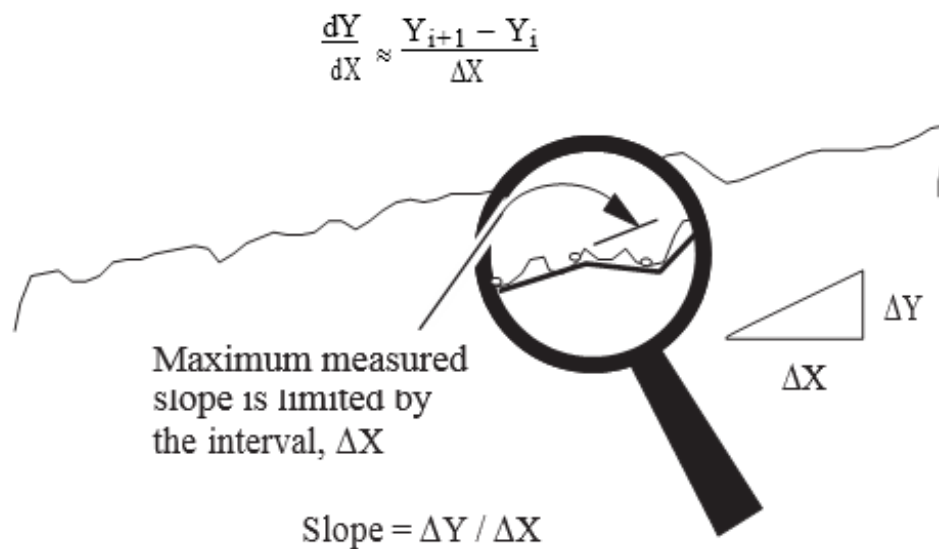
1. para mejorar la calidad de una medida eliminando "no se" indeseado de los datos, y
2. para extraer la información del interés de la señal.

El análisis de un perfil de camino inicia la categoría del proceso de señales. También, el cálculo del perfil de las señales de transductor es una forma del proceso de señales.

Después de una medida se hace, todo lo que conocemos del perfil de camino son los números que componen nuestra medida. No tenemos ninguna información acerca de que el perfil verdadero está haciendo entre muestras de la elevación. Idealmente, el intervalo de muestra es bastante pequeño para capturar las características de perfil del interés.



Veremos más tarde que muchas estadísticas usadas en el pasado para representar la aspereza de camino tienen unidades de la inclinación, tales como metros/kilómetro o pulgadas/millas. Con un perfil, podría suponer que una medida buena podría ser la inclinación de “true.” Sin embargo, existe un problema teórico: la inclinación verdadera de un pavimento real es infinita! Esto es porque si mira estrechamente, al nivel de textura, encontrará lugares donde el perfil es vertical:



¿Para una p de perfil que ha sido probada a intervalos?, una alisadura media móvil filtro se define por la suma:

$$p_{fL}(i) = \frac{1}{n} \sum_{j=i-\frac{b}{2\Delta X}}^{i+\frac{b}{2\Delta X}} p(j)$$

Donde p_{fL} es el perfil alisado (también llamado un “low-pass filtró profile,” para razonan que explique se más tarde), b es la longitud de base del promedio móvil, y n es el número de muestras incluidas en la suma.

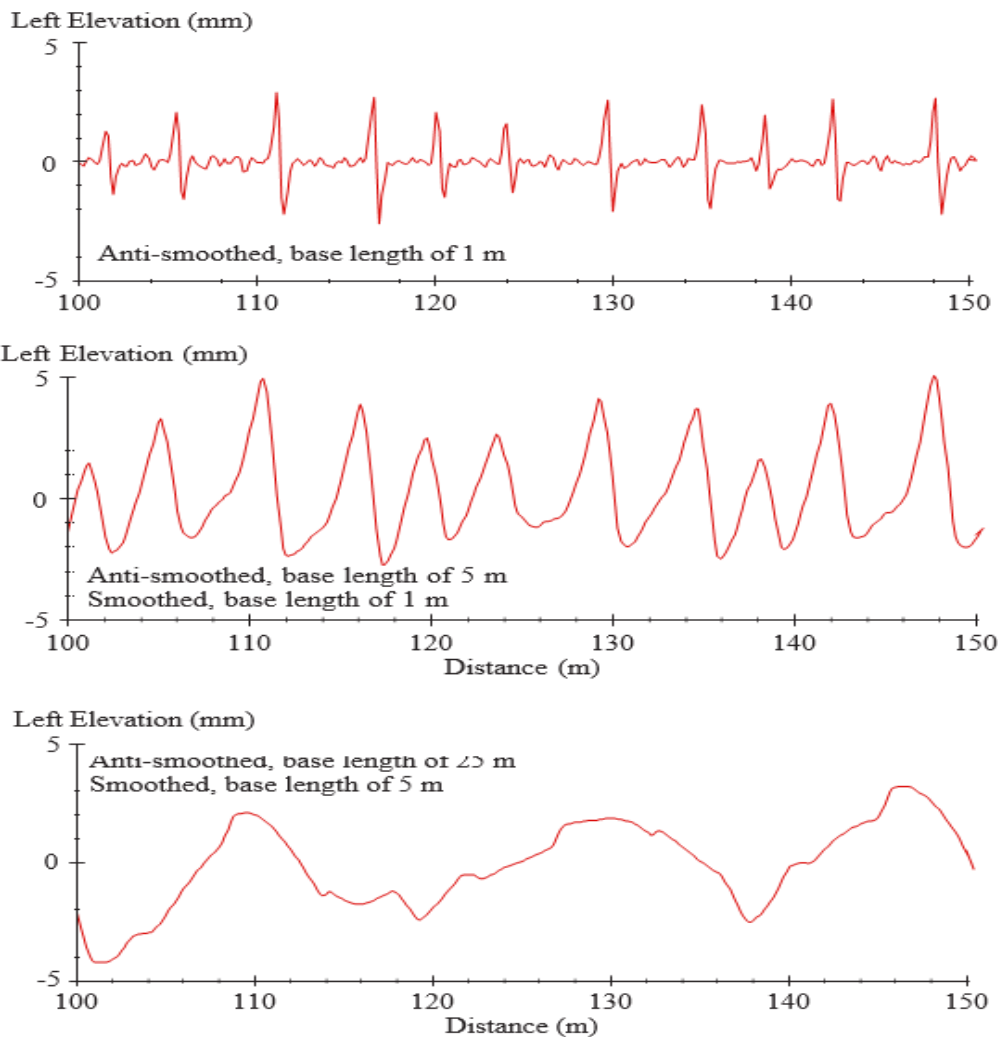
El efecto de un filtro medio móvil se demuestra en la figura abajo. El efecto es alisar el perfil promediando exterior las fluctuaciones punto por punto.

En la mayor parte de los casos, no somos interesados al mirar a un perfil altamente alisado. Eso sólo relata si el camino está yendo levante se, abajo, o quedando el nivel. Con un perfil de Inercia, la información sesgada de duración larga no es exacta uniforme. En vez, nos interesamos en las desviaciones del perfil alisado. Después de todo, es las desviaciones que degrada el vehículo monta y molesta el público de viaje.

El primer lote se filtraba con la versión anti-de emparejar de un promedio móvil de 1 mes. (El perfil alisado se subtrae del original.) Este lote muestra sólo los choques muy de duración corta en el perfil. Las fallas, espaciaron cerca de 4.5 metros aparte, sea muy obvio.

El segundo lote muestra que el perfil después de procesar con un filtro de emparejar de 1 mes y el filtro anti-de emparejar de 5 mes. Todas las desviaciones mostradas en el primer lote son:

$$f = V v = \frac{V|}{\lambda}$$

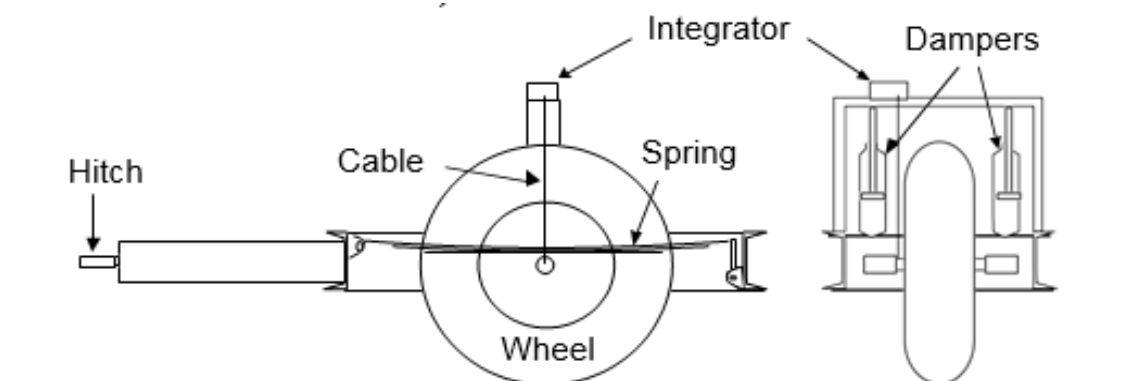


Un senoide en una señal digital (por ejemplo, un perfil de camino de muestreo), es necesario poner el intervalo de muestra para no ser ningún más grande que 1/2 la longitud de onda del senoide, como se muestra abajo. Esto es llamado el teorema de muestra de "Nyquist." Por ejemplo, si pensamos información en el perfil verdadero es del interés para las longitudes de onda de dos pies y más tiempo, entonces el intervalo de muestra debe ser un pie o más corto.

Aunque este libro es sobre los perfiles, debemos reconocer que otros tipos de sistemas han sido históricamente acostumbre a definir la aspereza de camino. Muchos ingenieros hoy tienen un concepto intuitivo de la aspereza que se basa en el comportamiento de antaño sistemas.

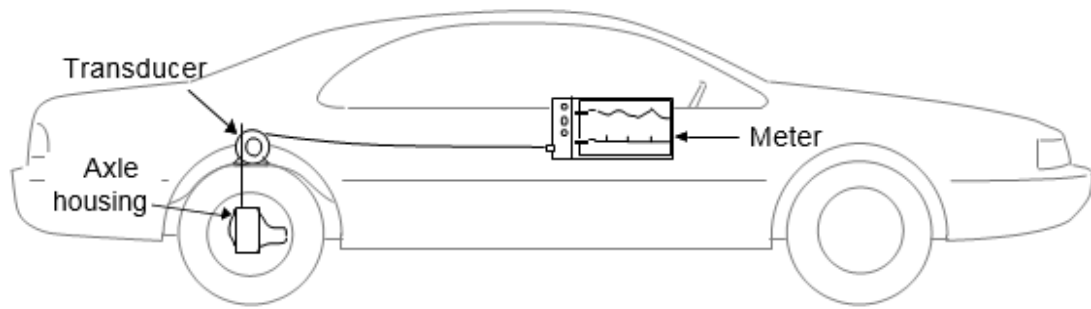
Tan temprano como el 1920, ingenieros de autopista instalaron dispositivos en automóviles para registrar la suspensión acaricia como una medida de la aspereza. Éstos fueron llamados camino miden y tienen varios nombres genéricos, incluyendo: la aspereza de camino de tipo de respuesta midiendo los sistemas (RTRRMS), sistemas de tipo de respuesta, y camino mide sistemas. En estos sistemas, el vehículo es un coche de pasajeros, una furgoneta, un camión claro, o un remolque especial. Un metro de camino es un transductor que acumula movimientos de suspensión. Algunas de las marcas populares eran los pueden montar metro, el metro de PCA, el metro de timonel, y varios modelos a casa hechos.

Casi todos los diseños de metro de camino siguen el concepto del buró de los caminos públicos (BPR) Roughometer, y acumulan desviaciones de la suspensión de vehículo como ello viaje abajo el camino. The BPR Roughometer es un remolque de una sola rueda con una llanta en la vía agarra el mecanismo que acumula el golpe de suspensión en una dirección. (El golpe total es dos veces ese valor.) Ver **Figura 6, Figura 7 y Figura 7.1**



The BPR Roughometer.

Figura N° 6 Imagen de Vehículo de Inicial



A car with a Mays meter.

Figura Nº 7 Vehículo de Medición

Aun cuando el vehículo se normaliza, las diferencias permanecen entre vehículos que podría pensar sea idéntico. Para componer además el problema, las propiedades de respuesta de los vehículos cambian andando el tiempo. El hecho que el sistema de tipo de respuesta depende de la dinámica del vehículo de anfitrión tiene dos efectos indeseados:

La aspereza midiendo los métodos no ha sido estable andando el tiempo. Las medidas hicieron hoy con los metros de camino no pueda ser comparado con la confianza para ésos hicieron varios años atrás.

Las medidas de aspereza no han sido transportables. El camino mide medidas hechas por un sistema sea raramente reproducible por otro.

Estos problemas existen en parte porque los metros de camino son típicamente invenciones idee para ser barato, áspero, y fácil de uso. Una comprensión rigurosa de cómo ellos funcionan junto con un vehículo no exista hasta 1980, cuando las variables eran estudiadas en un proyecto de investigación garantizadas por la investigación cooperativa nacional de autopista programa (NCHRP).

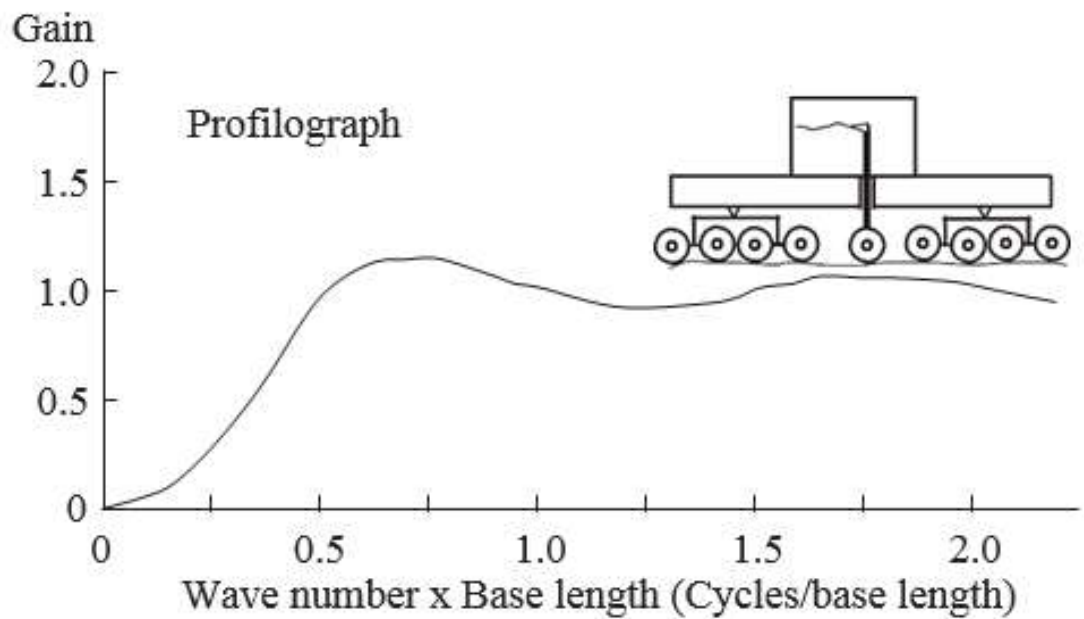


Figura N° 7.1 Grafico de Perfilometro

Una segunda fuente de la dificultad suponiendo sistemas de tipo de respuesta ha sido la falta de una escala de aspereza estándar. Con una escala de aspereza estándar, algunos de los problemas inherentes en un sistema de tipo de respuesta se pueden superar por calibración. La falta de una medida estándar era al principio no visto como un problema serio por muchos de los usuarios de los instrumentos de aspereza. Los datos de aspereza para una ciudad, condado, o estado pudieron tener las unidades arbitrarias, mientras que los datos basan en eran internamente consistentes. Sin embargo, aún la repetitividad de los instrumentos era un problema.

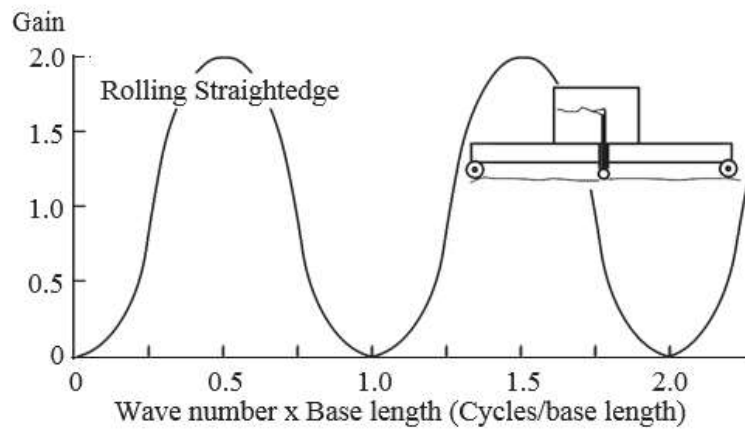
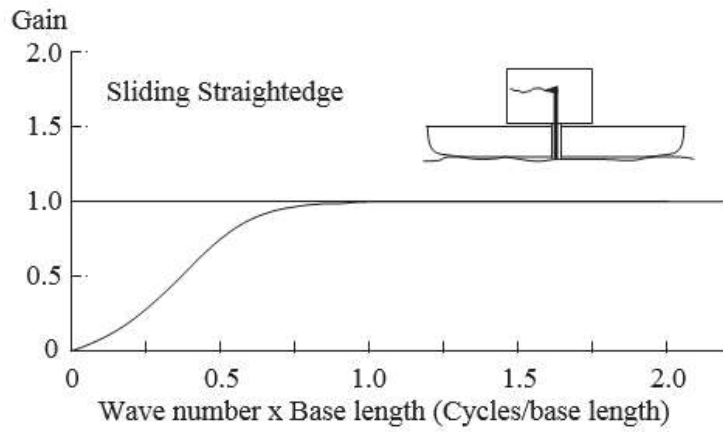


Figura Nº 8 Gráfico de Perfilometro

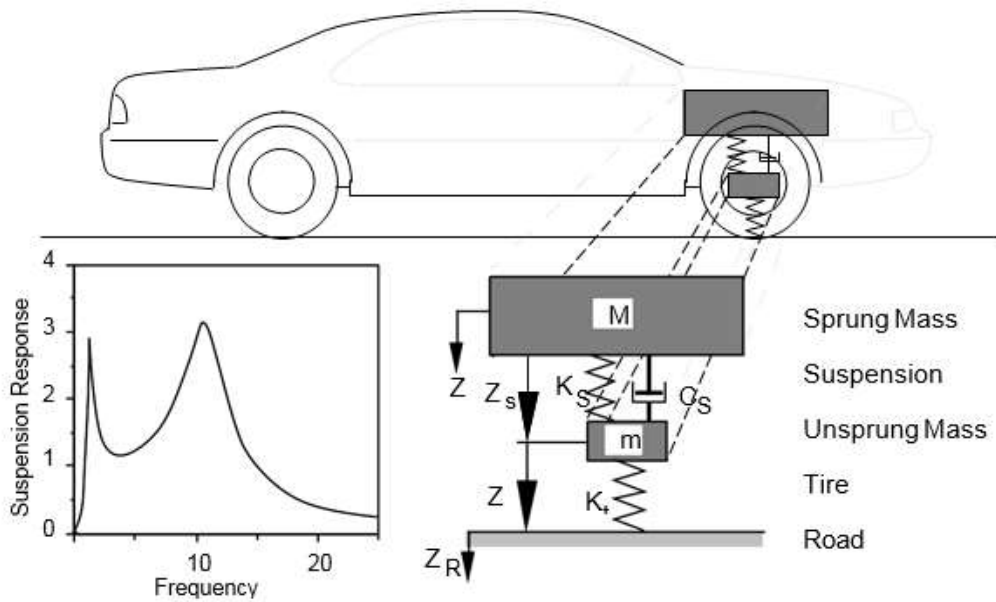


Figura Nº 9 Gráfico de Función del Equipo

A diferencia de los dispositivos de baja velocidad, el filtrado asociado con un vehículo móvil no depende de geometría. En vez, depende de la dinámica con base en tiempo. La respuesta de frecuencia de un automóvil es aproximadamente independiente de la velocidad, cuando la frecuencia es definida en unidades de ciclo/momento. Sin embargo, si trate como una función de la frecuencia espacial (número de ola), entonces la respuesta depende de velocidad, debido a la relación eso ver **Figura 8 y Figura 9**

¿Dónde f es la frecuencia en ciclo/momento, v es la velocidad en ft /momento?
¿Es la ola asciende a ciclo / ft, y ? es la longitud de onda en el ft /ciclo.

2.2.4 Índice de condición del pavimento (PCI – pavement condition index)

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “*valores deducidos*”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

2.2.5 Pavimento

Se denomina pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas.

Es importante considerar que el aspecto más importante en la estructura de pavimento es el que tiene que ver con la resistencia de las capas, la cual debe ser la adecuada para atenuar los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

Puesto que los esfuerzos de un pavimento decrecen con la profundidad, se deberá colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor capacidad los que se colocan en las capas inferiores, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en el pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objeto es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente este se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

2.2.6. Resumen de Evaluación Estructural

Consiste en la medida de la respuesta directa de las deformaciones del pavimento mediante un ensayo de carga de impacto controlado.

Este ensayo no destructivo nos permite registrar las deflexiones superficiales las cuales apoyándonos en modelos empíricos mecanicistas son utilizadas para realizar estudios de la estructura del pavimento, entre los que se encuentran: capacidad estructural y diseño de rehabilitaciones, estimación de

vida remanente, control de diseño en el proceso constructivo, evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen las capas de una estructura, evaluación de transferencia de carga en juntas y grietas, entre otros. Nos permite identificar las zonas con nivel similar de registro de deflexiones constituyendo una herramienta objetiva para la ramificación del pavimento en su característica estructural.

Los Trabajos de Campo se realizan por el método No Destructivo usando el equipo denominado FWD (Falling Weight Deflectometer), de marca KUAB Modelo 50.

Deflectómetro de impacto:

Es un equipo utilizado para la evaluación del estado estructural del pavimento flexible, semirrígidos y rígidos. El operador controla todas las funciones del Deflectómetro desde el ordenador que se instala en el vehículo remolcador (en caso de ser con remolque). Este proceso permite a un solo operador realizar el trabajo de medición de manera fácil y sencilla.

Estos equipos están dotados de la tecnología más avanzada. Poseen programas que incorporan alarmas que aparecen en la pantalla del ordenador. Si el operador ignora advertencias vitales, no puede efectuar algunas funciones con el FWD, por ejemplo, en conexión con la medición de la temperatura del pavimento: Después de introducir el sensor de temperatura del asfalto, el sensor detecta cuando la temperatura es estable.

Se mide la temperatura mientras la placa de carga está apoyada sobre el pavimento y no se puede elevar antes de que el sensor de temperatura se haya colocado en su receptáculo. El equipo no se puede conducir a otra ubicación cuando la placa de carga está abajo y los interruptores de emergencia, colocados estratégicamente, permiten al operador detener el equipo en cualquier momento por medio del accionamiento manual.

La principal aportación del Deflectómetro de impacto frente a los equipos clásicos de Deflectómetro, es el análisis de la capacidad de soporte mediante el cálculo inverso de los módulos de rigidez de las capas de firme a partir de los cuencos de deflexión registrados.

2.2.7. La rugosidad de pavimentos en aeropuertos

Objetivo

Este documento proporciona a los operadores de aeropuertos procedimientos de evaluación del perfil de la superficie de pavimentos en términos de rugosidad y el impacto que la rugosidad del pavimento puede tener en los aviones civiles.

Factores importantes en la evaluación de la rugosidad del pavimento

a. Irregularidades en la superficie del pavimento. Las superficies de los pavimentos de aeropuertos deben estar libres de irregularidades que pueden afectar la seguridad de las operaciones, causar daño, o aumentar la fatiga estructural de un avión. Los ingenieros se refieren a estas irregularidades de la superficie como rugosidad del pavimento o la falta de lisura. Debido a las grandes diferencias en el tamaño y la performance del avión, la industria de la aviación ha desarrollado la forma de cuantificar la rugosidad en términos que tengan significado para la operación de los aviones.

Rugosidad de Aeropuertos frente a Carreteras.

Single Bump Event. Son zonas aisladas donde ocurren cambios en la elevación del pavimento sobre una distancia relativamente corta de 100 metros (328 pies) o menos. Tales cambios de elevación pueden ocurrir como un levantamiento vertical, abrupto o como una deformación más gradual a partir de un perfil de pavimento previsto. Dependiendo de la velocidad de operación y la longitud de la irregularidad, el sistema de suspensión del avión puede no ser capaz de absorber por completo la energía producida cuando encuentra la irregularidad. Los componentes de los aviones y ocupantes sienten el impacto como un golpe o una sacudida repentina.

2.2.7.1. Evaluación bumps en pavimentos de pista de aterrizaje

Introducción

Cambios de elevación adversas sobre el pavimento de la pista de aterrizaje pueden incrementar los esfuerzos en los componentes de avión, reducir la eficacia de frenado, dificultar la lectura de los instrumentos de cabina para los pilotos, y / o causar molestias a los pasajeros. Típicamente, grandes golpes de longitud de onda son los más frecuentes, pero no son generalmente visibles a simple vista. La altura de las irregularidades más crítico asociado con estos grandes golpes de longitud de onda depende de la relación entre la longitud de onda y la frecuencia natural de la aeronave. El simple paso por una irregularidad o una deformación vertical con longitud cero, es decir, un deformación vertical u fallo en el pavimento de superficie-rara vez causa problemas en servicio debido a que el tamaño del paso esta por lo general dentro del intervalo aceptable, como se indica en la **Figura N° 10**.

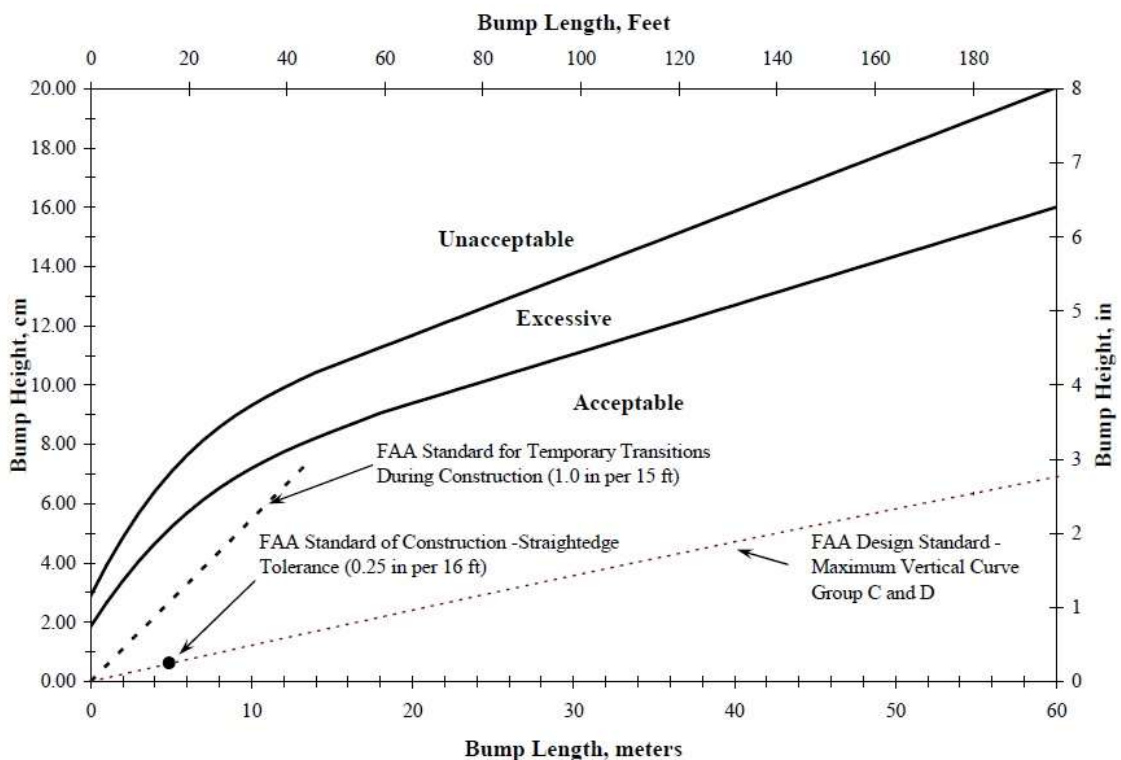


Figura N° 10 Grafico de Evalaucion

Este capítulo proporciona orientación sobre la evaluación del perfil de la superficie del pavimento para identificar desviaciones potenciales individuales de la superficie que pueden afectar las operaciones de aviones. La guía, basada en los aviones de transporte a reacción completamente cargados que operan a velocidades cercanas a la de rotación (130 a 200 nudos), es apropiada para aplicaciones de pista. Proporciona resultados conservadores para las áreas de pavimento con movimiento lento de tráfico, tales como calles de rodaje o plataformas.

2.2.7.2. Procedimiento de identificación de Boeing Bump

- a. Procedimiento. La base del método Boeing Bump es construir una regla virtual entre dos puntos en el perfil de elevación longitudinal de una pista de aterrizaje y medir la desviación de la regla para la superficie del pavimento. (NOTA: Una regla virtual es una línea imaginaria entre dos puntos en el perfil, y no se pretende dar a entender una herramienta o mecanismo físico). El procedimiento informa "Bump Height" como una desviación máxima (positiva o negativa) de la regla a la superficie del pavimento como se ilustra en la **Figura 11-1**. "Bump length" es la distancia más corta desde cualquier extremo de la regla a la ubicación donde se mide el Máximo Bump Height. La gráfica del BUMP HEIGHT y BUMP LENGTH contrastando con los criterios de aceptación se detallan en la **Figura Nº 11**

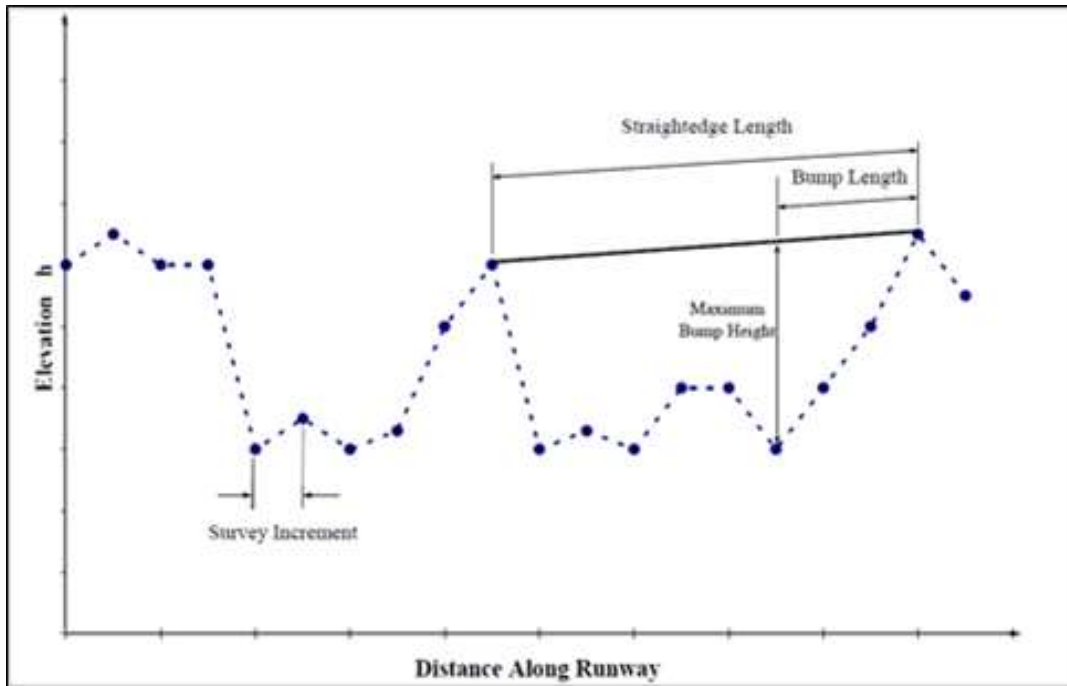


Figura 11-1

- b. **Máxima Longitud de la Regla.** El procedimiento del Boeing Bump considera longitudes de regla (longitudes de onda) hasta 120 metros (394 pies). Debido a que los objetivos del procedimiento Boeing Bump son particulares, la terminología “longitud de onda” se reemplaza por “Bump Length”. Investigaciones realizadas por Boeing demuestran que longitudes de bump mayores a 120 metros (394 pies) no inciden en la respuesta dinámica del avión o impactan negativamente en el avión.
- c. **Mínima Longitud de la Regla.** La longitud mínima de la regla depende del espaciamiento de la muestra o intervalo de medición de los datos del perfil. La longitud mínima es igual a dos veces el intervalo de medición. El método requiere un mínimo de tres puntos de datos de perfil para obtener una desviación de la regla. Los dos puntos exteriores definen los extremos de la regla, y el punto más interior proporciona una desviación perfil. El estándar de la FAA para el espaciamiento de la muestra es de 0,25 metros (0.82 pies) para la evaluación de la Boeing Bump. Por lo tanto, la longitud mínima regla es de 0.5 metros (1.64 pies).
- d. **Número de Reglas asociadas con el intervalo de medición.** El número de reglas asociados con cualquier punto de medición depende de la

dimensión del intervalo de medición. Cada punto puede tener N_s reglas asociados a ella, siempre que:

$$N_s = \left(\frac{\text{Máxima Longitud Regla}}{\text{Intervalo Medición}} \right) - 1$$

Donde:

Máxima Longitud de Regla = 120 m (394 pies)

Intervalo de medición = 0.25 m (0.82 pies) unidades consistentes con regla

Para la configuración estándar de la FAA:

$$N_s = \left(\frac{120}{0.25} \right) - 1 = 479$$

En cualquier punto del perfil de la muestra, el procedimiento permite la construcción de una regla con (a) en el principio de la regla, (b) al final de la regla, o (c) el punto en cualquier incremento a lo largo de la longitud de la regla. Con cada posible configuración regla, el procedimiento calcula la altura Bump Height y Bump Length, como se define aquí:

- (1) **Bump Height.** Es la distancia vertical máxima de la regla hasta el punto del perfil para todas las posiciones de la regla a lo largo del perfil. Las unidades son centímetros (pulgadas).
- (2) **Bump Length.** Es la menor distancia (a) desde la posición del Bump Height hacia el inicio de la regla o (b) la distancia desde el final de la regla hacia la posición del Bump Height. Las unidades son en metros (pies).
 - a. **Recomendación de intervalo de medición.** La precisión del procedimiento de Boeing Bump, o su capacidad para representar las condiciones de campo, aumenta a medida que disminuye el intervalo de medición. Porque la precisión de los cambios en el procedimiento si los intervalos de medición cambian, la FAA requiere un intervalo de medición de 0.25 metros (0.82 pies) para la evaluación del Boeing Bump.
 - b. **Recomendación para ubicación de medición.** La ubicación del tren principal del Avión con relación al eje de la pista de aterrizaje varía de

avión a avión, pero no es necesario para que coincida exactamente la localización del tren principal del avión con la ubicación del perfil de la superficie. La FAA recomienda medir el perfil de superficie de la pista a lo largo del eje y un desplazamiento lateral (izquierda y derecha) que se aproxima a los aviones que utilizan el aeropuerto. A 3.05 m (10 pies) de distancia paralela se puede abarcar de manera efectiva los aviones Airplane Design Group (ADG) II y III, mientras que con 5.22 metros (17.5 pies) de distancia paralela se puede abarcar aviones ADG IV, V y VI. Ejecutar las mediciones en todas las ubicaciones si el tráfico en una determinada instalación contiene todos los grupos de avión. Evaluar cada perfil, de acuerdo con la sección 2.3. Evitar desviaciones significativas en la superficie, como junta longitudinal o hilera de luces a menos que se evalúa su impacto en la rugosidad.

- c. **Uso de Perfiló metros Inerciales con Filtros Highpass.** El procesamiento de datos para carreteras típicas y perfiló metros inerciales ligeros incluye filtrado Highpass en la señal del acelerómetro antes de la integración para evitar errores de desplazamiento y reducir los errores debido al tránsito en el cambio del frenado y aceleración del vehículo de prueba. Los filtros Highpass pueden tener un efecto significativo en el cálculo del Boeing Bump Index (ver sección 2.4 a) y la simulación de aceleraciones de avión porque estos cálculos tienen en cuenta irregularidades de mayor longitud en el perfil que en el cálculo de los índices de carretera típicos tales como el IRI. En las Carreteras típicas los perfiló metros inerciales ligeros también generan errores significativos si los perfiles se miden durante la aceleración, frenado y curvas del vehículo de prueba. Perfiles de pista de umbral a umbral son, por tanto, difíciles de medir sin introducir errores significativos cerca de los umbrales. Por esta razón, el uso de los perfiló metros inerciales que incluyen el filtrado Highpass no se recomienda para la medición de los perfiles que se van a utilizar para el cálculo de los índices de BBI o aceleraciones avión simulados en los pavimentos aeroportuarios.

2.2.7.3. Evaluación de Parámetros Boeing Bump

a. Procedimiento. Evaluar cada combinación de Bump Height y Bump Length contrastando la Figura N° 11. La figura N° 11 reproduce los criterios presentados (Figura 10 de Boeing Documento D6-81746) y muestra los límites de la rugosidad del pavimento aceptable, excesivo o inaceptable asociado con una sola irregularidad. Boeing ha desarrollado los criterios basados en la experiencia operativa para irregularidades individuales que describen el estado general de un pavimento de la pista. Los criterios no proporcionan un análisis detallado de la respuesta del avión ni tratan de abordar el problema de raíz media cuadrática de la rugosidad. Los criterios también no abarcan los efectos de una serie de ondas de longitud larga de la ondulación donde la respuesta de frecuencia de avión es importante. Mediante la eliminación de los factores de respuesta de la raíz cuadrada media y frecuencia, este procedimiento simplificado se puede aplicar a todos los aviones de transporte de reacción independientemente de diseño estructural o características físicas.

b. **Criterios.** Los criterios de evaluación en la Figura N° 11 definen las condiciones de funcionamiento y el impacto estructural para la aeronave.

(1) **Aceptable.** La FAA espera que el pavimento recién construido o rehabilitado dará lugar a combinaciones de Bump Height y Bump Length que estén dentro de la región inferior del rango aceptable. Las tolerancias de construcción descritos en los puntos P-401 y P-501 de la CA 150/5370-10 permiten 0.64 centímetros (0.25 pulgadas) en 4.8 metros (16 pies), como se indica en la Figura N° 11. Las operaciones en este rango son aceptables para todos los aviones. Para pavimento envejecidos, diversos factores como el levantamiento por heladas o fallas del pavimento aislados generaran combinaciones de Bump Height y Bump Length sobre el límite de rango aceptable.

La experiencia indica que los pilotos comienzan a reportar rugosidad excesiva cuando las condiciones se acercan más al rango excesivo. Cuando los reportes de los pilotos comienzan, los operadores aeroportuarios deben comenzar a identificar los lugares con

irregularidades (BUMP) y preparar las acciones correctivas. Estas preparaciones deben incluir la actividad de mantenimiento programado para controlar el perfil de pavimento.

Cuando la rugosidad está encima de la zona aceptable, la fatiga del tren principal del avión es más crítico que la incomodidad del pasajero o limitaciones de aceleración en la cabina.

(2) **Excesivo.** La FAA impulsa a los operadores de aeropuertos para reparar pavimentos cuando los niveles de rugosidad entran en la zona EXCESIVO. La respuesta del avión a niveles excesivos de rugosidad es notablemente intolerable tanto para tripulación del avión y pasajeros. Rugosidades de esta magnitud generan malestar agudo para todos los ocupantes del avión. Las interferencias en los instrumentos de la cabina pueden ser graves. Este nivel de rugosidad también puede resultar en una incapacidad a corto plazo para operar el avión así como la reducción significativa del morro y la reducción de la resistencia a la fatiga del tren de aterrizaje. Reparaciones de pavimento inmediatas son necesarias en este nivel, pero no se requiere el cierre del pavimento afectado.

(3) **Inaceptable.** Niveles de rugosidad en la zona inaceptable justifican el cierre inmediato del pavimento afectado. Las reparaciones son necesarias para restaurar el pavimento a un nivel aceptable.

