

Evaluación del Diseño Estructural de Pavimentos Aeroportuarios y Su Vida Estructural Según FAARFIELD 1.42 y FAARFIELD 2.0.

Evaluation Of Airport Pavement Structural Desing and Structural Life According to FAARFIELD 1.42 and FAARFIELD 2.0.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del
artículo:

Recibido
14-11-2023
Aceptado
16-04-2024
Publicado
25-08-2024

Palabras Clave:
Vida estructural
Diseño para
pavimentos
flexibles
FAARFIELD
Relación de
rodamiento de
california

Article history:

Received
14-11-2023
Accepted
16-04-2024
Available
25-08-2024

Keywords:
Structural life
Flexible
pavement design
FAARFIELD
California
bearing ratio

Resumen

El objetivo de la presente investigación es el estudio comparativo de las versiones 1.42 y 2.0 del programa FAARFIELD, a partir de los resultados obtenidos en los modos de operación de diseño y de vida estructural, ambos aplicados en estructuras de pavimento flexible. Esto resulta relevante ya que han existido variadas metodologías de diseño de pavimentos a lo largo de la historia, presentando diferentes modos de implementación, por lo que es necesario verificar la existencia de diferencias en los resultados obtenidos de esta última actualización. El estudio se encuentra formado por dos partes: análisis de vida estructural y análisis de diseño. El análisis de vida estructural plantea la construcción de una matriz experimental de 108 combinaciones, con la finalidad de realizar el cálculo de coeficientes estandarizados, para obtener el nivel de significancia de cada una de las variables que intervienen en el diseño. Posteriormente, se procede a realizar la comparación estadística, con los resultados obtenidos en los modos de operación de diseño y vida estructural, mediante pruebas de hipótesis, probando estadísticamente si los resultados presentan diferencias en ambas versiones. En base a la implementación realizada, además, se generan recomendaciones de operación y de diseño, considerando los valores y parámetros utilizados en el estudio, dado que estos corresponden a datos reales correspondientes al aeródromo El Loa, ubicado en la región de Antofagasta y parte de la red primaria de tránsito aéreo chilena.

Abstract

The objective of this research is a comparative study of versions 1.42 and 2.0 of the FAARFIELD software, based on the results obtained from the design and structural life operation modes, both applied to flexible pavement structures. This is relevant since there have been various pavement design methodologies throughout history, each with different implementation methods, making it necessary to verify if there are differences in the results obtained from this latest update. The study is composed of two parts: structural life analysis and design analysis. The structural life analysis involves constructing an experimental matrix of 108 combinations, aiming to calculate standardized coefficients to determine the significance level of each variable involved in the design. Subsequently, a statistical comparison is made using the results obtained from the design and structural life operation modes through hypothesis testing, statistically testing whether the results differ between both versions. Based on the implementation carried out, operational and design recommendations are also generated, considering the values and parameters used in the study, as these correspond to real data from El Loa aerodrome, located in the Región de Antofagasta, which is part of Chile's primary air traffic network.

* Corresponding author at: Lucas Molina, Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Av. Victor Jara 3659, Estación Central, Santiago, Chile. E-mail address: lucas.molina@usach.cl

RIOCI

journal homepage: <https://rioc.ufro.cl/index.php/rioc/index>

Vol. 12, no. 02, pp. 1–9, Agosto 2024

1. Introducción.

El transporte aéreo, en los últimos años, ha permitido la facilidad de comercio, conectividad cultural y social, y desarrollo económico. En este sentido, los aeropuertos y aeródromos se han convertido en una de las principales infraestructuras para el desarrollo del país, y, dado el crecimiento poblacional, es necesaria su ampliación, recuperación y proyección de acuerdo con las necesidades propias de la región.

Paralelamente, dados los nuevos conocimientos y tecnologías, y constante fabricación e invención de nuevas aeronaves, es necesaria la actualización de metodologías y manuales que guían y proveen la información para el correcto diseño, construcción y proyección de los aeródromos. La Federal Aviation Administration (FAA), corresponde a un organismo norteamericano que, a través de circulares de asesoramiento, brinda esta información. Así mismo, esta entidad durante años ha brindado diversos métodos para el diseño de pavimentos aeroportuarios.

