

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Evaluación superficial del pavimento asfáltico apoyada por el
método PCI en pistas de aterrizaje de aeropuertos**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Jans Tedy Mallqui Durand
Bach. Cristian Advias Quinto Prado

Asesor:

Dr. Ing. Leopoldo Choque Flores

Lima, marzo del 2023

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo Dr. Leopoldo Choque Flores, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO APOYADA POR EL MÉTODO PCI EN PISTAS DE ATERRIZAJE DE AEROPUERTOS”** del (los) autor (autores) Jans Tedy Mallqui Durand y Cristian Advias Quinto Prado, tiene un índice de similitud de 9 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del o los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 30 días del mes de marzo del año 2023.



Leopoldo Choque Flores

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **30** día(s) del mes de **marzo** del año 2023 siendo las **08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Leonel Chahuares Paucar**, el secretario: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y los demás miembros: **Mg. Reymundo Jaulis Palomino** y el asesor **Dr. Leopoldo Choque Flores** con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación superficial del pavimento asfáltico apoyada por el método PCI en pistas de aterrizaje de aeropuertos"

.....de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **CRISTIAN ADVIAS QUINTO PRADO**.....
b) **JANS TEDY MALLQUI DURAND**.....
conducente a la obtención del título profesional de:.....
 **INGENIERO CIVIL**.....
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **CRISTIAN ADVIAS QUINTO PRADO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	MUY BUENO

Candidato (b): **JANS TEDY MALLQUI DURAND**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	SOBRESALIENTE

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Mg. Leonel
 Chahuares
 Paucar




 Secretario
 Ing. Ferrer Canaza
 Rojas


 Asesor
 Dr. Leopoldo
 Choque Flores

 Miembro
 Mg. Reymundo
 Jaulis Palomino

 Miembro



 Candidato/a (a)
 Cristian Advias
 Quinto Prado



 Candidato/a (b)
 Jans Tedy Mallqui
 Durand

DEDICATORIA

A DIOS Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr este objetivo, además de su infinita bondad y amor.

AGRADECIMIENTOS

“Nuestro agradecimiento se dirige a quien ha forjado en nuestro camino y nos ha dirigido por el sendero correcto, a DIOS, el que en todo momento está con nosotros ayudándonos a aprender de nuestros errores y a no cometerlos otra vez. Eres quien guía el destino de nuestras vidas”

Asimismo, a nuestros padres, hermanos y Sara, por su apoyo incondicional quienes estuvieron en todo momento a pesar de la distancia.

INDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. DESARROLLO	9
III. METODOLOGÍA.....	10
IV. RESULTADOS	14
V. CONCLUSIONES.....	17
REFERENCIAS.....	17

Evaluación superficial del pavimento asfáltico apoyada por el método PCI en pistas de aterrizaje de aeropuertos

Jans Tedy Mallqui Durand
<https://orcid.org/0000-0002-4631-9119>
jansmallqui@upeu.edu.pe
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú

Cristian Advias Quinto Prado
<https://orcid.org/0000-0003-4235-6972>
cristianquinto@upeu.edu.pe
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú

Leopoldo Choque Flores
<https://orcid.org/0000-0003-0914-7159>
leopoldochoque@upeu.edu.pe
Universidad Peruana Unión
Lima, Perú

RESUMEN

El principal componente del área de movimiento de un aeropuerto son sus pistas de aterrizajes, las cuales estas deben conservarse en condiciones óptimas para el despegue y aterrizaje de aeronaves, es de vital importancia tener conocimiento del estado actual en la que se encuentra operando, en ese sentido el objetivo de la investigación fue determinar la evaluación superficial del pavimento asfáltico de la pista de aterrizaje del aeropuerto Alférez FAP David Figueroa Fernandini de Huánuco (Perú) aplicando la metodología PCI en función a los deterioros observadas en su superficie. Se realizó una inspección visual midiendo los tipos y el área de deterioro registrando en la hoja de inspección brindada por la norma ASTM D 5340 para luego analizar el PCI por medio del Software EVALPAV, los resultados arrojaron un PCI promedio de 62 valor que cuantifica el estado de conservación bueno en que se encuentra el pavimento, por lo que se recomienda, realizar una rehabilitación de dicha pista de aterrizaje.

Palabra clave: Aeropuerto, Pavimento Asfaltico, Evaluación Superficial, Método PCI.

Surface evaluation supported by the PCI method for the severity level of asphalt pavement on airport runways

ABSTRACT

The main component of the movement area of an airport are its landing strips, which must be kept in optimal conditions for the takeoff and landing of aircraft, it is vitally important to have knowledge of the current state in which it is operating, in that In this sense, the objective of the investigation was to determine the surface evaluation of the asphalt pavement of the runway of the Alférez FAP David Figueroa Fernandini airport in Huánuco (Peru) applying the PCI methodology based on the deterioration observed on its surface. A visual inspection was carried out measuring the types and area of deterioration, recording on the inspection sheet provided by the ASTM D 5340 standard to later analyze the PCI through the EVALPAV Software, the results yielded an average PCI of 62 value that quantifies the state of good conservation in which the pavement is located, for which it is recommended to carry out a rehabilitation of said airstrip.

Keywords: Airport, Asphalt Pavement, Superficial Evaluation, PCI Method.