2.2.7.4. Desarrollo del Boeing Bump Index

a. Necesidad. La aplicación del método Boeing Bump en un perfil del pavimento consume mucho tiempo y la tarea es tediosa, ya que cada punto medido en el perfil debe ser evaluado para todas las posibles longitudes de la regla. Para cualquier caso particular de la rugosidad de la pista, tanto Bump Height y Bump Length son significativos, sobre todo al considerar las estrategias para la reducción de la rugosidad a través del mantenimiento. Para resumir los criterios Bump y comparar criterios Bump calculados con otras medidas de la rugosidad, la FAA ha creado un parámetro adicional para el procedimiento de Boeing Bump. Este nuevo índice, llamado el

“Boeing Bump Index” (Índice de irregularidad Boeing), se determina por el siguiente proceso:

- (1) Para un punto seleccionado en el perfil, calcular la altura Bump Height y Bump Length para todas las longitudes de regla.
- (2) Para cada longitud de regla, calcular el límite de aceptación Bump Height (límite superior de la zona aceptable) para el Bump Length calculado.
- (3) Para cada longitud de regla, calcular la relación (Bump Height medido/Límite de aceptación Bump Height).
- (4) Repetir los pasos (1) al (4) para todos los puntos del perfil.

El BBI para el punto de la muestra seleccionada es el más alto de todos los valores calculados en el paso (3) para el punto seleccionado. Si el índice calculado es inferior a 1.0 la rugosidad está en la zona ACEPTABLE; si es mayor que 1.0 está en la zona EXCESIVA o INACEPTABLE.

- b. Desarrollo de Software para Calcular el Boeing Bump Index. Para ayudar en el desarrollo de un programa informático para calcular el BBI, la FAA ha creado modelos matemáticos para los criterios de las curvas superior e inferior, como se indica a continuación:

- (1) Curva Límite Inferior (Límite superior de la zona ACEPTABLE)

$$H = 1.713187 + 0.800872L - 0.031265L^2 + 0.000549L^3 \text{ (para } L < 20 \text{ m)}$$

$$H = 6.4 + 0.16L \text{ (para } 20 < L < 60 \text{ m)}$$

- (2) Curva Límite Superior (Límite superior de la zona EXCESIVO)

$$H = 2.747222 + 1.433399L - 0.183730L^2 + 0.013426L^3 \text{ (para } L < 5 \text{ m)}$$

$$H = 2.7590 + 1.085822L - 0.053024L^2 + 0.001077L^3 \text{ (para } 5 < L < 20 \text{ m)}$$

$$H = 7.775 + 0.20375L \text{ (para } 20 < L < 60 \text{ m)}$$

Donde:

$$H = \text{Bump Height (cm)}$$

$$L = \text{Bump Length (m)}$$

- c. Software ProFAA. La FAA desarrollo el software ProFAA para el cálculo del BBI.
- d. Comparación con el procedimiento Boeing Bump original. El procedimiento Boeing Bump Index varía ligeramente del procedimiento original Boeing

Bump, porque este último método se basa en el procesamiento manual de datos. Además,

(1) El Bump Length se define en el documento Boeing D6-81746 está en un mínimo o máximo local. No puede haber varios mínimos locales o máximos para una longitud regla dada. Es de suponer que la peor combinación de bump height y bump length gobierna con este método. No puede haber varios mínimos locales o máximos para una longitud regla dada. Es de suponer que la peor combinación de bump height y bump length rige con este método.

(2) ProFAA Bump Length está para la combinación que da la máxima BBI en un punto del perfil, que no es necesariamente a un máximo o mínimo.

2.2.7.5. Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI

a. **Criterion de evaluation.** Evaluación del perfil del pavimento el BBI es similar a la realizada con el método Boeing Bump. Dado que el BBI se basa en las mismas tres zonas de rugosidad, las descripciones de estas zonas en el párrafo se aplican a los rangos correspondientes de la BBI.

La Figura N° 13 expresa los conceptos de la Figura N° 10 en términos de BBI en función del Bump Length. La Figura N° 12 (2-4) recrea las zonas de evaluación aceptables, excesivas, e inaceptables de la Figura N° 10 en términos de BBI. Cuando el valor de BBI es inferior a 1.0, el criterio Boeing Bump está en la zona ACEPTABLE. Valores de BBI mayor que 1.0 se encuentran en las zonas EXCESIVAS o INACEPTABLES.

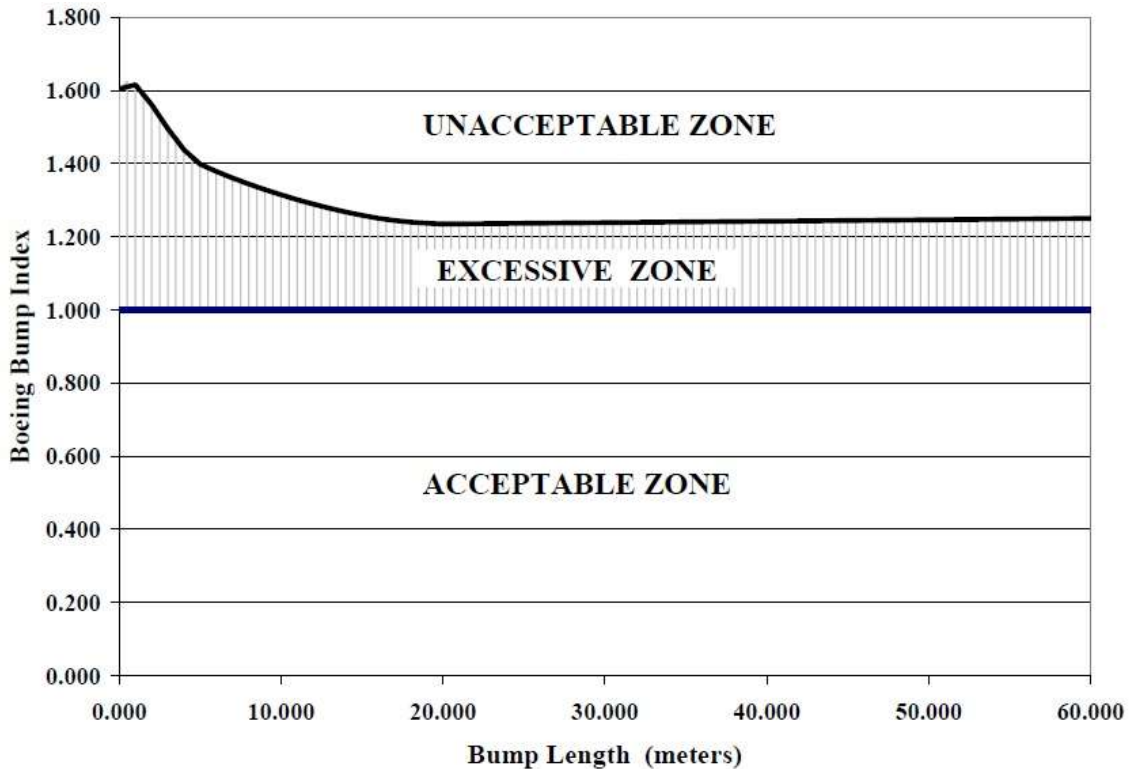


Figura Nº 11 Grafica de Zonas de Evaluación

2.2.8. Evaluación Superficial:

La Evaluación Superficial del Pavimento, consiste en la recopilación de las fallas en el pavimento por medio de guías en las cuales se colocan la localización de la falla, su severidad y la longitud o área de falla según sea el caso, este relevamiento e fallas se realizan de acuerdo a las **normas ASTM** para aeropuertos toda información que permita establecer los parámetros que reflejen el comportamiento funcional – estructural del Pavimento en servicio; en tal sentido los principales deterioros levantados en campo son los siguientes:

A) PAVIMENTO FLEXIBLE

Falla 1: Piel de cocodrilo

La piel de cocodrilo es una serie de **grietas interconectadas debido a la fatiga del pavimento** que es producido por la alta densidad de tráfico soportado por el pavimento. Las grietas se originan en la superficie del pavimento debido a la alta tensión de tracción que es originado por las

ruedas de la aeronave. Las grietas se propagan a la superficie inicialmente como una serie de grietas paralelas.



Falla 1: Piel de cocodrilo

Falla 2: Exudación

La exudación es una película de bituminosa material sobre la superficie del pavimento que crea un brillante, vidrio como, superficie reflectante que generalmente se vuelve muy pegajosa.

La exudación es causada por cantidades excesivas de cemento asfáltico o alquitranes en la mezcla o de bajo contenido de vacíos de aire, o ambos. Se produce cuando el asfalto llena los huecos de la mezcla durante el tiempo caliente y luego se expande hacia fuera sobre la superficie del pavimento. Desde el proceso de sangrado no es reversible durante el tiempo frío, asfalto o alquitrán se acumula en la superficie



Falla 2: Exudación

Falla 3: Agrietamiento en bloque

El agrietamiento en bloque se interconectan grietas que dividen el pavimento en aproximadamente rectangular piezas. Los bloques pueden variar en tamaño desde aproximadamente 1 por 1 ft a 10 por 10 ft (0.3 por 0.3 m a 3 para el 3m). El agrietamiento en bloque se da principalmente por contracción del asfalto concreto y diariamente la temperatura montando en bicicleta (que resultados en el ciclismo de tensión / tensión diario). No es la carga asociada. La ocurrencia del bloque estallando Normalmente indica que el asfalto ha endurecido significativamente. El agrietamiento en bloque normalmente ocurre sobre una porción grande del área de pavimento, pero a veces sólo en las áreas de normal tráfico. Este tipo de falla difiere de la piel de cocodrilo en que las rupturas de caimán forman las piezas más pequeñas, de varios lados con ángulos agudos. También diferente de rupturas de bloque, rupturas de cocodrilo causado por el tráfico repetido de carga y es, por lo tanto, ver sólo en las áreas de tráfico (es decir, hacen rodar los caminos).



Falla 3: Agrietamiento en bloque

Falla 4: Corrugación

Son ondulaciones que se producen en el pavimento a intervalos (generalmente menos de 5 pies o 1.5m) a lo largo del pavimento, las ondulaciones son

perpendiculares a la dirección del tráfico, y se produce por la acción combinada del pavimento inestable o base.



Falla 4: Corrugación

Falla 5: Depresión

Las Depresiones son áreas en su superficie de pavimento que son más bajas que en los del pavimento circundante, en muchos casos las depresiones ligeras, estas no se notan hasta después de una lluvia en donde el agua se almacena formando charcos de agua se conocen como "bebedero para pájaros" también pueden localizarse cuando no hay lluvia debido a las manchas creadas por el encharcamiento de agua, las depresiones



Falla 5: Depresión

Falla 6: Erosión por fatiga

La ráfaga por erosión provoca zonas oscuras donde está el material ligante bituminoso quemándolo o carbonizándolo; las áreas quemadas localizadas pueden variar en profundidad hasta aproximadamente 1/2" (13mm)



Falla 6: Erosión por fatiga

Falla 7: Grieta de reflexión de junta

Este tipo de falla se produce en el paso de un pavimento rígido a otro flexible y/o viceversa. El agrietamiento de cualquier otro tipo de base (es decir estabilizada con cemento, cal) se consideran como grietas longitudinales y transversales; la reflexión de junta es causada por el movimiento de las losas rígida y asfáltica, debido a los cambios térmicos y de humedad, no está relacionado con la carga, sin embargo la carga de tránsito causa el deterioro más en el pavimento lo que resulta en desprendimiento de material (FOD) el conocimiento de las dimensiones de las grietas en una losa de concreto asfáltico ayudara a identificar el grado de severidad.



Falla 7: Grieta de reflexión de junta

Falla 8: Grieta longitudinal y transversa

Este agrietamiento es debido a la contracción del pavimento asfáltico, originando endurecimiento del pavimento, esto se debe a las bajas temperaturas que es expuesto el pavimento, también por una ruptura reflexiva causada por rupturas debajo del curso superficial, incluyendo rupturas en PCC aserran en costeros (pero no a PCC acoplan).



Falla 8: Grieta longitudinal y transversa

Falla 9: Derrames de aceite y/o líquidos disolventes

El derrame de aceite y/o otros líquidos disolventes (gasolina, petróleo, etc.) originan el ablandamiento del pavimento.



Falla 9: Derrames de aceite y/o líquidos disolventes

Falla 10: Parche

Un parche se considera una falla en el pavimento no importa lo bien que este se encuentre.



Falla 10: Parche

Falla 11: Pulimiento de Agregados

El pulimiento de agregados en el pavimento es causado por el tráfico continuo que sufre el pavimento y está presente cuando se realiza un examen minucioso del pavimento y este revela que la porción de agregado que se extiende por encima del asfalto es muy pequeño o no hay partículas de agregado ásperas para proporcionar una resistencia adecuada al deslizamiento.



Falla 11: Pulimiento de Agregados

Falla 12: Ahuellamiento

Es una depresión (surco) en la superficie del pavimento originado en la misma trayectoria de la rueda, puede ocurrir un levantamiento del pavimento en los lados de la trayectoria de la rueda del avión, sin embargo estos surcos son perceptibles solo después de la lluvia, cuando los caminos de la rueda se llenan con agua originando una deformación permanente en cualquiera de los lados del pavimento, debido a que las capas del pavimento causan un movimiento lateral de los materiales esto se debe a la cargas en exceso de tráfico aéreo, el ahuellamiento puede conducir a una falla estructural del pavimento.



Falla 12: Ahuellamiento

Falla 13: Desplazamiento de pavimento asfaltico por losas rígidas

Se origina al por el aumento del pavimento que colindan rígidos con flexibles (comúnmente referido como el crecimiento del pavimento), este crecimiento empuja los pavimentos asfalticos haciendo que estos se hinchen o agrieten el crecimiento de la losa rígida (PCC) se debe a una apertura progresiva de las juntas ya que estas están llenas de material incompresibles que les impiden volver a cerrar.



Falla 13: Desplazamiento de pavimento asfaltico por losas rígidas

Falla 14: Deslizamiento agrietados

Son deslizamientos de grietas de forma de media luna, tiene dos extremos apuntando lejos de la dirección de tráfico se producen al frenar las ruedas de la nave en el momento de aterrizaje, esto suele ocurrir cuando hay una mezcla de superficie de baja resistencia o mala unión entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento.



Falla 14: Deslizamiento agrietados

Falla 15 Hinchamiento

Esta falla esta caracterizada por un hinchamiento de la masa en la superficie pavimentada. Un hinchamiento puede ocurrir de forma puntual en un área localizada o en forma de onda gradual en un área mayor.



Falla 15 Hinchamiento

B) PAVIMENTO RÍGIDO

Falla 1: Estallido

Estallidos ocurren en climas cálidos, por lo general en una grieta transversal o conjunto de grietas Cuando la expansión no puede aliviar la presión suficiente, ocurre un movimiento hacia arriba localizada de los bordes de la losa (pandeo) o rompiendo se producirá en las proximidades de la articulación. El estallido puede también se producen en los recortes de servicios públicos y las entradas de drenaje. Este tipo de falla casi siempre se repara de inmediato debido a graves daños potenciales a la aeronave.



Falla 1: Estallido

Falla 2: Grieta de esquina

Una grieta de esquina es una grieta que cruza las esquinas a una distancia menor o igual a la mitad de la longitud de la losa en ambos lados, medida desde la esquina de la losa.

Por ejemplo, una losa con dimensiones de 25 por 25 pies (7,5 por 7,5 m) que tiene una grieta se cruzan la esquina 5 pies (1,5 m) de la esquina en un lado y 17 pies (5 m) en el otro lado no es considera una ruptura de esquina ; se trata de una grieta diagonal . Sin embargo, una grieta que cruza 7 pies (2 m) de un lado y 10 pies (3 m) en la otra se considera una ruptura de esquina.



Falla 2: Grieta de esquina

3. Grietas longitudinales, transversales y diagonales

Estas grietas, que divide la losa en dos o tres piezas, son causadas normalmente por una combinación de la repetición de carga, tensiones y contracciones.



Falla 3: **Grietas longitudinales, transversales y diagonales**

Falla 4: Fisuras de durabilidad (“D”)

La fisura de durabilidad se causa por la incapacidad del concreto para resistir factores ambientales tales como ciclos de deshielo de helada. Por lo general, aparece como un patrón de grietas que ejecutan paralelo a una grieta articulación o lineal. Una coloración oscura normalmente pueden verse alrededor de las rupturas de durabilidad excelente. Este tipo de agrietamiento eventualmente puede llevar a la desintegración del concreto dentro de 1 a 2 ft (0.3 a 0.6 m) de la junta o grieta.



Falla 4: Fisuras de durabilidad (“D”)

Falla 5: Falla por sello de junta

El daño en sello de juntas es cualquier condición que habilita suelo o ruina para acumularse en las juntas o permite la infiltración significativa del agua. La acumulación de materiales incompresibles evita que las losas de expansión y puede dar lugar a pandeo, rompiendo, o desconchado. Un relleno de juntas flexibles unido a los bordes de las losas protege las articulaciones de acumulación de materiales y también evita que el agua se filtre hacia abajo y la base de apoyo de ablandamiento de la losa. Los tipos típicos de daño en sello de la junta son: (1) Pérdida del sello en la junta (2) la extrusión de sellador de juntas, (3) el crecimiento de malezas, (4) endurecimiento del material de carga (oxidación), (5) la pérdida de unión a la losa bordes, y (6) la falta o ausencia de sellador en la junta permite la acumulación de materiales no deseados, como la acumulación de agua que deteriora la losa.



Falla 5: Falla por sello de junta

Falla 6: Parches pequeños

El parche es un área donde el pavimento original ha sido quitado y reemplazado por un material de relleno. Para evaluación de condición, remendando sea dividido en dos tipos: pequeño (menos de 5 ft² (0.5 m²)) y grande (sobre 5 ft²). Los parches grandes se describen en la próxima sección.



Falla 6: Parches pequeños

Falla 7: Parches grandes

El parche es definido igual que en la sección previa. un corte de uso práctico es un parche que ha reemplazado al pavimento original debido a la colocación de los servicios públicos subterráneas. Los niveles de severidad de un corte de uso práctico son igual que esos para el regular el parche.



Falla 7: Parches grandes

Falla 8: Perdida repentina

Es un pequeño trozo de pavimento que se desprende de la superficie debido a la acción de congelación y descongelación en combinación con agregados expansivos. Perdidas repentinas por lo general van de aproximadamente 1 a 4 pulgadas (25 a 100 mm) de diámetro y De 1/2 a 2 pulgadas (13 a 51 mm) de profundidad.



Falla 8: Perdida repentina

Falla 9: Bombeo

Bombeo es la expulsión del material por agua a través de uniones o rupturas causado por desviación de la losa bajo cargas de aeronaves. Cuando el agua expulsa se, lleva partículas de la grava, arena, agregado, u obstruya con cieno resultando en una pérdida progresiva de apoyo de pavimento. Trabaje en la superficie manchando y base en o material de rasante en el pavimento cerca de uniones o rupturas es la evidencia de la impulsión. Bombear las uniones cercanas indica las sellador y pérdida unidas pobres del apoyo, que llevarán al craqueo bajo repetido carga. El sello unido se debe identificar como la persona mentalmente insuficiente antes de accionar una bomba puede ser antes mencionado para existir. La impulsión puede ocurrir a rupturas así como uniones.



Falla 9: Bombeo

Falla 10: Desprendimiento, Fisuras erráticas, mapa de fisuras

El mapa de grietas o agrietamiento se refiere a un la red de grietas, profundas o grietas poco profundas que se extienden solamente a través de la superficie superior del hormigón. Las grietas tienden a unirse en ángulos de 120 °. El mapa de grietas o agrietamiento es generalmente causada por sobre el acabado del hormigón y puede conducir a la ampliación de la superficie, que es la ruptura de la superficie de la losa a una profundidad de aproximadamente 1/4 a 1/2 pulg. (6 a 13 mm) .

También es causado por sales de deshielo, Otra fuente reconocida en la aparición de esta falla es la reacción entre los álcalis (Na_2O y K_2O) en algunos cementos y ciertos minerales en algunos agregados. Productos formado por la reacción entre los álcalis y agregada dan lugar a expansiones que causan una ruptura en el hormigón.



Falla 10: Desprendimiento, Fisuras erráticas, mapa de fisuras

Falla 11: Asentamiento

Es la diferencia de elevación en una junta o grieta causada por consolidación



Falla 11: Asentamiento

Falla 12: Losa fragmentada

Son grietas que rompen la losa en cuatro o más piezas debido a sobrecarga o un apoyo insuficiente, o ambos.



Falla 12: Losa fragmentada

Falla 13: Fisuras por retracción

Las grietas de contracción son grietas finas que son por lo general sólo unos pocos pies (centímetros) de largo y no se extienden a través de toda la losa. Se forman durante el fraguado y curado del hormigón y por lo general no se extienden a través de la profundidad de la losa.



Falla 13: Fisuras por retracción

Falla 14: Desprendimiento en junta

El desprendimiento en junta es la avería de los bordes de la losa dentro de 2 ft (0.6m) del lado de la unión. Un desprendimiento de junta normalmente no extiende verticalmente a través de la losa pero cruza la unión en ángulo. Los desprendimientos son resultados de las tensiones excesivas a la unión o grieta causado por infiltración de los materiales apretados incompresibles o la carga de tráfico. El concreto débil a la unión (causado haciendo trabajar con exceso) combinado con las cargas de tráfico es otra causa de

desprendimiento.



Falla 14: Desprendimiento en junta

Falla 15: Desprendimiento en esquina

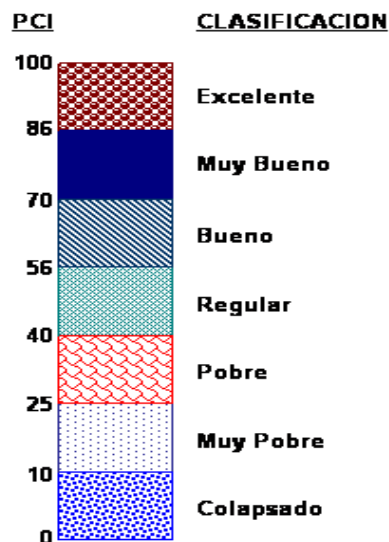
Desprendimiento en esquina son la deshiladura o avería de la losa dentro de aproximadamente 2 ft (0.6m) de la esquina. Un desprendimiento de esquina difiere de una rotura de esquina en que el desprendimiento normalmente dobla en ángulo hacia abajo para cruzar la unión, mientras que una rotura se extiende verticalmente a través de la losa.



Falla 15: Desprendimiento en esquina

2.2.4.1. Resumen del Método

El pavimento se divide en componentes que a su vez son divididos en secciones. Cada sección es dividida en unidades de muestra. El tipo y grado de severidad de las fallas en el pavimento del aeropuerto son establecidos mediante la inspección visual de las unidades de muestra. La cantidad de las fallas se mide según lo descrito en el Apéndice. La información sobre las fallas es utilizada para calcular el PCI de cada unidad de muestra. El PCI de la sección de pavimento se determina en base a los valores del PCI determinados para cada una de las unidades de muestra.



Significado y uso

El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Un monitoreo continuo del PCI es utilizado para establecer el ritmo de deterioro

del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores. El PCI proporciona información sobre el rendimiento del pavimento para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento.

Herramientas

Hojas de datos, o cualquier sistema de almacenamiento de información en campo que permita registrar: fecha, ubicación, componente, sección, tamaño de la unidad de muestra, número y tamaño de losa, tipos de falla, grado de severidad, cantidades, y nombre del encargado de la inspección. Un ejemplo de hoja de datos para pavimentos asfálticos (AC) y de hormigón de cemento Portland (PCC) respectivamente.

- Rueda odómetro manual, que permita leer al más cercano 0.1ft (30mm).
- Regla o hilo para nivel, solo para pavimentos asfálticos (AC), con una longitud de 10ft (3m).
- Regla de medición, de 12 in. (300mm) con precisión de 1/8 in. (3mm) o mayor. Una regla de 12-in. (300 mm) adicional es necesaria para medir asentamientos en pavimentos de hormigón (PCC).
- Plano de distribución, del aeropuerto a ser inspeccionado y en el que se puedan identificar a todos los componentes del pavimento.

Peligros

El tráfico es un peligro para los inspectores ya que deben caminar por el pavimento para realizar la inspección de sus condiciones. Las inspecciones deben ser aprobadas por y coordinadas con el personal de operación del aeropuerto.

Los ruidos producidos por las aeronaves pueden ser un peligro. Protectores auditivos deben estar disponibles para el inspector en todo momento en que se realicen trabajos en la pista principal.

2.2.8.1. Muestreo y Unidades de Muestra

Identificar en el plano áreas de pavimento con diferentes usos, como ser pistas, rodajes y plataformas.

Dividir cada uno de los componentes del pavimento en secciones de acuerdo a su diseño, historia de construcción, tráfico y condición.

Dividir las secciones en unidades de muestra. Si las juntas entre losas de un PCC tienen separaciones mayores a los 25 ft (8m) subdividir las losas en losas imaginarias. Las losas imaginarias deben tener un largo menor o igual a 25 ft (8m) y las juntas imaginarias dividiendo las losas deben ser consideradas en perfectas condiciones. Este procedimiento se debe aplicar por haberse desarrollado los valores de reducción para losas de PCC con longitudes menores o iguales a 25ft (8m).

Las unidades de muestra a ser inspeccionadas deben ser marcadas o identificadas de tal forma que permita a los inspectores y al personal de control de calidad ubicarlas fácilmente en la superficie del pavimento. Marcas de pintura en el borde del pavimento y esquemas con ubicaciones conectadas a características físicas en el pavimento son aceptables. El uso de clavos u otros objetos con riesgo de convertirse en FOD no se recomienda. Es necesario ser capaces de ubicar nuevamente una unidad de muestra para verificar la información de fallas actuales, para examinar cambios en la condición de una muestra en particular con el tiempo, y para permitir futuras inspecciones de la misma muestra en el futuro de ser necesarias.

Seleccionar las unidades de muestra 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.

Todas las unidades de muestra en una sección pueden inspeccionarse para determinar el valor PCI promedio de la sección. Sin embargo, esta posibilidad

se limita normalmente por la disponibilidad de mano de obra, recursos económicos y tiempo. El muestreo total es recomendable para el análisis de proyectos en los que se vayan a estimar las cantidades de mantenimiento y reparación necesarias.

El número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas (n) en una determinada sección, para obtener un nivel de confianza adecuado en los resultados del PCI (95% de confiabilidad), se calcula usando la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato superior.

$$n = Ns^2 / [(e^2/4)(N-1) + s^2]$$

Donde:

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

s = Desviación estándar del PCI entre una unidad de muestra y otra unidad de muestra de la misma sección. Cuando se realiza la inspección inicial la desviación estándar se asume para pavimentos de concreto asfáltico (AC) en 10 y para pavimentos de hormigón de cemento Pórtland (PCC) en 15. Esta suposición debe ser verificada posteriormente como se describe líneas abajo una vez se han determinado los valores del PCI. Para inspecciones posteriores se adopta el valor de desviación estándar de la inspección anterior en la determinación de n .

N = número total de unidades de muestra en la sección.

Si la obtención de un nivel de confianza del 95% es crítico, se debe verificar que el número de unidades de muestra inspeccionadas es el adecuado. El número de unidades de muestra se determinó inicialmente en base a una desviación estándar asumida. Se debe calcular la desviación estándar actual de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (PCI_i - PCI_f)^2 \right) / (n - 1)}$$

Donde:

PCli = PCI de la unidad de muestra *i*,

PCIf = PCI promedio de las unidades de muestra analizadas,

n = número total de unidades de muestra analizadas,

Calcular el número de unidades de muestra necesarias utilizando la Ec. 1 y la desviación estándar obtenida con la Ec. 2. Si el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas es mayor a las ya inspeccionadas, seleccionar e inspeccionar aleatoriamente unidades de muestra adicionales. Estas unidades adicionales deben estar distribuidas uniformemente dentro la sección. Repetir el proceso de verificación del número de unidades de muestra mínimo a ser inspeccionado e inspeccionar unidades de muestra adicionales hasta que el número total de muestras inspeccionadas sea igual o exceda el mínimo requerido de acuerdo a la Ec. 1 utilizando la desviación estándar actual.

Un nivel de confiabilidad menor al 95% puede ser usado dependiendo de las condiciones y objetivos de la inspección. Como ejemplo, la Tabla 1 resume el criterio utilizado por una entidad para determinar el número mínimo de unidades de muestra a ser inspeccionadas: **(Ver Tabla 1)**

Dada	Inspeccionar
1 a 5 unidades de muestras	1 unidad de muestra
6 a 10 unidades de muestras	2 unidades de muestra
11 a 15 unidades de muestras	3 unidades de muestra
16 a 40 unidades de muestras	4 unidades de muestra
Más de 40 unidades de muestras	10%

Tabla 1. Criterio alternativo para determinar el número de unidades de muestra a inspeccionar

Una vez que se ha determinado el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas, calcular o determinar el intervalo de espaciamiento entre las unidades utilizando un muestreo sistemático y aleatorio. Las muestras estarán distribuidas de manera uniforme en toda la extensión de la sección a partir de la primera muestra seleccionada al azar. El intervalo de espaciamiento (i) entre las unidades a ser inspeccionadas se calcula a través de la siguiente fórmula, redondeando el resultado al número entero inmediato inferior.

$$i = N / n$$

Donde:

N = número total de unidades de muestra en la sección.

n = número total de unidades de muestra a ser analizadas.

La primera muestra en ser analizada es seleccionada al azar del grupo de muestra 1 hasta i. Las demás unidades de muestra de una sección que se encuentren ubicadas a incrementos i de espaciamiento también deben ser inspeccionadas.

Unidades de muestras adicionales se deben analizar cuando presentan fallas no representativas de la sección, tal como fuera definido. Estas unidades son seleccionadas por el usuario.

2.2.8.2. Procedimiento para la inspección

Las definiciones y guías para la cuantificación de fallas y posterior determinación del PCI están detalladas en el Apéndice .X1 para pavimentos asfálticos (AC). Existen diversos textos relacionados con este tema, pero cuando la información en esos textos difiere de las definiciones expresadas en este método de evaluación, se utilizan las especificadas de esta norma.

2.2.8.3. Pavimentos de concreto asfáltico (AC)

Incluyendo pavimentos con superficies Porosas de alto grado de Fricción: Inspeccionar individualmente cada unidad de muestra elegida. Diagramar la

unidad de muestra, incluyendo su orientación. Registrar el componente, número de sección, y el número y tipo (aleatorio o adicional) de la unidad de muestra. Registrar el tamaño de la muestra midiéndola con el odómetro manual. Realizar la inspección de cada unidad de muestra, caminando por ella y midiendo el grado de deterioro de cada una de las fallas presentes, registrando dicha información. Las fallas deben coincidir con los tipos y grados de severidad descritos en el Apéndice X1. El método de medición se detalla junto a la descripción de cada falla. Las mediciones se deben realizar con una precisión de +/- 0.1ft (30mm) utilizando el odómetro manual. Resumir cada tipo de falla y grado de severidad en pies cuadrados o pies lineales (metro cuadrado o metro lineal), dependiendo del tipo de falla. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada. En el Apéndice X5 se muestra ejemplo de hoja de registro de información para inspecciones de la condición de pavimentos flexibles.

2.2.8.4. Pavimentos de Hormigón de Cemento Pórtland (PCC)

Inspeccionar individualmente cada unidad de muestra elegida. Realizar un bosquejo de la unidad de muestra mostrando la ubicación de las losas. Registrar el tamaño de la unidad de muestra, el componente al que pertenece, el número de la sección, y el número y tipo (aleatorio o adicional) de la unidad de muestra, su número de losas, y el tamaño de las mismas utilizando el odómetro manual. Registrar también, el tamaño de la muestra, usando un odómetro. Realizar la inspección de cada losa, caminando por ella y midiendo el grado de deterioro de cada una de las fallas presentes, registrando dicha información. Las fallas deben coincidir con los tipos y grados de severidad descritos en el Apéndice X2. Resumir cada tipo de falla, grado de severidad y número de losas dentro la unidad de muestra que contengan cada tipo y grado de severidad. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra que se vaya a inspeccionar. En el Apéndice Fig.X5 se muestra ejemplo de hoja de registro de información para inspecciones de la condición de pavimentos rígidos.

2.2.8.5 Cálculo del PCI para pavimentos de concreto asfáltico (AC), incluyendo superficies Porosas de alto grado de Fricción (Porous Friction Courses)

Sumar la cantidad total de cada tipo de falla y su grado de severidad, y registrarlas en la sección TOTAL. Por ejemplo, en la **Fig Nº 12**, se ingresaron cuatro datos para fallas de tipo número 8 “fisuras longitudinales y transversales”, 9M, 10B, 20B y 15B. La suma de las cantidades para cada nivel de severidad se ubica en la columna de TOTAL como 45 ft (14 m) de baja severidad (B), y 9 ft (3m) de media severidad (M). Las unidades de registro para las cantidades, dependiendo del tipo de falla, serán pies (metros), pies cuadrados (metros cuadrados) o número de ocurrencias.

Dividir el TOTAL de cada falla entre el área de la unidad de muestra inspeccionada (5000 pies cuadrados en este ejemplo, (Nota de Traducción) y multiplicar por 100 para obtener el porcentaje de la densidad de cada tipo de falla.

Determinar el Valor de Reducción (VR) para cada tipo de combinación de fallas y grados de severidad a partir de los valores de la curva de Valor de Reducción que se encuentran en el Apéndice.

PAVIMENTO DE ASFALTO EN AEROPUERTOS							DIAGRAMA:		
HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES									
PARA UNIDAD DE MUESTRA									
Componente:	Sección:			Unidad de muestra:					
Inspeccionado por:	Fecha:			Área de la muestra: 5000 ft ²					
1. Piel de cocodrilo	5. Depresión			9. Derrame de combustible			13. Ahuellamiento		
2. Exudación	6. Erosión chorro de turbina			10. Bacheos			14. PCC expuesto		
3. Fisura de bloque	7. Reflexión de juntas PCC			11. Agregado pulido			15. Fisura por deslizamiento		
4. Ondulación	8. Fisuras long. y transv.			12. Peladura			16. Hinchamiento		
severidad de falla	cantidad					TOTAL	DENSIDAD	REDUCCION	
8B	10	20	15			45	0.90	4.8	
8M	9					9	0.18	4.9	
1B	50					50	1	21	
13B	200	175				375	7.5	27	
13M	25					25	0.50	20	
5B	15					15	0.30	2	
5M	20					20	0.40	9	
10B	50					50	1	4	

Figura N° 12: Ejemplo de una hoja de inspección para pavimento asfáltico

B=L (Leve)

M=M (Medio)

$$\text{Densidad (D)} = \frac{100 \times 45}{5000} = 0.90$$

Calculo de PCI:

Si solo uno o ninguno de los VR es mayor a 5, la suma de los VRs es utilizada en lugar del máximo VRC para la determinación del PCI. De no ser así utilizar el siguiente procedimiento para determinar el máximo VRC.

Determinar m , el número máximo de fallas permitidas, de la siguiente manera:

$$m = 1 + (9/95) * (100 - \text{VAR}) < 10 \quad (\text{Ec. 4})$$

$$m = 1 + (9/95) * (100 - 27) = 7,92 \quad (\text{Ec. 5})$$

Fracción decimal = 0.92

VAR = valor individual de reducción más alto (Ec. 6)

Ingresar en la tabla de la Figura 6 los VRs en la primera fila en forma descendente, reemplazando el menor VR por el producto del mismo y la

fracción decimal del m calculado (para este ejemplo, multiplicar $2.0 \times 0.92 = 1.8$ y utilizar este valor como el menor en la primera fila, (Nota de traducción). Si el número de VRs es menor al valor de m , ingresar todos los VRs en la tabla. Si el número de VRs es mayor a m utilizar los m valores más altos solamente.

Sumar todos los valores de VRs de la fila y colocar ese valor en la columna de "Total", luego poner en la columna "q" el número de VRs que son mayores a 5. Para determinar el VRC se debe buscar la curva de corrección correcta, para pavimentos asfálticos, y obtenerlo en función a los valores de "Total" y "q". Copiar los VRs a la siguiente línea, cambiando el menor valor de VR mayor que 5 a 5. Luego repetir hasta que se cumpla "q" = 1.

El "máximo VRC" es el valor más alto de la columna VRC. (**Figura N° 13**)

Ordenar los VRs en forma decreciente e incluirlos en la tabla de la Figura N° 14. Para el ejemplo en la Figura 4 esto será: 27,0; 21,0; 20,0; 9,0; 4,9; 4,8; 4,0 y 2,0.

Determinar el número máximo permitido de VRs, m , utilizando la siguiente fórmula:

$$m = 1 + (9/95) * (100 - VAR) \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

m = Número permitido de VRs incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a 10).

VAR = Valor individual más alto de VR

Para el ejemplo en la **Figura N° 13**:

$$m = 1 + (9/95) * (100 - 27) = 7,92 \quad (\text{Ec. 8})$$

El número de VRs individuales se reduce a los m mayores números, incluyendo la parte fraccional. Para el ejemplo en la Figura 4, los valores son: 27, 21, 20, 9, 4.9, 4.8, 4.0 y 1.8 (este último valor se obtuvo multiplicando 2.0, que es el menor valor de los m valores mayores, multiplicado por 0.92, que es la fracción

de m ($7,92-7=0,92$). Si hay menos de m VRs disponibles, entonces se ingresan todos ellos.

Determinar el máximo VRC, iterativamente, de la siguiente manera (ver la **Figura N° 13**):

Obtener el total de los Valores deducidos (VRs), sumando los valores individuales. En éste ejemplo, que resulta ser 92,50.

Determinar “q”, que es el número de VRs mayores a 5.0. En el ejemplo de la **Figura N° 13**, $q = 4$

Determinar el VRC con la curva de corrección correcta, tanto para pavimentos asfálticos como para pavimentos de hormigón, con los valores de “Total” y “q” en la tabla de la Figura N° 14. En éste ejemplo, se utiliza la curva para pavimentos de concreto asfáltico (AC) en la Figura X3.19 ver Apéndice.

Reducir el menor valor individual VR mayor que 5 a 5. Luego repetir los párrafos anteriores hasta que se cumpla la condición de “q” = 1.

El “máximo VRC” es el valor máximo obtenido de la iteración

Calcular el PCI restando el valor máximo de VRC de 100 ($PCI = 100 - \text{máximo VRC}$).

La Figura N° 14 resume el cálculo de PCI para un pavimento asfáltico con los datos de la **Figura N° 13**.

En el Apéndice 5 se puede obtener el formulario en blanco para el cálculo de PCI.

#	Valor de Reducción								Total	q	VRC
1	27	21	20	9	4.9	4.8	4	1.8	92.5	4	50
2	27	21	20	5	4.9	4.8	4	1.8	88.5	3	56
3	27	21	5	5	4.9	4.8	4	1.8	73.5	2	46
4	27	5	5	5	4.9	4.8	4	1.8	57.5	1	57.5

Figura N° 13: Cálculo del valor corregido del PCI – Pavimento flexible

Máximo VRC = 57.5 $PCI = 100 - \text{Máximo VRC}$

$PCI = 100 - 57.5 = 42.5$ Clasificación = Regular

Cálculo del PCI para Pavimentos de Hormigón de Cemento Pórtland (PCC)

Para cada combinación particular de tipos de fallas y grados de severidad, sumar el número de losas en las cual se presentan. Por ejemplo, en la Figura N° 15 hay dos losas conteniendo fallas de rotura de esquinas de baja severidad.

- Dividir el número de losas como se menciona en el párrafo anterior entre el número total de losas en la unidad de muestra y luego multiplicarlo por 100 para obtener el porcentaje de la densidad de cada combinación de falla y grado de severidad.

Calculo de PCI:

Si solo uno o ninguno de los VR es mayor a 5, la suma de los VRs es utilizada en lugar del máximo VRC para la determinación del PCI. De no ser así utilizar el siguiente procedimiento para determinar el máximo VRC.

Determinar m , el máximo número de fallas permitidas:

$$m = 1 + (9/95) * (100 - VAR) \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

m = Número permitido de VRs incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a 10).