El diseño de pavimentos conlleva la creación de una estructura capaz de soportar el tránsito de diferentes aeronaves, teniendo características específicas (tren de aterrizaje, peso máximo, características de sus neumáticos y presión de inflado de estos), distribuyendo sus cargas a la subrasante, garantizando que las tensiones transmitidas no excedan la capacidad de carga de esta última. Además, debe ser capaz de proporcionar una superficie de calidad de conducción aceptable, resistencia adecuada al deslizamiento, características favorables de reflexión de la luz y baja contaminación acústica (Jain et al., 2013).

Desde la década del 60 hasta la actualidad, han sido variadas las metodologías de diseño brindadas y regidas por la FAA, como, por ejemplo: la utilización de cartas de Pickett y Ray, donde se implementan curvas de diseño para ejes simple, dual y tándem-dual; ábacos de diseño para aeronave crítica; y diseño mediante flota usuaria en el software LEDFAA. Se debe destacar, que cada una de estas metodologías es implementada en base a la circular de asesoramiento 150/5320-6, la cual proporciona recomendaciones de diseño y evaluación de pavimentos, relacionándose cada una de estas metodologías con una versión en este documento.

Es así que, producto de años de desarrollo y conocimientos, se establece como herramienta de diseño el programa FAARFIELD, el que, a través del Layered Elastic Design (LED), herramienta computacional; y ensayos empíricos realizados en el National Airport Pavement Test Facility (NAPTF), permite diseñar estructuras de pavimento rígido y flexible (FAA, 2021). La última

actualización de este programa fue lanzada en el año 2021, siendo la versión 2.0, y presentando una considerable diferencia en su interfaz, con respecto a la versión anterior 1.42, además de contar con diferentes posibilidades de implementación, nuevo modo de operación y aplicación de la nueva metodología ACR-PCR, método estandarizado de reporte de la resistencia en pavimentos aeroportuarios.

La actualización de este programa como metodología de diseño, tal como se nombró anteriormente, se encuentra relacionada con la actualización respectiva de la circular de asesoramiento. Es decir, la aplicación del programa FAARFIELD 2.0 se encuentra regida por la versión G de la circular 150/5320-6, mientras que FAARFIELD 1.42 se encuentra regida por la versión F del documento.

En esta investigación se tiene como objetivo principal el realizar un estudio comparativo, mediante test de hipótesis, de los resultados obtenidos en ambos programas con los modos de operación de diseño y vida estructural. Además, con los resultados de este último modo, se realiza el cálculo de coeficientes estandarizados, con la finalidad de entender la relación de cada variable con los datos obtenidos.

2. Metodología.

El estudio se encuentra formado por dos partes: análisis de vida estructural y análisis de diseño. El análisis de vida estructural plantea la realización de un análisis estadístico, mediante un modelo factorial con la finalidad de determinar los factores más significativos dentro del modelo, y una prueba pareada para comparar los resultados obtenidos entre las dos versiones del programa FAARFIELD, comprobando si existen diferencias.

Por otro lado, el análisis de diseño, de la misma forma, se basa en una prueba de hipótesis para comparar espesores obtenidos en el diseño, frente al cambio de una variable, realizando un análisis de sensibilidad de este mismo.

2.1. Obtención de datos.

Para la realización de los cálculos, se utilizan los datos correspondientes al aeródromo El Loa (Calama, Región de Antofagasta, Chile). Estos son facilitados por la Dirección de Aeropuertos (DAP) y Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), que son entregados a partir de estudios de auscultación y registros históricos del tráfico de aeronaves, respectivamente. Estos se presentan a continuación.

2.1.1. Estructuras de pavimento.

Dentro del aeródromo se presentan siete estructuras de pavimento flexible. Para la investigación se seleccionan las siguientes: Estructura A1, ubicada en la pista de aterrizaje 10-28, y estructura A5, ubicada en desahogo Charlie y secciones 1, 4 y 5 de la plataforma de aviación general.