I. INTRODUCCIÓN

El principal componente del área de movimiento y/o transitividad de un aeropuerto son sus pistas de aterrizaje, en tal sentido, estos deben de conservarse en condiciones óptimas y favorables para el despegue y aterrizaje de aeronaves ya que durante su vida útil son afectadas principalmente por la carga de tránsito y las condiciones climáticas. “Los pavimentos en aeropuertos se construyen para resistir las cargas transmitidas por el avión que utilice el aeropuerto y obtener una superficie suave, para soportar cualquier condición meteorológica” [1]. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) estima para el año 2040, el número de pasajeros aéreos a nivel mundial llegaría a 10.000 millones aproximadamente, lo que representaría 90 millones de operaciones aéreas. En consecuencia, todo este aumento conllevaría el deterioro rápido de la infraestructura aeroportuaria, a la larga dificultando las operaciones y generando altísimos costos en la reconstrucción de la infraestructura [2].

“El defecto en la superficie del pavimento es el daño de la cubierta, pero pueden dañarse algunas capas del pavimento, que se expresan en la superficie y afectan la serviciabilidad operativa”. [3] El estado peruano en los últimos 20 años, no tuvo una política de mantenimiento de los aeropuertos regionales del país, han sido desatendidos por muchísimos años por diversos gobiernos de turno, esto refleja el poco interés a la importancia que tienen los aeropuertos como medio de transporte sumándole importancia al aeropuerto Jorge Chávez de la ciudad de Lima y de algunos aeropuertos como son de Cusco, Arequipa, Trujillo de las ciudades importantes del Perú. Si como país se piensa generar recursos para su crecimiento y desarrollo, es necesario mantener en buen estado las pistas de aterrizaje y con condiciones óptimas la infraestructura del sistema de transporte aéreo.

Si se hace un cálculo para la reconstrucción y mejora, se tiene detallado un costo altísimo, por ello, muchos aeropuertos regionales se dejaron de lado y en completo abandono, con la excusa de falta de presupuesto, o de priorizar otros sectores por antojos de la política y gobiernos sin horizonte claro de desarrollo. Cada vez que requiere mantenimiento los aeropuertos regionales deben concretarse con criterios de durabilidad y sostenibilidad. Otro de las dificultades que es latente en nuestra sociedad es que, una vez construidos los pavimentos en vías urbanas, carreteras o pistas de aterrizaje dejan de lado el mantenimiento oportuno, eso conlleva a muchos proyectos ejecutados a no cumplir su ciclo de vida útil para lo cual fueron diseñados, esto refleja de tener una política nula de mantenimiento, con pavimentos y otros aspectos importantes de infraestructura aérea fallen y se deterioran en corto plazo, a la larga como consecuencia se tiene vuelos reducidos y con poca demanda.

Cuando la pista de aterrizaje está en uso es importante saber el estado en la que se encuentra teniendo así el control de la condición superficial, en ello debe focalizarse la intervención inmediata toda vez que se detecte una falla teniendo como resultado una buena calidad de rodaje y seguridad operacional en las aeronaves que transitan sobre ella. La durabilidad de una pista de aterrizaje bien realizada puede durar hasta 30 años y prolongar su vida útil con un óptimo y adecuado mantenimiento de 15 años más. Muestra clara como precedente se tiene el estudio [4] determinaron el PCI de nueve aeropuertos seleccionados en Nuevo México con el software MicroPAVER desarrollando alternativas de mantenimiento basadas en dichas evaluaciones realizadas.

Asimismo, [5] en su investigación tuvieron como uno de los objetivos realizar una evaluación visual del deterioro de la pista principal del Aeropuerto SAMS aplicando el método PCI, para obtener los factores que afectan el deterioro de la pista y el tratamiento correspondiente para cada tipo de falla encontrada. Al respecto, [6] en su investigación tuvieron como objetivo evaluar la superficie de la pista de aterrizaje del aeropuerto Balikpapan Sultán Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan para ello aplicaron el método PCI. En ese sentido [7] en su investigación han desarrollado un modelo dinámico

del sistema usando Powersim para estimar el PCI promedio de diferentes prácticas de mantenimiento en un período de análisis de 20 años, La tendencia de PCI sin hacer nada y la tasa de deterioro pronosticada se determinan utilizando MicroPAVER. Muchos autores aplican diversas técnicas y estrategias para evaluar los pavimentos de aeropuertos.

Hasta el momento no hay investigaciones relacionadas con la evaluación superficial del pavimento en el aeropuerto de la ciudad de Huánuco por ello esta investigación específicamente está direccionada a la evaluación superficial del pavimento asfáltico de pistas de aterrizaje en aeropuertos aplicando el método PCI para así conocer el estado de conservación del pavimento en que se encuentra operando, como estudio se tomó al Aeropuerto Alférez FAP David Figuroa Fernandini de Huánuco (Perú).

II. DESARROLLO

La metodología PCI (índice de condición del pavimento) describe la integridad estructural y la condición operativa de los pavimentos y su determinación se basa en la identificación y evaluación del nivel de severidad brindando una calificación que varía de 0 colapsado y 100 excelente según la condición de pavimento. [8]

Rango	Clasificación
100-86	Excelente
86-70	Muy Bueno
70-56	Bueno
56-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fig. 1. Escala de clasificación (Traducción ASTM D 5340)

Las fallas en pavimentos aeroportuarios son “Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por cargas, factores atmosféricos, deficiencias en su construcción o una combinación de estas. Fallas típicas son las fisuras, el ahuellamiento, y peladura superficial del pavimento, los tipos de falla y sus niveles de severidad” [8].