VAR = Valor individual más alto de VR

Para el ejemplo en la Figura N° 15:

$$m = 1 + (9/95) * (100 - 32.0) = 7,44 \quad (\text{Ec. 10})$$

$$VAR = \text{valor individual más alto de VR} \quad (\text{Ec. 11})$$

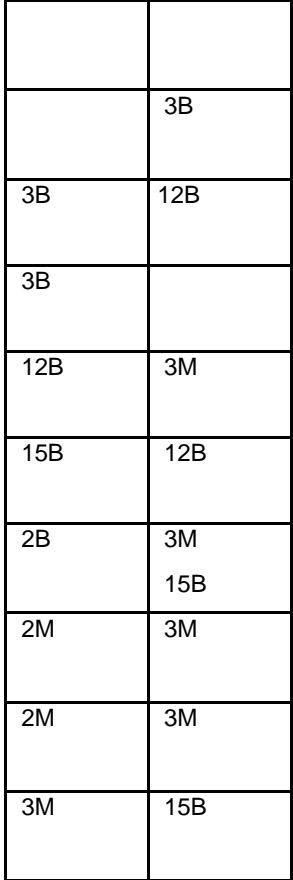
PAVIMENTO DE HORMIGON EN AEROPUERTOS					DIAGRAMA: 
HOJA DE INSPECCION DE CONDICIONES					
PARA UNIDAD DE MUESTRA					
Componente:		Sección:			
Inspeccionado por:		Fecha:			
1. Estallido		8. Perdida repentina			
2. Rotura de esquina		9. Bombeo			
3. Fisura longitudinales, transversales y diagonales		10. Desprendimiento, fisuras erraticas mapa de fisuras			
4. Fisuras de durabilidad "D"		11. Asentamientos			
5. Daño de sello de junta		12. Losa fragmentada			
6. Bacheos-5 pie2		13. Fisuras por retraccion			
7. Bacheos- Corte para instalaciones		14. desprendimiento en junta			
		15. Desprendimiento en esquina			
Tipo de falla	Severidad	Nº de losas	Densidad %	Valor de reduccion	
5	A	20	100	12	
2	B	2	10	8	
2	M	1	5	9	
3	B	3	15	11	
3	M	5	25	32	
15	B	3	15	6	
14	B	2	10	3	
12	B	1	5	10	

Figura Nº 14: Ejemplo de una hoja de levantamiento para pavimentos rígidos (PCC)

Ingresar en la tabla de la Figura N° 16 los VRs en la primera fila en forma descendente, reemplazando el menor VR por el producto del mismo y la fracción decimal del m calculado (para este ejemplo, multiplicar $3.0 \times 0.44 = 1.3$ y utilizar este valor como el menor en la primera fila, (Nota de Traducción). Si el número de VRs es menor al valor de m, ingresar todos los VRs en la tabla. Si el número de VRs es mayor a m utilizar los m valores más altos solamente.

Sumar todos los valores de VRs de la fila y colocar ese valor en la columna de "total", luego poner en la columna "q" el número de valores de VRs que son mayores a 5. Para el ejemplo de la **Figura N° 15**, $q = 7$

Determinar el VRC con la curva de corrección correcta, para pavimentos para de hormigón, con los valores de "Total" y "q" en la tabla de la Figura N° 16. Nota de Traducción, en éste ejemplo, se utiliza la curva para pavimentos de hormigón de cemento Portland (PCC) de la Figura X4.16 (Ver apéndice).

Copiar los VRs a la siguiente línea, cambiando el menor valor de VR mayor que 5 a 5. Luego repetir (Pasos del Cálculo del PCI para PCC) hasta que se cumpla "q" = 1.

El máximo VRC es el valor más alto de la columna VRC.

Determinar los Valores de Reducción para cada combinación de tipo de falla y grado de severidad con la curva correspondiente del Apéndice.

Determinar el PCI utilizando el procedimiento detallado y la curva de corrección correspondiente a pavimentos PCC (ver Figura X4.16 en apéndice) en lugar de la curva de corrección para pavimentos AC utilizada.

La Figura 8 muestra un resumen del cálculo del PCI para el ejemplo de fallas en el pavimento PCC de la Figura N° 15.

#	Valor de reducción								Total	q	VCR
1	32	12	11	10	9	8	6	1.3	89.3	7	56
2	32	12	11	10	9	8	5	1.3	88.3	6	58
3	32	12	11	10	9	5	5	1.3	85.3	5	58
4	32	12	11	10	5	5	5	1.3	81.3	4	58
5	32	12	11	5	5	5	5	1.3	76.3	3	57
6	32	12	5	5	5	5	5	1.3	70.3	2	61
7	32	5	5	5	5	5	5	1.3	63.3	1	63.3

Figura N° 15: Cálculo del valor corregido del PCI – Pavimento rígido

Máximo VRC = 63.3 PCI = 100 – Máximo VRC

PCI = 100 – 63.3 = 36.7 Clasificación = Pobre

Determinación del PCI de la sección

Si todas las unidades de muestra inspeccionadas son elegidas aleatoriamente o si se inspeccionan todas las unidades de muestra, entonces el PCI de la sección es el promedio de los PCI de cada unidad de muestra. Si se inspeccionan muestras adicionales, entonces se utiliza un promedio compensado utilizando la siguiente ecuación:

$$PCIs = [(N - A) * (PCIr) / N] + [A * (PCla) / N] \text{ (Ec. 12)}$$

Donde:

PCIs = PCI compensado de la sección.

N = número total de unidades de muestra en la sección.

A = número de unidades de muestra adicionales.

PCIr = valor promedio de PCI de unidades de muestra seleccionadas aleatoriamente.

PCla = valor promedio de PCI de unidades de muestra adicionales.

Determinar la calificación numérica de la condición de la sección de pavimento y su clasificación verbal utilizando las escalas detalladas.

Informe:

Desarrollar un reporte resumen para cada sección. El resumen debe incluir la ubicación de la sección, su tamaño, el número total de unidades de muestra, las unidades de muestra inspeccionadas, los valores de PCI obtenidos, el PCI promedio de la sección, y la clasificación de la sección.

Precisión y margen de error

Precisión - hasta el momento no se ha especificado un grado de precisión para este tipo de ensayo. Esto estará sujeto a modificaciones en los próximos 5 años (Ver Nota 1).

Tendencia a errores - hasta el momento, no se ha establecido una tendencia de los errores en los que se puede incurrir con la aplicación de este método.

Nota1: Con la utilización de este método de inspección, los inspectores deberían determinar los tipos de falla con una certeza del 95%. Las medidas longitudinales deben ser consideradas adecuadas cuando se encuentran dentro de un rango de variación del 10% si se las vuelve a medir y las mediciones de superficie deben ser consideradas adecuadas cuando se encuentran dentro del rango de variación del 20% cuando se las vuelve a medir.

2.2.9. Macro y micro textura en el pavimento

Una de las principales características que debe cumplir un pavimento, se refiere a disponer de una superficie que asegure una buena adherencia con los neumáticos en todo instante y especialmente en zonas de frenado y curvas cuando el pavimento se encuentra mojado, lo cual es fundamental para la seguridad de los usuarios. (Roco H, Fuentes L, & Valverde P, 2003)

La resistencia al deslizamiento es la fuerza desarrollada entre la superficie del pavimento y los neumáticos, que estando impedidos de rotar, deslizan a lo largo de la superficie. El reconocimiento de la importante influencia de la

presencia de agua en la superficie ha llevado a definir en forma explícita un coeficiente de fricción (f) determinado con el pavimento mojado:

Donde:

$$f = Fa/N$$

- f = coeficiente de fricción con el pavimento mojado
- Fa = fuerza de fricción con el pavimento mojado
- N = peso sobre la rueda

Características de la Superficie

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se puede definir considerando que la adherencia superficial está determinada por dos tipos de condiciones: micro textura y Macro textura. La Micro textura corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida. La Macro textura en cambio, se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la Macro textura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. (Roco H, Fuentes L, & Valverde P, 2003).

En términos cuantitativos, la micro textura es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda inferior a 0.5 milímetros en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.001 a 0.2 milímetros. Por su parte la macro textura es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda en un intervalo comprendido entre los 0.5 milímetros y los 50 milímetros medidos en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.2 a 10 milímetros. (Kolher F, Salgado Torres, & Achurra Torres, 2009)

2.2.9.1. Evaluación de la Macro textura

Se agrupan en técnicas volumétricas y perfilo métricas.

A las **técnicas volumétricas** pertenece el ensayo de mancha de arena y otros similares, que usan esferas de vidrio o grasa de lubricación en lugar de arena. Estos ensayos están basados en la determinación de un volumen asociado a un área y la respectiva altura.

Las **técnicas perfil métricas** son procedimientos basados en la determinación de la geometría del perfil o de la superficie. Entre estos figuran el CTmeter, el Laser Texture Scanner (LTS) y los perfiló metros laser de alta velocidad.

2.2.9.2. Evaluación de la Micro textura

Para la evaluación de la micro textura se usan múltiples técnicas, entre las cuales las más utilizadas son; el péndulo de fricción TRRL y el SCRIM.

El péndulo de fricción para efectuar la medida, se ajusta de modo que el patín de goma, fijado en el péndulo, recorra una distancia normalizada en la superficie a medir. Evaluación de la Micro textura

Para la evaluación de la micro textura se usan múltiples técnicas, entre las cuales las más utilizadas son; el péndulo de fricción TRRL y el SCRIM.

El SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine), permite apreciar la adherencia de los pavimentos midiendo el Coeficiente de Fricción Transversal de modo continuo. La rueda de medición, cargada con una masa de 200 kg y con un neumático liso, forma un ángulo de 20° con la trayectoria del camión; el riego de la calzada se hace desde la cisterna justo delante de la rueda. El SCRIM dispone de equipos especiales para la adquisición y procesamiento de la información.

- a. Una mala textura del pavimento se relaciona directamente con un aumento en los índices de accidentalidad de una vía, más no es

viceversa. Por lo anterior, este parámetro sólo se puede identificar mediante medición directa en la vía.

- b. El perfil longitudinal del pavimento se debe verificar en diferentes niveles de precisión, ya esta puede inferir entre si se está midiendo la micro textura, la Macro textura o la regularidad superficial, todas relacionadas con diferentes indicadores de funcionalidad del pavimento.

2.3. Evaluación estructural:

2.3.1. Proceso de BACKFAA:

Resumen

La Figura 23 proporciona una visión general del proceso de análisis de datos de NDT. El Capítulo 7 se centra en el análisis de los datos de deflexión para evaluar las características estructurales del pavimento existente.

El Capítulo 8 se centra en cómo los ingenieros utilizan estas características de los pavimentos en el análisis de la capacidad estructural, diseños de rehabilitación, así como el desarrollo de un CIP de varios años para un sistema de gestión de pavimentos. **(Ver Tabla 2)**

- a. **Software FAA.** La tabla N° 02 muestra las herramientas de software que están disponibles para analizar los **datos de deflexión**, llevan a cabo una evaluación estructural, realizar un diseño de la rehabilitación, o desarrollar una nueva estructura del pavimento. Las herramientas que se muestran en la Tabla 2 requieren diferentes niveles de experiencia en ingeniería de pavimentos para el uso correcto de ellos. Antes de utilizar estas herramientas, es importante comprender su base teórica. La mayoría de software es accesible desde el sitio web www.faa.gov FAA.

Tabla 2. FAA Software Tools for Pavement Analysis, Evaluation And Design

NDT Data Analysis		Evaluation ¹			Design	
Action	BAKFAA	FEAFAA	COMFAA	FAARFIELD	F806FAA	R805FAA
Back-calculate HMA moduli	•					
Back-calculate PCC moduli	•					
Back-calculate APC ² moduli	•					
Compute load transfer		•				
Conduct void analysis		•				
Compute allowable loads		•	•	•	•	•
Compute remaining life		•	•	•		
Compute PCN			•			
Perform HMA overlay design				•	•	
Perform PCC overlay design				•		•
Design new HMA cross-section				•	•	
Design PCC Cross-section				•		•

1 These evaluation tools can be used for design checks but are not approved FAA design programs.
2 APC is asphalt overlaid PCC pavements.

b. **Antecedentes.** La mayoría de las herramientas de diseño que se muestran en la Tabla 2 se basan en los modelos estructurales que utilizan las características y las propiedades de los material estáticos. Dispositivos NDT vibratorios y de impulsos, generan cargas dinámicas que miden la respuesta del pavimento a esas cargas dinámicas. Por lo tanto, por las propiedades del material seleccionado, los ajustes pueden ser necesarios antes de utilizar los programas de la Tabla 2. Estos ajustes se discuten en este capítulo.

Aunque los ingenieros tienen varias opciones en cuanto a las herramientas de software de la FAA, se deben seleccionar los programas que tienen la misma base teórica para un estudio. Dicho de otra manera, los métodos de retro cálculo utilizados deben ser coherentes con el procedimiento de cálculo hacia adelante que se utilizará para la evaluación y diseño estructural. Como se muestra en la Tabla 8, el software de la FAA se basa en CBR, capa elástica, o las bases de Winkler. Dado que no existen herramientas de análisis de datos de ensayos no destructivos que se basan en CBR, el ingeniero

debe utilizar la teoría de la capa elástica o la fundación Winkler realizar un análisis de datos de ensayos no destructivos. Si el ingeniero quiere utilizar la teoría capa elástica para el estudio, los programas basados en capas elásticas deben utilizarse para el análisis de datos de ensayos no destructivos, la evaluación de pavimentos, y el diseño de pavimentos. Lo mismo sería cierto para los estudios basados en la fundación Winkler. Para los estudios basados en **CBR**, el ingeniero debe utilizar un programa de capa elástica, como **BAKFAA**, para el análisis de datos de NDT y luego convertir los valores de módulo elástico a los valores de CBR, como se explica en el Capítulo 8.

La teoría de diseño y, por lo tanto, la herramienta de software que se debe utilizar para analizar el comportamiento del pavimento se basan principalmente en el tipo de pavimento. **MAC o pavimentos flexibles son analizados y diseñados utilizando CBR o teoría capa elástica.** **PCC o pavimentos rígidos son evaluados rutinariamente usando la fundación Winkler y la teoría de Westergaard**, la teoría elástica en capas, o análisis de elementos finitos. Pavimentos compuestos o PCC con sobre carpeta MAC se analizan normalmente utilizando la fundación Winkler si la sobre carpeta MAC es delgada. Sin embargo, si la sobre carpeta MAC es muy gruesa en relación con el espesor del PCC, el análisis de capas elásticas es el más apropiado. **(Ver Tabla 3)**

*“TEORIA DE WESTERGAARD. **Esta teoría se ajusta más a las condiciones elásticas de una masa estratificada de suelo.** Se supone una masa homogénea elástica reforzada por finas láminas horizontales no deformables, de espesores despreciables. La fórmula para calcular el incremento del esfuerzo vertical, producido por una carga concentrada aplicada en la superficie de un suelo compresible, es la siguiente:”*

$$A_0 z = \frac{Q}{\pi z^2 \left(1 + 2 \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right)}$$

En el apéndice IV aparece la grafica de Westergaard.

ESFUERZOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CARGA. A continuación se mencionan diferentes condiciones de carga superficiales de interés practico:

a) Carga lineal de longitud infinita; para este caso se usa la formula:

$$q_z = \frac{P}{\pi} = \frac{z^3}{(x^2 + z^2)^2}$$

- b) Área circular uniforme cargada (Apéndice V)
- c) Carga rectangular de longitud infinita (Apéndice VI)
- d) Carga trapecial de longitud infinita (Apéndice VII)

LA CARTA DE NEWMARK. Newmark desarrolla un método grafico sencillo que permite obtener rápidamente los esfuerzos verticales (qz) trasmitidos a un medio semi-infinito, homogéneo, isótropo y elástico para cualquier condición de carga uniforme repartida sobre la superficie del medio. Esta carta es especialmente útil

Tabla 3. Therical Basis of FAA Software Tools

FAA Tool	Structural Theory			
	CBR	Elastic Layer	Winkler Foundation	
			Westergaard	Finite Element
BAKFAA		•		
FEAFAA				•
COMFAA	•		•	
FAARFIELD		•		
F806FAA	•			
R805FAA			•	

These programs can be downloaded from the FAA's website at www.faa.gov.

Las deflexiones de datos originales se normalizaron mediante el ajuste de las deflexiones para una carga estándar. Por ejemplo, uno puede querer normalizar las deflexiones a una carga de rueda de avión crítico de 40.000 libras (18.000 kg), aunque las deflexiones se registraron en los niveles de carga de impulso de 31.500 libras (140 kN), 36.000 libras (160 kN) y 42.500 libras (190 kN). Cada deflexión registrada en estos niveles de carga tendría que ser ajustado de la siguiente manera para obtener tres deflexiones normalizadas a un nivel de carga de 40.000 libras (180 kN):

$$d_{on} = \left(\frac{L_{norm}}{L_{aplicado}} \right) d_o$$

Donde:

d_{on} = Deflexión normalizada

L_{norm} = Carga normalizada

$L_{aplicado}$ = Carga aplicada

d_o = Deformación medida en la ubicación del sensor seleccionado

Al revisar los gráficos de **deflexiones normalizadas** o valores **ISM**, el ingeniero debe buscar patrones de variabilidad. **Las deflexiones normalizadas bajo el plato de carga y los valores de ISM proporcionan una indicación de la resistencia total de toda la estructura del pavimento** (es decir, las capas de pavimento y subrasante) en cada lugar de medición de NDT. Para una carga de impulso dado (por ejemplo, 40.000 libras (180 kN)), incrementando los valores ISM o disminuyendo las deflexiones normalizadas indican el aumento de la resistencia del pavimento. Los gráficos de perfil Ejemplo de ISM y deflexiones normalizadas son como se ilustra en la Figura 24 y la Figura 25, respectivamente.

Retro cálculo. Los algoritmos de retro cálculo se utilizan comúnmente cuando se utilizan los resultados de dos metodologías de diseño específicos. **El primer método se basa en la Guía de Diseño AASHTO 1993 para pavimentos flexibles que se basa en el módulo resiliente (M_r) de la sub-base determinado mediante ensayos de laboratorio.** El segundo algoritmo, comúnmente conocido como metodología basada en el AREA, **se utiliza principalmente para pavimentos rígidos con o sin sobre carpeta asfáltica cuando el procedimiento de diseño se basa en el coeficiente de balasto, k.**

La ecuación 2 muestra que el M_r , el valor de la subrasante se puede calcular mediante el uso de las deflexiones desde el sensor apropiado del equipo de END. En referencia, este sería el 24 in (60 cm) desde el centro de la placa de carga basada en directrices que se presentan en la Tabla. **(Ver Tabla 4)**

$$M_r = \left(\frac{0.24P}{d_r r} \right) \quad [2]$$

Where:

- M_r = Resilient modulus, in psi
- P = Applied load, in pounds
- d_r = Measured deflection at distance r from applied load, in inches
- r = Radial distance at which the deflection is measured, in inches

Tabla 4. Tupe of Back – Calculatin Software Tool Requires for Each Load Scenario

Material Response	Type of Load Application	
	Static	Dynamic
Linear	Closed-form and iteration-based tools	Finite Element Tools
Non-Linear	Iteration Based Tools	Finite Element Tools

Dynamic loads include those generated by vibratory and impulse load NDT equipment.

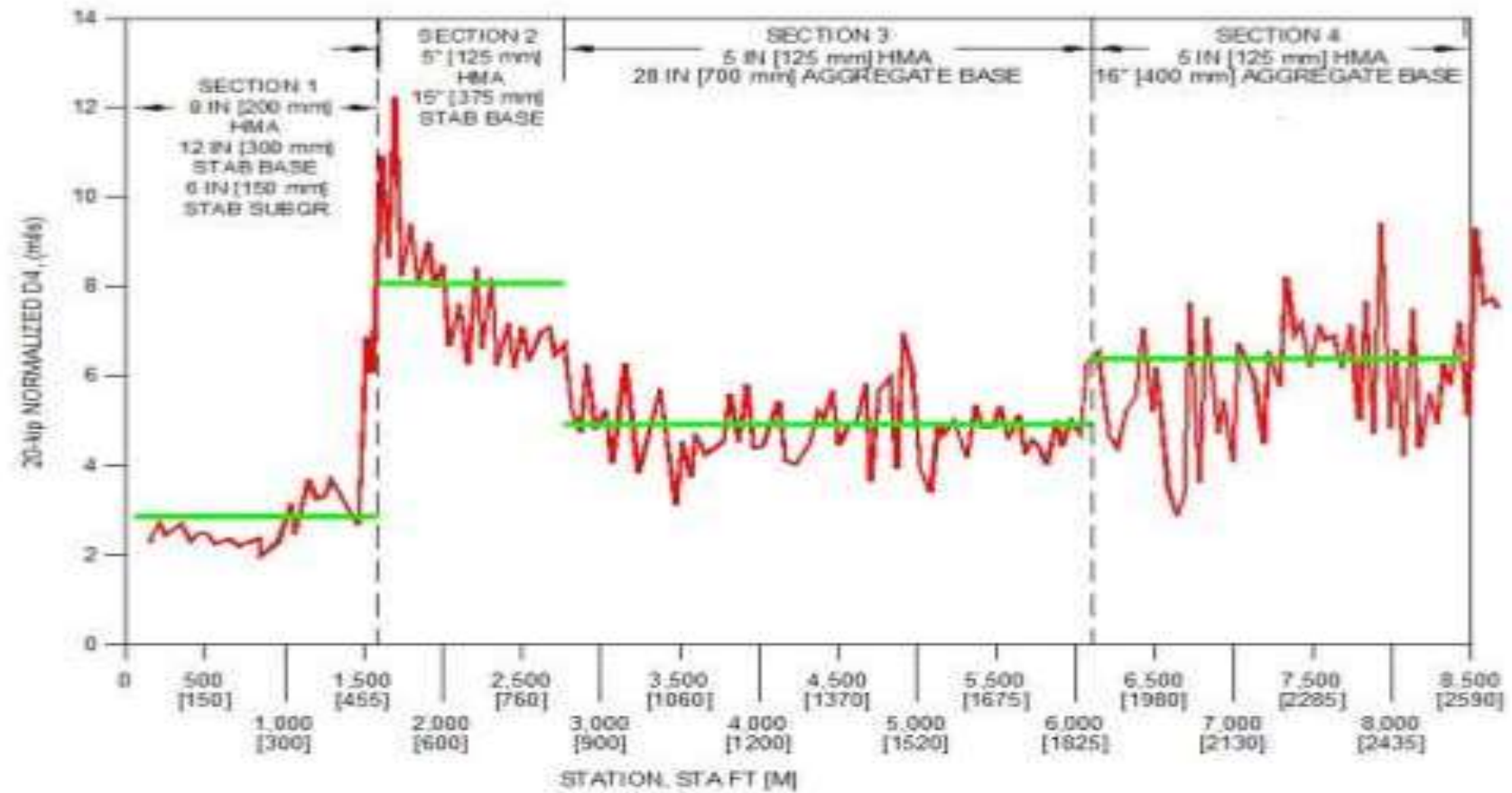
Para las cuatro secciones de pavimento que se muestran, los valores de módulo resiliente dinámicos para la subrasante serían los siguientes si la media es en 12" (60 cm) del sensor de deflexiones se utilizaron en la ecuación anterior: Sección 1, 72.150 psi (497 MPa); sección 2, 26.780 psi (185 MPa), la sección 3, 43.650 psi (301 MPa), y la sección 4, 33.170 psi (229 MPa). Las cuatro deflexiones medias para esta posición del sensor son 2,76, 7,48, 4,57 y 6,02 mm.

Como era de esperar, la resistencia de la subrasante para la sección 1 es el más alto porque se ha estabilizado. Estos valores del módulo de la subrasante tendrían que ser ajustados a los valores del módulo resiliente de laboratorio utilizando un factor de corrección (por lo general, 0.33), como se explica en la Guía de Diseño AASHTO 1993, antes de la realización de un diseño de pavimentos de HMA o evaluación de conformidad con los procedimientos de diseño.

Otro procedimiento comúnmente utilizado de retro cálculo es la metodología basada en AREAS. Esta metodología, también se utiliza en la Guía de Diseño AASHTO 1993, se utiliza principalmente para pavimentos de

cemento portland y pavimentos de cemento portland con sobre carpeta asfáltica cuando la herramienta de diseño utiliza el módulo de reacción de la subrasante, k . El AREA se calcula utilizando deflexiones de NDT que conforman las curvas de deflexión.

Se muestra los pasos que son necesarios para calcular el módulo elástico y el módulo de reacción de subrasante, k , cuando se usa el procedimiento basado en AREAS en el análisis de retro cálculo. Las ecuaciones 5 y 6 del AREA se utilizan para explicar la compresión que se produce en la sobre carpeta Asfáltica o en pavimentos PCC muy gruesas. Estas ecuaciones no incluyen la deflexión bajo la placa de carga, donde se produce la compresión. **Ver Figura 16.**



NOTE: BOLD BARS INDICATE THE AVERAGE NORMALIZED DEFLECTION VALUE 24 IN [600 mm] FROM THE LOAD PLATE UNDER EACH SECTION.

Figura N° 16. Deflexión Normalizada para subrasante utilizado para identificar sección de pavimento

Procedimiento de obtención de resultados “BAKFAA”

- Se procederá a cargar el archivo con los **datos de deflexiones al “BAKFFAA”** el cual se insertara con el botón Load FWD File ver **Figura 17**
- Se procederá a colocar la información de la estructura del Pavimento para proceder con el cálculo del mismo.

Se tomaron como valores iniciales para el Retro calculo **“Modulo de Young”** los expresados en la siguiente tabla: **(Ver Tabla 5)**

Tabla 5. Módulo de Young

Material	Low Value, PSI (MPa)	Typical Value, PSI (MPa)	High Value, PSI (MPa)
Asphalt concrete	70,000 (500)	500,000 (3,500)	2,000,000 (14,000)
Portland cement concrete	1,000,000 (7,000)	5,000,000 (35,000)	9,000,000 (60,000)
Lean-concrete base	1,000,000 (7,000)	2,000,000 (14,000)	3,000,000 (20,000)
Asphalt-treated base	100,000 (700)	500,000 (3,500)	1,500,000 (10,000)
Cement-treated base	200,000 (1,400)	750,000 (5,000)	2,000,000 (14,000)
Granular base	10,000 (70)	30,000 (200)	50,000 (350)
Granular subbase or soil	5,000 (30)	15,000 (100)	30,000 (200)
Stabilized soil	10,000 (70)	50,000 (350)	200,000 (1,400)
Cohesive soil	3,000 (20)	7,000 (50)	25,000 (170)

FUENTE: Federal Aviation Administration / Advisory Circular – AC. Nº 150/5370/11B

Los valores iniciales para “Ratios de Poisson” los expresados en la siguiente tabla: **(Ver Tabla 6)**

Tabla 6. Ratios de Poisson

Material	Low Value	High Value
Asphalt concrete or asphalt-treated base	0.25	0.40
Portland cement concrete	0.10	0.20
Lean concrete or cement-treated base	0.15	0.25
Granular base, subbase, or soil	0.20	0.40
Stabilized soil	0.15	0.30
Cohesive soil	0.30	0.45

FUENTE: Federal Aviation Administration / Advisory Circular – AC. Nº 150/5370/11B

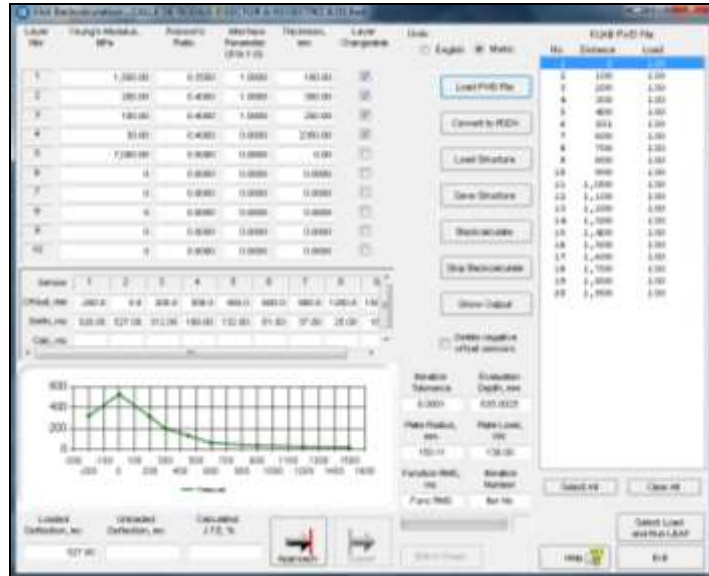


Figura N° 17 Programa “BAKFFAA”

c) Se procederá a ejecutar el proceso de cálculo según la sectorización que tenga el aeropuerto, el proceso de cálculo se observa en **figura N°18**

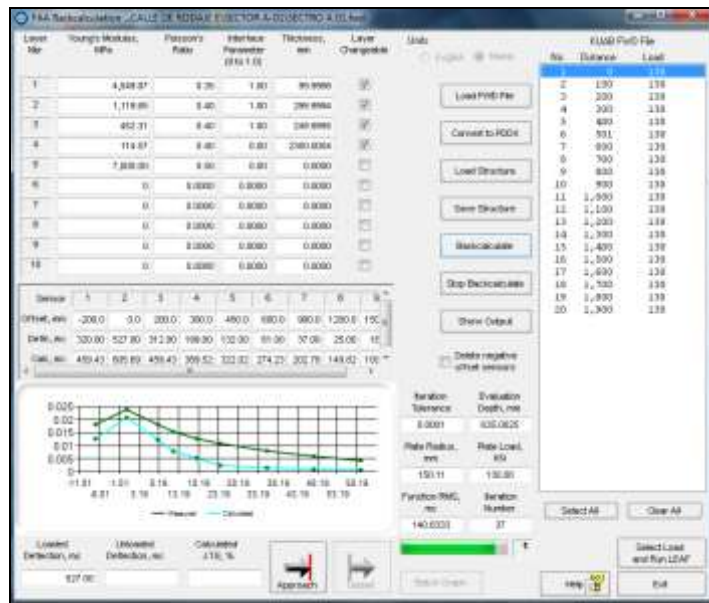


Figura N° 18 Programa “BAKFFAA”

d) Luego del procesamiento del programa se podrá ver los valores que tenga el punto en estudio, en caso de que sea más de un punto el programa te pedirá

guardar la información en formato **.csv**, en el archivo que defina el usuario (**ver figura N° 19**)

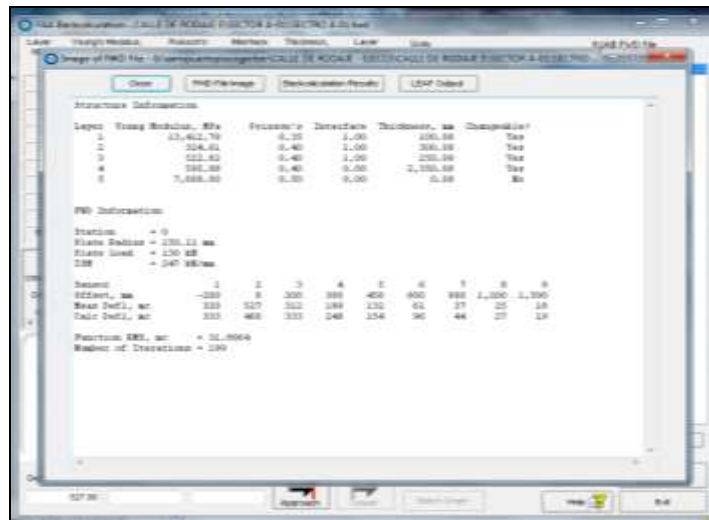


Figura N° 19 Programa "BAKFFAA"

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los elementos conexos evaluados:

AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION ESTRUCTURAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR A
MEDICION DE DEFLEXIONES

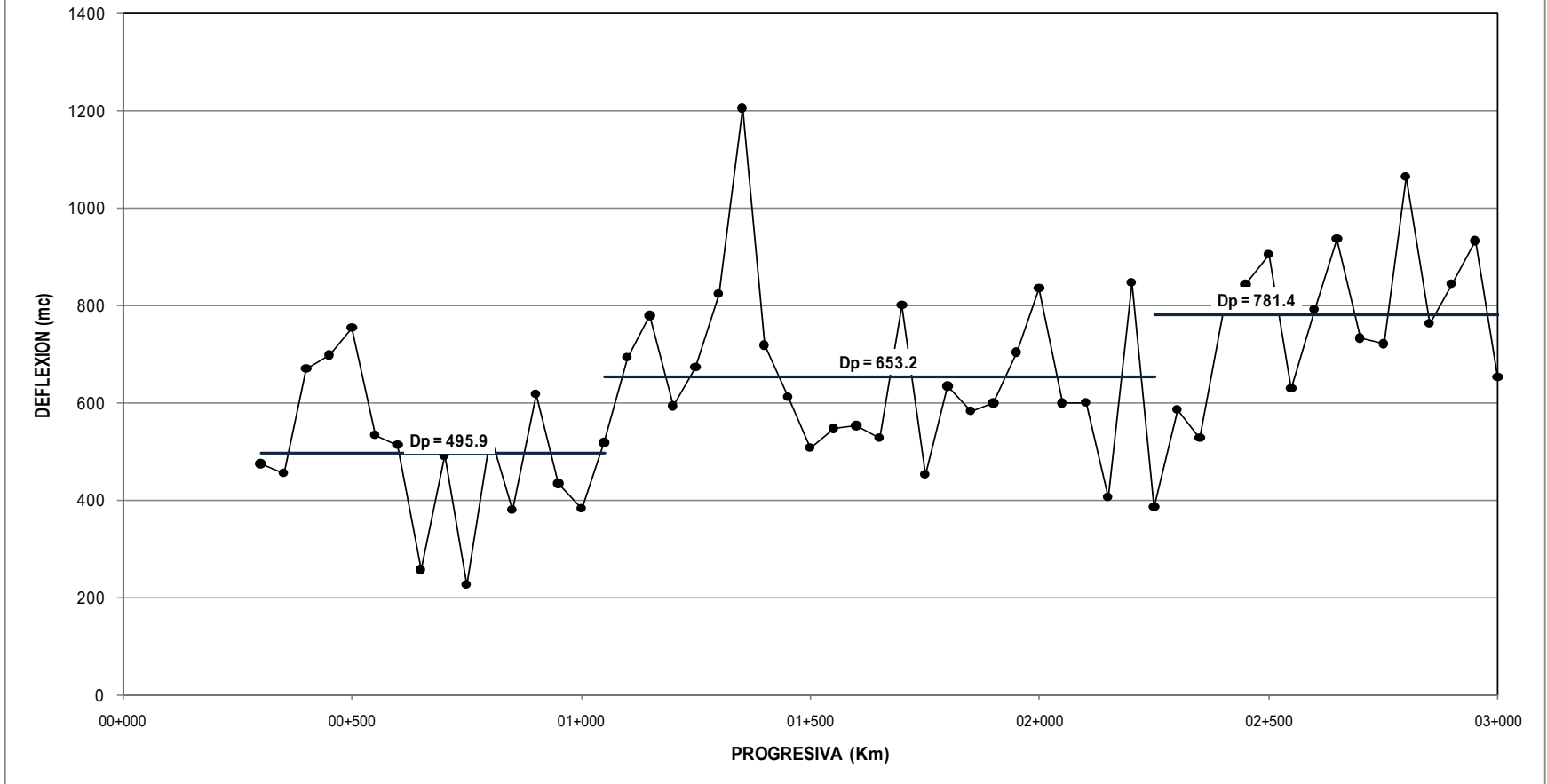


Figura N° 20. Evaluación estructural de pista de aterrizaje – Sector A

2.3.2. Programa COMFAA:

Origen de la aplicación COMFAA.

En el Apéndice 2 del Manual de Diseño de Aeródromos de la OACI, Parte 3, Pavimentos, hay procedimientos para **determinar el ACN**. Este apéndice provee además códigos de programa en FORTRAN capaces de calcular los valores ACN de diversas aeronaves para pavimentos rígidos y flexibles. El listado de programas en el Apéndice 2 del manual de OACI fueron escaneados ópticamente y el código en FORTRAN fue trasladado a Visual Basic 6.0 para ser incorporado dentro del COMFAA.

- ✓ **Calcula el espesor de pavimento flexible basado en el método CBR** en **AC 150/5320-6D** para un valor CBR especificado por el usuario.
- ✓ **Calcula el espesor de la losa de pavimento rígido basado** en **AC 150/5320-6D** para un **valor k especificado por el usuario**.

Los cálculos anteriores se pueden hacer para cualquier tipo de configuración de equipamiento de la aeronave. El usuario del programa también puede modificar configuraciones de avión engranaje añadiendo y quitando las ruedas o las ruedas en movimiento a cualquier ubicación arbitraria. Pueden introducirse los datos de entrada y resultados pueden verse en inglés y métrico unidades. Este artículo describe cómo se desarrolló el programa.

Concepto de PCN.

En términos fundamentales, la determinación de una clasificación de pavimento en términos de PCN es un proceso en que se determina el ACN para la aeronave crítica y se reporta el valor ACN como el PCN para la estructura de pavimento. Bajo estas condiciones, cualquier aeronave con un valor ACN igual o menor al valor PCN podrá operar con seguridad sin ninguna limitación en la presión de las llantas.

Determinación del valor numérico del PCN.

La obtención del valor numérico del PCN para un pavimento dado puede basarse en dos procedimientos. Estos son conocidos como la utilización del “método de la aeronave” y el “método de evaluación técnica”. La OACI da la libertad a los estados miembros para determinar cómo será determinado el valor del PCN de acuerdo con las prácticas internas particulares de evaluación de pavimentos. Puede utilizarse cualquier procedimiento para obtener el valor PCN, pero el método que se utilice deberá ser reportado como parte integral de su informe de clasificación.

Número de ACN para pavimentos flexibles y rígidos

COMFAA contiene dos procedimientos de cálculo del número ACN para pavimentos rígidos y flexibles, que se basan en dos programas Fortran adoptados el manual de diseño de aeródromo OACI. Los usuarios pueden calcular el número ACN de cualquier avión en la biblioteca COMFAA, que consiste en bibliotecas internas y externas. El usuario tiene la capacidad para agregar aviones sólo a la biblioteca externa. La biblioteca interna consiste en los siguientes grupos: genéricos, Airbus, Boeing, McDonnell Douglas, otros grupos de aviones comerciales y militares. En general, existen 90 tipos de aviones disponibles en la biblioteca interna.

Utilizando la aplicación COMFAA.

La utilización de la aplicación para el cálculo de valores ACN es visualmente interactiva e intuitiva. El usuario selecciona la aeronave, confa las propiedades físicas de la misma y hace clic en el botón de ACN flexible o ACN rígido para determinar el ACN para las cuatro condiciones estándar de la subrasante. La aplicación incluye un sistema de ayuda que colabora con el usuario. Las figuras 21 y 22 detallan la operación de la aplicación COMFAA.