En base a registros históricos y resultados de estudios realizados en terreno se han determinado los módulos de elasticidad de cada capa para las estructuras presentes, considerando su envejecimiento, y la capacidad soportante de la subrasante.

Tabla 1. Valores de módulo de elasticidad de las capas existentes.

Rama	Sección	Unidad	Asfalto	Base y Subbase	Subrasante
Pista	PI 1	Mpa	7.044	522	275
	PI 2	Mpa	7.044	522	275
Desahogo Charlie	DC 1	Mpa	7.590	634	93
Plat. Av. Gral.	PL 1	Mpa	4.567	831	734
	PL 4	Mpa	8.367	1.470	485
	PL 5	Mpa	7.002	1.330	946

A partir de estos valores, se adopta para cada capa una materialidad similar a la existente para generar una estructura en FAARFIELD. La estructura A1 presenta las siguientes materialidades:

- Pavimento asfáltico (material P-401/P-403 HMA Surface). Espesor de 100 mm.
- Base (material P-209 Cr Ag). Espesor de 200 mm.
- Subbase (material P-154 UnCr Ag). Espesor de 250 mm.

La estructura A5 presenta las siguientes:

- Pavimento asfáltico (material P-401/P-403 HMA Surface). Espesor de 100 mm.
- Base (material P-209 Cr Ag). Espesor de 200 mm.

2.1.2. CBR de la subrasante.

Considerando un promedio de 38%, desviación estándar de 10% y eliminando valores extremos, se adopta un CBR de subrasante igual a 28%, según lo recomendado por la FAA. Este parámetro es obtenido mediante la exploración de 10 calicatas realizadas en la subetapa 2.2 de la mecánica de suelos.

Se debe descartar, que, de manera análoga, se cuenta con datos de CBR asociados a cada una de las zonas del aeródromo, obtenidos mediante deflectometría de impacto y basados en la circular de asesoramiento 150/5370-11B: Uso de ensayos no destructivos en la evaluación de pavimentos aeroportuarios. Estos datos detallan de manera exacta cada uno de los suelos presentes en la zona. Las estructuras estudiadas, presentadas anteriormente, presentan los siguientes valores según el ensayo de deflectometría:

Tabla 2. Valor de CBR presente en zonas específicas del aeródromo

Estructura	Ubicación	CBR
Estructura A1	Pista	27
	Desahogo Charlie	9
Estructura A5	PL1	71
	PL4	47
	PL5	91

Por lo que a pesar de seleccionar un CBR de diseño para todas las estructuras, el resultado debe ser estudiado considerando esta variación en la resistencia del suelo de fundación.

2.1.3. Tráfico de aeronaves.

Se cuentan con datos de registros de tránsito de aeronaves desde el año 2002 al 2022 y proyección de tránsito desde el 2021 al 2041. Cada tráfico de aeronaves se utiliza para el análisis de vida estructural y análisis de diseño, respectivamente.

Tabla 3: Tráfico de aeronaves análisis de vida estructural

No.	Nombre	Peso bruto [kg]	Despegues anuales
1	Adv. B737-200 QC	58.332	761
2	A321-100 std	83.400	750
3	A319-100 std	64.400	715
4	A321-200 std	89.400	214
5	A318-100 std	56.400	162
6	B737-300	63.503	89
7	Citation-550B	6.804	28
8	SuperKingAir-B200	5.711	20
9	A321-200 opt	89.400	13
10	Gulfstream-G-II	29.937	9
11	Bombardier CS100	61.235	6
12	B737-400	68.266	4
13	Gulfstream-G-IV	34.019	3
14	Gulfstream-G-V	41.232	3
15	B767-300	163.747	3
16	A320-200 Twin std	73.900	1820
17	A320-200 Twin opt	78.400	50

Tabla 4: Tráfico de aeronaves análisis de diseño

No.	Nombre	Peso Bruto [kg]	Despegues anuales
1	B737-300	52.000	77
2	B767-300 ER	187.000	264
3	A319-100 std	75.000	607
4	A320-200 std	79.000	4.665
5	A321-200 std	93.000	4.456
6	D-50	20.000	36
7	A319-100 std	68.000	17
8	Learjet 45/55B	10.000	86
9	Gulfstream G- V/G500/G550	41.000	21

2.2. Procedimiento de análisis de vida estructural.

Para el análisis de vida estructural, se realiza, inicialmente, un análisis factorial, teniendo como variables independientes el espesor de capa de asfalto, espesor de base, espesor de subbase, y valor de CBR de la subrasante. Datos correspondientes a la estructura A1 (Pista). La respuesta corresponde a la vida estructural obtenida en ambos programas.