Antes de la apertura al tráfico de aeronaves, el ciclo de deterioro del pavimento comienza con los ataques de agentes meteorológicos de acuerdo al lugar de ubicación del Aeropuerto. [9] Las fallas en pavimento flexible en aeropuertos se dividen en fallas funcionales (deformaciones superficiales son mayores que las tolerables) y fallas estructurales (implica una destrucción de la estructura).

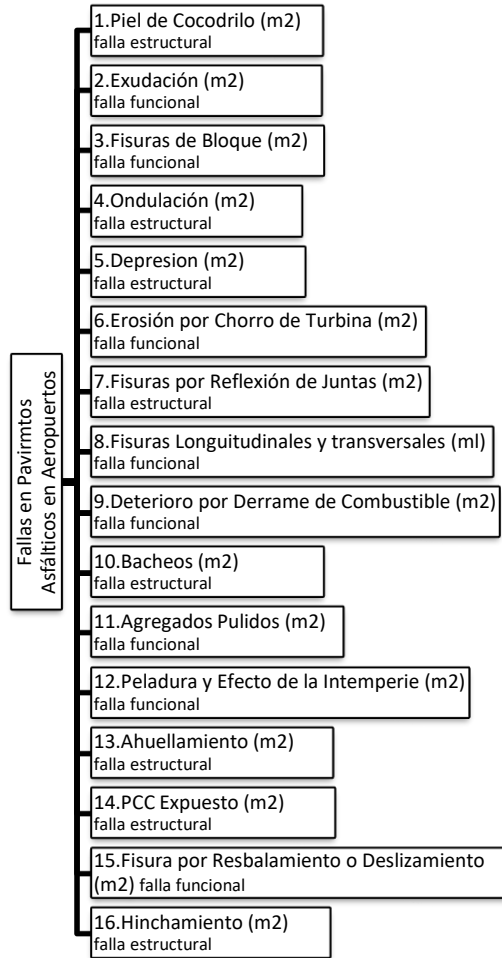


Fig. 2. Diagrama de fallas en pavimentos asfálticos en Aeropuertos (ASTM D 5340)

III. METODOLOGÍA

El presente artículo corresponde a un nivel descriptivo, debido a que tiene un fin de describir los niveles de severidad, tipos de fallas y detallar el procedimiento de inspección surge a partir de una investigación no Experimental del tipo transversal, de acuerdo por Hernández, Fernández y Baptista [10] ,los datos se llevaron a cabo en un espacio y momento determinado sin manipulación.

Para el presente estudio se consideró los 2,500mts de Largo y 30mts de ancho de la pista de aterrizaje del Aeropuerto “Alfárez FAP David Figueroa Fernandini” ubicado en el distrito, provincia y departamento de Huánuco (Perú), siendo el aeropuerto principal de la región. Para la recolección de datos se utilizaron las fichas técnicas de evaluación para pavimento flexible (Formato del PCI) brindada por la norma ASTM D 5340 y fotografías. Los estudios de campo fueron: estudio topográfico, evaluación superficial del pavimento (método PCI) procesado con el software EVALPAV de libre acceso creada por la MTC (Ministerio de Transporte y comunicaciones) para ser usado en la evaluación superficial de carreteras y aeropuertos. Adicionalmente se hicieron estudios con la finalidad de saber a causa de que están surgiendo los tipos de fallas encontradas en la superficie del pavimento: estudio de suelo y estudio de la carpeta asfáltica.

La realización del estudio topográfico se realizó con el fin de obtener todas las partes del lado aire del aeropuerto para luego seccionar las unidades de muestras a estudiar de la pista de aterrizaje previo reconocimiento, se instaló la estación total en el punto (E1: 367876.2;

8907719.0; 1880.0), con referencia (R1: 367870.5000 ;8907717.8000; 1871.0000) tomando 987 del lado aire del aeropuerto localizando todos los detalles que se encuentran para luego ser procesadas dicha información en gabinete mediante el software Civil 3D y Microsoft Excel. En ello se aprovechó la ubicación de los puntos de las calicatas y los puntos de las diamantinas.