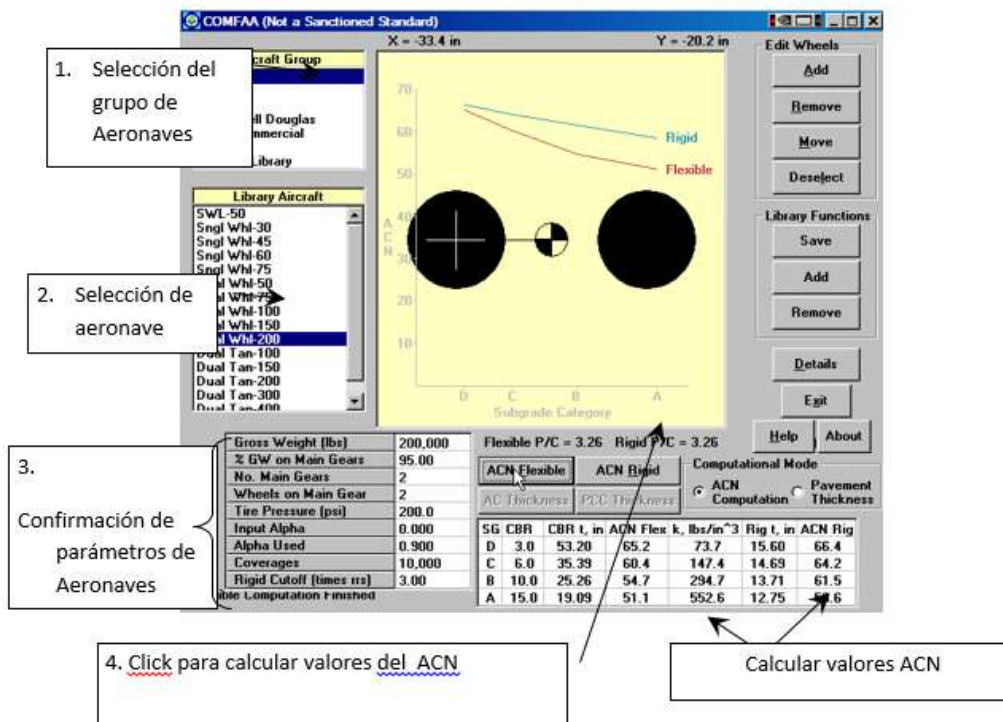


Figura Nº 21 Operación con el Programa COMFAA en modo ACN

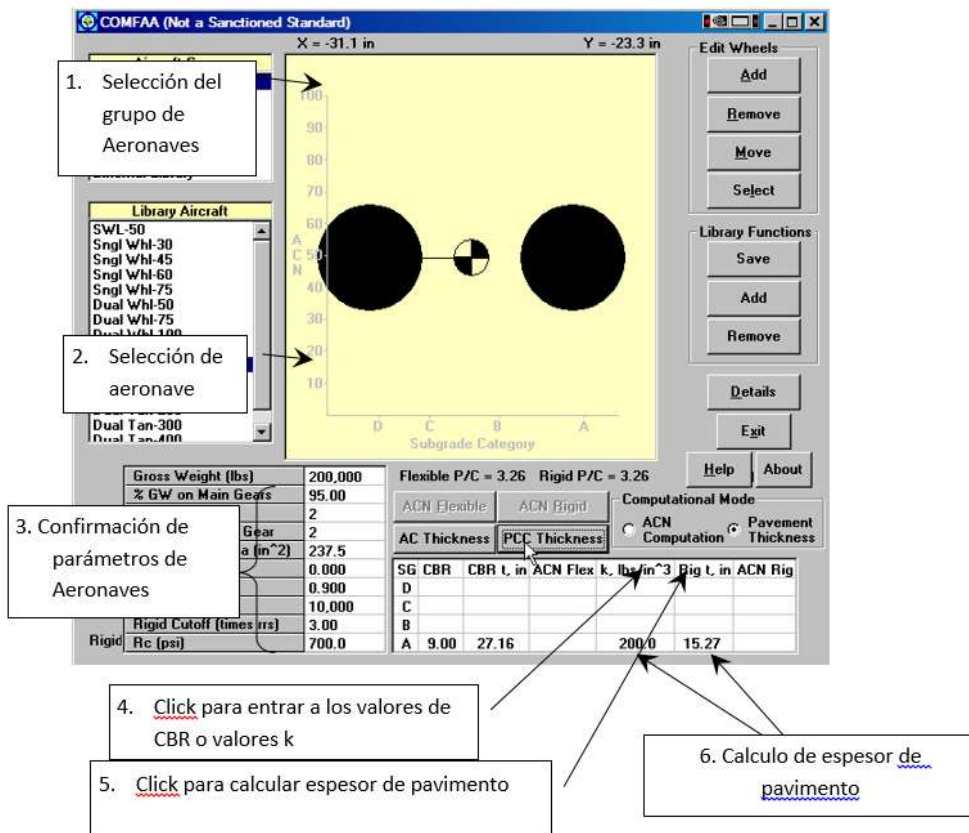


Figura Nº 22 Operación del Programa de COMFAA en modo espesor del pavimento.

2.4. Evaluación funcional

BBI (BOEING BUMP INDEX)

Desarrollo de Software para Calcular el Boeing Bump Index para ayudar en el desarrollo de un programa informático para calcular el BBI, la FAA ha creado modelos matemáticos para los criterios de las curvas superior e inferior, como se indica a continuación:

(1) Curva Límite Inferior (Límite superior de la zona ACEPTABLE)

$$H = 1.713187 + 0.800872L - 0.031265L^2 + 0.000549L^3 \text{ (para } L < 20 \text{ m)}$$

$$H = 6.4 + 0.16L \text{ (para } 20 < L < 60 \text{ m)}$$

(2) Curva Límite Superior (Límite superior de la zona EXCESIVO)

$$H = 2.747222 + 1.433399L - 0.183730L^2 + 0.013426L^3 \text{ (para } L < 5 \text{ m)}$$

$$H = 2.7590 + 1.085822L - 0.053024L^2 + 0.001077L^3 \text{ (para } 5 < L < 20 \text{ m)}$$

$$H = 7.775 + 0.20375L \text{ (para } 20 < L < 60 \text{ m)}$$

Donde:

$$H = \text{Bump Height (cm)}$$

$$L = \text{Bump Length (m)}$$

- c. Software ProFAA. La FAA desarrollo el software ProFAA para el cálculo del BBI.
- d. Comparación con el procedimiento Boeing Bump original. El procedimiento Boeing Bump Index varía ligeramente del procedimiento original Boeing Bump, porque este último método se basa en el procesamiento manual de datos. Además,
 - (1) El Bump Length se define en el documento Boeing D6-81746 está en un mínimo o máximo local. No puede haber varios mínimos locales o máximos para una longitud regla dada. Es de suponer que la peor combinación de bump height y bump length gobierna con este método. No puede haber varios mínimos locales o máximos para una longitud regla dada. Es de suponer que la peor combinación de bump height y bump length rige con este método.
 - (2) ProFAA Bump Length está para la combinación que da la máxima BBI en un punto del perfil, que no es necesariamente a un máximo o mínimo.

Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI

a. **Criterio de evaluación.** Evaluación del perfil del pavimento el BBI es similar a la realizada con el método Boeing Bump. Dado que el BBI se basa en las mismas tres zonas de rugosidad, las descripciones de estas zonas se aplican a los rangos correspondientes de la BBI.

La **Figura 24** expresa los conceptos de la **Figura 23** en términos de BBI en función del Bump Length. La **Figura 24** recrea las zonas de evaluación aceptables, excesivas, e inaceptables de la **Figura 23** en términos de BBI. Cuando el valor de BBI es inferior a 1.0, el criterio Boeing Bump está en la zona ACEPTABLE. Valores de BBI mayor que 1.0 se encuentran en las zonas EXCESIVAS o INACEPTABLES. La **Figura 25 y Figura 26** representa la curva de probabilidad de distribución y resultados finales respectivamente

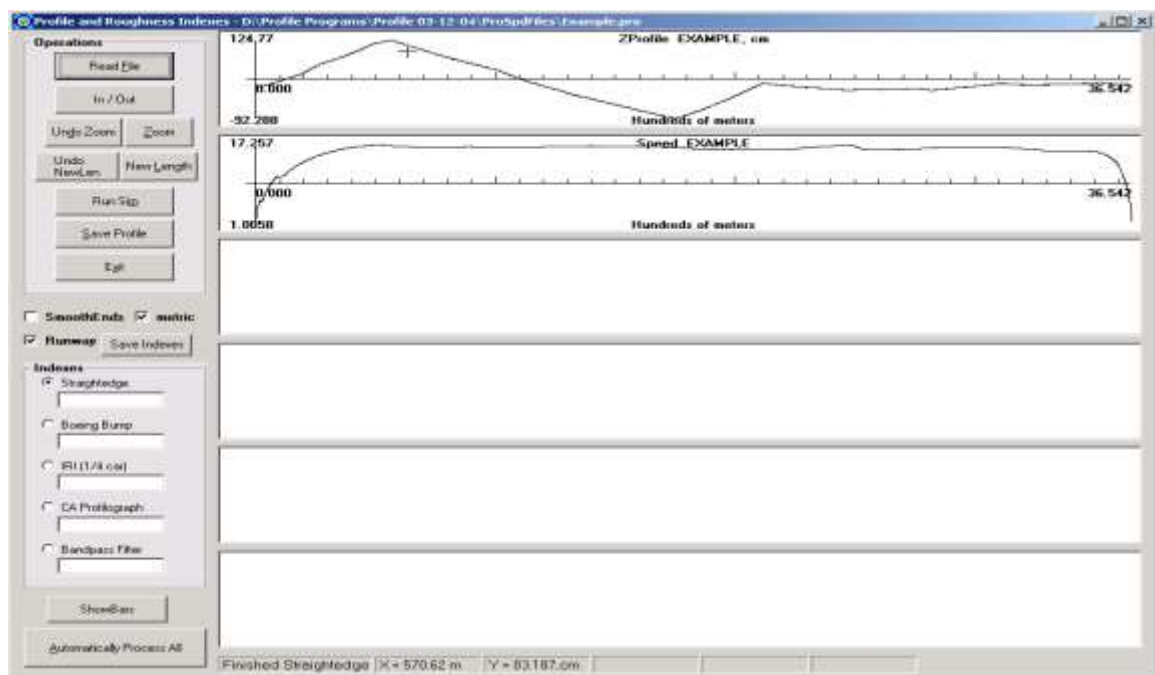


Figura N° 23. Imagen de Carga de Archivo para la Evaluación de la Pista

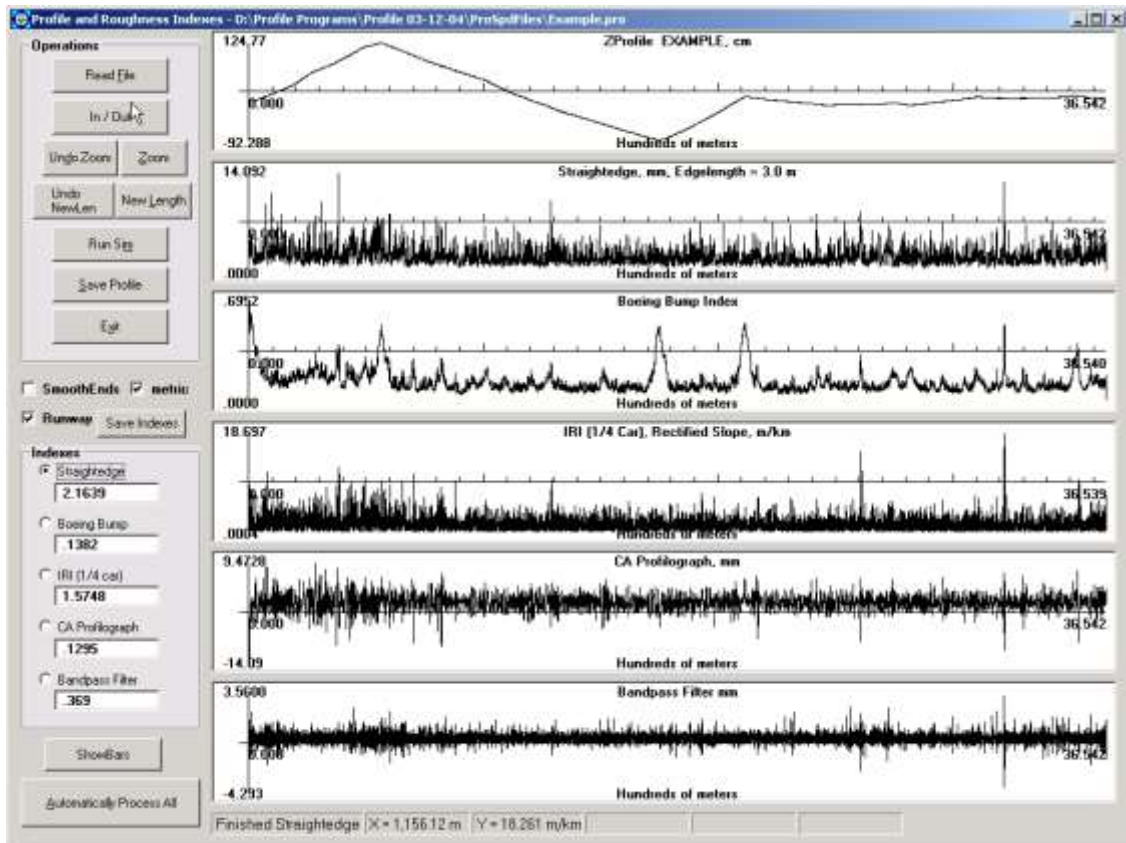


Figura N° 24. Imagen de extracción de garfios de los datos introducidos

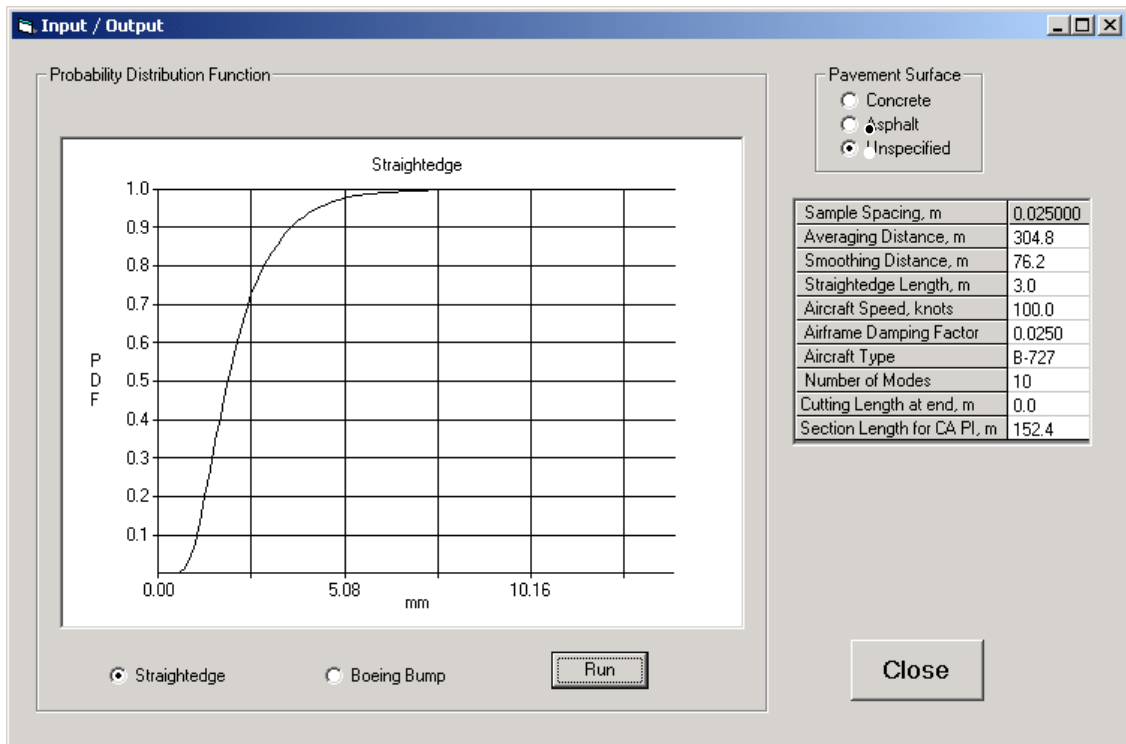


Figura N° 25. Imagen Curva de probabilidad de distribución

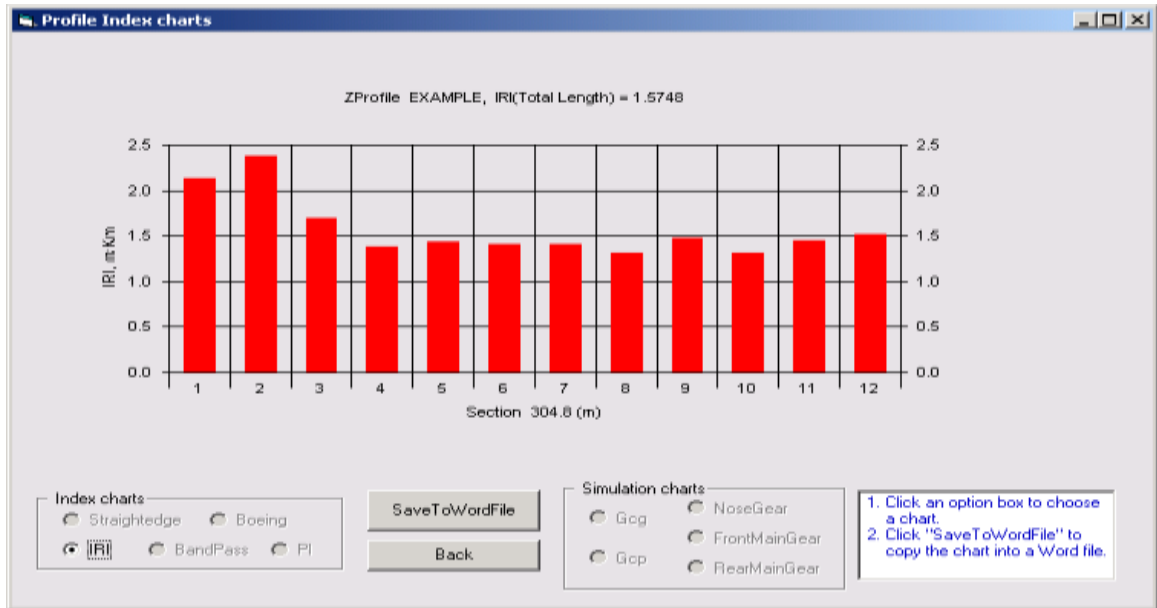


Figura N° 26. Imagen de los Valores que se reportan con los datos

2.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

2.5.1. Hipótesis general

Los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA para llegar a ser admitido como aeropuerto alterno del Jorge Chávez.

2.5.2 Hipótesis secundarias

- a) Los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA.
- b) Los espesores y características del suelo de fundación por medio de calicatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA.

- c) La obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA.

2.6. VARIABLES

2.6.1. Variable Independiente

Es la Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera”.

2.6.2. Variable Dependiente

Son las normas establecidas por la FAA para los diferentes aeropuertos para la identificación de los parámetros de evaluación.

2.6.3. Operacionalización de las Variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal.	Labores de Campo	Pista de Aterrizaje. Procedimiento para la inspección de pavimento para hallar el PCI
VARIABLE DEPENDIENTE Norma establecida por la FAA.	Procedimiento de identificación del Boeing Bump. Procedimiento de identificación PCN / ACN. Procedimiento de identificación del PCI. Procedimiento de identificación del CDR Procedimiento de identificación del MTD	La FAA impulsa a los operadores de aeropuertos. Software para Calcular el Boeing Bump Index. Análisis del Retro cálculo. COMFAA y BAKFAA : Determina el PCN / ACN Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI. Analisis e interpretacion de los CDR y MTD

CAPITULO III: DISEÑO METODOLOGICO

3.1 Población y muestra

Para la presente tesis hemos considerado la población es todas las pistas de los aeropuertos del Perú y como nuestra muestra en particular la pista de aterrizaje del aeropuerto de Pisco

3.2. Ubicación del Proyecto

El aeropuerto “Internacional de Pisco”, de la ciudad de Pisco, ubicado en el distrito de San Andrés, provincia de Pisco, departamento de Ica, se encuentra a la altura del Km 250 de la carretera Panamericana Sur. Las coordenadas WGS84 del aeropuerto son 8480,931.6858 N, 368,422.3860 E, actualmente su pista de este aeropuerto permite el aterrizaje de aeronaves de tipo B 737. Ver **Figura 27**

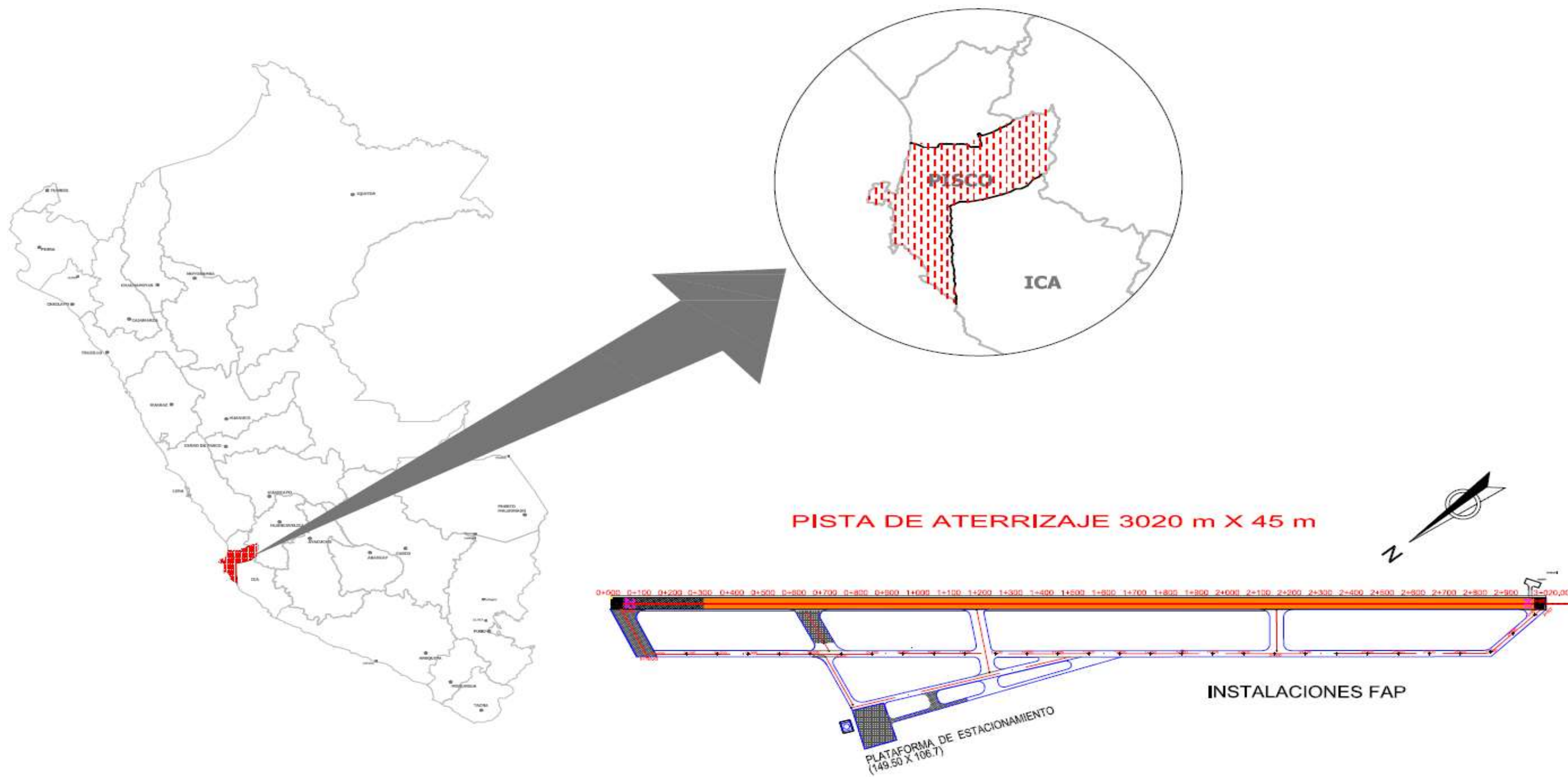


Figura N° 27 Plano de ubicación.

El detalle del plano de ubicación se presenta en el Anexo Planos

3.3. Descripción de los elementos conexos a evaluar

El Aeropuerto de Pisco, está compuesto por elementos conexos, ver (**Figura 28**) los mismos que en la presente tesis no se incluye su evaluación, solamente la pista principal ya que esta es la que recae toda la carga de las aeronaves y debiera estar en perfectas condiciones por eso determinaremos su condición funcional, estructural y superficial. A continuación pasamos a describir los elementos conexos que conforma el Aeropuerto evaluado: **Ver Cuadro 1**

Cuadro N° 1. Elementos Conexos - Aeropuerto Pisco

Descripción	Largo (m.)	Ancho (m.)	Tipo de Pavimento
Pista de Aterrizaje	3020	45	Rígido/Flexible
Calle de Rodaje Alfa	198	60	Rígido
Calle de Rodaje Bravo	167	60	Rígido
Calle de Rodaje Charly	243	45	Flexible
Calle de Rodaje Delta	156	45	Flexible
Calle de Rodaje Eco	2927	22.5	Flexible
Calle de Rodaje A1	202	20	Flexible
Calle de Rodaje E1	732	20	Flexible
Plataforma	137	105	Rígido

Pero el punto de esta tesis es solo dar a conocer la condición Funcional, Estructural y Superficial en que se encuentra la pista de aterrizaje del aeropuerto de Pisco.

ELEMENTOS CONEXOS DEL AEROPUERTO DE PISCO RENAN ELIAS OLIVERA

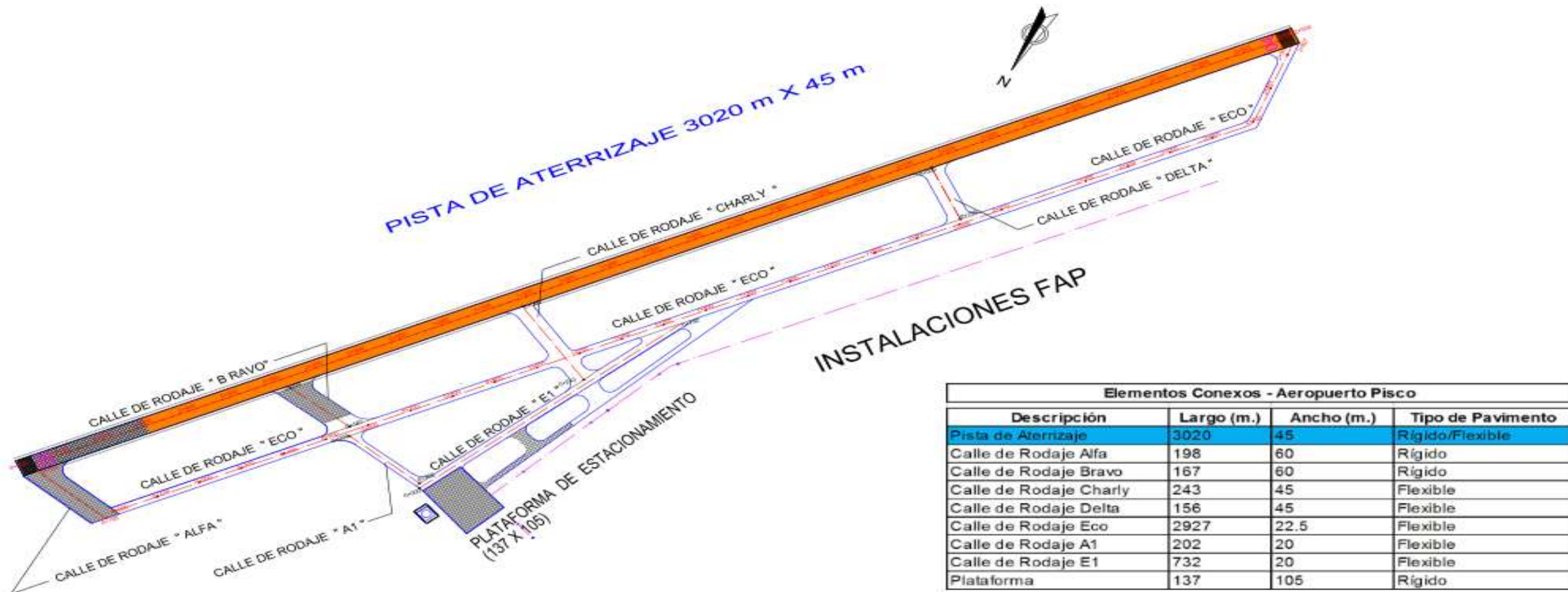


Figura Nº 28 Plano de elementos conexos Evaluados

El detalle del plano de ubicación se presenta en el Anexo Planos

3.4. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos para las distintas evaluaciones que se hacen a la pista de aterrizaje son:

3.4.1. Descripción de Instrumentos

Evaluación Estructural con Deflectómetro de Impacto HWD.

El Deflectómetro de Impacto es un equipo que aplica una carga de impacto a la superficie del pavimento, determinando las deflexiones verticales (cuenco de deflexiones) producidas en él. Se trata de un ensayo no destructivo, que simula el comportamiento del pavimento ante el paso de los vehículos pesados. Puede ser utilizado en pavimentos de asfalto, hormigón o una composición de ambos, o bien, sobre cualquier capa de un pavimento en construcción. A través del análisis de este cuenco se obtiene información de la rigidez de la estructura de pavimentos y su suelo de fundación, siendo ella muy importante para definir la condición de la estructura a lo largo de un proyecto. **Ver Figura 29 y Figura 30**

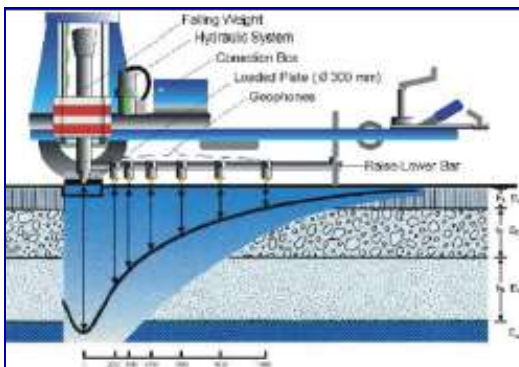


Figura N° 29 Deflectómetro de Impacto Modelo Kuab 240 – HWD.

Para las evaluaciones en campo se cuenta con un odómetro de alta precisión que controla la distancia desde el punto de origen, generalmente dado a la existencia de hitos kilométricos existentes en la ruta, hasta el punto que se esté evaluando. En cada punto donde se realizan las medidas de deflexión, se aplica una carga de asentamiento de la placa de carga a 160.14 Kn. Una vez que se ha producido esta, se aplican otras cargas de 53.38, 106.76 y 160.14 Kn y se procede a las lecturas de deflexiones obtenidas con el presente equipo.

Con estos ensayos es posible caracterizar las capas que conforman la estructura de pavimentos. Esto último corresponde al proceso de retroanálisis según metodología de la FAA, mediante el cual se obtienen las características o parámetros que son representativos de la condición estructural de cada capa. Entre las características más relevantes se encuentran:

Deflexión máxima Normalizada: Representa la deflexión vertical de la superficie del pavimento bajo el punto donde se aplica la carga. Este parámetro es un indicador general de la condición estructural de los pavimentos, cuyo principal uso es definir tramos que presenten diferentes características estructurales.

Módulo Resiliente de la Plataforma de Fundación MR: Representa el módulo elástico del suelo en el cual se funda la estructura de pavimento luego de aplicar cargas cíclicas sobre él. Este parámetro se utiliza en los diseños de pavimentos asfálticos. En cada ensayo se mide la carga aplicada y las deflexiones producidas a una distancia 0, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150 y 180 cm, medidas desde el centro del plato de carga en la dirección y sentido del avance de la vía, también se puede colocar detrás del plato de carga a 20 y 30 cm, y en algunos casos disponer los sensores en 4 lados para poder medir la transferencia en juntas.



Figura N° 30 Partes del Deflectómetro de Impacto HWD Kuab 240.

Adicionalmente se necesita contar con las características de los suelos de fundación, es decir, **un análisis de CBR y tipología de suelos**. Del mismo modo se necesitará conocer de las estructuras (dimensiones y composición) de terraplenes a lo largo del contrato evaluado. Toda esta información debe ser proporcionada por el Contratante

Evaluación Superficial del Pavimento PCI

Los trabajos asociados a la evaluación superficial del pavimento del sistema de pistas de aterrizaje, se llevará a cabo mediante el revelamiento de fallas existentes en la superficie de rodadura. Para la mencionada evaluación se **empleará la metodología descrita en la ASTM D5340 del año 2004**, donde se tiene además un catálogo de fallas y deformaciones tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos.

Resumen del Método

El pavimento se divide en componentes que a su vez son divididos en secciones. Cada sección es dividida en unidades de muestra. El tipo y grado de severidad de las fallas en el pavimento del aeropuerto son establecidos mediante la inspección visual de las unidades de muestra. La cantidad de las fallas se mide según lo descrito en el Apéndice X1 y el Apéndice X2 de la

norma ASTM D 5340. La información sobre las fallas es utilizada para calcular el PCI de cada unidad de muestra.

El PCI de la sección de pavimento se determina en base a los valores del PCI determinados para cada una de las unidades de muestra. **Ver Figura 31**

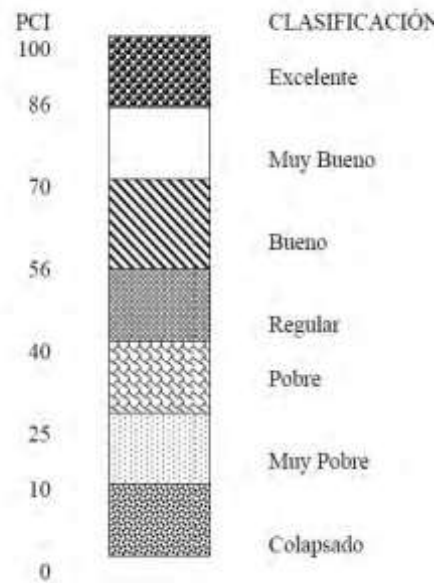


Figura Nº 31: Índice de Condición del Pavimento (PCI) y escala de clasificación

Significado y uso

El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Un monitoreo continuo del PCI es utilizado para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las

necesidades de rehabilitación mayores. El PCI proporciona información sobre el rendimiento del pavimento para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento.

Mientras que para el pavimento rígido se dividirá por losas existentes en la losa 300 m de la pista de aterrizaje.

Determinación Bump Boeing Index (BBI)

Los cambios de elevación adversas en la superficie de los pavimentos pueden aumentar la tensión en componentes de los aviones, reducir la acción de frenado, hasta poder hacer difícil para los pilotos que lean instrumentación de la cabina, y / o causar molestias a los pasajeros.

Para la determinación del Bump Boeing Index (BBI) del pavimento, se fundamentará de acuerdo a lo establecido por la FAA en el AC 150/5380-9 "Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness" de fecha 30.09.2009. **Ver Figura 32**

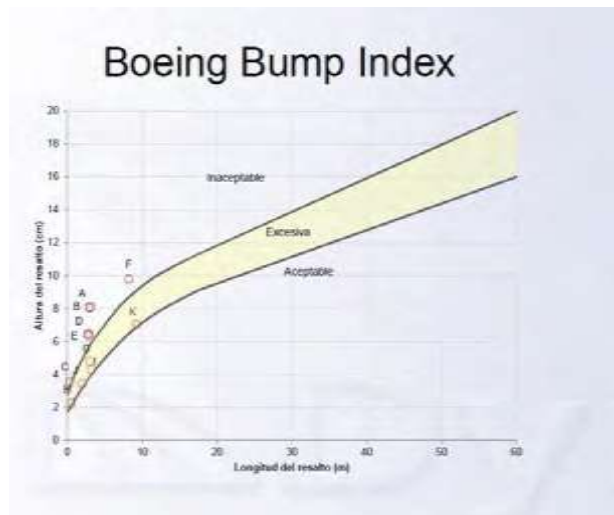


Figura Nº 32: Criterio de Aceptación de Rugosidad

Para la presente propuesta se realizará mediciones en la pista de aterrizaje la cual será dividida en tramos de 100 m de longitud en los cuales debe de realizarse las mediciones en cada uno de ellos.

Medición del Índice de Regularidad con Perfilómetro Laser (IRI) por Carril.
Para las mediciones de IRI, se utilizará el Perfilómetro láser CHASQUI, está diseñado para ofrecer a los ingenieros una solución rápida, avanzada y de alta calidad para la medición de la deformación longitudinal de los pavimentos en forma continua (perfil) y calcula el índice internacional de rugosidad (IRI), hasta velocidades de 120 Km/h.

El equipo es del tipo HSP (High Speed Profiler) clase 1, ha sido desarrollado con dispositivos y tecnología de software para adquisición de datos de fácil uso y generación de reportes, sensores de última generación, con alto grado de confiabilidad certificada y comprobada.



Figura N° 33 – Imágenes del Perfilómetro Laser



Figura N° 34 – Imágenes de toma de datos del Perfilómetro Laser

Características principales del equipo

El equipo cumple con las especificaciones establecidas para la clase 1 en la norma internacional ASTM-950-98 (reapproved 2004), ASTM-1926 y recomendaciones del Banco Mundial en su publicación técnica número 46.

Partes del sistema: dos perfilómetros láser, dos acelerómetros, un dispositivo de medición de distancia, un GPS o DGPS, una consola de adquisición de datos, una computadora portátil de control (laptop), un riel de sensores y un vehículo de transporte y medición.

- Muestreo simultáneo de dos perfiles longitudinales.
- Velocidades de operación de 25 a 120 Km/h.
- Información de perfil longitudinal suavizado cada 25 cm. de muestreo.
- Cálculo del IRI con medias variables (ej. 50m, 150m, 300m, etc.)
- Cálculo de PSI y sectorización.
- Análisis de perfil (validación, correlación cruzada, PSD, etc.).
- Exportación de archivos de perfil a formatos: ProVAL y Tex-1001-S.

- Reportes de datos geo-referenciados (KML), perfil, data Excel, imágenes, etc.
- Dispositivo de medición de distancia (DMI), error de medición de distancia menor al 0.1%
- Información de GPS o DGPS.
- Sistema de procesamiento de datos digital.
- Sistema de test de sensores y adquisición de datos.
- Capacidad de almacenamiento del perfil longitudinal cada 0.314 Mbytes por kilómetro recorrido.
- Equipo portátil de fácil instalación y transporte.
- Diseñado para trabajar en diferentes regiones (costa, sierra y selva), así como en diferentes condiciones de temperatura y altura.
- Certificado de la Texas A&M Transportation Institute (TTI), Texas - E.E.U.U. Cumple la norma TEX 1001S y ASTM E 950 – 98 (2004).

Generación de reportes

Los reportes son generados y exportados a diferentes formatos de archivos dependiendo el tipo de información requerida (IRI, PSI, perfil, BBI, etc.).

Los reportes pueden estar en formatos de imágenes, hoja de cálculo Excel, archivo KML, etc.

3.3.2. Determinación de la Textura Superficial (Micro textura y Macrotextura) Ver Figura 35 y Figura 36

Se determinará la Textura Superficial del pavimento de acuerdo a lo estipulado por la OACI en el Circular 329 AN/191 “Evaluación, mediciones y notificación del estado de la superficie de la pista” y el DOC 9137 “Manual de Servicios de Aeropuertos” Parte 2 – Estado de la superficie de los Pavimentos.

Se midió el coeficiente de fricción tomando promedio cada 100 m, tramos que caracterizan el tercio de la pista en el cual se hallan comprendidos.



Figura Nº 35 - Péndulo Británico - Macro textura



Figura Nº 36 - Circulo de Arena - Micro textura

Estudio de Suelos y Capas del Pavimento.

Comprende la evaluación de las características físico mecánicas de los suelos de subrasante y capas de pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco, mediante prospección de Suelos (calicatas) y Ensayos Destructivos en el Pavimento (diamantinas).

Evaluación no Destructiva de Pavimento

Comprende las evaluaciones no destructivas del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco, tal como se describe a continuación:

- Evaluación de la Condición Superficial del Pavimento.
- Evaluación de la Condición Funcional del Pavimento.
- Evaluación de la Condición Estructural del Pavimento.

Indicadores de las Condiciones de Seguridad actuales del Pavimento

Como indicador de la condición de seguridad del pavimento se determinará el **Número Clasificador de Pavimentos (PCN)** para los distintos elementos conexos del Aeropuerto de Pisco. Se empleará el método ACN/PCN desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y descrito en la parte 3, segunda edición del Manual de Diseño de Aeródromos y el procedimiento establecido en el Circular Advisory 150/5335-5B de la FAA (Administración de Aviación Federal).

3.4. ESTUDIO DE SUELOS Y CAPAS DEL PAVIMENTO

Objetivo

Realizar la evaluación Estructural y Funcional del Aeropuerto de Pisco.

El presente estudio es conocer y evaluar las propiedades físicas mecánicas del suelo de fundación del pavimento a proyectar. Para ello se ejecutó prospecciones destructivas (calicatas y diamantinas) con lo cual se determinó el correspondiente perfil estratigráfico, la existencia o no de la napa freática y/o filtraciones.

Caracterizar los suelos subyacentes en la zona del proyecto, definiendo las características físico-mecánicas de los mismos, con la finalidad de obtener parámetros para efectuar el cálculo del PCN (Número de Clasificación del Pavimento).

Normatividad

El Estudio se basa en los siguientes documentos:

- Sistema SUCS (ASTM D-2487)
- Sistema AASHTO
- OACI (Organización de Aviación Civil)

Metodología

La metodología seguida ha comprendido las siguientes actividades:

- Elaboración de un programa de exploración de campo
- Excavación de calicatas con una profundidad mínima de 3.00 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. Cabe indicar que estas calicatas se ejecutaron en el pavimento, habiéndose que cortar para esto la superficie de rodadura del pavimento (asfalto).
- 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 subrasante existente, para ensayos de clasificación.
- Muestreo de cada capa que conforma la estructura del pavimento para la ejecución de ensayos de verificación de la capacidad portante del pavimento, tales como Proctor y CBR.
- Ensayos de laboratorio y trabajos de gabinete para determinar las características Generales de los suelos.
- Extracción de Testigos Diamantinas, 12 en la pista de aterrizaje

Trabajo de campo.

Para la ejecución del estudio se realizó los trabajos de exploración de campo que consistieron en la excavación de calicatas de profundidad comprendida entre 0.30m. Y 2.70 m de profundidad, en el perfil estratigráfico o registro de excavación se muestran los espesores y características de las capas.