De esta forma se generan dos matrices experimentales, una para cada versión del programa. En cada una se presentan 108 combinaciones, teniendo los siguientes valores en cada variable: espesor de capa de asfalto: 100 mm, 150 mm y 200 mm; espesor de base: 150 mm, 200 mm y 250 mm; espesor de subbase: 150 mm, 200 mm y 250 mm; y valor CBR: 5, 14,3, 23,6 y 33. Teniendo tres variables con tres niveles y una variable de cuatro niveles.

Mediante el programa XLSTAT, se estiman las regresiones lineales para cada versión, considerando como variables de entradas las nombradas anteriormente y tomando en cuenta una posible interacción entre dos variables. Además, se ingresan las cuatro variables al cuadrado para darle otro grado a la regresión ajustada, si es que estas muestran ser relevantes estadísticamente. Al tener las regresiones, se obtienen los valores de los respectivos coeficientes estandarizados.

Posteriormente, se procede a realizar la comparación estadística de los resultados obtenidos para cada versión. Se debe realizar una prueba paramétrica, la cual indicará si las medias de las muestras son significativamente distintas. Para llevar a cabo esta prueba, las muestras deben tener una distribución relativamente normal. En el caso de que no sigan esta distribución, se realiza una prueba no paramétrica para la comparación. Se emplea la prueba de Shapiro-Wilk para estudiar la normalidad de las muestras; Man-Whitney como prueba no paramétrica y t como prueba paramétrica, estas últimas según corresponda. En estas últimas, se selecciona un valor de significación de 5%.

2.3. Procedimiento de análisis de diseño.

El análisis de diseño corresponde a un análisis de sensibilidad, en donde, a partir de diferentes valores de CBR, se diseña la base de la estructura A5 (plataforma y desahogo), a través de la implementación del modo de diseño en cada versión del programa. El rango de CBR seleccionado va desde 17 a 33, con variaciones de 0,5. Además, según lo señalado en la circular de asesoramiento la vida de diseño es 20 años.

De la misma forma, tal como se realizó en el análisis de vida estructural, se realiza una comparación mediante test pareados de los resultados obtenidos.

3. Análisis de resultados.

3.1. Análisis de vida estructural.

3.1.1. Coeficientes estandarizados.

Los criterios de falla implementados internamente en FAARFIELD para el diseño de pavimentos flexibles son dos: deformación vertical en la subrasante y deformación horizontal bajo todas las capas de asfalto. El primer modelo esta dado por el siguiente cálculo:

$$\log_{10}(C) = \left(\frac{1}{-0,1638 + 185,19x\varepsilon_v} \right)^{0,60586} \quad (1)$$

cuando $C > 1.000$ coberturas

$$C = \left(\frac{0,004141}{\varepsilon_v} \right)^{8.1} \quad (2)$$

cuando $C \leq 1.000$ coberturas

Donde:

- C = Número de coberturas hasta la falla
 ε_v = Deformación vertical sobre la subrasante

Determinando el número de pasadas hasta alcanzar la falla para una deformación vertical sobre la subrasante (Kawa, 2017).