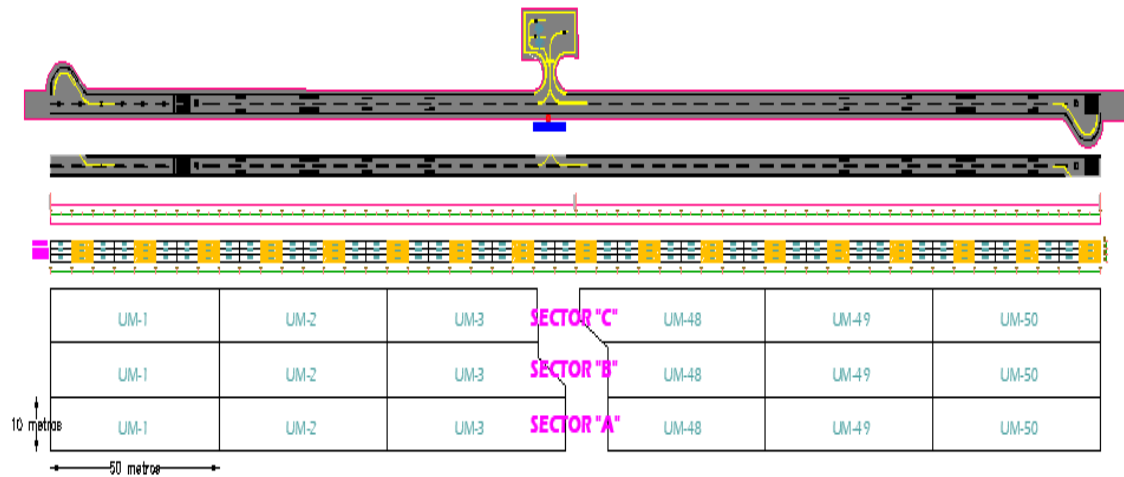


Fig. 3. Lado aire del aeropuerto de Huánuco Perú con su señalización, progresiva y unidades de muestra a estudiar (Propia).

Para el estudio de la evaluación superficial se registraron los datos en la ficha de evaluación brindada por la norma ASTM D 5340 de acuerdo: clase (tipo de falla), severidad (magnitud del deterioro bajo medio y alto) y la magnitud (área o longitud afectada) de la unidad de muestra estudiada. Los cuales fueron procesados para el cálculo PCI con el software EVALPAV. Con mención a la toma de datos según la norma ASTM D 5340 se debe de tener en cuenta lo siguiente:

- Si una fisura no tiene el mismo grado de severidad a lo largo de toda su longitud, se deben de medir por separado de acuerdo a su severidad y si en el caso no se puede separar fácilmente considerar en el rango de mayor severidad.
- Si en un área se encuentra "piel de cocodrilo" y "ahuellamiento" se mide por separado con su respectiva severidad.
- Si en una misma área existe "exudación" no se considera "agregados pulidos".
- La "Fisura de bloque" incluye "fisuras longitudinales y transversales" en el área; y si existe "reflexión de juntas" registrar por separada.
- Cualquier falla encontrada en un bacheado no se registra, sin embargo, los efectos en el parche nos darán a conocer la severidad del bacheado.
- Para registrar "agregado pulido" tiene que ser considerable.
- si un tratamiento de tipo superficial se está desprendiendo se registra como "peladura".
- Realizar una inspección PCI inmediatamente después de realizar un tratamiento superficial no es relevante ya que dicho tratamiento enmascara las patologías existentes.

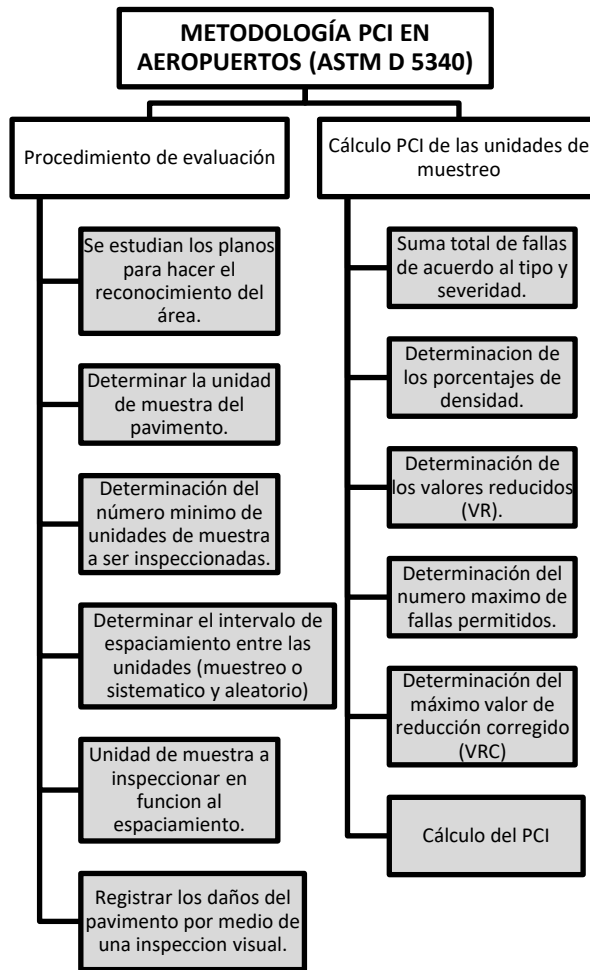


Fig. 4. Flujograma PCI en Aeropuertos (ASTM D 5340)

Unidad de muestra del pavimento: para pavimentos asfálticos en aeropuertos

$$270m^2 \leq \text{Área a estudiar} \leq 630m^2 \quad (1)$$

Para el estudio se seccionó la pista de aterrizaje en tres secciones A, B y C y en cada una de ellas se seccionó 50 unidades de muestras las cuales fueron estudiadas 17 contando cada unidad de muestra (UM) 10mX50m con un área de $500 m^2$.

Cantidad mínima de UM a ser inspeccionada (n) – Nivel de confianza 95%: redondeado al valor entero inmediato superior. En el estudio $12.3077 \approx 13$

$$n = \frac{NS^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right) * (N-1) + S^2} \quad (2)$$

Donde:

e: Error aceptable en la estimación del PCI de la sección comúnmente $e = \pm 5$. [8]

S: Desviación estándar del PCI, se asume para pavimento asfáltico el valor de 10.

N: Número total de UM en la sección.