Cabe indicar que las excavaciones de calicatas, se realizaron empleando maquinaria pesada, como retroexcavadora y cortadoras para cortar la superficie de rodadura del pavimento (asfalto), en cada calicata se efectuó un registro de excavación indicando:

Coordenadas UTM del elipsoide WGS 84

Espesores y descripción (tipo de material, color, humedad, etc.), en concordancia con la norma ASTM D-2488 de cada uno de los estratos encontrados.

Vistas Fotográficas de cada la calicata, donde se aprecia los estratos encontrados y la profundidad de excavación.

Se efectuaron 5 calicatas (Ver cuadro N°02):

- Pista de aterrizaje: Km 0+100 (LD); Km 0+600 (LI); Km 1+250 (LD); Km 1+900 (LD); Km 2+650(LI).

Asimismo, se realizó la extracción diamantina de 12 diamantinas, en la pista de aterrizaje **(Ver Figura 37)**.

UBICACIÓN DE CALICATAS Y DIAMANTINAS DEL AEROPUERTO DE PISCO " RENAN ELIAS OLIVERA "

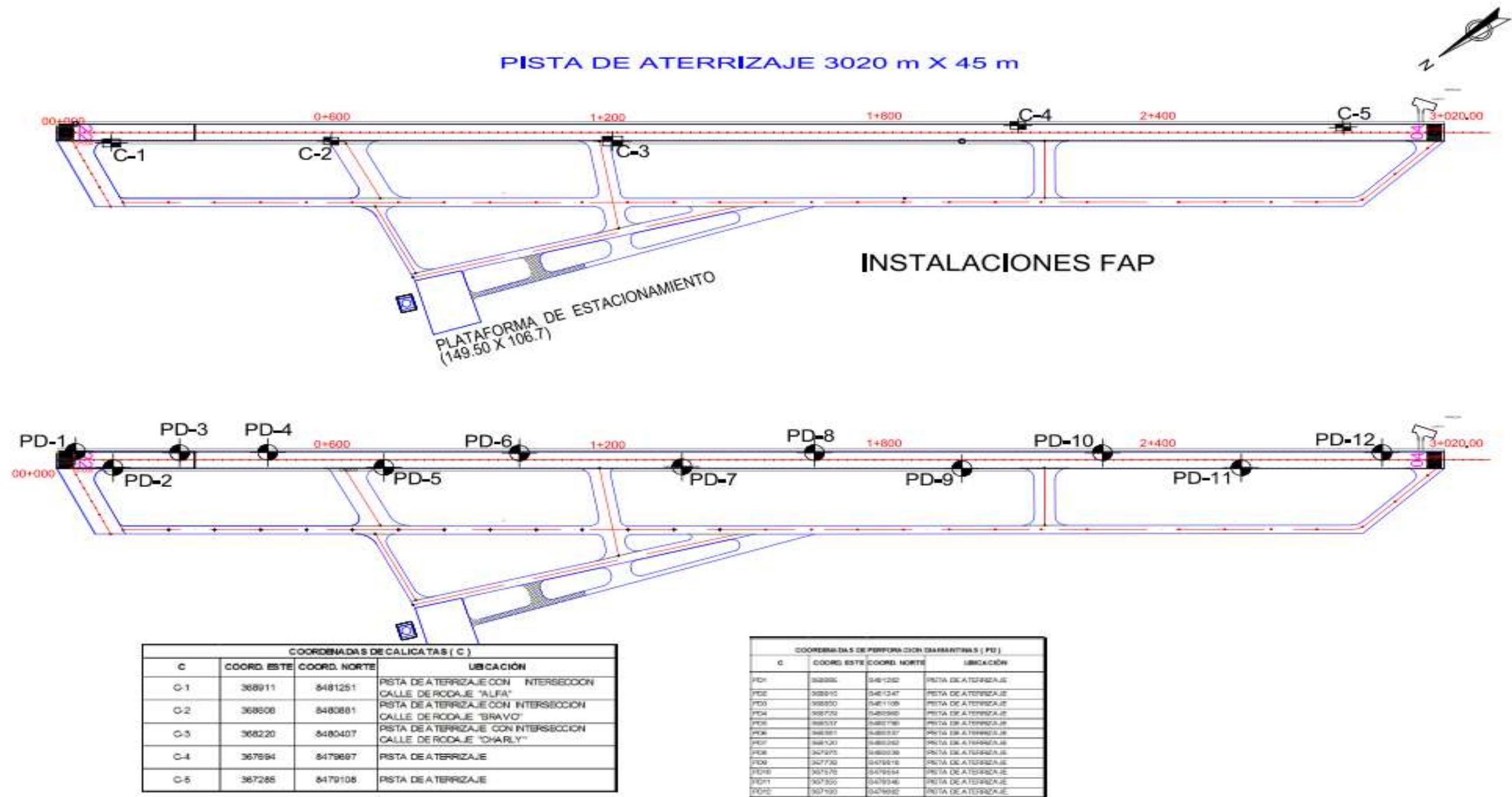


Figura N° 37 Plano de ubicación de calicatas y diamantinas.

El detalle del plano de ubicación de calicatas y diamantinas se presenta en el Anexo Planos

3.5. Validez y Confiabilidad de los Instrumentos

Ver Apéndice – Certificados de Calibración y validez

3.5.1 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Ejecución de Calicatas

Las prospecciones que se realizaron a lo largo de la pista de aterrizaje, se registró y se muestrearon para sus respectivos ensayos de laboratorio. Para ello se ejecutó prospecciones destructivas con la cual se determinó el correspondiente perfil estratigráfico, la existencia o no de la napa freática y/o filtración (ver anexo Ensayo de laboratorio).

A continuación en el **Cuadro 2** “Relación de calicatas – Numero de Muestras”, se indican el número de calicatas ejecutadas a lo largo de la pista de aterrizaje y el número de todas las muestras extraídas durante la ejecución de los trabajos de campo del presente estudio de cada una de ellas, de la siguiente manera:

Cuadro N° 2. Relación de Calicatas – Número de Muestras (Ver Cuadro 3)

FECHA	PROGRESIVA	CALICATA	PROFUNDIDAD	MUESTRA	LADO
10/12/13	0+100	C - 1	0.00 - 0.25	-	Derecho
		C - 1	0.25 - 0.60	M - 1	
		C - 1	0.60 - 0.95	M - 3	
		C - 1	0.95 - 2.30	M - 2	
10/12/13	0+600	C - 2	0.00 - 0.12	S/M	Derecho
		C - 2	0.12 - 0.45	M - 1	
		C - 2	0.45 - 0.70	M - 2	
		C - 2	0.70 - 2.70	M - 3	
10/12/13	1+250	C - 3	0.00 - 0.10	S/M	Derecho
		C - 3	0.10 - 0.30	M - 1	
		C - 3	0.30 - 0.45	M - 2	
		C - 3	0.45 - 2.80	M - 3	
10/12/13	1+900	C - 4	0.00 - 0.12	S/M	Izquierdo
		C - 4	0.12 - 0.40	M - 1	
		C - 4	0.40 - 0.65	M - 2	
		C - 4	0.65 - 2.60	M - 3	
10/12/13	2+650	C - 5	0.00 - 0.10	S/M	Izquierdo
		C - 5	0.10 - 0.30	M - 1	
		C - 5	0.30 - 0.50	M - 2	
		C - 5	0.50 - 2.50	M - 3	

El detalle de la relación de calicatas se presenta en el Anexo “Ensayo de laboratorio”

Características de los Suelos Encontrados

Calicata C01 (Profundidad 2.30 m)

De 0 - 0.25 posee una carpeta de Concreto Hidráulico, 0.25 – 0.60 posee grava limosa pobremente gradada, cementación moderada, 0.60 – 0.95 posee grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico, de consistencia firme; de condiciones en el sitio: de color beige, húmeda y 0.95 – 2.30 posee Arena pobremente gradada con grava, no plástico, de consistencia firme; de condiciones en el sitio: de color gris, húmeda.

Calicata C02 (Profundidad 2.30 m)

De 0 - 0.12 posee una Carpeta Asfáltica, 0.12 – 0.45 posee grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color gris, húmeda, 0.45 – 0.70 posee grava bien gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color marrón, húmeda y 0.70 – 2.70 posee grava bien gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color marrón, húmeda.

Calicata C03 (Profundidad 2.80 m)

De 0 - 0.10 posee una Carpeta Asfáltica, 0.10 – 0.30 posee arena pobremente gradada, no plástico, de consistencia firme; de condiciones en el sitio: de color beige, húmeda, 0.30 – 0.45 posee grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color marrón, húmeda y 0.45 – 2.80 grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color marrón, húmeda.

Calicata C04 (Profundidad 2.60 m)

De 0 - 0.12 posee una Carpeta Asfáltica, 0.12 – 0.40 posee grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color gris, húmeda, 0.40 – 0.65 posee grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color beige, húmeda y 1.70 – 2.60 grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color marrón, húmeda.

Calicata C05 (Profundidad 2.50 m)

De 0 - 0.10 posee una Carpeta Asfáltica, 0.10 – 0.30 arena pobremente gradada con grava, no plástico, de consistencia firme; de condiciones en el sitio: de color beige, húmeda, 0.30 – 0.50 posee grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color gris, húmeda y 0.50 – 2.50 Grava pobremente gradada con arena, cementación moderada, no plástico; de condiciones en el sitio: de color marrón, húmeda.

Ensayos de Laboratorio

Con las muestras de suelo que se obtuvieron de las excavaciones se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, estándar, de compactación y de capacidad de soporte.

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.
- Equivalente de Arena ASTM D-2419.

Estos ensayos fueron necesarios para clasificar los suelos según el sistema SUCS (ASTM D-2487), en virtud a lo establecido en el AC N° 150/5320-6D de la FAA, adicionalmente se efectuó la clasificación de los suelos según AASHTO.

Los ensayos para determinar el grado de compactación y de capacidad de soporte, consistieron en:

- Próctor Modificado ASTM D-1557.
- Relación de Soporte de California (C.B.R.) ASTM D-1883.

El resumen de los resultados de los ensayos realizados se presenta en el **Cuadro N°3 y 4** “Resumen de Ensayos de Laboratorio Calicatas”.

Cuadro Nº 3. Resumen de Ensayo de Laboratorio Calicatas

Nº CALIC	PROG.	PROF.	MUESTRA NO	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN		% HUMNAT.	PROCTOR		CBR LABORATORIO		% EQUIV. ARENA
				PASANTE MALLA Nº 40 (%)			AAS HTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	0.1"		
				L.L.	L.P.	I.P.						100%	95%	
C - 1	0+100	0.00 - 0.25	S/M	Pavimento Rígido										
C - 1		0.25 - 0.60	M - 1	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP-GM	2.9	2.113	8.2	88.4	66.3	44
C - 1		0.60 - 0.95	M - 3	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	2	2.06	8.5	46.6	21.8	66
C - 1		0.95 - 2.30	M - 2	-	NP	NP	A-3 (0)	SP	1.4	1.681	8.8	41.3	28.1	49
C - 2	0+600	0.00 - 0.12	S/M	Carpeta Asfáltica										
C - 2		0.12 - 0.45	M - 1	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	0.8	2.037	8.7	59.4	31.2	59
C - 2		0.45 - 0.70	M - 2	-	NP	NP	A-1-a (0)	GW	0.4	1.997	7.8	38.4	26	60
C - 2		0.70 - 2.70	M - 3	-	NP	NP	A-1-a (0)	GW	0.4	1.996	8.3	40.2	35.4	60
C - 3	1+250	0.00 - 0.10	S/M	Carpeta Asfáltica										
C - 3		0.10 - 0.30	M - 1	-	NP	NP	A-3 (0)	SP	1.8	1.777	7.3	49.2	26.2	57
C - 3		0.30 - 0.45	M - 2	-	NP	NP	A-1-a (0)	GW	0.8	2.011	7.7	48	35.7	62
C - 3		0.45 - 2.80	M - 3	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	2	2.11	8.7	94.4	61.8	34
C - 4	1+900	0.00 - 0.12	S/M	Carpeta Asfáltica										
C - 4		0.12 - 0.40	M - 1	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	0.5	2.046	7.5	60.2	31.1	64
C - 4		0.40 - 0.65	M - 2	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	0.7	2.036	8.2	63.3	32.8	61

El Detalle de los ensayos se presenta en el Anexo Ensayos de Laboratorio

Cuadro N° 4. Resumen de Ensayo de Laboratorio Calicatas

N° CALIC	PROG.	PROF.	MUESTRA No	LIMITES DE CONSISTENCIA			CLASIFICACIÓN		% HUMNAT.	PROCTOR		CBR LABORATORIO		% EQUIV. ARENA
				PASANTE MALLA N° 40 (%)			AASHTO	SUCS		MDS (g/cm3)	OCH (%)	0.1"		
				L.L.	L.P.	I.P.						100%	95%	
C - 4		0.65 - 2.60	M - 3	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	0.8	2.051	8.9	54.4	27.9	58
C - 5	2+650	0.00 - 0.10	S/M	Carpeta Asfáltica										
C - 5		0.10 - 0.30	M - 1	-	NP	NP	A-1-b (0)	SP	1.1	2.075	8.9	94	48.2	64
C - 5		0.30 - 0.50	M - 2	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	1.3	2.097	7.6	95.4	60.4	62
C - 5		0.50 - 2.50	M - 3	-	NP	NP	A-1-a (0)	GP	1.7	2.09	7.5	88.2	55.1	61

Caracterización de los suelos de fundación

De acuerdo a las prospecciones realizadas, y a las secciones transversales de la evaluación, tenemos que los suelos que conforman la subrasante está compuesto grava limosa pobremente gradada en un 7.1%, arena pobremente gradada con grava en un 14.3%, grava bien gradada con arena en un 28.6% y grava pobremente gradada con arena en un 50 %, como se observa en el siguiente gráfico. **Ver Figura 38 y Figura 39**

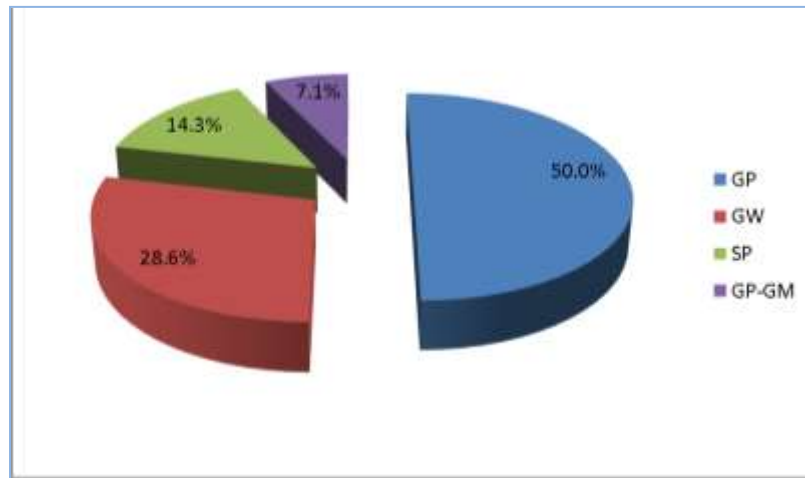


Figura N° 38. Distribución por tipo de Suelo (SUCS)

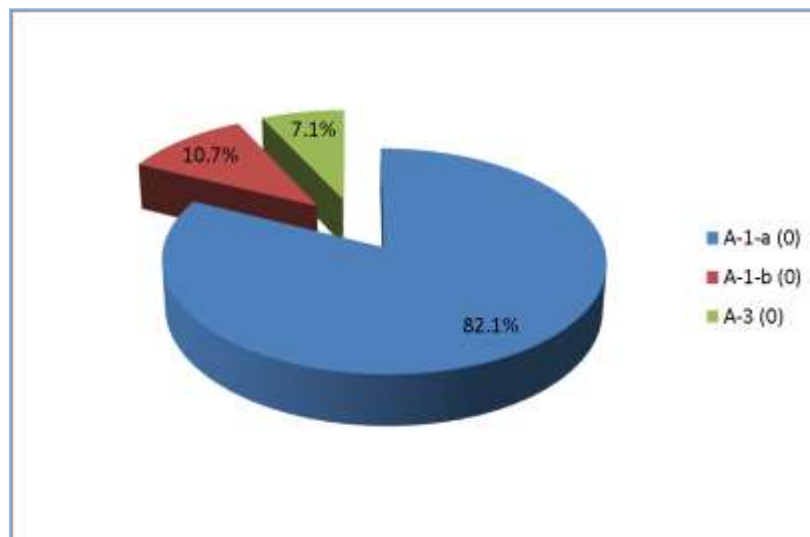


Figura N° 39 Distribución por tipo de Suelo (AASHTO)

Extracción de Testigos Diamantinas

El objetivo de las extracciones diamantinas, es brindar información de la carpeta asfáltica o pavimento rígido, como los espesores reales y características principales de los materiales que comprenden la carpeta asfáltica (porcentaje de asfalto, granulometría, etc.), resistencia a la compresión para los testigos de concreto hidráulico. Asimismo se realizó los correspondientes registros y panel fotográfico de los especímenes obtenidos. La medición de espesores se realizará de acuerdo a la norma MTC E 507-2000.

La perforación diamantina (perforación con el uso de diamantes) es uno de los métodos de sondaje más usados por excelencia en recolección de datos sobre el pavimento debido a la mayor información que es capaz de brindar a los ingenieros para el descubrimiento, constatación, estudio de cómo se encuentra ese pavimento.

Las brocas diamantadas están diseñadas en forma cilíndrica con un área en el interior hueca para alojar la muestra de testigos especialmente diseñada para capturar éste núcleo como muestra o testigo de las formaciones del pavimento, propósitos del estudio.

A continuación en el **Cuadro N° 5** “Relación de Extracciones Diamantinas”, se indican el número de diamantinas ejecutadas a lo largo de la pista de aterrizaje

Cuadro N° 5. Relación de extracciones diamantinas.

FECHA	DIAMANTINA (4")	PROGRESIVA	LADO	ESPEORES PROMEDIO DE DIAMANTINAS	UBICACIÓN
10/12/13	PD1	0+047	IZQ	25.28	PISTA DE ATERRIZAJE
10/12/13	PD2	0+128	DER	22.58	
10/12/13	PD3	0+275	IZQ	23.34	
10/12/13	PD4	0+467	IZQ	11.98	
10/12/13	PD5	0+723	DER	12.90	
10/12/13	PD6	1+014	IZQ	15.58	
10/12/13	PD7	1+379	DER	12.52	
10/12/13	PD8	1+656	IZQ	12.35	
10/12/13	PD9	1+979	DER	12.28	
10/12/13	PD10	2+283	IZQ	11.37	
10/12/13	PD11	2+590	DER	13.09	
10/12/13	PD12	2+892	DER	11.88	

Ensayos de Laboratorio

Los resultados de los ensayos realizados se presentan en el **Cuadro N°6** "Resumen de Ensayos de Laboratorio Diamantinas".

Cuadro N° 6. Resumen de Ensayos de Laboratorio Diamantinas

FECHA	Muestra	Progresiva	COORDENADAS		UBICACIÓN	TIPO	LADO	ALTURA DE LA BRIQUETA (cm.)					Resistencia
			NORTE	ESTE				Espesor 1	Espesor 2	Espesor 3	Espesor 4	PROM.	
10/12/13	PD-1	0+047	368996	8481282	PISTA DE ATERRIZAJE	PAV. RÍGIDO	IZQ	25.39	25.20	25.21	25.30	25.28	301
10/12/13	PD-2	0+128	368910	8481247	PISTA DE ATERRIZAJE	PAV. RÍGIDO	DER	23.81	20.50	23.56	22.45	22.58	448
10/12/13	PD-3	0+275	368850	8481109	PISTA DE ATERRIZAJE	PAV. RÍGIDO	IZQ	23.34	23.29	23.43	23.31	23.34	450
10/12/13	PD-4	0+467	368729	8480960	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	IZQ	12.00	12.05	11.91	11.95	11.98	-
10/12/13	PD-5	0+723	368537	8480790	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	DER	12.87	12.88	12.90	12.94	12.90	-
10/12/13	PD-6	1+014	368381	8480537	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	IZQ	15.70	15.70	15.40	15.50	15.58	-
10/12/13	PD-7	1+379	368120	8480282	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	DER	12.50	12.36	12.55	12.65	12.52	-
10/12/13	PD-8	1+656	367975	8480039	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	IZQ	12.23	12.31	12.54	12.33	12.35	-
10/12/13	PD-9	1+979	367738	8479818	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	DER	12.25	12.13	12.32	12.41	12.28	-
10/12/13	PD-10	2+283	367578	8479554	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	IZQ	11.45	11.39	11.28	11.36	11.37	-
10/12/13	PD-11	2+590	367355	8479346	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	DER	13.06	13.14	13.02	13.14	13.09	-
10/12/13	PD-12	2+892	367193	8479082	PISTA DE ATERRIZAJE	CARP. ASFÁLTICA	DER	11.81	11.90	12.00	11.81	11.88	-

Este detalle se presenta en el Anexo Ensayo de laboratorio

3.6. Evaluación no destructiva de pavimentos

Objetivos:

Determinar en base a los resultados de la evaluación funcional, superficial y estructural de pavimentos mediante ensayos no destructivos, el nivel de serviciabilidad, rugosidad y capacidad estructural del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco.

La evaluación de los pavimentos de los elementos conexos se realizó mediante una inspección visual del estado actual de deterioro del pavimento, medición de la condición superficial mediante relevamiento de fallas para la determinación valor del PCI (Índice de Condición del Pavimento) y medición de deflexiones utilizando el Deflectómetro de impacto KUAB para la determinación del comportamiento estructural.

Los trabajos de campo se efectuaron en el mes de diciembre del 2013. La metodología y resultados obtenidos en cada evaluación, se presentan a continuación:

Evaluación Superficial del Pavimento

Objetivos:

La evaluación tiene por objetivo la determinación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), los resultados permitieron establecer el estado de deterioro del pavimento.

Índice de Condición del Pavimento PCI

El Método PCI, fue desarrollado entre los años 1974 a 1976 por encargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los EE UU y ejecutado por los ingenieros Srs. Mohamed Y. Shahin, Michael I. Darter y Starr D. Kohn, con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de

pavimentos rígidos y flexibles, a través del Índice Pavement Condition Index PCI.

Para pavimentos de aeropuertos ha sido ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por diversas agencias como por ejemplo: la Federal Aviation Administration (FAA 1982), el U.S. Department of Defence (U.S. Air Force 1981 y U.S Army 1982), la American Public Work Association (APWA 1984), etc.

En 1982 la Federal Aviation Administration FAA, a través de su Circular AC 150/5380-6 de 03/12/1982, denominada "Guidelines and Procedures for Maintenance for Airport Pavement", recomendó este método, teniendo amplio uso en los aeropuertos de EE UU.

Actualmente el PCI para aeropuertos cuenta con la designación ASTM D-5340-04.

El Índice de Condición del Pavimento nos permitió:

- Determinar el estado de los pavimentos del aeropuerto de Pisco en términos de su integridad estructural y su nivel de servicio.
- Obtener un indicador que permita comparar con un criterio uniforme la condición y comportamiento de los pavimentos en relación a otros aeropuertos.
- Obtener un criterioracional para justificar la programación de obras y actividades de mejoramiento y rehabilitación de los pavimentos.
- Obtener información relevante de retroalimentación respecto del comportamiento de las soluciones adoptadas en el diseño, evaluación y criterios de mantenimiento de pavimentos.
- Generar información para posterior seguimiento en forma continua y segura de la condición de los pavimentos de aeropuertos, a fin de establecer prioridades de mantenimiento.

Significado

El PCI es un índice numérico, que fluctúa entre 0 (falla) y 100 (excelente). Su cálculo se basa en los resultados de la Inspección visual de los pavimentos, en la cual se identifican los tipos de deterioro existentes así como su severidad y cantidad.

Conceptualización

El nivel de daño de un pavimento depende del tipo de deterioro, su severidad y su cantidad (o densidad). La gran cantidad de combinaciones de deterioros, severidades y densidades posibles, es resuelta por el método introduciendo el “valor deducido”, factor de ponderación, para indicar “en qué grado afecta” a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, severidad y densidad.

Basado en un detallado conocimiento del comportamiento de los pavimentos, aportes de un gran número de ingenieros expertos en pavimentos, ensayos en terreno y evaluación de procedimientos, y descripciones precisas de los tipos de deterioros (deterioros característicos), niveles de severidad y sus correspondientes “valores deducidos”, se llegó a determinar un “índice de deterioro”, es decir, el índice PCI.

Se ha mencionado el término “tipos de deterioro” o “Deterioros Característicos”. Estos deterioros son los que generalmente se presentan en los pavimentos, habiendo sido tipificados y descritos en el capítulo II en forma precisa para los distintos tipos de pavimentos (flexibles y rígidos).

La designación ASTM D-5340- 04^{e1} contiene el manual en el cual se describen dichos deterioros característicos, indicándose además cómo identificar los diferentes niveles de severidad asociados a ellos. En el caso de pavimentos asfálticos se han definido 16 Deterioros Característicos (carpeta asfáltica) y para los Rígidos 15 Deterioros Característicos para pavimentos (losas de hormigón), cada uno de ellos puede tener asociado un Nivel de Severidad “leve”, “mediano” o “alto”.

Se debe establecer el Inventario de Pavimentos. Es decir, los pavimentos se separan definiéndose los siguientes conceptos:

Metodología para el Relevamiento de Fallas

En concordancia con los conceptos de RED, RAMA y SECCIÓN, el sistema de pistas evaluadas se agrupo de la siguiente manera:

RED: Aeropuerto de Pisco.

RAMA: Pistas Principal

SECCIÓN: La menor unidad de administración con características

Homogéneas (p. ej.: tipo de pavimento, estructura, tráfico, historia de construcción, condición actual, etc.).

La evaluación de la condición superficial del pavimento se ejecutó mediante el método de evaluación PCI tomando como referencia lo establecido en la Norma ASTM D 5340-98, ASTM (Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys).

El proceso de evaluación de la condición superficial del pavimento se efectuó siguiendo dos etapas, la primera correspondiente al trabajo de campo y la segunda a la etapa de gabinete para la determinación de los valores de PCI de los pavimentos.

3.7. Técnicas para el Procesamiento y Análisis de datos

A. Labores de Campo

Para llevar a cabo los trabajos de campo, se ha efectuado en la pista de aterrizaje, un enmallado de 15 m. por 30 m. área que corresponde a cada unidad de muestreo de 450 m², estas dimensiones fueron ubicadas y demarcadas sobre el pavimento a fin de facilitar al evaluador la identificación de las fallas existentes en cada área del pavimento.

La pista de aterrizaje ha sido dividida en 3 secciones de 15 m. de ancho cada una, siendo denominadas, IZQUIERDO, INTERMEDIO y DERECHO, que para efecto de análisis se denominó como: “Sector A”, “Sector B” y “Sector C” respectivamente.

A.1 Pista de Aterrizaje

El ancho de la pista principal es 45.0 m. la cual se dividió en 3 secciones de 15.0 m. cada una, y de acuerdo a la longitud de la pista de 3000.0 m. se establecieron un total de 100 unidades de muestreo de 15x30 m, las cuales se han analizado en su totalidad, siguiendo el criterio establecido por la Norma ASTM D5340-98. El siguiente croquis muestra la distribución de las unidades de muestreo a lo largo de la pista de aterrizaje para la evaluación correspondiente. **Ver Figura 40**

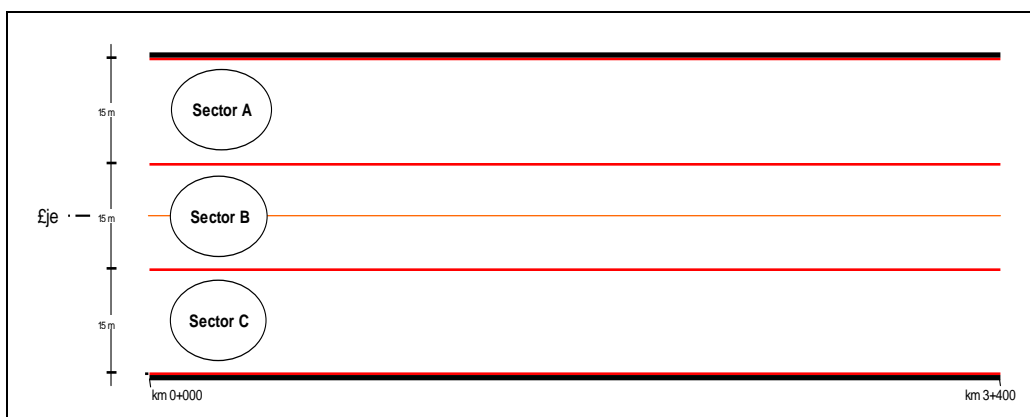


Figura N° 40 Sectores para el Relevamiento de fallas en Pista Principal

B. 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.

Trabajos de Gabinete

Los trabajos de gabinete han consistido en preparar los archivos electrónicos de las planillas de relevamiento de fallas, donde se han consignado los tipos de falla, cantidad y nivel de severidad.

Toda la Información de campo recogida fue anotada en los formatos correspondientes según el tipo de pavimento los cuales se adjuntan en el Anexo Evaluación Superficial.

Metodología para la determinación del PCI

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: Ver Figura 41

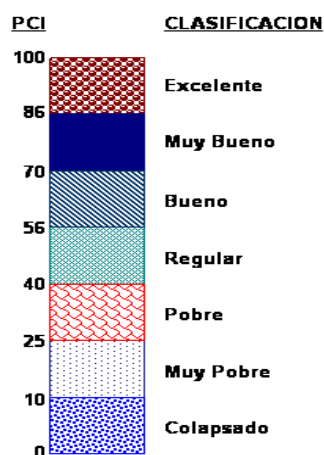


Figura N° 41. Clasificación PCI

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 un pavimento se determina en base a los valores de PCI determinados para cada unidad de muestra.

El proceso de cálculo es el mismo, tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos, la diferencia es que en el caso de los pavimentos flexibles se analizan las unidades de muestreo por áreas y en los rígidos en función al

número de losas; una vez definidos los tipos de falla, clasificadas según el grado de severidad, según el tipo de pavimento, se han hallado los totales de las secciones dañadas para definir la densidad en que ésta se presenta:

$$\text{Dens. (\%)} = \frac{\text{Área de las fallas}}{\text{Área muestra (450 m}^2\text{)}}$$

Con este valor, se calculan los Valores Deducidos (VD), utilizando las curvas para la obtención del Valor Deducido que se muestran en la Norma ASTM D3540, 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”:

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

HDV = Mayor valor deducido individual para la muestra “i”

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

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDC}$$

Resultados Obtenidos

Para efectos de descripción de los resultados obtenidos, se presenta la sectorización y codificación adoptada para el Aeropuerto de Pisco, así mismo, se presenta el resumen con los resultados de PCI y su valoración respectiva, obtenidos en cada sección **(Ver Cuadro N° 7)**

Los resúmenes de los valores de PCI obtenidos en cada unidad de muestreo de cada sección se adjuntan al final del presente capítulo:

Cuadro N° 7. Resultados PCI en cada Sección

ELEMENTO	SECCIÓN (Km)		FRANJA	PCI	PCI PROMEDIO (%)	CLASIFICACIÓN
	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL				
Pista de Aterrizaje	00+000	00+300	Pav. Rig.		49	Regular
Pista de Aterrizaje	00+300	1+100	A	74	71	Muy bueno
			B	69		
			C	71		
	1+100	02+000	A	67	68	Bueno
			B	61		
			C	75		
	02+000	03+000	A	64	71	Muy bueno
			B	63		
			C	87		

El detalle de la evaluación se presenta en el Anexo Evaluación Superficial

**AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION SUPERFICIAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR A
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI) - ASTM D 5340 (2004)**

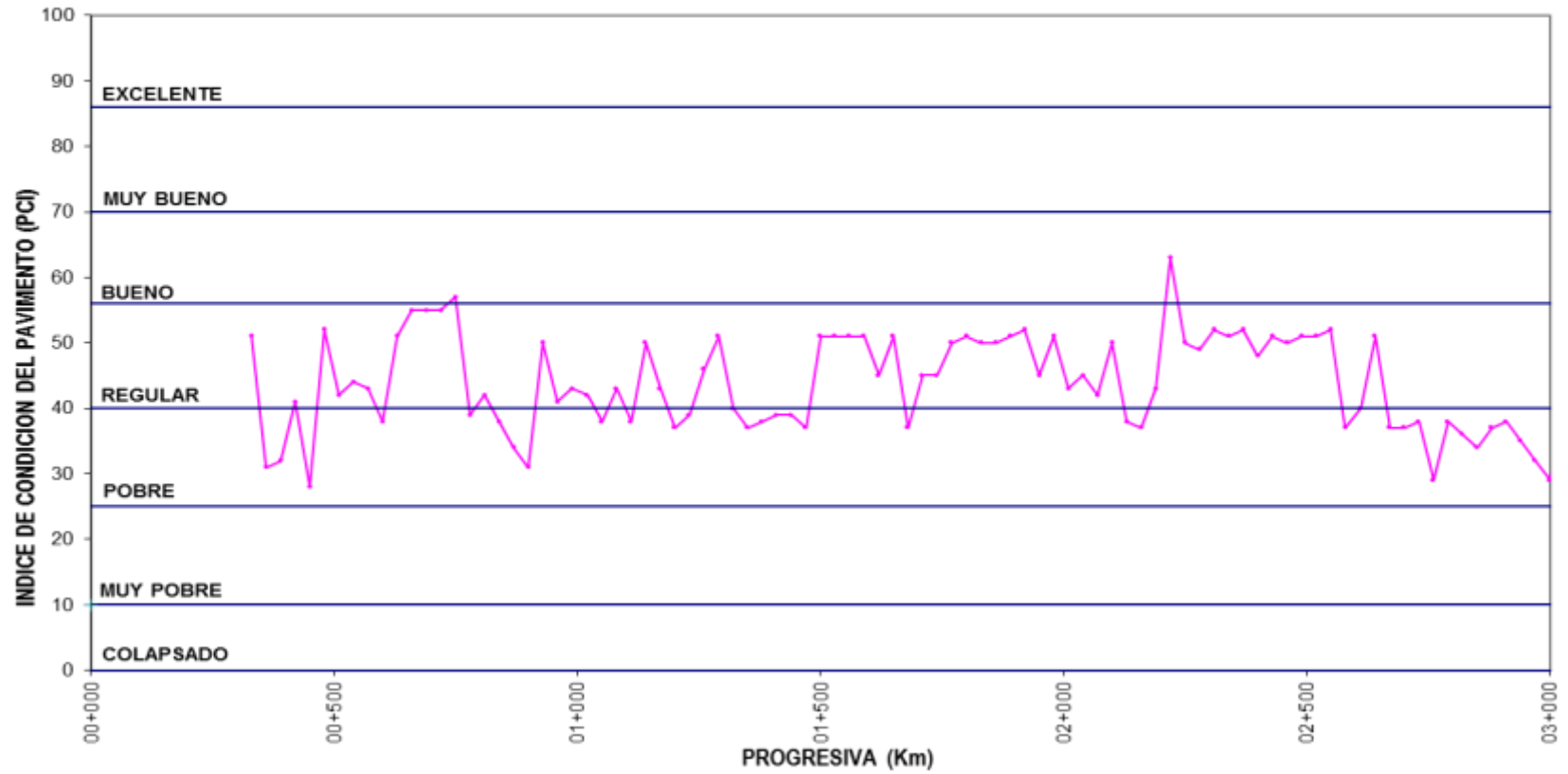


Figura N° 41-A Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector A

AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION SUPERFICIAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR B
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI) - ASTM D 5340 (2004)

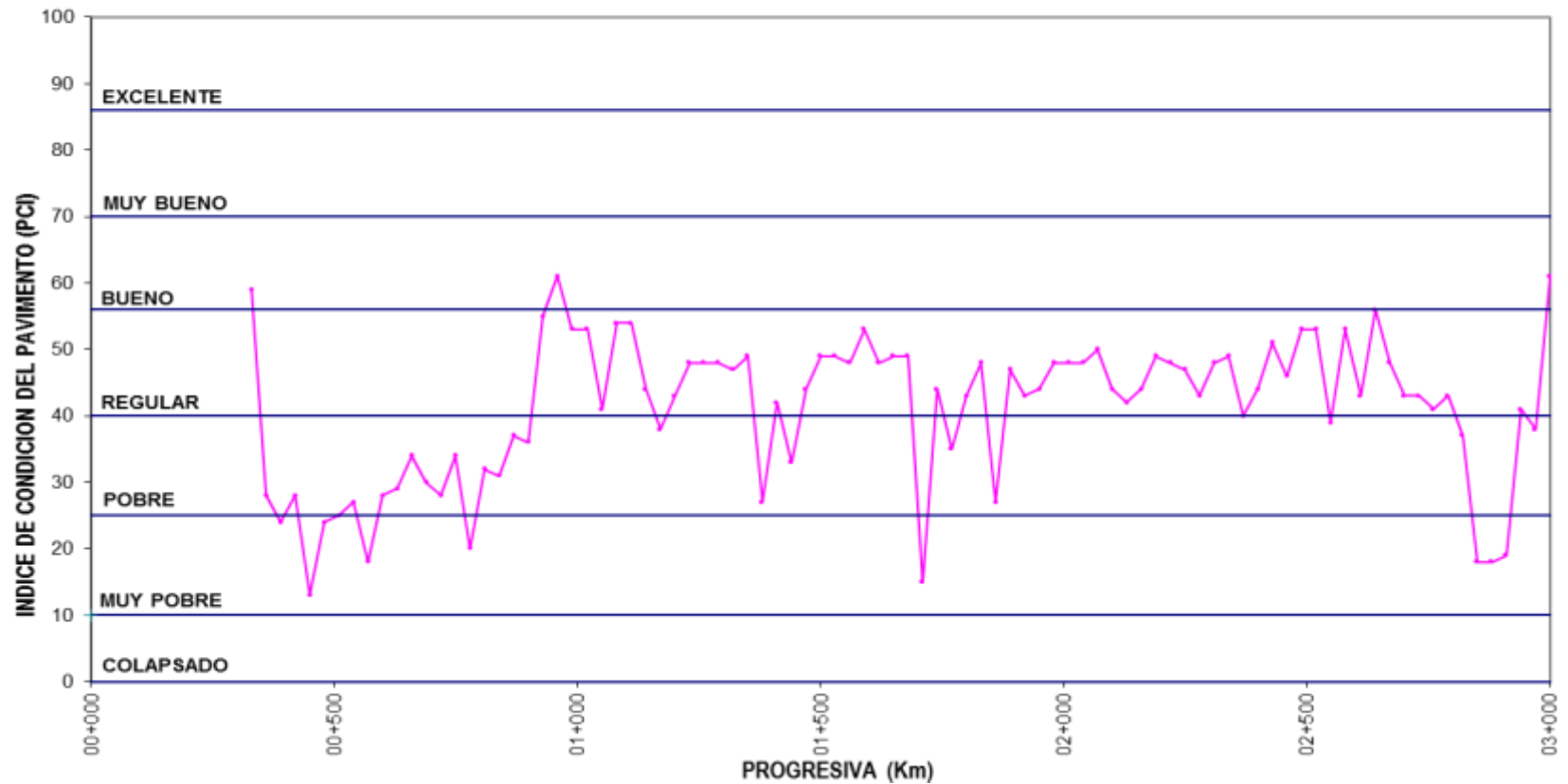


Figura N° 42 Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector B

**AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION SUPERFICIAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR C
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI) - ASTM D 5340 (2004)**

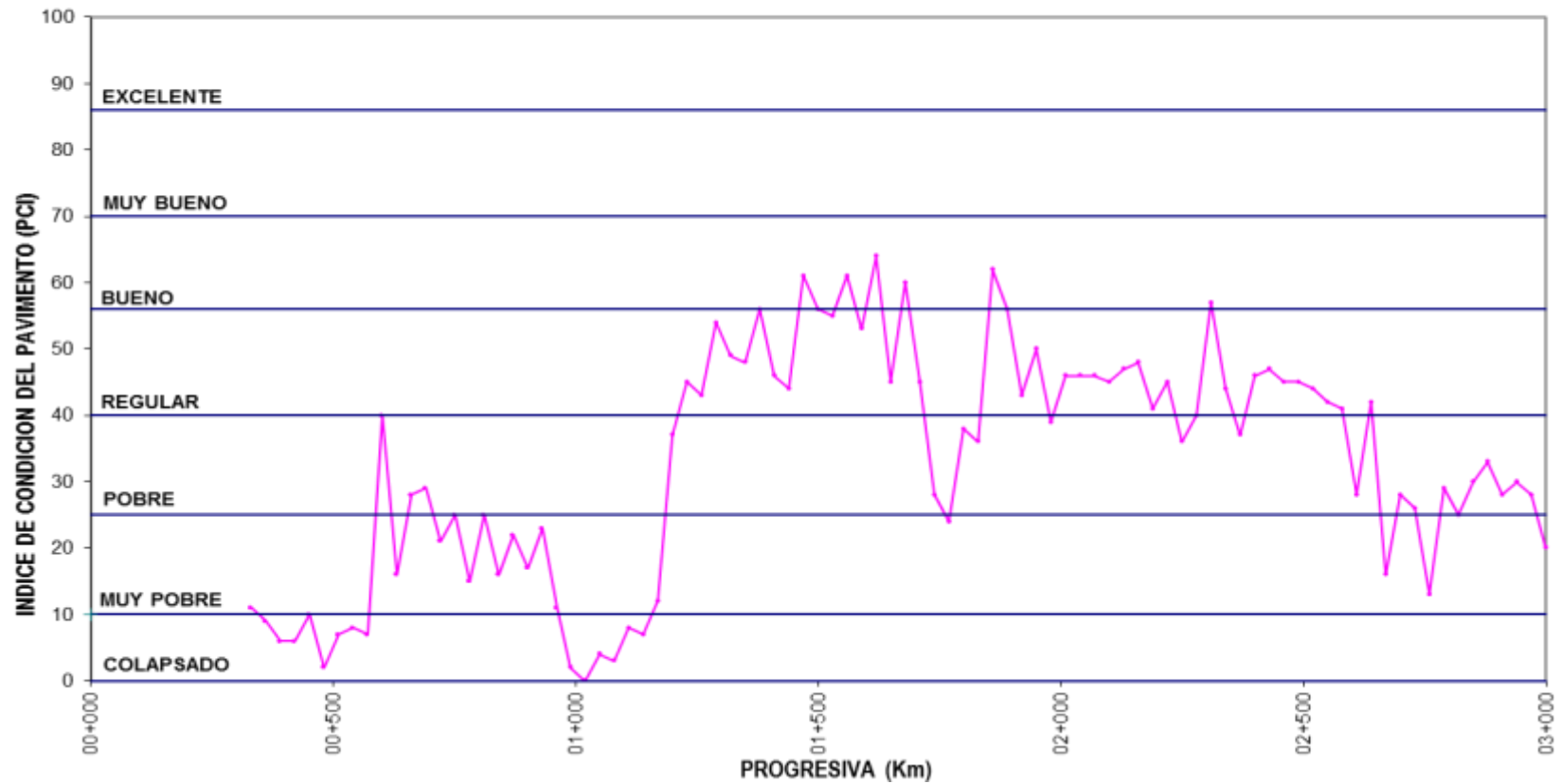


Figura N° 43. Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector C

3.7. Procedimiento de identificación del Boeing Bump

Evaluación de Parámetros Boeing Bump

- A. Procedimiento.** Evaluar cada combinación de BumpHeight y BumpLength contrastando la Figura N° 12; la cual reproduce los criterios presentados en la Figura 13 de Boeing Documento D6-81746 y muestra los límites de la rugosidad del pavimento aceptable, excesivo o inaceptable asociado con la irregularidad. Boeing ha desarrollado los criterios basados en la experiencia operativa para irregularidades que describen el estado general de un pavimento de la pista. Los criterios no proporcionan un análisis detallado de la respuesta del avión ni tratan de abordar el problema de raíz media cuadrática de la rugosidad. Los criterios también no abarcan los efectos de una serie de ondas de longitud larga de la ondulación donde la respuesta de frecuencia de avión es importante. Mediante la eliminación de los factores de respuesta de la raíz cuadrada media y frecuencia, este procedimiento simplificado se puede aplicar a todos los aviones de transporte de reacción independientemente de diseño estructural o características físicas.
- B. Criterios.** Los criterios de evaluación en la Figura N° 13 definen las condiciones de funcionamiento y el impacto estructural para la aeronave.
- (1) Aceptable.** La FAA espera que el pavimento recién construido o rehabilitado dará lugar a combinaciones de BumpHeight y BumpLength que estén dentro de la región inferior del rango aceptable. Las tolerancias de construcción descritos en los puntos P-401 y P-501 de la CA 150/5370-10 permiten 0.64 centímetros (0.25 pulgadas) en 4.8 metros (16 pies), como se indica en la Figura 2-3. Las operaciones en este rango son aceptables para todos los aviones. Para pavimento envejecidos, diversos factores como el levantamiento por heladas o fallas del pavimento aislados generaran cobinaciones de BumpHeight y BumpLength sobre el límite de rango aceptable.