Para la fatiga de asfalto, el modelo de falla se encuentra basado en el concepto de que el número de coberturas hasta la falla es determinado por la cantidad llamada Relación de Cambio de Energía Disipada, RDEC de sus siglas en inglés (Shen & Carpenter, 2007). En una gran cantidad de ensayos de fatiga de vigas de asfalto se ha encontrado que el "Valor de Meseta" (PV) de RDEC es un predictor confiable del número de ciclos hasta la falla por fatiga (Nf). Para una amplia gama de mezclas asfálticas, esta relación viene dada por:

$$N_f = 0,4801PV^{-0,9007} \quad (3)$$

Además, para una deformación horizontal dada en la parte inferior de la capa de asfalto, el valor de RDEC se puede estimar mediante:

$$PV = 44,4322 \varepsilon_h^{5,140} S^{2,993} VP^{1,850} GP^{-0,4063} \quad (4)$$

PV = Valor estimado del valor de meseta de RDEC,

adimensional

S = Rigidez a la flexión HMA, psi

ε_h = Deformación horizontal en el fondo de la capa de asfalto

VP = Parámetro volumétrico

GP = Parámetro de gradación

Estas variables y parámetros presentan valores predeterminados en FAARFIELD, representando mezclas típicas de P-401.

La deformación vertical en la subrasante es el principal criterio de diseño, mientras que la deformación horizontal se vuelve dominante cuando la estructura presenta gran profundidad y carga. Al evaluar esto con las ecuaciones presentadas, se aprecia que las principales variables de entrada son las deformaciones verticales y horizontales, teniendo una gran cantidad de parámetros predeterminados, y en este sentido, la estructura al presentar una mayor profundidad es esperable que la deformación vertical sobre la subrasante sea menor, pasando a ser la deformación horizontal bajo las capas de asfalto el criterio de diseño.

Por otro lado, en el cálculo de los coeficientes estandarizados realizados en la investigación (figura 1) se tiene que las variables: espesor de capa de asfalto y valor de CBR de la subrasante, por si solas afectan de forma positiva al resultado de la vida estructural, siendo el valor de CBR la variable que más influye en el resultado. Además, en este resultado, se aprecia que las variables base y subbase son influyentes al considerar que existe una interacción entre estas dos variables dentro de la regresión. Tanto las variables al cuadrado, como las demás interacciones, no presentan relevancia estadística en el modelo de regresión.

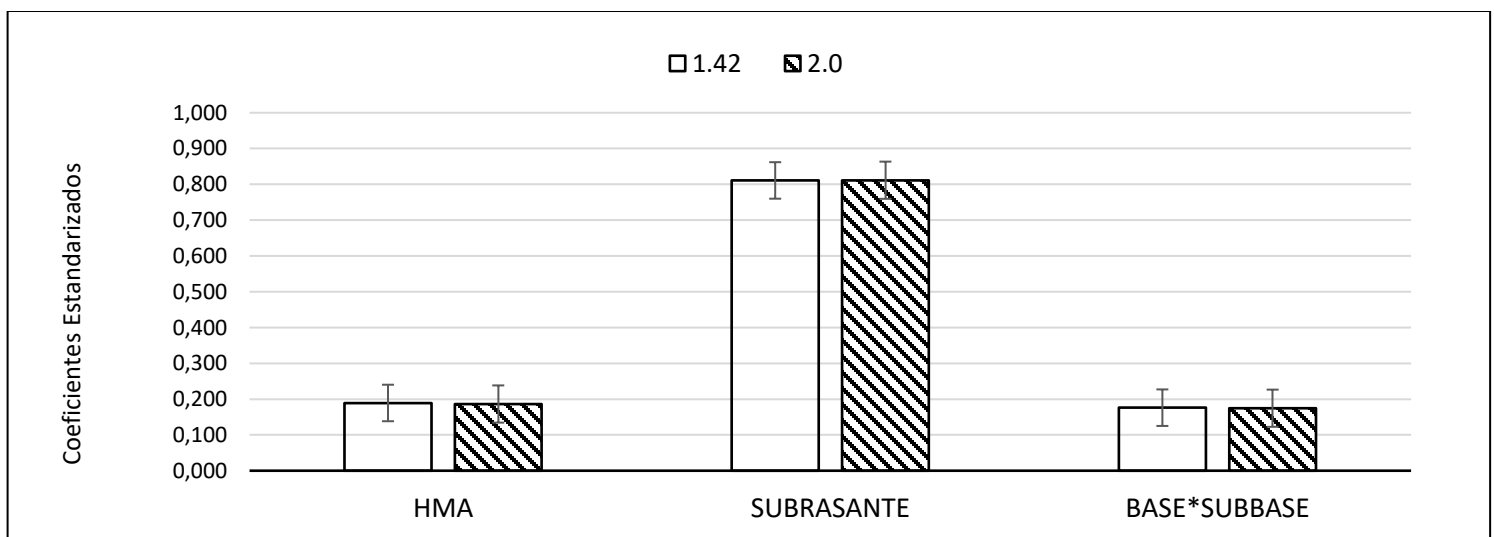


Figura 1. Coeficientes estandarizados de la vida estructural con FAARFIELD 1.42 y 2.0.