Intervalo de espaciamiento entre las unidades (i) – Muestreo sistemático y aleatorio: redondeado al valor entero inmediato inferior. En el estudio $3.85 \approx 3$

$$i = \frac{N}{n} \quad (3)$$

Donde:

i: Intervalo de espaciamento entre las unidades

N: Nro. total de UMs en la sección

n: Nro. total de UMs a ser analizadas.

La 1ra. muestra a ser analizada se selecciona al azar de la muestra 1 hasta i. Las demás unidades de muestra a analizar se ubican ubicadas a incrementos i, una vez enmallado todas las UM se selecciona las secciones a evaluar. En el estudio se seleccionó al azar la UM-2 incrementando i dando la siguiente así sucesivamente UM-5, UM-8.....UM-50 teniendo 17 UMs en cada sección teniendo un total de 51 UMs a estudiar. Una vez enmallado las UMs en el área a estudiar se midieron las fallas correspondientes de acuerdo al apéndice X1 evaluación de pavimento asfáltico de la Norma ASTM D 5340 traducido en español identificando las fallas, nivel de severidad y su forma de medición de acuerdo al tipo de falla presentada en el área de estudio. [11]. Se incorporará una muestra adicional si estas presentan condiciones extremas, muy pobres o excelente, que no son típicas de la sección, y fallas poco comunes, como los cortes en el pavimento para instalaciones. [11] Las medidas de las fallas existentes en la superficie del pavimento asfáltico en aeropuertos se medirán en m² y ml, de la misma manera usar en las curvas para la obtención del valor deductivo.

Cálculo del índice de condición de pavimento (PCI): primero Calculamos el total de fallas sumando el total de cada falla identificada de acuerdo a su severidad por consiguiente calculamos el porcentaje de densidad:

$$\% \text{Densidad} = \frac{\text{Total (m2)}}{\text{Área a estudiar (m2)}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

Total: Suma total de la cantidad de cada falla con su respectiva severidad.

Área a estudiar: Área de la UM en la siguiente investigación 500m²

Cálculo valor de reducción (VR): el valor de reducción VR, se obtiene en función a la densidad en las TABLAS de la norma ASTM D 5340 de acuerdo al tipo de falla evaluado, de la misma manera se hará para el resto de las fallas encontradas en la UM ya que para cada tipo de falla tiene su curva de obtención de valores reducidos (VR).

Cálculo del máximo valor de reducción (VRC): Para calcular el máximo Valor de Reducción Corregido (VRC) hay dos casos.

Caso 1: Si uno o ninguno de los VR es mayor a 5 la suma de los VRs es utilizada en lugar del VRC.

Caso 2: Si el número de VRs es menor al valor de m, ingresar todos los VRs en la tabla.

Para determinar PCI (índice de condición de pavimento)

$$PCI = 100 - \text{Máximo VRC} \quad (5)$$

Si no cumple el caso 1 se realizarán los siguientes pasos:

Calcular m (número máximo de fallas permitidas):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - VAR) \leq 10 \quad (6)$$

VAR: Valor individual de reducción más alto.

Nota: El valor de m debe quedar en un número entero dejando una Fracción decimal hasta la decena.

El caso 2 tiene dos situaciones uno de ellos es:

Si el Nro. de VRs es menor al valor de m, ingresar todos los Vrs en la tabla de valor de reducción que brinda la Norma ASTM D 5340. [8]

Determinar q (número de valores deducidos mayores que 5)

Ingresar en la tabla los VRs en la primera fila en forma descendente, si los valores de reducción son >5 reducir el menor valor individual VR a 5 hasta que se cumpla la condición de "q" =1 y los $VR < 5$ repetir las hasta "q" =1.

Determinar valor deducido total: se suman todos los valores deducidos individuales.

Determinar CDV (máximo valor deducido corregido): Se obtiene en función de "q" y el "valor deducido total" en la gráfica de valores deducidos corregidos para pavimentos asfálticos que brinda la norma ASTM D 5340, el "máximo CDV" es el valor más alto de los CDV obtenidos en el proceso de iteración indicada. Si en el caso no se encuentra el valor de "q" en la gráfica utilizar el máximo valor de "q" de la gráfica, teniendo el resultado obtenido de la fórmula 5, ubicamos en la Escala de Clasificación de PCI que nos da la norma ASTM D 5340. Fig. 1

En el caso no cumple la situación 2 del caso 2 el caso se da si el número de VRs es mayor a m, utilizar los m valores más altos solamente ingresando en la tabla los VRs en la primera fila en forma descendente, reemplazando el menor VR por el producto del mismo por la fracción decimal del m calculado utilizando dicho valor como el menor en la primera fila [8], el valor de "m" nos dará a conocer el límite del VR ya que el siguiente VR será multiplicada por la fracción decimal de "m" el resto se sigue los mismos pasos de la situación 1 del caso 2. Teniendo en conocimiento a la perfección el cálculo del PCI según la norma ASTM D5340 se procesaron los datos con el software EVALPAV, ver manual EVALPAV. [12]