La experiencia indica que los pilotos comienzan a reportar rugosidad excesiva cuando las condiciones se acercan más al rango excesivo. Cuando los reportes de los pilotos comienzan, los operadores aeroportuarios deben comenzar a identificar los lugares con irregularidades (BUMP) y preparar las acciones correctivas. Estas preparaciones deben incluir la actividad de mantenimiento programado para controlar el perfil de pavimento.

Cuando la rugosidad está encima de la zona aceptable, la fatiga del tren principal del avión es más crítico que la incomodidad del pasajero o limitaciones de aceleración en la cabina.

(2) Excesivo. La FAA impulsa a los operadores de aeropuertos para reparar pavimentos cuando los niveles de rugosidad entran en la zona EXCESIVO. La respuesta del avión a niveles excesivos de rugosidad es notablemente intolerable tanto para tripulación del avión y pasajeros. Rugosidades de esta magnitud generan malestar agudo para todos los ocupantes del avión. Las interferencias en los instrumentos de la cabina pueden ser graves. Este nivel de rugosidad también puede resultar en una incapacidad a corto plazo para operar el avión así como la reducción significativa del morro y la reducción de la resistencia a la fatiga del tren de aterrizaje. Reparaciones de pavimento inmediatas son necesarias en este nivel, pero no se requiere el cierre del pavimento afectado.

(3) Inaceptable. Niveles de rugosidad en la zona inaceptable justifican el cierre inmediato del pavimento afectado. Las reparaciones son necesarias para restaurar el pavimento a un nivel aceptable.

3.7.1. Boeing Bump Index

A. Necesidad. La aplicación del método Boeing Bump en un perfil del pavimento consume mucho tiempo y la tarea es tediosa, ya que cada punto medido en el perfil debe ser evaluado para todas las posibles longitudes de la regla. Para cualquier caso particular de la rugosidad de la pista, tanto Bump Height y Bump Length son significativos, sobre todo

al considerar las estrategias para la reducción de la rugosidad a través del mantenimiento.

Para resumir los criterios Bump y comparar criterios Bump calculados con otras medidas de la rugosidad, la FAA ha creado un parámetro adicional para el procedimiento de Boeing Bump. Este nuevo índice, llamado el “Boeing Bump Index” (Índice de irregularidad Boeing), se determina por el siguiente proceso:

- (5) Para un punto seleccionado en el perfil, calcular la altura Bump Height y Bump Length para todas las longitudes de regla.
- (6) Para cada longitud de regla, calcular el límite de aceptación Bump Height (límite superior de la zona aceptable) para el Bump Length calculado.
- (7) Para cada longitud de regla, calcular la relación (Bump Height medido/Límite de aceptación Bump Height).
- (8) Repetir los pasos (1) al (4) para todos los puntos del perfil.

El BBI para el punto de la muestra seleccionada es el más alto de todos los valores calculados en el paso (3) para el punto seleccionado. Si el índice calculado es inferior a 1.0 la rugosidad está en la zona ACEPTABLE; si es mayor que 1.0 está en la zona EXCESIVA o INACEPTABLE.

B. Software para Calcular el Boeing Bump Index. Para ayudar en el desarrollo de un programa informático para calcular el BBI, la FAA ha creado modelos matemáticos para los criterios de las curvas superior e inferior, como se indica a continuación:

- (1) Curva Límite Inferior (Límite superior de la zona ACEPTABLE)

$$H = 1.713187 + 0.800872L - 0.031265L^2 + 0.000549L^3 \text{ (para } L < 20 \text{ m)}$$

$$H = 6.4 + 0.16L \text{ (para } 20 < L < 60 \text{ m)}$$

- (2) Curva Límite Superior (Límite superior de la zona EXCESIVO)

$$H = 2.747222 + 1.433399L - 0.183730L^2 + 0.013426L^3 \text{ (para } L < 5 \text{ m)}$$

$$H = 2.7590 + 1.085822L - 0.053024L^2 + 0.001077L^3 \text{ (para } 5 < L < 20 \text{ m)}$$

$$H = 7.775 + 0.20375L \text{ (para } 20 < L < 60 \text{ m)}$$

Donde:

$$H = \text{BumpHeight (cm)}$$

$$L = \text{Bump Length (m)}$$

3.7.2. Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI

Evaluación del perfil del pavimento el BBI es similar a la realizada con el método Boeing Bump. Dado que el BBI se basa en las mismas tres zonas de rugosidad, las descripciones de estas zonas se aplican a los rangos correspondientes de la BBI.

La Figura N° 13 expresa los conceptos de la Figura N° 12 en términos de BBI en función del Bump Length. Figura N° 13 recrea las zonas de evaluación aceptables, excesivas, e inaceptables de la Figura N° 12 en términos de BBI. Cuando el valor de BBI es inferior a 1.0, el criterio Boeing Bump está en la zona ACEPTABLE. Valores de BBI mayor que 1.0 se encuentran en las zonas EXCESIVAS o INACEPTABLES.

Ver Figura 44

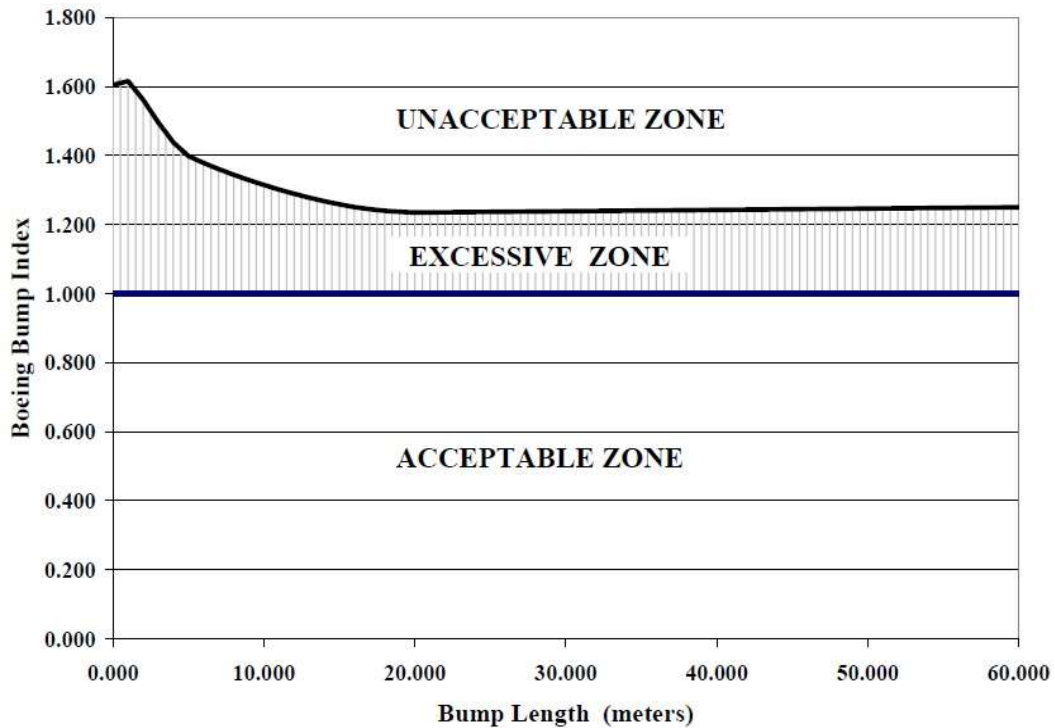


Figura N° 44 Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI

3.7.3. Metodología para la Determinación de la Rugosidad

Para la determinación de las mediciones de rugosidad, se definieron 8 líneas de medición convenientemente ubicadas en la Pista Principal (2 en el tercio Derecho, 4 en el tercio Central y 2 en el tercio Izquierdo), tal como se muestra en la **Figura N°45**

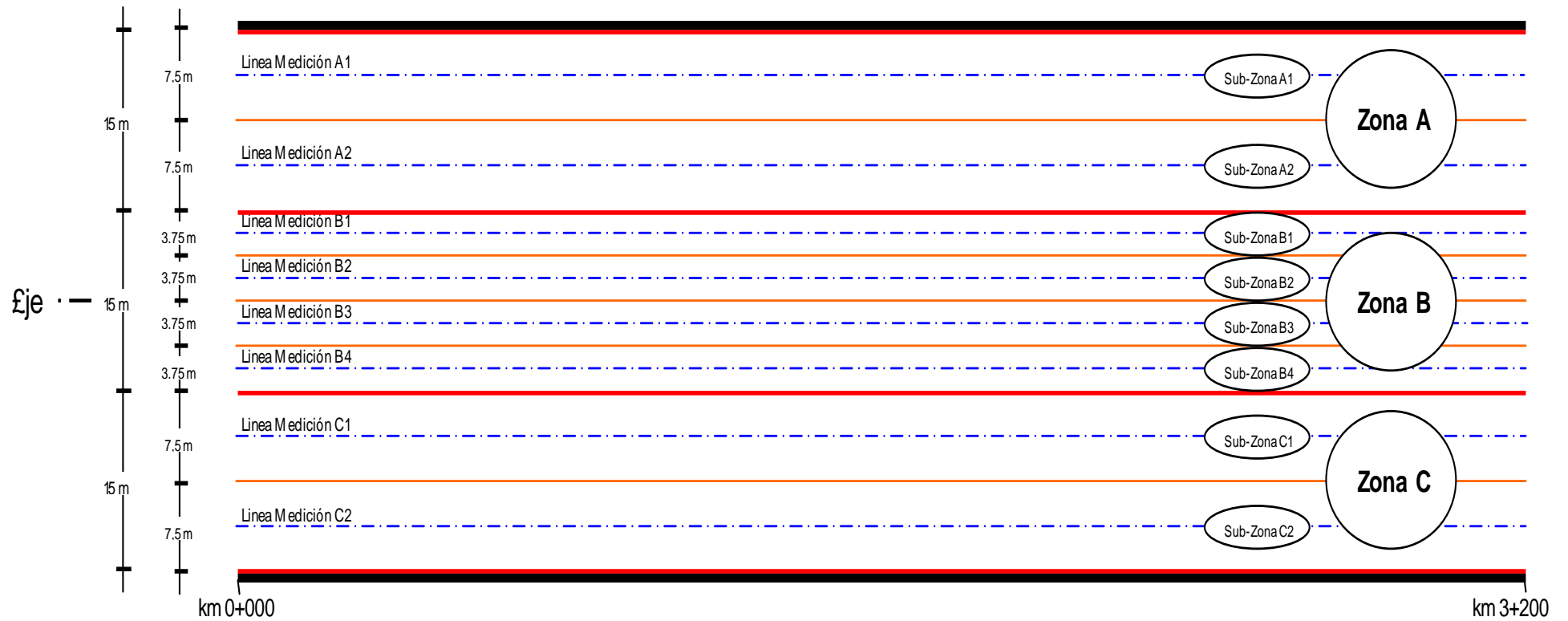


Figura N° 45 Croquis - Líneas de Medición de Rugosidad en Pista Principal

3.8. Evaluación Estructural del Pavimento

La evaluación estructural del pavimento permite calcular la deformabilidad del paquete estructural mediante ensayos de deflexión, a partir de lo cual se establece la capacidad estructural del mismo. **El sistema pavimento – suelo de subrasante se deforma asumiendo una curva denominada curva de deflexión.**

3.8.1 Metodología de Medición de Deflexiones

Las pruebas de caracterización estructural no destructiva abarcan una amplia variedad de ensayos in-situ, los cuales se efectúan sin producir daño físico al pavimento. Ellas brindan un soporte importante, rápido y confiable en la determinación de la capacidad estructural de un pavimento en servicio, cuando se realizan en las condiciones bajo las cuales son aplicables.

Las medidas de deflexión suministran una importante cantidad de información útil para determinar la capacidad estructural de un pavimento asfáltico. En particular, con ellas es posible:

- Evaluar la capacidad estructural del pavimento.
- Determinar la uniformidad estructural de un sector de pavimento, de acuerdo con la variabilidad de las deflexiones a lo largo del mismo.
- Programar estudios detallados en áreas localizadas donde las deflexiones sean anormalmente altas, para averiguar las causas de los deterioros de la estructura y de las debilidades del soporte.
- Obtener una indicación sobre la vida residual del pavimento.
- Determinar las propiedades de rigidez de las diferentes capas del pavimento y de la subrasante.

3.8.2. Metodología de Análisis de la Información

Los límites principales de las secciones de pavimento dentro de una franja ya han sido definidos en el sistema de gestión de pavimentos o por medio de una revisión de la historia constructiva. En un sistema de gestión de pavimento, una

sección se define como un área de pavimento que presenta un comportamiento uniforme, debido a los niveles de tráfico de aeronaves, pavimento antiguo, o pavimento nuevo. Los datos de deflexión pueden ser utilizados para definir o refinar la sectorización (secciones) dentro de una franja de pavimento.

Un análisis preliminar de los datos de deflexión en el centro se realiza habitualmente mediante el gráfico de las deflexiones normalizadas en toda la longitud de la pista de aterrizaje. Las deflexiones de datos originales se normalizaron mediante el ajuste de las deflexiones para una carga estándar. Por ejemplo, uno puede querer normalizar las deflexiones a una carga de rueda de avión crítico de 40.000 libras (18.000 kg), aunque las deflexiones se registraron en los niveles de carga de impulso de 31.500 libras (140 kN), 36.000 libras (160 kN) y 42.500 libras (190 kN). Cada deflexión registrada en estos niveles de carga tendría que ser ajustado de la siguiente manera para obtener tres deflexiones normalizadas a un nivel de carga de 40.000 libras (180 kN):

$$d_{on} = \left(\frac{L_{norm}}{L_{aplicado}} \right) d_o$$

Donde:

d_{on} = Deflexión normalizada

L_{norm} = Carga normalizada

$L_{aplicado}$ = Carga aplicada

d_o = Deformación medida en la ubicación del sensor seleccionado

Al revisar los gráficos de deflexiones normalizadas, el ingeniero debe buscar patrones de variabilidad. Las deflexiones normalizadas bajo el plato de carga proporcionan una indicación de la resistencia total de toda la estructura del pavimento (es decir, las capas de pavimento y subrasante) en cada lugar de medición de END. Para una carga de impulso dado (por ejemplo, 40.000 libras (180 kN)), disminuyendo las deflexiones normalizadas indican el aumento de la resistencia del pavimento.

Las deflexiones también pueden ser utilizadas para identificar las variaciones en la resistencia de la subrasante a lo largo de una franja del pavimento. Un sensor que se encuentra a una distancia previamente calculado desde el centro de la placa de carga puede proporcionar una buena estimación de la resistencia de la subrasante. La Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras y Transporte del Estado (AASHTO) 1.993 procedimiento de diseño, proporciona una guía para determinar la distancia del sensor hacia el plato de carga para reflejar la resistencia de la subrasante (por ejemplo, fuera del bulbo de esfuerzos en la interface de la subrasante - pavimento).

Una vez que los límites de las secciones de pavimento se han refinado o definido dentro de una franja (zona) de pavimento, los datos de deflexión originales para cada sección deben ser separados del archivo de datos para el análisis.

Después que los datos de deflexión ha sido sectorizados, los datos deben ser subdivididos por tipo de medición END.

- ✓ Deflexión central (cuenco de deflexiones). Resistencia de las capas del pavimento y durabilidad del material.
- ✓ Deflexión en Junta y Fisuramiento. Condición de junta y durabilidad del material.
- ✓ Deflexión en esquina de losa PCC. Condiciones de apoyo (soporte) y durabilidad del material.

A. Análisis del Retro cálculo

El ingeniero puede utilizar los datos de los cuencos de deflexión de los pavimentos flexibles y rígidos de las mediciones de ensayos no destructivos para calcular la resistencia de las capas del pavimento. El proceso que se utiliza para llevar a cabo este análisis **se denomina retrocálculo**, porque el ingeniero normalmente hace lo contrario al diseño tradicional de pavimentos. En lugar que determine el espesor de cada capa de pavimento asumiendo las resistencias de las capas, el retro cálculo implica típicamente calcular las

resistencias de las capas del pavimento basados en asumir espesores de capa uniformes. A lo largo del resto de este capítulo, la resistencia de la capa se describe en términos de módulo de Young de elasticidad o, simplemente, el módulo de elasticidad.

El análisis del retro cálculo está en la categoría de estático lineal que normalmente se lleva a cabo mediante dos procedimientos. La primera categoría permite al ingeniero utilizar los procedimientos de forma cerrada que calculan directamente el módulo de elasticidad de cada capa mediante el uso de espesores de capa y deflexiones a partir de uno o más sensores. La segunda categoría utiliza un proceso mecanístico iterativo para resolver el módulo elástico mediante el uso de espesores de capa y deflexiones a partir de al menos cuatro sensores.

Antes de llevar a cabo un análisis, el ingeniero debe revisar las mediciones de deflexión que han sido separadas por franjas o zonas del pavimento y de la sección para el retro cálculo. Independientemente de la herramienta de software que utilizará en el análisis, la teoría lineal elástica requiere que las deflexiones del pavimento disminuyen a medida que la distancia desde la placa de carga de END aumenta. Además, para configuraciones típicas de los sensores de END, las deflexiones deberían disminuir gradualmente desde la placa de carga hacia el sensor más externo.

Obtener con éxito la convergencia a un nivel de error aceptable depende de varios factores. Al revisar los niveles de error y los resultados de retro cálculo, es importante entender que una solución única no se obtiene durante el proceso de retro cálculo. Más bien, una de las muchas soluciones factibles se obtiene en base al conjunto de restricciones que existen o que se han definido en la configuración del cálculo retrospectivo. La magnitud del error y los valores del módulo de capa que se obtienen para una solución factible dependen de varios factores.

La magnitud del error y los resultados que se obtienen a través del retro cálculo iterativo utilizando la teoría de capa elástica están influenciados por muchos factores, incluyendo los siguientes:

- **Número de capas.** A medida que aumenta el número de capas en el análisis de back-cálculo, el nivel de error puede aumentar y el resultado en una solución inviable.
- **Espesores de capa.** A medida que el espesor de una capa se reduce en el análisis, el nivel de error puede aumentar. Además, si el espesor estimado de una capa es sustancialmente diferente que el espesor real, el nivel de error puede también aumentar.
- **Condición de interface de capa.** La resistencia de la unión entre dos capas en un análisis de múltiples capas también afectará a los resultados y los niveles de error.
- **Temperatura de capa asfáltica.** La capa de concreto asfáltico es muy sensible a los cambios de temperatura. Cuando la temperatura del aire cambia de manera significativa en un día soleado de verano caliente, el módulo de la carpeta asfáltica también cambiará de manera significativa. Esto puede reflejarse en los niveles de error y los resultados del análisis.
- **Valores "semilla" de capa.** El valor del módulo inicial que es seleccionado para cada capa puede tener un impacto en los resultados. La magnitud del error dependerá del algoritmo de iteración que se utiliza por el software de retro cálculo.
- **Radios de módulos de capas adyacentes.** Grandes errores pueden ocurrir cuando el módulo estimado entre dos capas adyacentes en una estructura de pavimento es significativamente diferente.
Por ejemplo, el error y los resultados obtenidos a partir del análisis de un 4 pulgadas (10 cm) de espesor de sobre carpeta asfáltica sobre 15 pulgadas (38 cm) de PCC pueden ser muy altos
- **Rigidez de Capa Subyacente.** Del mismo modo, si una capa relativamente rígida se encuentra a 10 pies (3 m) de la superficie del pavimento, el nivel de error puede ser muy grande si la herramienta de retro cálculo no tiene

en cuenta esta capa, a menudo referida como la "profundidad de la roca madre". Sin embargo, esta capa no tiene que ser lecho de roca, puede ser una capa que es mucho más rígida que las capas no unidas por encima de ella.

- **Grietas del pavimento.** La teoría de capa elástica asume que no hay discontinuidad en cualquier capa de la estructura de pavimento. Por lo tanto, si la placa de carga NDT está cerca de una grieta de cualquier tipo, o una junta subyacente en sobre carpeta asfáltica en pavimentos PCC, se pueden producir grandes errores.
- **Errores de sensor.** Si los sensores de END no están calibrados o las deflexiones medidas están fuera de los límites de las especificaciones de los sensores, el nivel de error también puede aumentar.
- **NDT plato de carga.** Si la placa de carga no está en contacto uniforme con la superficie del pavimento, el nivel de error puede aumentar.
- **Duración del pulso.** Para los dispositivos de END impulso de carga, la duración del pulso de la carga aplicada también puede afectar a los resultados.
- **Duración de frecuencia.** Para los equipos de END con aplicación de carga vibratoria, la frecuencia de carga también puede afectar los resultados.
- **Efectos estacionales.** El nivel freático puede cambiar a lo largo del año. Además, para los climas del norte, de penetración de las heladas y deshielos de primavera pueden afectar los niveles de error y resultados de análisis.

Variabilidad de las propiedades de los materiales. Los pavimentos se construyen sobre una subrasante o rellenan con material cuyo espesor y las características pueden cambiar a lo largo del perfil transversal o perfil longitudinal de la franja del pavimento. Las explanadas pueden ser no lineal, no homogénea, o aniso trópico. Las propiedades de subrasante pueden cambiar considerablemente en una distancia relativamente corta.

CAPITULO IV: PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1 Resultados Obtenidos.

4.1.1 Evaluación Funcional

a. Valores de Rugosidad (BBI):

Los valores de rugosidad obtenidos en campo se indican en el Anexo Evaluación Funcional, **(Ver Cuadro N° 8)**

Cuadro N° 8. Valores Calculados de BBI

Elemento Conexo	BOEING BUMP INDEX (%)									BBI - Promedio
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	
Pista de Aterrizaje	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13	0.13	0.12	0.14	0.13	0.13

b. Metodología de Medición de Resistencia al Deslizamiento (Macro textura) y Círculo de Arena (Micro textura)

La evaluación estructural del pavimento permite calcular la deformabilidad del paquete estructural mediante ensayos de deflexión, a partir de lo cual se establece la capacidad estructural del mismo. El sistema pavimento – suelo de subrasante se deforma asumiendo una curva denominada curva de deflexión.

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, para ello se han empleado el método de resistencia al deslizamiento y el método del círculo de arena respectivamente.

El coeficiente de fricción permite micro textura del pavimento en el sector de ensayo, mientras más áspero es el pavimento mejor es su comportamiento frente a las fuerzas de deslizamiento en calzadas cuyas

superficies se encuentran húmedas. El ensayo de círculo de arena permite medir la macro textura del pavimento en el sector de ensayo, a mayor volumen cuantificado más porosa la superficie.

Como definiciones de ambos ensayos podemos decir que la macro textura caracteriza 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 calzada y determina la disminución de adherencia cuando la velocidad se eleva. La micro textura 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.

Para el control de resistencia al deslizamiento, se ha utilizado el equipo denominado skidtester cuya finalidad es determinar el coeficiente de fricción del pavimento, 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.

Para el ensayo de círculo de arena se han utilizado cilindros de bronce de volumen normalizado para determinar el volumen en cada punto de ensayo. (Ver anexo Evaluación Funcional)

4.2. Evaluación Estructural del Pavimento

Los datos recopilados con el deflectómetro de impacto se han procesado con el software BAKFAA. (Ver Anexo Evaluación Estructural)

Procedimiento de obtención de resultados “BAKFAA”

- a) Se procederá a cargar el archivo con los datos de deflexiones al “BAKFFAA” el cual se insertará con el botón Load FWD File.
(Ver figura Nº 46)
- b) Se procederá a colocar la información de la estructura del Pavimento para proceder con el cálculo del mismo.

Se tomaron como valores iniciales para el Retrocálculo “Modulo de Young” los expresados en la siguiente (Ver Tabla 7):

Tabla 7. Módulo de Young

Material	Low Value, PSI (MPa)	Typical Value, PSI (MPa)	High Value, PSI (MPa)
Asphalt concrete	70,000 (500)	500,000 (3,500)	2,000,000 (14,000)
Portland cement concrete	1,000,000 (7,000)	5,000,000 (35,000)	9,000,000 (60,000)
Lean-concrete base	1,000,000 (7,000)	2,000,000 (14,000)	3,000,000 (20,000)
Asphalt-treated base	100,000 (700)	500,000 (3,500)	1,500,000 (10,000)
Cement-treated base	200,000 (1,400)	750,000 (5,000)	2,000,000 (14,000)
Granular base	10,000 (70)	30,000 (200)	50,000 (350)
Granular subbase or soil	5,000 (30)	15,000 (100)	30,000 (200)
Stabilized soil	10,000 (70)	50,000 (350)	200,000 (1,400)
Cohesive soil	3,000 (20)	7,000 (50)	25,000 (170)

FUENTE: Federal Aviation Administration / Advisory Circular – AC. Nº 150/5370/11B

Los valores iniciales para “**Ratios de Poisson**” los expresados en la siguiente tabla: **(Ver Tabla 8)**

Tabla 8: Valores iniciales

Material	Low Value	High Value
Asphalt concrete or asphalt-treated base	0.25	0.40
Portland cement concrete	0.10	0.20
Lean concrete or cement-treated base	0.15	0.25
Granular base, subbase, or soil	0.20	0.40
Stabilized soil	0.15	0.30
Cohesive soil	0.30	0.45

FUENTE: Federal Aviation Administration / Advisory Circular – AC. Nº 150/5370/11B

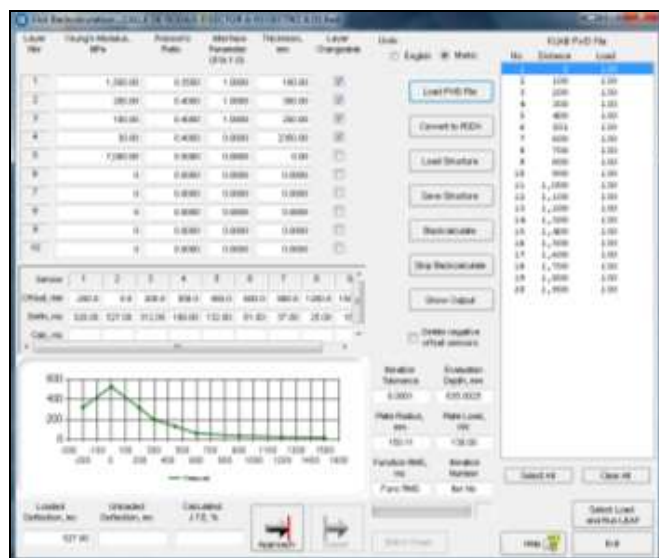


Figura Nº 46 Programa “BAKFFAA”

c) Se procederá a ejecutar el proceso de cálculo según la sectorización que tenga el aeropuerto, el proceso de cálculo se observa en **figura Nº 47**

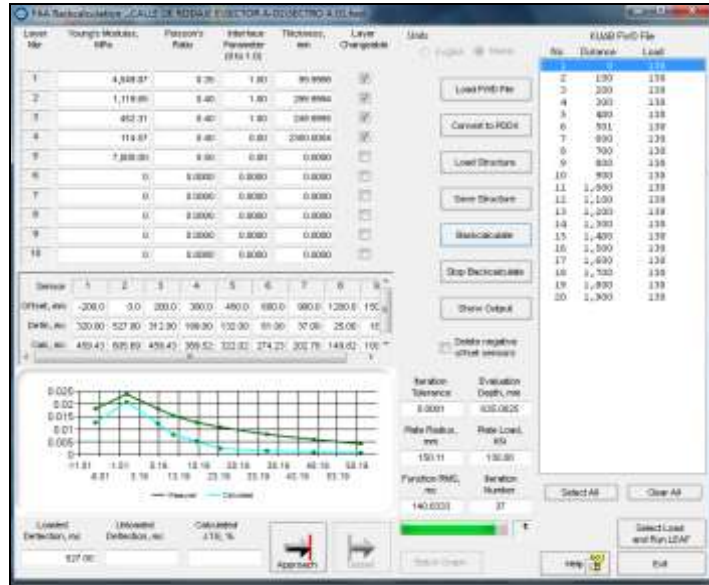


Figura N° 47 Programa “BAKFFAA”

d) Luego del procesamiento del programa se podrá ver los valores que tenga el punto en estudio, en caso de que sea más de un punto el programa te pedirá guardar la información en formato **.csv**, en el archivo que defina el usuario (**ver figura N° 48**)

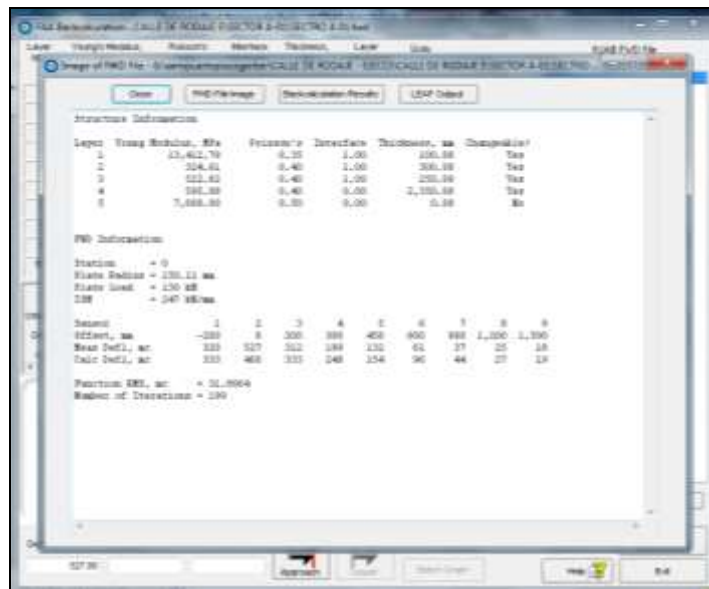


Figura N° 48 Programa “BAKFFAA”

A continuación se presentan los resultados obtenidos el espesor usado para las deflexiones (**Ver Figura 49, Figura 50 y Figura 51**)

**AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION ESTRUCTURAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR A
MEDICION DE DEFLEXIONES**

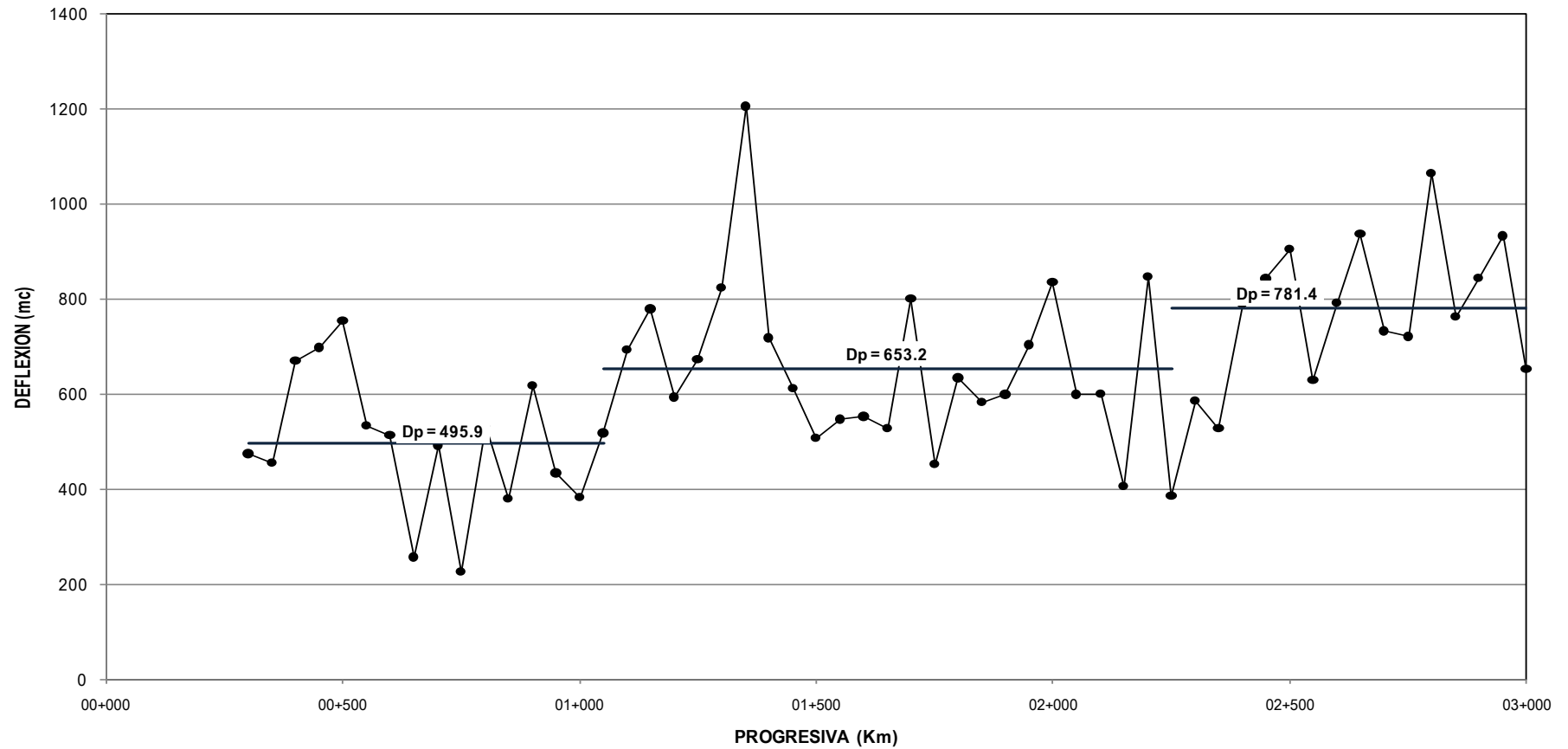


Figura N° 49 Evaluación estructural de pista de aterrizaje – Sector A

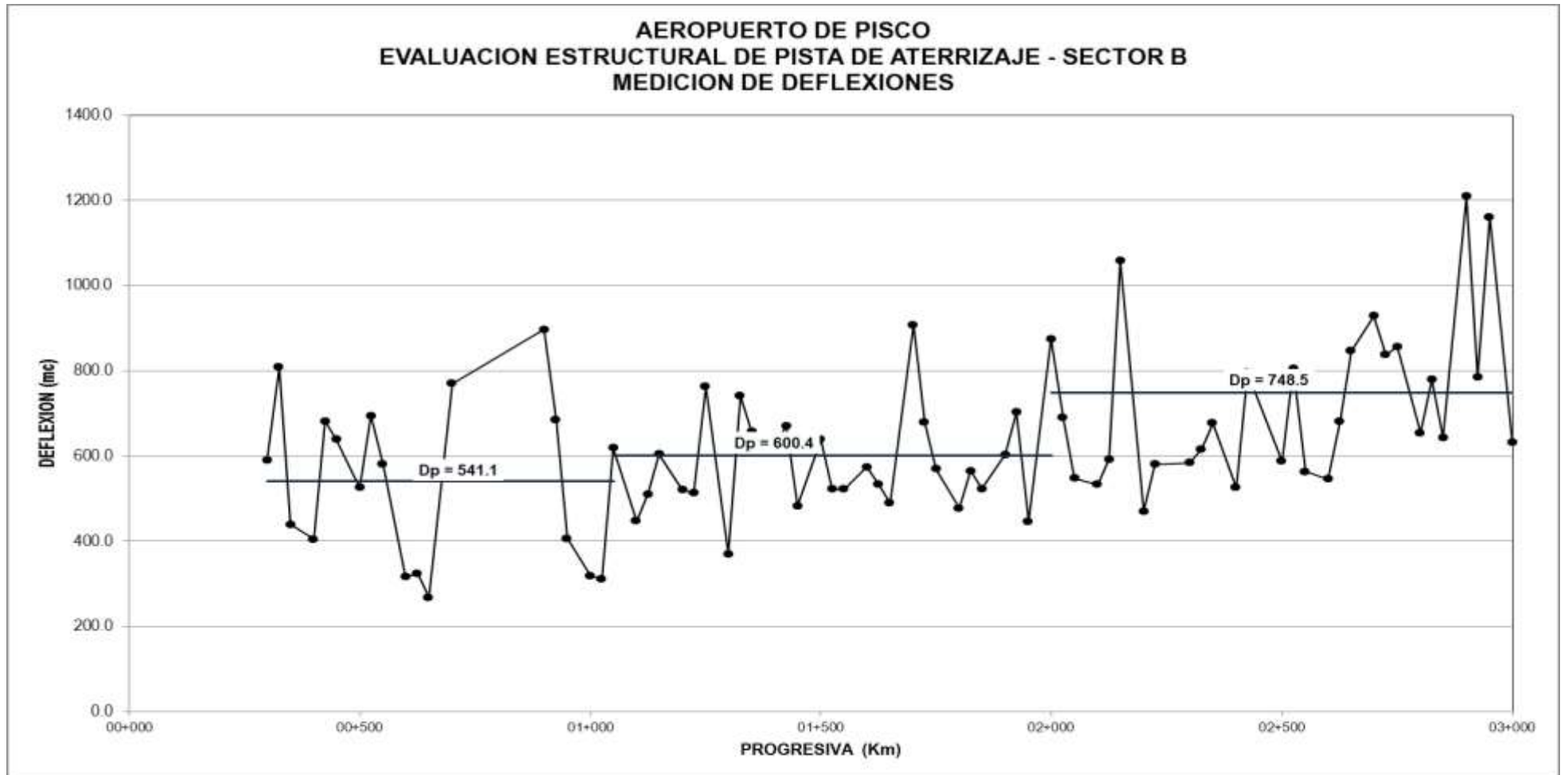


Figura N° 50 Evaluación estructural de pista de aterrizaje – Sector B

**AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION ESTRUCTURAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR C
MEDICION DE DEFLEXIONES**

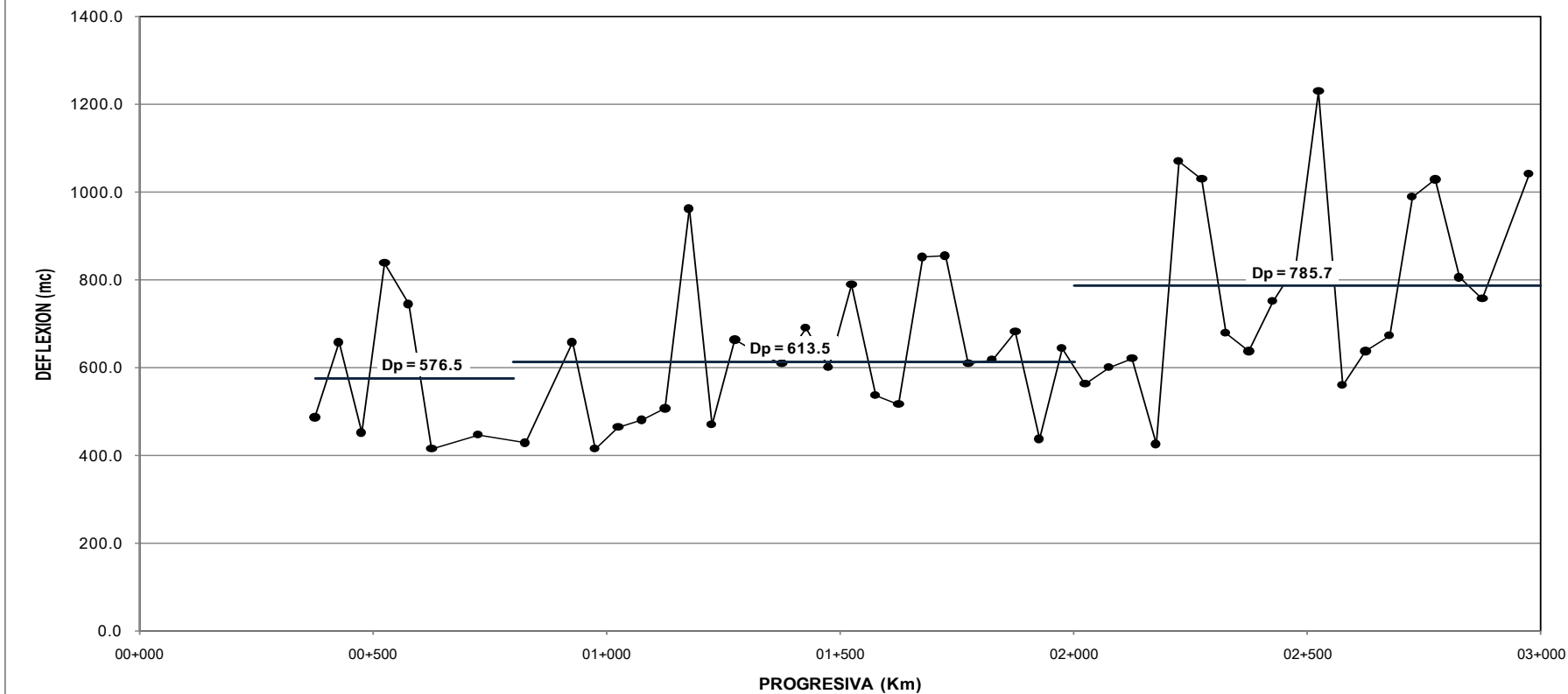


Figura N°51 Evaluación estructural de pista de aterrizaje – Sector C

Cuadro N° 9. Valor relativo de soporte (CBR) de subrasante

Elemento conexo	Sección (km)		Cbr (retrocalculo)		Espesor Equivalente (pulgadas)
	Progresiva inicial	Progresiva final	Promedio (%)	Percentil 85%	
Pista de Aterrizaje	00+300	03+000	37.1	14.1	21.3

4.2.1. Indicadores de las Condiciones de Seguridad actuales del Pavimento

Como indicador de la condición de seguridad del pavimento se determinará el Número Clasificador de Pavimentos (PCN) para las distintas ramas definidas en el Aeropuerto de Pisco (Para esta tesis solo se tomara en consideración la pista de aterrizaje). Se empleará el método ACN/PCN desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y descrito en la parte 3, segunda edición del Manual de Diseño de Aeródromos y el procedimiento establecido en el Circular Advisory 150/5335-5B de la FAA (Administración de Aviación Federal).