Se aprecia que, para ambos modelos y un 90% de confianza, los valores de los coeficientes estandarizados no presentan un cambio significativo en sus valores.

La capacidad de la subrasante es la variable que más influye dentro de los cálculos realizados, además no se presenta gran variación en los valores obtenidos por ambas versiones del software. El comportamiento de estos resultados se encuentra justificado gracias a los criterios de diseño en ambas versiones de FAARFIELD, que corresponden a la deformación vertical de la subrasante y deformación horizontal bajo todas las capas de asfalto, volviéndose, este último, en el criterio dominante cuando la estructura es muy profunda y posee una gran carga.

3.1.2. Prueba pareada.

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk entrega los siguientes resultados:

Tabla 5. Resultados Prueba de Shapiro-Wilk (resultados versión 1.42) en XLSTAT

valor-p (bilateral)	<0,0001
alfa	0,05

Tabla 6. Resultados Prueba de Shapiro-Wilk (resultados versión 2.0) en XLSTAT

valor-p (bilateral)	<0,0001
alfa	0,05

Se tienen como hipótesis nulas que la muestras siguen una distribución normal, mientras que la hipótesis alternativa corresponde a que las muestras no siguen una distribución normal. Dado que el valor p es menor que el valor 0,05 de alfa en ambos casos, las hipótesis nulas son rechazadas, por lo que con un 95% de confianza, tanto los resultados para análisis de vida estructural de la versión 1.42 y 2.0 no siguen una distribución normal.

Tabla 7. Resultados Prueba de Mann-Whitney / Prueba bilateral.

valor-p (bilateral)	0,441
alfa	0,05

Para la prueba de Mann-Whitney, se tiene como hipótesis nula que la diferencia en los resultados de ambas versiones es igual a 0, mientras que la hipótesis alternativa dice que uno de los resultados es mayor que el otro. Dado que el valor p es mayor que alfa, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que la diferencia en los resultados es, con un 95% de confianza, igual a cero. Como se nombró previamente, ambas versiones realizan el mismo procedimiento para la obtención de la vida estructural, basándose en los mismos modelos, lo que explica la igualdad de resultados.

Los resultados obtenidos con cada versión de FAARFIELD no presentan diferencias según las pruebas de hipótesis. De igual forma, al observar los resultados dentro de un periodo de 20 años, periodo de diseño recomendado, en algunos casos se presentan diferencias de 0,1 a 0,4 años. Al colocar los mismos espesores, CBR, y existencia de mismos modelos en ambas versiones, se espera que esta diferencia este dada por las características de las aeronaves presentes por defecto en los programas, ya que en la versión 2.0 las variables: longitud, ancho y área de contacto del neumático, no presentan decimales en su valor, mientras que la presión del neumático presenta decimales de centésima. Por otro lado, en la versión 1.42, la longitud, ancho y área de contacto del neumático, presentan decimales en su valor, mientras que la presión del neumático no presenta decimales. De forma práctica, esta diferencia no influye en conclusiones constructivas, dado que con el software solo se busca comprobar que la estructura no fallara por carga en los años de vida que se está diseñando, dejando otros factores de lado que podrían influir en estos cálculos.

3.2. Análisis de diseño.

Se presentan algunos espesores obtenidos, en la base de la pista de rodaje, en la siguiente figura.