Se realizaron ensayos fuera de la investigación realizada para dar explicación del porque posiblemente surgieron las fallas que se apreciaron en la superficie del pavimento flexible de la pista de aterrizaje del aeropuerto entre ellos el estudio de suelos se realizó como apoyo para corroborar si las fallas existentes en la superficie de la carpeta asfáltica son a causa del terreno de fundición donde está sentada la carpeta asfáltica realizando los siguientes ensayos con sus respectivas normas: granulometría por tamizado (ASTM D-2487 , AASHTO 145C), Proctor modificado (D-698 , T-99), California Bearing ratio CBR (ASTM D-1883 , T-193) para ello se realizaron 4 calicatas a una profundidad de 1.50m en las siguientes progresivas, C-01= Km 0+312, C-02= Km 0+937, C-03=Km 1+562, C-04= 2+188. Se realizó la perforación de testigos en 6 puntos de la carpeta asfáltica en las progresivas Km 1+100 (3 puntos) y Km 1+500 – Km 1+700 (3 puntos) ensayo que determinó el bitumen de mezclas en caliente donde se conoció el porcentaje de asfalto del pavimento usando el siguiente ensayo con su respectiva norma: Lavado asfáltico (ASTM D-2172, ASTM T-164).

IV. RESULTADOS

"El PCI se basa en una medición objetiva del tipo, la gravedad y la cantidad de angustia en su superficie" [8], [13] conocer los datos visuales del tipo de peligro, la gravedad del daño y la cantidad o densidad de daño acciones que se deben de tomar para superar ese deterioro en dicho estudio las fallas más comunes fueron el agrietamiento en bloque, la depresión, el

agrietamiento longitudinal y transversal y el parcheo [5]. En la siguiente investigación las fallas más frecuentes son: Piel de cocodrilo (1B), fisuras longitudinales y transversales (8B) y peladura (12B) las cuales se encuentran en nivel de severidad baja, los dos primeros tipos de fallas del pavimento mencionado anteriormente se encontraron en la sección “B” siendo la más afectada a consecuencia del tráfico y zona donde las aeronaves aterrizan haciendo contacto con tierra y donde despegan siendo las UMs más afectadas de la UM 17 hasta la UM 35 (Fig. 5).

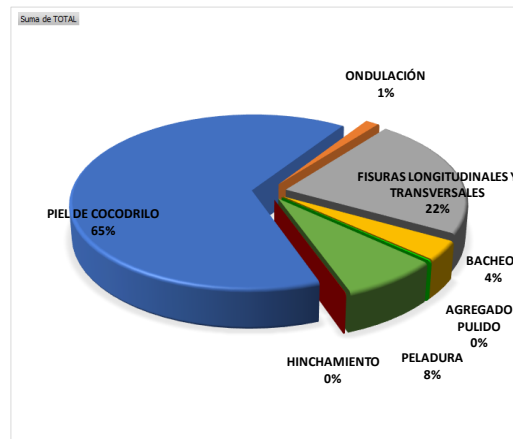


Fig. 5. Fallas encontradas en la pista de aterrizaje del aeropuerto de Huánuco.

Se puede afirmar, que la pista de aterrizaje del aeropuerto Alférez FAP David Figueroa Fernandini de Huánuco, en sus 2500 metros lineales analizados, tiene un pavimento “bueno” (PCI promedio igual a 62, incluyendo las 51 unidades de muestras estudiadas). La FAA no parece tener una definición formal de “bueno,” “regular” y “pobre” en caso estrategias de tratamiento la cual PCI de 40 a 70 requiere rehabilitación [13]. Es mejor aplicar la rehabilitación antes de una PCI crítica (55 a 70) porque después de eso el costo de rehabilitación sería 4-5 veces mayor [13], [15].

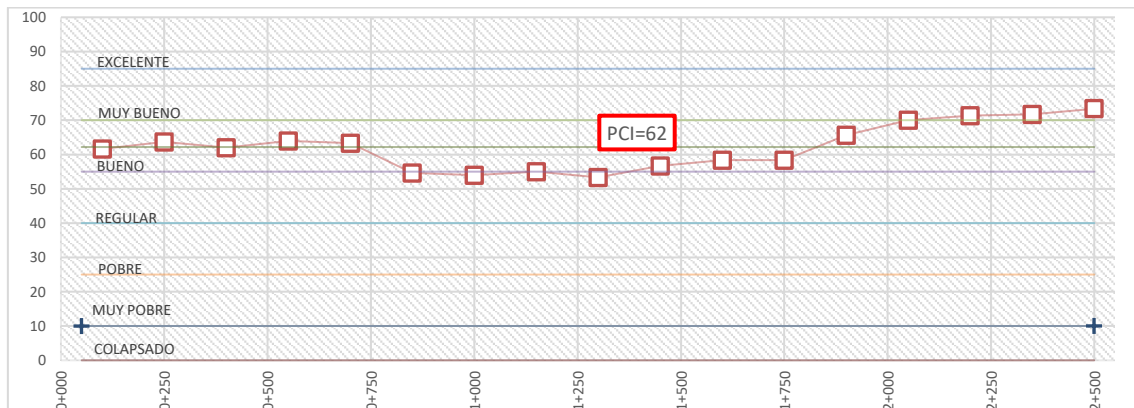


Fig. 6. Grafica del índice de condición de pavimento (PCI) de la pista de aterrizaje del aeropuerto Huánuco.