Determinación del Valor Numérico del PCN

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 el PCN para la estructura del pavimento. Bajo estas condiciones, cualquier avión con un ACN menor ó 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.

Definiciones:

ACN (Numero Clasificador de Aeronaves).- se define como un número que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada resistencia normalizada del terreno de fundación.

PCN (Numero Clasificador del Pavimento).- se define como un número que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones.

Reporte del Número Clasificador del Pavimento:

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

- El valor numérico del PCN.
- El tipo de pavimento
- La resistencia del terreno de fundación
- La presión de los neumáticos
- El método de evaluación

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 número de clasificación de aeronave (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 a la masa total.

El tipo de pavimento:

Para fines de notificación de la resistencia del pavimento, estos se clasifican en Flexibles (F) y Rígidos (R).

Resistencia del terreno de Fundación:

Se clasifica utilizando valores medios para cada categoría de resistencia de la subrasante, siendo el parámetro CBR para pavimentos flexibles y el módulo de reacción K para pavimentos Rígidos, según los valores indicados a continuación. **(Ver Cuadro N° 10 y 11)**

**Cuadro N° 10. Codificación de la resistencia del terreno de fundación –
Pavimento Rígido**

CATEGORÍA DE RESISTENCIA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN	K- VALOR SOPORTE DE SUBRASANTE PCI (MN/m ³)	REPRESENTATIVO PCI (MN/m ³)	CÓDIGO DE DESIGNACIÓN
ALTA	552.6(150)	$k \geq 442$ (≥ 120)	A
MEDIA	294.7(80)	$221 < k < 442$ ($60 < k < 120$)	B
BAJA	147.4(40)	$92 < k < 221$ ($25 < k \leq 60$)	C
ULTRA BAJA	73.7(20)	$k \leq 25$	D

**Cuadro N° 11. Codificación de la resistencia del terreno de fundación –
Pavimento Flexible**

CATEGORÍA DE RESISTENCIA DEL TERRENO DE FUNDACIÓN	CBR- VALOR SOPORTE DE SUBRASANTE (%)	REPRESENTATIVO PCI (MN/m ³)	CÓDIGO DE DESIGNACIÓN
ALTA	15	$CBR \geq 13$	A
MEDIA	10	$8 < CBR < 13$	B
BAJA	6	$4 < CBR \leq 8$	C
ULTRA BAJA	3	$CBR \leq 4$	D

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: **(Ver Cuadro N° 12)**

Cuadro N° 12. Codificación de la Presión de Inflado - Pavimento Flexible

CATEGORÍA	RANGO DE PRESIÓN DE NEUMÁTICO	CODIFICACIÓN
ALTA	Sin límite de presión	W
MEDIA	Presión limitada a 218 psi (1.50 MPa)	X
BAJA	Presión limitada a 145 psi (1.00 MPa)	Y
MUY BAJA	Presión limitada a 73 psi (0.50 MPa)	Z

Método de evaluación

Evaluación Experimental: Está basada en la experiencia de la aeronaves que operan usualmente en el pavimento, según el procedimiento establecido en el

consiste en determinar el ACN de las aeronaves en operación en el aeropuerto y asignar como **PCN** el mayor valor, el método de evaluación debe ser codificado con la letra **U**.

Evaluación Técnica.- cuando la evaluación efectuada representa el resultado que de un estudio específico de las características del pavimento con la aplicación de una tecnología del comportamiento de los pavimentos. En este caso la evaluación debe ser codificada con la letra **T**.

4.2.2. Método de Evaluación Técnica para determinación del PCN

Para determinar el Número Clasificador del Pavimento (**PCN**) se seguirán los siguientes pasos:

- Determinar el volumen de tráfico en términos de tipo de aeronave y el número de salidas / ciclos de tráfico anuales de cada aeronave que el pavimento va a experimentar durante su vida.
- Determinar la sección de referencia apropiado utilizar basado en el número de ruedas del tren principal.
- Determinar las características del pavimento, incluyendo el CBR de la subrasante y el espesor del pavimento equivalente.
- Calcular el peso bruto máximo para cada aeronave en la que el pavimento a nivel de salida anual equivalente.
- Calcular el ACN para el peso bruto máximo de cada aeronave.
- Seleccione el PCN partir de los datos proporcionados por el ACN de todas las aeronaves.

Determinación del volumen de tráfico

a.- Estadística de tráfico.-

Se ha efectuado el procesamiento de la estadística de tráfico proporcionada por la ADP, correspondiente a los años 2010 al 2013. El resumen estadístico se muestra a continuación (**Ver Cuadro N° 13**)

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continua)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
A-310	--	--	1	1	--	--	--	--
A-320	--	--	--	--	4	4	--	--
A-37	2	2	--	--	--	--	--	--
A37B	1249	1257	880	875	651	656	307	323
AC-500	--	--	--	--	1	1	--	--
AC-690	--	--	--	--	1	--	1	4
AEROCOMANDER 500	28	28	23	23	32	33	20	20
AGUSTA A109K	--	--	--	--	2	2	--	--
AGUSTA A-119 SN-14518	1	1	--	--	--	--	--	--
AGUSTA BELL-212	26	27	22	21	76	76	15	15
AIR BUS 321	--	--	--	--	2	2	--	--
AIR MAJORO	--	--	3	3	1	1	1	1
AIRBUS 320	--	--	--	--	1	1	1	1
AIRBUS A319-100	60	60	95	95	218	218	655	655
AIRBUS EA-320-232	--	--	--	--	1	1	--	--
AIRBUS-319	2	2	2	2	1	1	--	--
AIRBUSS	--	--	1	1	--	--	--	--
AN-32	452	449	278	277	375	373	244	246
AS350	--	--	--	--	--	--	2	2
AS-350	5	5	6	5	23	23	5	6
AS-350 B3	20	20	43	44	14	14	26	24
AS350-BELL3	33	33	1	1	4	4	--	--
AS350FX	3	3	--	--	--	--	--	--
AS-50	3	3	9	10	--	--	1	--
ASTRA	--	--	1	1	--	--	--	--
ATR42-300	--	--	--	--	1	1	2	2
B 2	3	3	--	--	7	7	7	7
B-200	4	4	11	11	316	317	5	5
B-212	--	--	--	--	15	15	--	--

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
B350	1	1	1	1	1	1	1	1
B-350	--	--	1	1	--	--	--	--
BAE 146-200	1	1	--	--	2	2	7	7
BAE-146	2	2	2	2	5	5	1	1
BAE-146-200	--	--	2	2	2	2	--	--
BAE-146-300	--	--	--	--	1	1	--	--
BE-200	--	--	--	--	11	10	--	--
BEHCRAFT DUCHESS76	--	--	--	--	97	97	86	90
BEEHCRAFT	--	--	18	19	5	4	14	14
BEEHCRAFT 1900	27	27	59	59	25	25	25	25
BEEHCRAFT 1900C	8	8	8	8	4	4	21	21
BEEHCRAFT 200	142	142	233	231	62	62	199	203
BEEHCRAFT 350 KING AIR	31	31	17	16	7	7	2	2
BEEHCRAFT 90	35	36	2	2	3	3	12	11
BEEHCRAFT AIR F90	--	--	1	1	--	--	--	--
BEEHCRAFTBARON 98-B55	--	--	--	--	3	3	--	--
BEEHCRAFT BONANZA BE36	--	--	--	--	1	1	1	1
BEEHCRAFT KING AIR B-90	--	--	10	10	--	--	3	3
BEEHCRAFT PREMIER 1	--	--	1	1	--	--	--	--
BEEL - 212	--	--	--	--	1	1	--	--
BELL - 212	--	--	2	2	--	--	1	1
BELL - 407	--	--	--	--	2	2	--	--
BELL 204	3	3	--	--	--	--	--	--
BELL 204B	4	4	1	1	3	3	--	--
BELL 212	--	--	15	15	--	--	--	--
BELL 412	--	--	--	--	--	--	5	5
BELL 412EP	--	--	5	5	19	17	5	5
BELL-206	--	--	141	139	1	1	--	--
BELL-212	--	--	1	1	--	--	--	--

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
BIKING AIR 90	--	--	--	--	--	--	1	1
BO-105	--	--	1	1	--	--	--	--
BOEING 727-200	--	--	1	1	--	--	--	--
BOEING 737-200	1	1	1	1	1	1	--	--
BOEING 737-300	36	36	18	18	209	209	810	810
BOEING 747	--	--	1	1	--	--	--	--
BOEING 757	1	1	--	--	--	--	--	--
BOEING 767-300	--	--	2	2	6	6	--	--
BOEING B-737-200	--	--	1	1	--	--	--	--
BOEING B-737-500	51	52	143	142	315	315	642	642
BOEING B-767-300	--	--	1	1	2	2	--	--
BOLKOV BK-117 (HELICOPTERO)	--	--	6	6	3	3	5	5
BOLKOV BO-105 (HELICOPTERO)	14	14	5	5	10	10	--	1
C-152	2282	2287	955	963	623	624	654	654
C172	--	--	--	--	110	113	251	257
C-172	--	--	--	--	499	496	2852	2888
C-182	--	--	--	--	2	2	2	2
C-206	--	--	256	256	28	29	74	75
C-207	7	7	3	3	48	49	24	26
C-208	572	571	547	543	1313	1307	1158	1158
C-208B CESSNA	--	--	--	--	61	60	458	459
C-210	--	--	1	1	--	--	--	--
C-26	112	113	1	1	11	12	56	59
C-26B	46	43	65	68	33	33	1	1
C-303	--	--	2	2	6	6	1	1
c402	--	--	--	--	3	3	--	--
C-525	1	1	--	--	--	--	1	1
C750	--	--	--	--	--	--	1	1

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
CANADAIR CL-60	1	1	--	--	--	--	--	--
CESNA T-310	32	32	28	27	65	61	3	4
CESNA-172	--	--	--	--	--	--	8	8
CESSBA U-206-1246	9	9	3	3	7	7	14	14
CESSNA	256	256	316	318	641	640	37	37
CESSNA 208 CARAVAN	--	--	--	--	--	--	14	14
CESSNA 150	55	55	3	3	556	565	541	539
CESSNA 150L	5	4	1047	1046	850	858	422	426
CESSNA 154	481	482	11	10	1384	1379	300	305
CESSNA 172	--	--	--	--	--	--	1	1
CESSNA 172 S	3	3	--	--	--	--	6	6
CESSNA 182	--	--	1	1	--	--	--	--
CESSNA 182T	1	1	--	--	--	--	--	--
CESSNA 188	--	--	--	--	2	2	--	--
CESSNA 206	283	284	21	21	--	--	1	1
CESSNA 207	4	4	--	--	--	--	1	1
CESSNA 208 CARAVAN	1013	1014	2266	2258	2145	2138	1717	1717
CESSNA 210	1	1	--	--	1	1	--	--
CESSNA 337G SUPERSKYMASTER	--	--	1	1	--	--	--	--
CESSNA 350	--	--	1	1	--	--	--	--
CESSNA 411	60	60	--	--	--	--	--	--
CESSNA 441	--	--	--	--	59	59	--	--
CESSNA 510	--	--	1	1	--	--	--	--
CESSNA AIR COMP	2	2	--	--	--	--	--	--
CESSNA C 152	--	--	178	179	434	436	91	91
CESSNA C152	11	11	299	299	665	670	260	265
CESSNA C-152	2774	2772	1209	1211	1036	1036	275	282
CESSNA C-172	30	29	209	210	103	104	5	6
CESSNA C-208	436	434	205	203	145	145	--	--

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
CESSNA C-310	--	--	1	--	--	--	--	--
CESSNA C-402	1	1	30	30	8	8	3	3
CESSNACITATION	--	--	--	--	--	--	1	1
CESSNACITATION	--	--	--	--	1	1	--	--
CESSNACITATION C-560	--	--	--	--	1	1	--	--
CESSNACITATION C-560 XL	4	4	--	--	2	2	--	--
cessna gran caravan ex	--	--	--	--	--	--	1	1
CESSNASKYMASTER	8	7	22	22	16	16	9	9
CESSNA T-182	18	18	82	82	80	80	19	19
CESSNA T-337-G	12	12	1	1	--	--	--	--
CESSNA U-206	--	--	3	3	2	2	--	--
CESSNA U-206F	2	2	--	--	--	--	4	4
CESSNA-207	--	--	1	1	--	--	--	--
CESSNA-C-152	348	348	404	408	377	374	155	160
CHALLENGER 300	--	--	1	1	1	1	1	1
CHALLENGER 850	--	--	--	--	--	--	1	1
CITATIONEXEL 56X	--	--	--	--	1	1	--	--
CL-600	1	1	--	--	--	--	--	--
DA-IGO	--	--	--	--	2	2	5	5
DASH 8	10	9	48	49	282	282	568	565
DASSAULTMYSTEREFALCON 20	36	36	--	--	--	--	--	--
DUCHBEECHCRAFT	--	--	--	--	76	77	285	278
ECURIL- AS-355 F2	44	44	--	--	--	--	--	--
EMBRAER 145	--	--	1	1	--	--	--	--
EMBRAER-190	--	--	6	6	--	--	--	--
F28F	330	329	267	269	257	259	1	1
F-28F	81	79	220	221	222	223	--	--
F2TH	--	--	1	1	1	1	--	--
FALCON 7X	1	--	--	1	--	--	--	--

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
FOCKER-50	4	4	1	1	3	3	7	7
FOKER-50, MAT-OB-1829	--	--	--	--	1	2	--	--
FOKKER 100	--	--	--	--	--	--	1	1
FOKKER 27	21	21	1	1	6	6	20	20
FOKKER 50	12	12	--	--	9	9	4	4
FOKKER F-27	37	37	13	14	1	1	--	--
FOKKER-27	--	--	71	72	2	2	9	10
FOKKER-28	--	--	--	--	2	2	--	--
G-3	--	--	--	--	1	1	--	--
GA-980	4	4	--	--	--	--	--	--
GLEX	--	--	1	1	--	--	--	--
GRUMMANGULSTREAM III	--	--	--	--	1	1	2	2
GULFSTREAM	5	5	1	1	1	1	--	--
GULFSTREAM 450	--	--	--	--	2	2	--	--
GULFSTREAM 4SP	1	--	--	1	--	--	--	--
GULFSTREAM 5	--	--	--	--	1	1	--	--
GULFSTREAM 200	--	--	--	--	2	2	--	--
HAWKER 800XP	--	--	--	--	--	--	2	2
HAWKER 850XP	--	--	--	--	--	--	1	1
HELICOPTERO	16	16	1	1	--	--	--	--
HELICOPTERO BELL 212	3	3	--	--	1	1	4	4
HELICOPTERO MI-17	16	14	31	30	14	14	15	15
HELICOPTERO SA-315-B LAMA	--	--	1	1	1	1	--	1
HELICOPTEROSIRKOZKY 58 T	2	2	2	2	--	--	--	--
HELICOPTERO UH3H	--	--	7	7	31	32	18	18
JET ASTRA WW-1125	8	8	4	4	7	7	4	4
KING AIR 350	26	25	12	13	16	16	17	17
LAMA - 315	1	1	10	10	--	--	1	1

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
LEAR JET 35	--	--	3	3	--	--	--	--
LEAR JET 45	--	--	--	--	--	--	25	25
LEAR JET -55	--	--	--	--	--	--	6	6
learjet35	--	--	--	--	1	1	--	--
LOCKHEED L-100-30	88	86	86	89	49	49	63	63
LR-36	24	25	--	--	64	65	31	31
M-29	--	--	12	12	12	13	--	--
MB 339 AERMACCHI	--	--	2	1	--	--	--	--
MD-11	1	1	1	1	1	1	--	--
MI-17	130	133	78	80	64	64	66	68
MI-17	--	--	--	--	5	5	1	1
MI-171	--	--	2	2	3	3	1	1
MI-200	1	1	--	--	--	--	16	17
MI25	--	--	--	--	2	2	2	2
MI-25	--	--	--	--	5	5	3	3
MI-35	--	--	8	8	1	1	1	2
MI-8T	68	66	44	45	17	17	22	22
MITSUBISHI MU-2B-25	--	--	--	--	1	--	4	5
N604DE	--	--	--	--	1	1	--	--
OB-1834P CESSNA 152	222	222	492	490	128	130	56	57
OB-1854P BELL 407	26	25	7	7	10	10	--	--
PA-28	1	1	7	7	1	1	--	--
PA-30	--	--	--	--	230	229	--	--
PA-31	28	29	35	34	20	20	52	51
PA-34	382	384	418	417	303	301	19	20
PA-42	32	32	5	5	16	16	6	6
PC12	--	--	--	--	5	5	--	--
PILATUS PC-6	1	1	--	--	--	--	10	10
PIPERCHEROKEE PA-28-160	315	314	125	128	--	1	140	139
PIPER CHEYENNE	32	32	30	31	5	5	1	1

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013 (Continúa)

AÑO	2010		2011		2012		2013	
	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
PIPER PA-18-150	1	1	--	--	--	--	--	--
PIPER PA-31T CHEYENNE II	--	--	--	--	74	74	--	--
PIPER PA-42	--	--	--	--	2	2	6	5
PIPPER	246	248	--	--	94	95	100	104
PIPPER 28	21	21	167	170	282	287	111	111
PIPPER CHEYENNE II	1	1	7	7	1	1	11	11
PIPPER CHEYENNE PA-42	4	4	17	17	14	14	3	2
PIPPER PA-31	110	112	260	260	262	262	--	--
PIPPER PA-42	16	16	30	30	22	22	22	22
R-44 HELICOPTERO ROBINSON	--	--	--	--	1	1	--	--
ROBINSON R44 RAVEN II	1	1	11	11	--	--	4	4
s300c	--	--	--	--	1	1	--	1
SCHWEIZER 300C	3	--	456	455	377	378	41	42
SEA-KING	77	80	5	5	--	--	--	--
SW04	--	--	--	--	1	--	4	6
SW3	72	72	11	11	2	2	--	--
SW-3	44	44	7	7	--	--	--	--
SWEARINGER	--	--	--	--	6	6	--	--
T-27	1752	1756	2008	2009	1770	1776	115	116
T-303	38	38	16	15	30	33	14	13
T-34C	105	106	71	72	113	114	101	103
T-35 PILLAN	1	1	1	1	--	--	--	--
T-41D	591	595	1924	1927	1408	1415	177	178
TBM700	--	--	--	--	1	1	--	--
UH3H SEA KING	--	--	--	--	7	7	40	40
UL-I-056	3	3	--	--	--	--	--	--
UL-I-062	--	--	2	2	2	2	1	1
ULTRALIVIANO MODELO STOL	1	1	1	1	--	--	--	--

Cuadro N° 13. Resumen de Estadística de Tráfico 2010-2013

AÑO	2010		2011		2012		2013	
AERONAVE	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS	ENTRADAS	SALIDAS
WEST WIND WVV-24	--	--	--	--	2	2	2	2
Y-12	--	--	1	--	--	--	--	--
ZLIN	3484	3506	2197	2197	2590	2600	417	432
Total general	19645	19678	19306	19316	22171	22213	13168	13290

Nota: En este cuadro se consigna tráfico nacional.

Cuadro N° 14. Características de las Aeronaves con Incidencia en el Cálculo del PCN

AERONAVE	PESO DE OPERACIÓN (LBS)	PRESIÓN DE NEUMÁTICO (PSI)	% DEL PESO EN EL TREN PRINCIPAL	SALIDAS ANUALES
A319-100	150,796	200.1	91.4	655
B737-300	140,000	201	90.86	810
B737-500	134,000	194	92.24	642
AN-32	59,471	60.9	95	246
Dash 8	43,799	107.3	93.6	565
BEECHCRAFT 1900C	7,580	194	92.24	278
Fokker 50 HTP	45,900	85.6	95.6	11
F27 Friendship Mk500	43,601	78.3	95	30
Hawker-800XP	28,120	135	95	2
Learjet-55	21,500	201	95	31

Determinación Del PCN - Pavimento Flexible

1. Determinar el volumen de tráfico en términos de salidas anuales para cada aeronave que ha utilizado o planea utilizar el aeropuerto durante el período de vida útil del pavimento. Registre todo el tráfico significativo, incluyendo no regulares, chárter, y militar, con la mayor precisión posible. Esto incluye el tráfico que se ha producido desde la construcción original o la última capa y el tráfico que se producirá antes de la próxima plantilla o la reconstrucción planificada. Si la vida útil del pavimento es desconocido o incierto, se supone que va a incluir un período de tiempo razonable. La vida útil normal para el pavimento es de 20 años. Sin embargo, la vida esperada puede variar dependiendo de las condiciones existentes en el pavimento, las condiciones climáticas, y las prácticas de mantenimiento. **(Ver Cuadro N° 14- Características de los Aviones)**

La información necesaria para el proceso de volumen de tráfico es:

- Ciclos de tráfico pasado, actual y previsto de cada aeronave significativa.
- Aeronaves operativas o pesos brutos máximos.

- Distribución típica del peso de la aeronave en el tren de aterrizaje principal y la nariz. Si no se conoce, AC 150/5320-6 asume el 95 por ciento de peso en el tren de aterrizaje principal.
 - Tipo de tren de aterrizaje principal (dual, de doble tándem, etc.)
 - Presión de los neumáticos del engranaje principal.
 - Prácticas de combustible de carga de las aeronaves en el aeropuerto (relación P / TC).
 - Tipo de sistema de calles de rodaje - paralelo o central (relación P / TC).
2. A partir de datos de campo o planos de construcción, documentar el CBR de la subrasante. Alternativamente, llevar a cabo pruebas de laboratorio o de campo de la subrasante del suelo con el fin de determinar el CBR. Representación exacta del valor de CBR de la subrasante es vital para el método técnico porque una pequeña variación en el CBR puede resultar en una parte desproporcionadamente grande variación en la aeronave peso bruto permisible y el PCN correspondiente.
 3. El programa COMFAA calcula los requisitos de espesor de pavimento a base de salidas anuales. COMFAA permite al usuario introducir directamente bien coberturas o salidas anuales. Dado que la relación de paso-en la cobertura de pavimento flexible puede ser diferente de pavimento rígido, el usuario debe introducir las coberturas en la ubicación adecuada para cada tipo de pavimento.
 4. Determinar el espesor del pavimento total y las propiedades de la sección transversal. El espesor de la sección de pavimento en cuestión se debe convertir a un espesor del pavimento equivalente basado en una sección de pavimento estándar de referencia para fines de evaluación. El espesor del pavimento equivalente es el requisito de espesor total calculado por el programa COMFAA suponiendo espesor de capa mínimo de la superficie de asfalto, el espesor mínimo de capa de base de material con un CBR 80 o superior, y una capa sub-base variable con un CBR 20 o mayor. Si el pavimento tiene un exceso de material o materiales mejorados, el espesor

total del pavimento puede ser incrementado de acuerdo con el método FAA CBR como se detalla en el Apéndice 2.

5. El pavimento se considera que tiene exceso de asfalto, que se puede convertir a un espesor equivalente adicional, cuando el espesor de asfalto es mayor que el espesor mínimo de asfalto a la superficie. La sección de referencia recomendado para esta mezcla de tráfico es un espesor de capa de rodadura asfáltica de 5 centímetros. El pavimento también puede considerarse que tiene exceso de espesor de la base agregada cuando la sección transversal tiene una alta calidad aplastado espesor de la base agregada superior a 8 pulgadas o cuando otros materiales mejorados tales como la estabilización de asfalto o materiales de cemento tratada, están presentes.
6. Del mismo modo, el espesor de la sub-base adicional o materiales subbase mejoradas también se pueden convertir en el espesor del pavimento adicional total. Utilizando el programa de apoyo a facilita la conversión de estructuras de pavimentos existentes a la estructura equivalente estándar requerido usado en COMFAA.
7. Usando las salidas anuales y relación P/TC para la pista, el espesor del pavimento equivalente y el CBR apropiado de la subrasante, calcular el peso bruto máximo permitido para cada aeronave utilizando el programa COMFAA en el modo de diseño del pavimento.
8. Asigne a la subrasante la resistencia CBR encontrada en el paso 2 para el código subrasante norma adecuada ACN-PCN que figura en la tabla 2-2.
9. El ACN de cada aeronave en el peso bruto máximo se puede ahora determinar a partir del programa de COMFAA usando el modo de ACN. Ingrese el peso bruto permisible de la aeronave, y calcular el ACN basado en el código subrasante estándar correspondiente a la CBR se encuentra en el paso 2. Como alternativa, consulte con un "ACN frente Peso bruto" carta publicada en los manuales del ACAP del fabricante.
10. Asigne el código de la presión del neumático sobre la base de la presión de los neumáticos más alto en la mezcla de tráfico de la Tabla 4-2. Tenga

en cuenta la calidad de la capa superficial de asfalto, como se discutió en la sección 2.1, en la asignación de este código.

11. Como el método de evaluación es de carácter técnico, asignar el código de T, tal como se describe.
12. El valor numérico del PCN se selecciona de la lista de valores de ACN de todas las aeronaves. COMFAA enumeran estos valores como valores PCN. Si todas las aeronaves que utilizan regularmente el aeropuerto, a continuación, seleccione el valor más alto de ACN y reportarlo como del PCN. Si algunos de los aviones en la mezcla de tráfico utilizan el aeropuerto con poca frecuencia, a continuación, más se debe prestar atención a la selección del PCN. Si una aeronave que opera con poca frecuencia en el aeropuerto genera un valor PCN considerablemente más alto que el resto de la mezcla de tráfico, a continuación, utilizando este avión para determinar el PCN requerirá una nueva determinación PCN si estas operaciones de aeronaves aumentan.

Si el peso bruto máximo calculado es igual o mayor que el peso bruto crítico aviones operativos necesarios para la vida útil del pavimento deseado, después el pavimento es capaz de manejar el tráfico previsto para el período de tiempo establecido en la previsión del tráfico. En consecuencia, el PCN asignado determinado en el paso 10 es suficiente. Si el peso bruto permisible de es menor que el peso bruto aeronave crítica requerida para la vida útil del pavimento deseado, a continuación, el pavimento puede ser asignado un PCN igual a la de ACN de la aeronave crítico en el que el peso bruto, pero con una menor vida útil del pavimento esperada. Además, pudiera ser necesario para desarrollar una relación de peso bruto admisible sobre la base del PCN asignado contra la vida del pavimento. Cualquier sobrecarga debe ser tratada en términos de ACN y operaciones de aeronaves críticos equivalentes por operación individual. Previsión para la sobrecarga debe ser negociado con las autoridades del aeropuerto ya la pre-aprobación no se puede asumir. Los procedimientos específicos sobre cómo relacionar la vida del pavimento y el peso bruto de los pavimentos flexibles.

Se tomaron datos de Presiones de neumáticos del Aircraft Pavement Design & Evaluation Chart Packages (Canadá), para aeronaves que no se encontraron en la biblioteca del COMFAA (**ver Apéndice**)

a.- Determinación del PCN de la Aeronave Crítica y reporte del ACN empleando el programa COMFAA

Valores reportados de PCN

De acuerdo al concepto de PCN establecido en la Circular de Asesoramiento de la FAA 150/5335-5B (Federal Aviation Administration) es posible reportar el máximo ACN de un mix de aeronaves como el PCN de la estructura del pavimento, de tal manera que bajo esas condiciones una aeronave con ACN igual o menor que el PCN reportado puede operar en condiciones de seguridad sobre el pavimento sin limitaciones de presión de neumáticos. Teniendo esto en cuenta, se reportan los siguientes valores de PCN: (**Ver Cuadro N° 15**)

Cuadro N° 15. Resultados del programa COMFAA

ELEMENTO CONEXO	CBR (%)	Espesor Pavimento (pulgada)	Carga Máxima (lb)	PCN / ACN
Pista de Aterrizaje	14.1	21.3	217,633	53 F/A/X/T

Los pasos se describen en las siguientes imágenes:

Pista de Aterrizaje:

Según Datos de Conteo de Aeronaves que aterrizan en el aeropuerto (datos estadísticos de “ADP”).

Los valores de CBR utilizados para el cálculo de PCN en el programa COMFAA han sido los obtenidos mediante retro cálculo con el programa BAKFAA de Federal Aviation Administration el cual procesa los datos deflectométricos del HWD KUAB 240. **Ver Figura 52, Figura 53, Figura 54, Figura 55 y Figura 56**

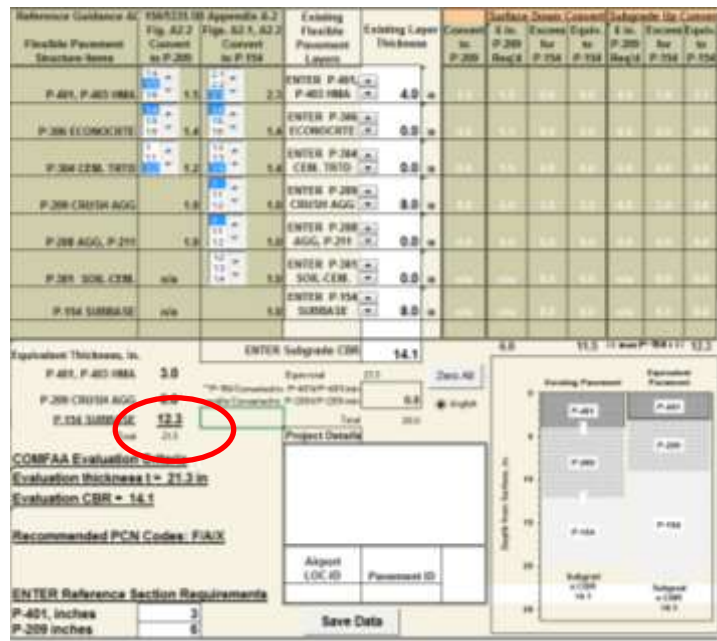


Figura N° 51. Evaluación estructural con Programa COMFAA

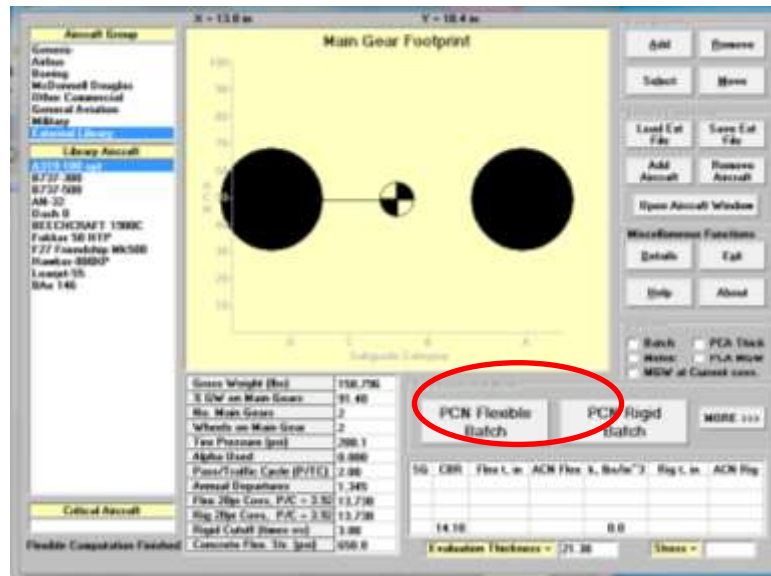


Figura N° 52. Evaluación estructural con Programa COMFAA

No.	Aircraft Name	Gross Weight (lbs)	Percent GW on Gears	Tire Press. (psi)	Annual Departures	No. of Tires on Gear	Number of Gears
1	A319-100 opt	153,730	91.40	200.1	1,345	2	2
2	B737-300	140,000	90.86	201.0	1,154	2	2
3	B737-500	134,000	92.24	194.0	542	2	2
4	AN-32	59,471	95.00	60.9	246	2	2
5	Dash 8	43,799	93.60	107.3	565	2	2
6	BEECHCRAFT 1900C	7,560	92.24	194.0	278	2	2
7	Fokker 50 HTP	46,900	95.60	85.6	11	2	2
8	F27 Friendship Mk500	43,601	95.00	78.3	30	2	2
9	Hawker-800-XP	29,120	95.00	135.0	2	2	2
10	Learjet-55	21,500	95.00	201.0	31	2	2
11	BAe 146	89,508	94.20	127.6	1,062	2	2

Position to Insert Aircraft
 Start End Before After

Copy Paste Append an External File to the List

Open an External File Add the Selected Aircraft Remove (Cut) the Selected Aircraft Clear the List

Return and Replace the Current External File Return and Discard the List Save the List as a New External File

Figura N° 53. Evaluación estructural con Programa COMFAA

COMFAA v2.1. State de message/TrafficData.txt

Evaluation parameter type is flexible and design procedure is CSM
 Alpha Values are those approved by the ICAO in 2017.

CSM = 14.10 (Subgrade Category is 3)
 Evaluation parameter thickness = 21.50 in
 Base to Traffic Cycle (PsiEq) Ratio = 2.00
 Maximum number of wheels per gear = 2
 Maximum number of gears per aircraft = 2

No aircraft have 4 or more wheels per gear. The FAA recommends a reference section having 1 inches of SMA and 4 inches of crushed aggregate for equivalent thickness calculations.