“El índice de condición del pavimento es un número adimensional y el valor representa la escala de calificación” [14], el valor del PCI del pavimento flexible es 61 (regular) y si no se hace nada en el 2020 el valor del PCI seguirá cayendo a 49 (pobre). [14] En la siguiente investigación los resultados de la sección “A,” “B” y “C” se obtienen un PCI promedio de 63, 59 y 64 lo cual se clasifican en un pavimento “bueno” Por lo tanto se puede decir que la pista de la sección “C” se encuentra en mejores condiciones que la sección “A” y sección “B”, el máximo valor de PCI lo tienen las UM47 y UM50 de la sección C, igual a 77 y 76 de condición “muy buena” y el valor más bajo de PCI se encuentra en la UM23 de la sección B, igual a 45 de condición “regular”.

Tabla 1. Resumen de los valores del (PCI) de la pista de aterrizaje del aeropuerto de Huánuco.

UM	Progresiva	Sección A	Sección B	Sección C	PCI GLOBAL DEL AEROPUERTO DE HUÁNUCO (PERÚ)	
UM-2	0+050 - 0+100	62	62	61		
UM-5	0+200 - 0+250	64	63	64		
UM-8	0+350 - 0+400	60	61	65		
UM-11	0+500 - 0+550	64	63	65		
UM-14	0+650 - 0+700	64	61	65		
UM-17	0+800 - 0+850	57	50	57		
UM-20	0+950 - 1+000	57	47	58		
UM-23	1+100 - 1+150	61	45	59		
UM-26	1+250 - 1+300	56	47	57		
UM-29	1+400 - 1+450	60	54	56		
UM-32	1+550 - 1+600	62	53	60		
UM-35	1+700 - 1+750	62	53	60		
UM-38	1+850 - 1+900	68	62	67		
UM-41	2+000 - 2+050	69	66	75		
UM-44	2+150 - 2+200	70	69	75		
UM-47	2+300 - 2+350	69	69	77		
UM-50	2+450 - 2+500	70	74	76		
Promedio sección		63	59	64		62

Estudio de suelos

Granulometría por tamizado: En la clasificación de suelos-métodos SUCS y AASHTO (Norma ASTM D 2487 y AASHTO 145C) Los resultados obtenidos fueron los siguientes: C-01=SUCS ML-AASHTO A4 (0), C-03=SUCS GM-AASHTO A-1-b (0), C-03= SUCS GC- AASHTO A-2-4(0) y C-04=SUCS GC -AASHTO A-2.4(0).Según los resultados de los suelos estudiados son granulares y de igual manera de acuerdo a la clasificación de la FAA se identifican como suelos E-1 Y E-4 que se los describe como “terrenos con proporción de grava y arena, eminentemente cohesivos. [16]

Ensayo Proctor modificado: Los resultados del ensayo de Proctor medicado como la humedad optima (%) y la densidad máxima (kg/cm²) están dentro del rango permitido según las normas correspondientes, el valor más alto de la humedad optima es 9.20% y la misma 5.09% lo cual están dentro del rango máximo permitido 9.5%. según la norma ASTM.

Ensayo de CBR: Según FAA (Federal Aviation Administration) en el capítulo 2 estudio de suelos, se consideran como materiales aptos para las capas de subrasante suelos con CBR ≥ 15% en caso de ser menor se consideran subrasantes pobres o subrasantes inadecuadas. Los resultados obtenidos en las calicatas son los siguientes: C-01= 24.97%, C-02= 65.68%, C-03=21.99% y C-04=23.58%. Los resultados obtenidos están dentro de las especificaciones previstas por la FAA que nos brinda valores estándares del diseño y mantenimiento de un aeropuerto. [17] Así mismo en el capítulo p.2-7 de la norma FAA recomienda para subrasante un valor de CBR=33 para uso en diseño.

Ensayo de % de Asfalto:Según los resultados del ensayo podemos concluir que la pista de aterrizaje del aeropuerto FAP David Figueroa Fernandini cumple con los requerimientos del contenido óptimo de asfalto según el manual de diseño del instituto de asfalto, recomienda valores del 5% a 7.5% [18], de acuerdo a ello las dos muestras ensayadas nos arrojan un resultado muy favorable ya que nos encontramos dentro de lo recomendado con valores de 6.4% en el KM 01+100 y 6.2% entre los KM 01+500 - KM 01+700.

V. CONCLUSIONES

Mediante la metodología (PCI) se pudo conocer el estado de conservación en la que se encuentra el pavimento asfáltico de la pista de aterrizaje, metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimento flexible siendo de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas dicha evaluación basada en la norma ASTM D 5340 para aeropuertos, teniendo los resultados de este estudio será referencia a CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial) para su respectiva intervención. Se identificaron 7 tipos de fallas de acuerdo a la evaluación de la condición superficial del pavimento asfáltico siendo los más comunes piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales y peladura en severidad baja, la pista principal del aeropuerto presenta un PCI promedio de 62 la cual se ubica en un estado de conservación "bueno".

Según los ensayos de mecánica de suelos y de la carpeta asfáltica (diamantinas) se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por la FAA la cual podemos deducir que las fallas existentes del pavimento asfáltico en la zona de estudio es por el tiempo de uso ya que fue inaugurado el año de 1963 y que a la fecha cuenta con 59 años y según el jefe del Aeropuerto no se le ha realizado un mantenimiento bajo una metodología o procedimiento, solo se han limitado a realizar el mantenimiento superficial de limpieza de agregados desprendidos y el deshierbado de las áreas continuas.

Se recomienda tener un programa de gestión de mantenimiento de pavimentos realizando una evaluación cada 6 o 12 meses para llevar el control del estado del pavimento llevando una matriz de evaluación que sirva de guía al especialista, realizar la rehabilitación de la pista de aterrizaje en las UMs donde lo amerite o en su conjunto.