See/See Table 1. Input Traffic Data

No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Spacing	Annual Deps	20-yr Coverages	CS
1	A319-100 opt	153,730	91.40	200.1	1,345	11,828	14.17
2	B737-300	140,000	90.86	201.0	1,154	11,828	14.17
3	B737-500	134,000	92.24	194.0	542	9,420	10.59
4	AN-32	59,471	95.00	60.9	246	3,270	7.10
5	Dash 8	43,799	93.60	107.3	565	4,940	8.20
6	BEECHCRAFT 1900C	7,560	92.24	194.0	278	488	2.70
7	Fokker 50 HTP	46,900	95.60	85.6	11	118	0.22
8	F27 Friendship Mk500	43,601	95.00	78.3	30	308	0.53
9	Hawker-800-XP	29,120	95.00	135.0	2	15	0.03
10	Learjet-55	21,500	95.00	201.0	31	340	0.38
11	BAe 146	89,508	94.20	127.6	1,062	11,428	12.42

See/See Table 2. STP Values

No.	Aircraft Name	Original Aircraft Total Spacing	Original Total Spacing	Thickness Allowed	Maxim Allowable	CS at Indicated Code	A(10)	B(10)	C(10)	D(10)	CSF
1	A319-100 opt	20,749	17.39	217,000	52.6	85.7	41.5	27.4	0.019		
2	B737-300	24,437	17.22	197,044	35.2	34.2	18.5	42.1	0.011		
3	B737-500	12,208	17.34	183,380	44.3	45.0	34.8	34.8	0.010		
4	AN-32	14,000,000	12.43	128,708	19.1	19.9	11.9	16.1	0.000		
5	Dash 8	14,000,000	14.88	85,210	21.4	23.1	24.0	24.0	0.000		
6	BEECHCRAFT 1900C	14,000,000	9.15	95,000	22.0	22.9	21.1	21.9	0.000		
7	Fokker 50 HTP	14,000,000	13.87	85,743	10.3	10.5	10.2	10.4	0.000		
8	F27 Friendship Mk500	14,000,000	12.09	49,608	21.7	22.6	27.2	29.4	0.000		
9	Hawker-800-XP	14,000,000	12.27	74,862	23.4	23.8	24.9	24.9	0.000		
10	Learjet-55	14,000,000	10.71	89,710	23.8	22.4	24.5	24.2	0.000		
11	BAe 146	14,000,000	20.28	85,561	11.0	11.9	11.0	11.0	0.000		
											Total CSF = 0.010

See/See Table 3. Flexible ACN at Indicated Gross Weight and Strength

No.	Aircraft Name	Gross & STP on Weight	Max Gear Strength	Tire Spacing	A(10)	B(10)	C(10)	D(10)
1	A319-100 opt	153,730	81.83	200.1	34.2	34.8	35.8	44.8
2	B737-300	140,000	80.84	201.0	33.0	34.8	35.4	42.4
3	B737-500	134,000	82.24	194.0	31.9	30.8	37.4	41.4
4	AN-32	59,471	95.00	60.9	7.4	9.7	12.7	13.2
5	Dash 8	43,799	93.60	107.3	9.3	10.7	12.0	11.7
6	BEECHCRAFT 1900C	7,560	92.24	194.0	5.4	1.4	5.4	5.9
7	Fokker 50 HTP	46,900	95.60	85.6	6.1	10.1	11.9	11.9
8	F27 Friendship Mk500	43,601	95.00	78.3	7.0	8.0	11.0	11.0
9	Hawker-800-XP	29,120	95.00	135.0	4.7	7.2	8.2	8.0
10	Learjet-55	21,500	95.00	201.0	4.3	5.4	4.3	4.8
11	BAe 146	89,508	94.20	127.6	14.4	20.4	23.4	27.1

Figura N° 54. Evaluación estructural con Programa COMFAA

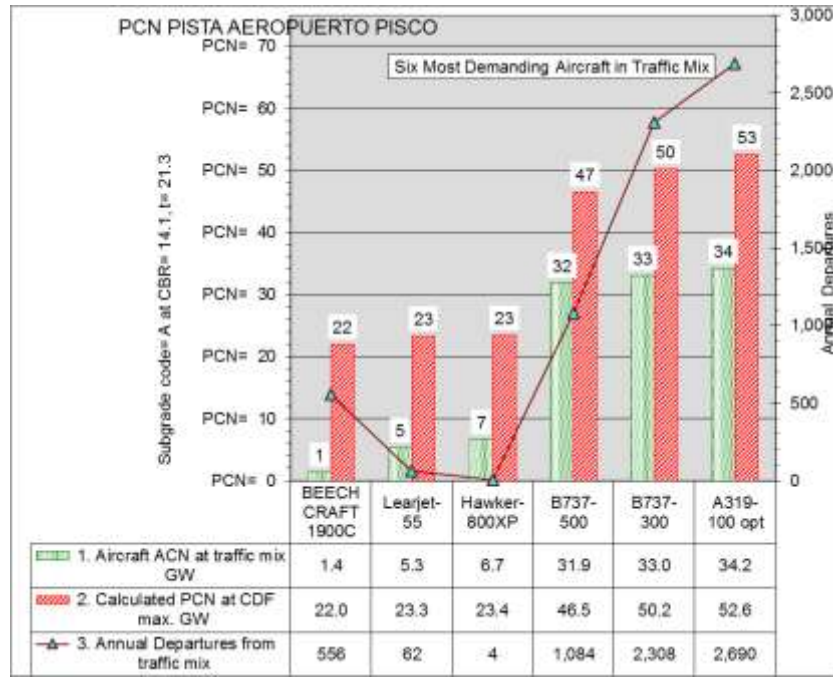


Figura N° 55. Evaluación estructural con Programa COMFAA

Pista de Aterrizaje – Pav. Ríg.:

Según Datos de Conteo de Aeronaves que aterrizan en el aeropuerto (datos estadísticos de “ADP”).

Los valores de CBR utilizados para el cálculo de PCN en el programa COMFAA han sido los obtenidos mediante retro cálculo con el programa BAKFAA de Federal Aviation Administration el cual procesa los datos deflectométricos del HWD KUAB 240. **Ver Figura 57, Figura 58, Figura 59, Figura 60 y Figura 61**

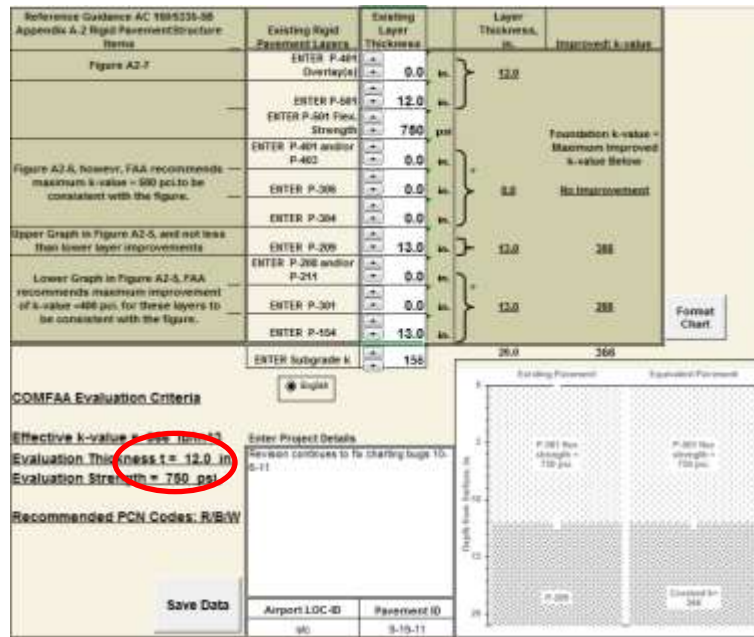


Figura N° 56. Evaluación estructural con Programa COMFAA

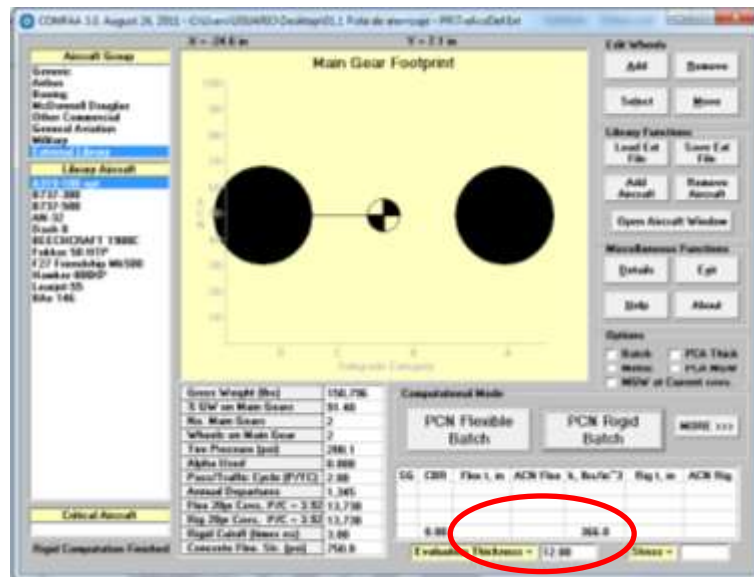


Figura N° 57. Evaluación estructural con Programa COMFAA

Aircraft Data - .\USUARIO\Desktop\01.1 Pista de aterrizaje - PR\TráficoDef.Txt

No.	Aircraft Name	Gross Weight (kg)	Percent GW on Gear	Tire Press (psi)	Annual Departures	No. of Tires on Gear	Number of Gears
1	A319-100 opt	155,790	91.40	200.1	1,345	2	2
2	B737-300	140,000	90.86	201.0	1,154	2	2
3	B737-500	134,000	92.24	194.0	542	2	2
4	AN-32	59,471	95.00	60.9	246	2	2
5	Dash 8	43,799	93.60	107.3	585	2	2
6	BEECHCRAFT 1900C	7,580	92.24	194.0	278	2	2
7	Fokker 50 HTP	45,900	95.60	85.6	11	2	2
8	F27 Friendship Mk500	43,601	95.00	70.3	30	2	2
9	Hawker 900-SP	20,120	95.00	135.0	2	2	2
10	Leapjet-65	21,500	95.00	201.0	31	2	2
11	BAe 146	69,500	94.20	127.6	1,062	2	2

Position to Insert Aircraft:
 Start End Before After

Copy Paste Append an External File to the List

Open an External File Add the Selected Aircraft Remove (Cut) the Selected Aircraft Clear the List

Return and Replace the Current External File Return and Discard the List Save the List as a New External File

Figura N° 58. Evaluación estructural con Programa COMFAA

File Conversion Show Alpha Show Exit File Single Input ACN Flexible Rigid One Calculation Method FCN ACN Batch Thickness Life WCU Back

This file name = C:\Users\USUARIO\Desktop\01.1 Pista de aterrizaje - PR\TráficoDef.Txt
 Library file name = C:\Users\USUARIO\Desktop\01.1 Pista de aterrizaje - PR\TráficoDef.Txt

Installation pavement type AS rigid
 Equivalent coverages computed with the AC 152/1523-6C/D edge stress design method.
 Maximum gross weight computed with the AC 152/1523-6C/D edge stress design method.

ACN Value = 200.0 (Subgrade Category is B)
 Flexural strength = 750.0 psi
 Evaluation pavement thickness = 12.50 in.
 Base to Traffic Cycles (BTTCT) Ratio = 1.00

Maximum number of wheels per gear = 2
 Maximum number of gears per aircraft = 2

Results Table 1. Input Traffic Data

No. Aircraft Name	Gross Weight	Percent on Gear	Tire Press	Annual Deps	Tire pr. Coverage	CF
1 A319-100 opt	155,790	91.40	200.1	1,345	13,792	12.66
2 B737-300	140,000	90.86	201.0	1,154	11,925	12.27
3 B737-500	134,000	92.24	194.0	542	5,622	11.30
4 AN-32	59,471	95.00	60.9	246	3,172	6.15
5 Dash 8	43,799	93.60	107.3	585	4,902	9.99
6 BEECHCRAFT 1900C	7,580	92.24	194.0	278	666	2.23
7 Fokker 50 HTP	45,900	95.60	85.6	11	122	6.29
8 F27 Friendship Mk500	43,601	95.00	70.3	30	358	6.87
9 Hawker-900SP	20,120	95.00	135.0	2	29	4.14
10 Leapjet-65	21,500	95.00	201.0	31	343	6.24
11 Bae 146	69,500	94.20	127.6	1,062	11,438	8.43

Results Table 2. RCR Values

No. Aircraft Name	Original Aircraft Total Equip. Conv.	Thickness Req. Total Equip. Conv.	Maximum Allowable Gross Weight	RCR at Estimated Data	RCR @ 1523-6C/D	RCR @ 1523-6C/D	RCR @ 1523-6C/D
1 A319-100 opt	27,988	12.99	181,042	39.4	40.9	40.0	44.8
2 B737-300	31,276	11.99	140,342	39.0	40.2	40.0	3.9850
3 B737-500	62,340	11.99	124,124	36.4	36.4	40.4	3.1224
4 AN-32	6,029,000	12.99	69,348	9.1	10.9	12.1	14.8
5 Dash 8	6,029,000	11.99	69,348	11.2	12.0	12.7	15.2
6 BEECHCRAFT 1900C	6,029,000	12.00	7,580	1.4	1.9	1.8	1.5
7 Fokker 50 HTP	6,029,000	11.99	46,986	10.1	11.0	11.9	12.7
8 F27 Friendship Mk500	6,029,000	11.99	69,348	12.0	10.9	11.7	12.9
9 Hawker-900SP	6,029,000	11.99	28,144	8.0	8.4	8.7	9.0
10 Leapjet-65	6,029,000	12.00	21,517	6.8	6.9	7.1	7.2
11 Bae 146	6,029,000	11.99	69,329	11.1	11.9	14.3	15.04

Total RCR = 3.9847

Results Table 3. Rigid RCR on Indefinite Stress Weights and Strength

No. Aircraft Name	Gross Weight	Percent on Gear	Tire Press	Annual Deps	RCR @ 1523-6C/D	RCR @ 1523-6C/D	RCR @ 1523-6C/D
1 A319-100 opt	155,790	91.40	200.1	1,345	40.7	42.9	44.7
2 B737-300	140,000	90.86	201.0	1,154	40.1	42.9	43.5
3 B737-500	134,000	92.24	194.0	542	36.4	36.4	40.4
4 AN-32	59,471	95.00	60.9	246	10.9	12.0	12.9
5 Dash 8	43,799	93.60	107.3	585	12.0	12.9	13.9
6 BEECHCRAFT 1900C	7,580	92.24	194.0	278	1.8	1.8	1.5
7 Fokker 50 HTP	45,900	95.60	85.6	11	11.0	11.9	12.9
8 F27 Friendship Mk500	43,601	95.00	70.3	30	10.9	11.7	12.9
9 Hawker-900SP	20,120	95.00	135.0	2	8.7	9.0	9.0
10 Leapjet-65	21,500	95.00	201.0	31	6.9	7.1	7.2
11 Bae 146	69,500	94.20	127.6	1,062	11.9	14.3	15.0

Figura N° 59. Evaluación estructural con Programa COMFAA

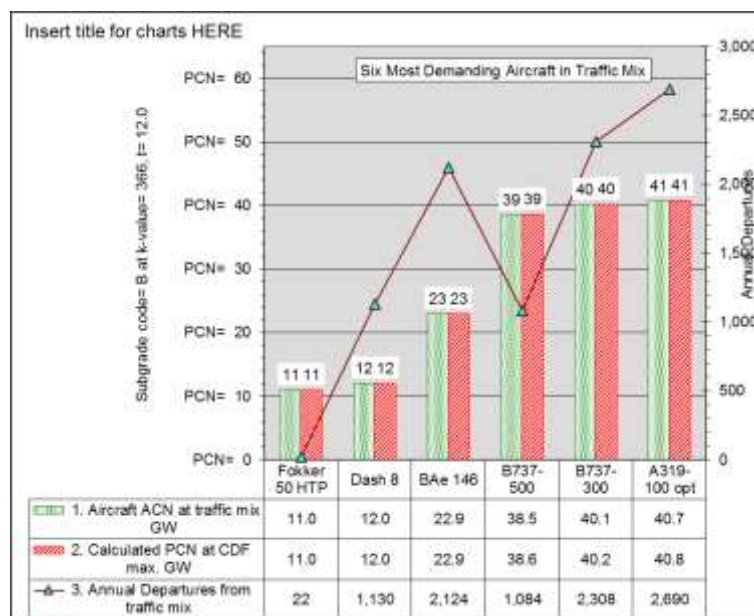


Figura N° 60. Evaluación estructural con Programa COMFAA

Determinación del PCN - Pavimento Rígido

Para el caso de pavimento rígido existente en la plataforma del Aeropuerto emplearemos similar método al empleado para los pavimentos flexibles, efectuando el cálculo del k para poder aplicar los programas respectivos.

Teniendo en cuenta que se ha efectuado la caracterización de los suelos de Subrasante mediante su valor relativo de soporte emplearemos la metodología establecida en el manual de diseño AASHTO para determinar el valor K (módulo de reacción de subrasante). **(Ver Cuadro N° 16, 17 y 18)**

a.- Cálculo de Módulo de Reacción de la Subrasante

- Módulo Resiliente de la Subrasante

Los módulos definidos para la Calle de Rodaje Alfa y Plataforma de Estacionamiento se calcularon con la fórmula:

$$E = 26k^{1.284} \quad (\text{AC 150/5320-6})$$

Cuadro N° 16. K de subrasante

RAMA	K
Pista de Aterrizaje (300m)	156.0

Cuadro N° 17. Determinación de espesores de pavimento rígido

AERONAVE	PESO DE OPERACIÓN (LBS)	PRESIÓN DE NEUMÁTICO (PSI)	SALIDAS ANUALES
A319-100	150,796	200.1	655
B737-300	140,000	201	810
B737-500	134,000	194	642
AN-32	59,471	60.9	246
Dash 8	43,799	107.3	565
BEECHCRAFT 1900C	7,580	194	278
Fokker 50 HTP	45,900	85.6	11
F27 Friendship Mk500	43,601	78.3	30
Hawker-800XP	28,120	135	2
Learjet-55	21,500	201	31

Cuadro N° 18. Resultados del programa COMFAA

ELEMENTO CONEXO	K - Value	Espesor LOSA (pulgada)	Carga Máxima (lb)	PCN / ACN
Pista de Aterrizaje (300 m)	366	12	150,796	41 R/B/X/T

Los espesores corresponden al promedio de los espesores obtenidos de las perforaciones y calicatas.

Valores reportados de PCN

Teniendo en cuentas las condiciones analizadas en cada caso como tráfico, CBR de subrasante etc., los valores a reportar de PCN corresponden a los obtenidos mediante la metodología establecida en la Circular Advisory 150/5335-5B de la FAA (Administración de Aviación Federal). (Ver pag. 108 ítem. 3.5.5) Por tanto los valores de PCN a reportar son: **(Ver Cuadro N° 19)**

Cuadro N° 19. Valores de PCN a reportar

RAMA	PCN / ACN
Pista de Aterrizaje	53 /F/A/X/T

4.3. Evaluación Superficial

Para efectos de descripción de los resultados obtenidos, se presenta la sectorización y codificación adoptada para el Aeropuerto de Pisco, así mismo, se presenta el resumen con los resultados de PCI y su valoración respectiva, obtenidos en cada sección.

Los resúmenes de los valores de PCI obtenidos en cada unidad de muestreo de cada sección se adjuntan al final del presente capítulo: **(Ver Cuadro N° 20)**

Cuadro N°20. Resultados PCI en cada Sección

ELEMENTO	SECCIÓN (Km)		FRANJA	PCI	PCI PROMEDIO (%)	CLASIFICACIÓN
	PROGRESIVA INICIAL	PROGRESIVA FINAL				
Pista de Aterrizaje	00+000	00+300	Pav. Rig.		49	Regular
Pista de Aterrizaje	00+300	1+100	A	74	71	Muy bueno
			B	69		
			C	71		
	1+100	02+000	A	67	68	Bueno
			B	61		
			C	75		
	02+000	03+000	A	64	71	Muy bueno
			B	63		
			C	87		

El detalle de la evaluación se presenta en el Anexo: “Evaluación Superficial”. (Ver Figura 62 y Figura 63)

**AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION SUPERFICIAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR B
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI) - ASTM D 5340 (2004)**

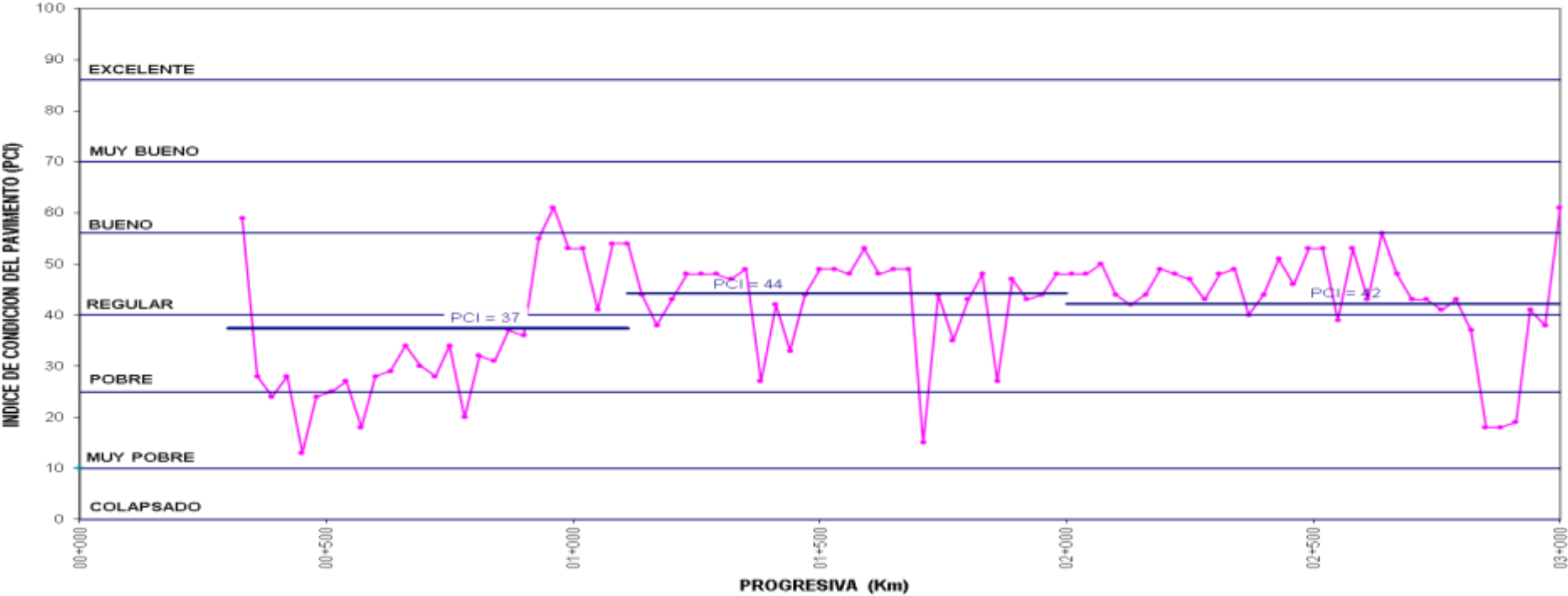


Figura N° 61. Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector B

**AEROPUERTO DE PISCO
EVALUACION SUPERFICIAL DE PISTA DE ATERRIZAJE - SECTOR C
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI) - ASTM D 5340 (2004)**

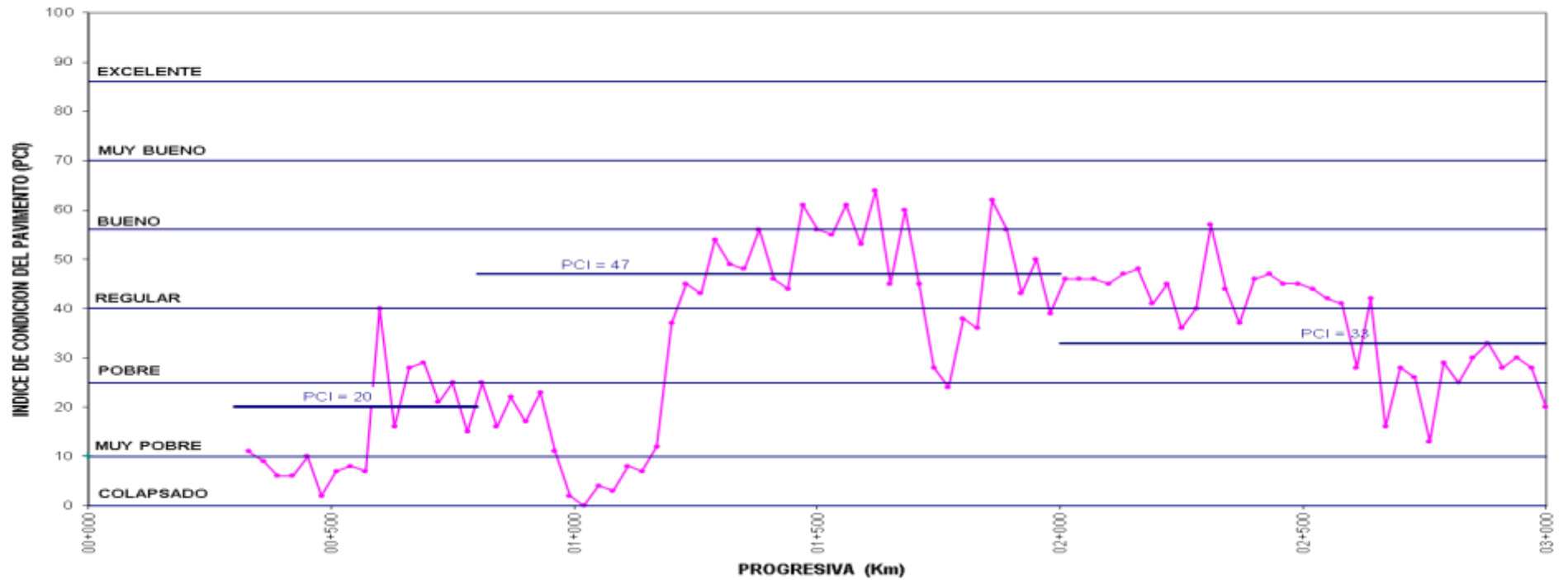


Figura N° 62. Evaluación superficial de pista de aterrizaje – Sector C

4.4. Discusiones

1. El análisis Superficial, Funcional y Estructural de la pista de aterrizaje tuvimos como inconveniente realizar en horas de la noche (por seguridad) ya que a estas horas no se registra vuelos.
2. Además de la ubicación de la zona de trabajo (lejana con respecto a la zona de entrada al aeropuerto) no nos permitió elaborar un buen control de fallas en el pavimento debido al poco tiempo que contamos
3. La elaboración de croquis y medidas de fallas se realizaron en todas las zonas aereas del aeropuerto pero para el tema de la presente tesis se tomó datos de la pista de aterrizaje por ser de suma importancia para el aterrizaje de los aviones.
4. Se tuvo como condición de medición cumplir con todos los requisitos que tenía la brigada de rescate y en comunicación la torre de control de aviones.
5. Las mediciones se realizaron siguiendo los lineamientos y pautas que daba la norma de la FAA y los detalles de toma de datos.

CONCLUSIONES

De las mediciones realizadas en el Aeropuerto de Pisco se llegan a los siguientes resultados:

1. Se ha podido determinar que la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumple con la Norma establecida por las FAA y la OACI. .
2. Se ha determinado que los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si cumplen con la Norma establecida por las FAA, de esta manera se concluye que el suelo de la subrasante es un material estable, posee un buen drenaje, no fue necesario realizar el diseño considerando algún tipo de estabilización.
3. Se ha determinado que los espesores y características del suelo de fundación por medio de calicatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si cumplen con la Norma establecida por las FAA. Por lo tanto, se puede observar que la zona donde se ubica el aeropuerto presenta una precipitación relativamente baja, la cual aumenta levemente durante los primeros meses del año; sin embargo, como el clima es un factor sobre el que no se tiene algún tipo de control, sería recomendable que se realice un estudio más profundo considerando las precipitaciones extraordinarias que ha ocurrido en la zona (fenomeno del niño)
4. Se ha podido determinar que la obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” por medio de diamantinas si cumplen con la Norma establecida por las FAA. Frente a estas ventajas Entre estas ventajas resalta la durabilidad, el costo a lo largo de la vida útil, la resistencia que

posee frente a los derrames de combustible de avión, y sobre todo es mucho más amigable con el medio ambiente que la otra alternativa.

5. Los pavimentos aeroportuarios soportan grandes cargas y no pueden permitir fallas, por lo tanto es importante considerar en todas las etapas del diseño la seguridad, y elegir el tipo de estructura para cada proyecto en particular. Las condiciones del terreno en Panguipulli son bastante favorables por lo que los costos del proyecto no se verían aumentados de forma considerable al no tener que considerar un mejoramiento del terreno.
6. De acuerdo a FAA, es posible reportar como PCN el máximo valor de ACN que resulta del CONFAA, también es posible reporta el valor de PCN según se muestra en los cuadros.
7. En lo que se refiere al análisis funcional los resultados obtenidos por el programa BBI (programa recomendado por la FAA) en la pista principal en toda su extensión y con una frecuencia de 0.25 metros están dentro de la zona aceptable ya que cada carril evaluado presenta valores menores que la unidad (estando en la zona aceptable). Para lo cual se siguió los lineamientos estipulados por la FAA en el AC 150/5380-9 "Guidelines and Procedures for Mesasuring Airfield Pavement Roughness" para el caso del BBI y lo recomendado por la OACI en el Circular 329 AN/191 "Evaluación, mediciones y notificación del estado de la superficie de la pista" y el DOC 9137 "Manual de Servicios de Aeropuertos" Parte 2 – Estado de la superficie de los Pavimentos, para la determinación de la textura.
8. Usando el criterio de ingeniería y viendo el comportamiento de las diferentes capas del paquete Estructural las cuales no reflejan el comportamiento de la Pista y de sus elementos conexos, se reporta el **PCN de 53 /F/A/X/T** para tener un reporte lo más moderado posible en

el aeropuerto de Pisco utilizando el programa COMFAA, según la circular de la FAA

9. En lo que concierne a la determinación de BBI, de la medición efectuada en campo y el procesamiento de gabinete se obtuvieron los BBI para cada carril evaluado, a una frecuencia de medición de 0.25 m. y en toda la extensión de la pista de aterrizaje, resultados que se detallan en el anexo: "Evaluación Funcional".
10. Por lo tanto se puede concluir que en líneas generales los parámetros BBI de la pista de aterrizaje están dentro de la zona aceptable, ya que cada carril evaluado presenta valores de BBI menores que la unidad en promedio.
11. Sin embargo se ha podido identificar que algunos carriles internos evaluados presentan sectores con valores de BBI mayores que 1 (fuera de la zona de aceptación) Adicionalmente presentan sectores puntuales tanto huella derecha como huella izquierda con valores de BBI fuera de la zona de aceptación.
12. Por lo tanto se recomienda tener en consideración para los diseños finales de intervención (como resultante de demás evaluaciones, como estructural, superficial, etc.) los sectores con irregularidades que presentan valores de BBI fuera de la zona de aceptación conforme se indica, de tal manera que se pueda suplir esta deficiencia.
13. En lo que concierne a la micro textura, los valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) fueron obtenidos mediante el método del péndulo británico (ASTM E 303), donde se muestran los resúmenes de los CRD obtenidos por cada carril, para la pista de aterrizaje.

14. En cuanto a la macro textura, los valores de espesor medio de textura (MTD) fueron obtenidos mediante el método volumétrico círculo de arena (ASTM E 965) conforme lo estipula por las normas de la FAA.

15. Asimismo se adjunta en el anexo Evaluación Funcional (Metodología de Ensayo de Textura), el detalle de los pasos seguidos para el ensayo de micro textura (ASTM E 303) y macro textura (ASTM E 965).

16. La sectorización (ensayo de PCI, Deflectometría) se efectuó en la pista de aterrizaje que tiene una longitud de 3000 m, y 300 m de pavimento rígido, se puede encontrar diversas capas. Asimismo la sectorización es factible para un mínimo de 10 puntos de medición.

17. Pista de aterrizaje, el índice de condición del pavimento flexible es 70, cuya clasificación es muy bueno, el BBI (boeing bump index) es 0.13, considerándose la rugosidad aceptable.

18. La parte de Pavimento Rígido (300 m) de la pista de aterrizaje se reporta un PCN de 41 /r/b/x/t

RECOMENDACIONES

1. Por ser un Aeropuerto y por los peligros de accidentes el personal no deberá entrar a la zona de trabajo sin la autorización directa del personal de vigilancia
2. para la medición en este tipos de trabajo es recomendable el uso de los implementos de seguridad y una especial iluminación ya que las horas de trabajo se dieron en la madrugada0 especial de iluminación
3. La medición deberá ser lo más rápida y efectiva posible ya que el peligro de aterrizaje de alguna aeronave es posible
4. En todo momento se deberá tener una comunicación clara con los controladores ya que estos se depende que el trabajo sea efectivo y sin accidentes que lamentar
5. Para la extracción de calicatas se deberá llevar equipo recomendado para la zona
6. Se recomienda tener en consideración que todo el aeropuerto se ha evaluado para una identificación del lado aire, pero solo para esta tesis se ha tomado una parte.

BIBLIOGRAFÍA

LOPEZ-PEDRAZA, Francisco. (1970): Aeropuertos. Tercera edición. España: Paraninfo.

HORONJEFF, R. (1975): Planificación y Diseño de Aeropuertos. Traducción de Carlos Ceballos. Segunda edición americana. Estados Unidos: McGraw-Hill.

ASHFORD N. y WRIGHT P. (1992): Airport Engineering. Traducción propia. Tercera edición. Estados Unidos: JhonWiley&Sons.

OLCESE, Manuel. (2009): Pavimentos. Apuntes del Curso. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

VIVAR, Germán. (1991): Diseño y Construcción de Pavimentos. Primera edición. Miraflores: Colegio de Ingenieros del Perú.

MONTEJO, Alonso. (2006): Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Tercera edición. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

CRESPO, C (2008) Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos. Cuarta edición. México: Limusa.

Federal Aviation Administration (1995) AC N°150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Traducción propia. Estados Unidos.

Federal Aviation Administration (1989) AC N°150/5300-13 Airport Design. Traducción propia. Estados Unidos.

Organización Internacional de Aviación Civil (2006). Manual de Diseño de aeródromos - Parte 1, Pistas. Tercera edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 2006.

Organización Internacional de Aviación civil (2005). Manual de Diseño de aeródromos - Parte 2, Calles de Rodaje, Plataformas y apartaderos de espera. Cuarta edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional.

Organización Internacional de Aviación civil (1983) Manual de Diseño de aeródromos – Parte 3, Pavimentos. Segunda edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional.

Lima Airport Partners (2009). Lima Airport Partners. Memoria Anual 2009. Lima: LAP.

MUENCH, Stephen; MAHONEY, Joe; PIERCE, Linda. (2011) Pavement types - Rigid Pavement. (En línea). Pavement Tools Consortium. Consulta: 06 de Mayo del 2011 (<<http://training.ce.washington.edu/PGI/>>)

MUÑOZ, Miguel (2011). Sistemas Funcionales: (En línea). Manual de Vuelo. Consulta: 24 de Mayo del 2011 (<http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF39.html>)

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Aeronáutica Civil.(2014): (en línea) Portal de estadísticas del MTC. Consulta: 17 de Junio del 2011. (<https://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/aereo/estadistica/docs/nueva_version_2010/paginas/presentacion.htm>)

ANEXOS

ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera”.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumple con la Norma establecida por las FAA?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Explicar los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” para cumplir con la Norma establecida por las FAA.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Los elementos de la evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA para llegar a ser admitido como aeropuerto alterno del Jorge Chávez.</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cómo los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar cómo los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA.</p>	<p>Hipótesis Específica</p> <p>Los diferentes estratos del suelo de fundación sobre el cual descansa la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA</p>
<p>¿Cómo los espesores y características del suelo de fundación por medio de calicatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA?</p>	<p>Determinar cómo los espesores y características del suelo de fundación por medio de calicatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA.</p>	<p>Los espesores y características del suelo de fundación por medio de calicatas de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA.</p>
<p>¿Cómo la obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA?</p>	<p>Explicar cómo la obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” cumplen con la Norma establecida por las FAA.</p>	<p>La obtención del espesor y característica de la carpeta asfáltica de la pista principal del Aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” si permiten cumplir con la Norma establecida por las FAA.</p>

GLOSARIO

Calle de Rodaje	Es parte de la infraestructura del "lado de aire" (del inglés <i>airside</i>), de las pistas de un aeropuerto la cual permite conectar las zonas de hangares y terminal con la pista de aterrizaje.
Capa de Rodadura	Es la capa superior del pavimento y sobre ella circulan los vehículos durante la vida útil de ésta. Debe ser resistente a la abrasión generada por el tráfico y a la agresión del medio ambiente. Tiene la función de proteger la estructura, impermeabilizándola superficie del pavimento, debe ser suave y de superficie continua para que sea cómoda la circulación de vehículos sobre ella, y debe ser rugosa para asegurar la adherencia de los vehículos.
Deflectometría	Es la repuesta del pavimento (en nuestro caso) a las cargas que ocurren en su vida útil, es decir cuando un pavimento recibe una carga de tránsito ocurre una determinada deformación
FAA	<i>Federal Aviation Administration (FAA)</i> en inglés, es la entidad gubernamental responsable de la regulación de todos los aspectos de la aviación civil en los Estados Unidos
Junta	Son discontinuidades en la superficie del pavimento, cuya orientación puede ser longitudinal o transversal.
OACI	La Organización de Aviación Civil Internacional o OACI , también se conoce como Organización Internacional de Aeronáutica Civil, (por sus siglas en inglés <i>International Civil Aviation Organization</i> o <i>ICAO</i>) es una agencia de la Organización de las Naciones Unidas
PCI	Por sus siglas en inglés significa Pavement condition index. Es un índice numérico que indica la calidad de pavimento que hay desde 0 que nos dice que el pavimento se encuentra fallado hasta 100 para pavimentos en perfecto estado
Pista de maniobras	Es parte de la infraestructura del "lado de aire" (del inglés <i>airside</i>), de las pistas de un aeropuerto la cual permite el aterrizaje y el despegue de un avión
Plataforma	Es parte de la infraestructura del "lado de aire" (del inglés <i>airside</i>), de las pistas de un aeropuerto la cual permite el estacionamiento de la aeronave para el posterior desembarco de los pasajeros.
Unidad de muestra	Es una subdivisión de la sección del pavimento que tiene un rango estandarizado de tamaño. Para pavimentos de hormigón (PCC), se constituye de 20 losas continuas (+/- 8 si el total de losas de la sección no es divisible por 20, o para ajustar condiciones de campo específicas) y para pavimentos de concreto asfáltico (AC), y superficies con capas Porosas de alto grado de Fricción, se constituye de una superficie continua de 5000 ft ² (+/- 2000 ft ² (450 +/- 180 m ²) si el pavimento no es divisible por 5000, o para ajustar condiciones de campo específicas).

ANEXO

RVR BASADO EN PC AVIMET® DE VAISALA

El sistema de alcance visual en pista de aterrizaje basado en PC AviMet® de Vaisala (RVR) es el único sistema RVR aprobado por la FAA. Proporciona evaluación e informe completamente automatizados del alcance visual en la pista de aterrizaje para aeropuertos. El sistema basado en PC RVR AviMet® de Vaisala ofrece una estimación calculada de la distancia que un piloto puede ver en la pista de aterrizaje. Las condiciones meteorológicas actuales (ej.: niebla, lluvia, nieve, etc.) tienen el mayor impacto en el RVR, sin embargo, los niveles de luz ambiental y la configuración de las luces laterales de la pista también son una parte importante de la ecuación.

- Descripción
- Sistema
- Servicios
- Documentos

Descripción

El sistema de rango visual en la pista (RVR), aprobado por la FAA, utiliza mediciones del sensor de visibilidad FS11, sensor LM21 de luminancia de fondo y el recientemente desarrollado monitor de intensidad de luz en pista (RLIM), que determina los ajustes de intensidad de las luces de la pista. Este sistema de sensor combinado está integrado con una unidad de procesamiento de datos (DPU) y ofrece información fundamental de RVR para apoyar operaciones de aterrizaje y despegue de precisión en el Sistema Nacional de Espacio Aéreo (NAS).

Características y beneficios:

- El único sistema RVR basado en PC aprobado por la FAA para aeropuertos estadounidenses
- Compatible con aeropuertos CAT I, II o III
- Diseño de LRU y diagnóstico inteligente que ofrece MTBF altos y MTTR bajos

- Flexible y modificable para atender las necesidades de configuración de cualquier aeropuerto
- Bajos requerimientos de mantenimiento periódico
- Cumple con todas las especificaciones y los requerimientos de RVR de la FAA
- Puede estar en la misma ubicación que un sistema RVR existente de NG
- Alternativas de interfaz de varios sensores, como módem, fibra óptica o enlaces de datos de radio
- Parte de la plataforma tecnológica Vaisala AviMet®

ANEXO

MATRIZ DE VARIABES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal.</p>	<p>Labores de Campo</p>	<p>Pista de Aterrizaje.</p> <p>Procedimiento para la inspección de pavimento para hallar el PCI</p>
<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Norma establecida por la FAA.</p>	<p>Procedimiento de identificación del Boeing Bump.</p> <p>Procedimiento de identificación PCN / ACN.</p> <p>Procedimiento de identificación del PCI.</p> <p>Procedimiento de identificación del CDR</p> <p>Procedimiento de identificación del MTD</p>	<p>La FAA impulsa a los operadores de aeropuertos.</p> <p>Software para Calcular el Boeing Bump Index.</p> <p>Análisis del Retro cálculo.</p> <p>COMFAA y BAKFAA : Determina el PCN / ACN</p> <p>Evaluación de la Rugosidad del Pavimento usando el BBI.</p> <p>Analisis e interpretacion de los CDR y MTD</p>