REFERENCIA

- [1] F. S. Merritt, M. K. Loftin y J. T. Ricketts, Manual del Ingeniero Civil, 1992, p. 342.
- [2] R. Planzer y G. Pérez, «"Infraestructura aeroportuaria en América Latina y el Caribe",» *Facilitación, Comercio y Logística en América Latina y el Caribe*, p. 15, 18 Octubre 2019.
- [3] A. Zuzuamo y D. Hodakova, «Confiabilidad Operacional de Pavimentos de Aeródromos,» *VIII Congreso Internacional de Transporte Aéreo – inair 2019 tendencias globales en la aviación*, vol. 43, pp. 243-250, 2019.
- [4] R. Tarefder, M. U. Ahmed y M. M. Rahman, «"Evaluating Functional and Structural Condition Based Manintences of Airfield Pavements",» *Civil Engineering Dimension*, vol. 15, nº 2, pp. 71-80, septiembre 2013.
- [5] Yanti, S. Sunarjono, A. Riyanto, N. Hidayati y A. Magfirona, «"Visual Assessment Deterioration Analysis of Runways at Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggan Airport Balikpapan",» *AIP Conference Proceedings*, p. 9, 26 junio 2019.
- [6] M. A. Rachman, H. Rahman, B. S. Subagio y S. Hendarto, «"Study of Flexible Pavement Structure Maintenance in Runways with Pavement Condition Index (PCI) Method",» *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 27, nº 1, p. 14, 2020.
- [7] M. Rahman y R. Taterfder, «"Selection of the Most Cost Effective Pavement Maintenance Treatment for Selected Airport Pavements in New Mexico",» *Department of CIVIL Engineering, University of NEW MEXICO, USA*, p. 15, 2012.
- [8] Norma ASTM D 5340, "Indice de Condicion de Pavimentos en Aeropuertos (PCI)", 2004.
- [9] A. Gil Helvar, Artist, "Conservación de Pavimentos Aeroportuarios". [Art]. Universidad politécnica de Madrid, 2016.

- [10] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, México: Mc Graw Hill education, 2014.
- [11] N. A. D. 5340, Artist, *Apendice X1 Evaluación de pavimentos de concreto asfáltico (AC)*. [Art]. ASTM, 2005.
- [12] G. J. Zabala, Artist, *Manual del usuario EVALPAV-Software para evaluación de pavimentos en carreteras y aeropuertos de superficie asfáltica, y carreteras no pavimentadas..* [Art]. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015.
- [13] 150/5380-7B, Artist, *Airport Pavement Management Program (PMP)*. [Art]. Federal Aviation Administration, 2014.
- [14] A. Zuzuamo y D. Hodakova, «Confiability Operacional de Pavimentos de Aeródromos,» *Transportation Research Procedia*, vol. 43, nº 248, pp. 243-250, 2019.
- [15] M. Y. Shanin , *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*, 2da edición ed., New York: Springer, 2005, pp. 214-215.
- [16] P. Di Mascio y L. Moretti, «"Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces",» *Case Studies in Construction Materials*, p. 11, 2019.
- [17] C. M. Auris Cortez, "Evaluación y rehabilitación del pavimento empleando el método de deflectometría en el aeropuerto de Huamanga - Ayacucho", Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2002, p. 2.
- [18] C. Crespo Villalaz, *Mecánica de suelos y cimentaciones*, 5ta. Edición ed., Madrid, España: Limusa Noriega Editores, 2005.
- [19] Federal Aviation Administration, *Airport Pavement Design and Evaluation*, Advisory Circular 150/5320-6E, 2015.
- [20] The Asphalt Institute, *Manual de Diseño del Instituto de Asfalto*, 2007.

CA-UCT-005
DATE: 03-02-2023
Quito-Ecuador

TO:

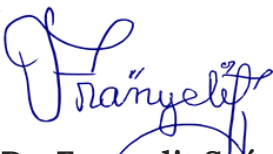
Jans Tedy Mallqui Durand
Cristian Advias Quinto Prado

Editorial AutanaBooks, which specializes in the publication of books and collections of scientific articles in all fields of knowledge, declares that our Editorial Board has carried out a blind peer review of the article entitled: **Evaluación superficial del pavimento asfáltico apoyada por el método PCI en pistas de aterrizaje de aeropuertos** has been **accepted for publication** in Volume 27, Issue 118, of the month of March 2023, in the Universidad, Ciencia y Tecnología Journal, printed ISSN: 1316-4821, digital ISSN: 2542-3401.



This journal is indexed in: Actualidad Iberoamericana, Aluminum Industry Abstracts, Corrosion Abstracts, CSA Engineering Research Database, CSA Materials Research Database with METADEX, CSA Recent References Related to Technology, CSA Technology Research Database, Environment Abstracts, LATINDEX, Mechanical & Transportation Engineering Abstracts, METADEX, REVENCYT, MIAR, Erih Plus, SciELO Collection.

We congratulate the authors for their achievement and wish them success in their future research, but not before thanking them for their academic contribution to the journal.

Regards,




Dr. Franyelit Suárez
Chief editor

|  +593 984600573
|  editorial@autanabooks.com



AutanaBooks
Engineering & Services

|  Sector Mitad del
Mundo, Quito,
Ecuador