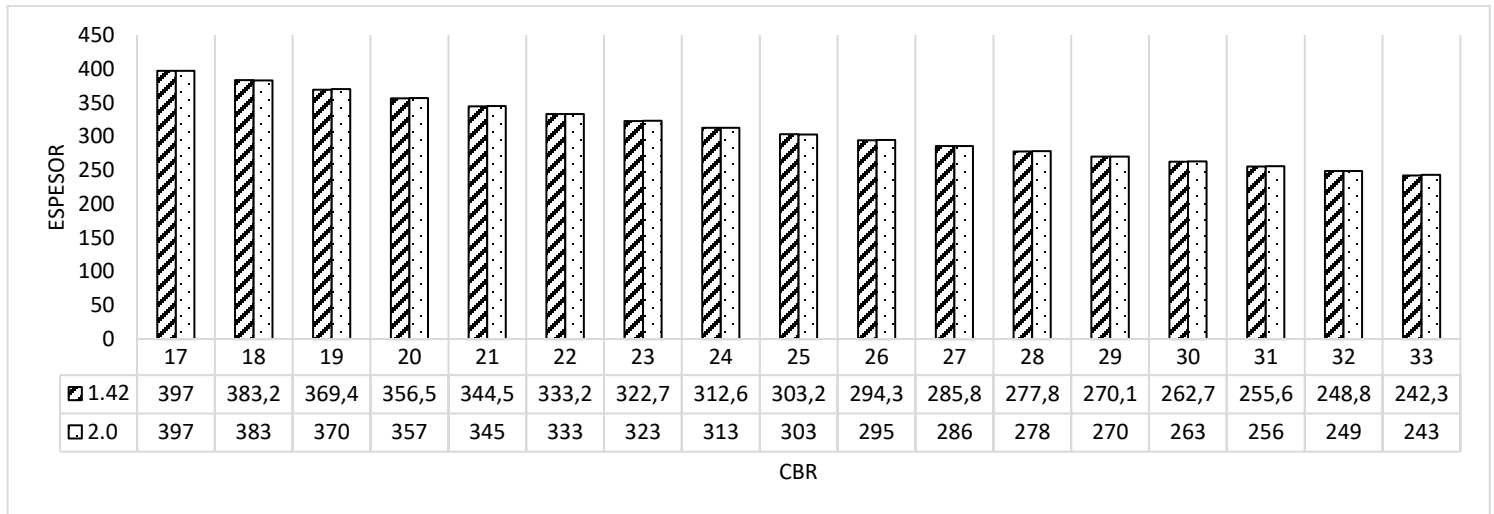


Figura 2. Resultados espesores de base de pista de rodaje con FAARFIELD 1.42 y 2.0.

Se aprecia, que frente a mayores valores de CBR, en el diseño, se tiene menor espesor en la capa base, presentando un comportamiento inversamente proporcional.

El modelo de diseño en FAARFIELD se encuentra basado en el

diseño de falla por fatiga a partir del CDF (FAA, 2021). Este valor indica que la vida estructural de un pavimento se ha agotado. Se expresa como la relación entre las repeticiones de la carga aplicada y las repeticiones de la carga permitida hasta el fallo:

$$CDF = \frac{\text{numero de repeticiones de carga aplicadas}}{\text{numero permitido de repeticiones hasta la falla}} \quad (5)$$

$$CDF = \frac{(\text{despegues anuales}) \times (\text{vida en años})}{\left(\text{razón de } \frac{\text{pasadas}}{\text{coberturas}}\right) \times (\text{coberturas hasta la falla})} \quad (6)$$

$$CDF = \frac{\text{coberturas aplicadas}}{\text{coberturas hasta la falla}} \quad (7)$$

Cuando $CDF=1$ El pavimento habrá agotado toda su vida de fatiga.

Cuando $CDF<1$ Al pavimento le quedará algo de vida, y el valor CDF indicará la fracción de vida utilizada.

Cuando $CDF>1$ Toda la vida de fatiga se habrá agotado y el pavimento habrá fallado.

Los tipos de aviones múltiples se contabilizan utilizando la regla de Miner:

$$CDF = CDF_1 + CDF_2 + \dots CDF_N \quad (8)$$

Donde CDF_i es el CDF para cada tipo de avión en la mezcla y N es el número de tipos de aviones en la mezcla.

De acuerdo con este criterio, el espesor de la capa se obtiene con

el objetivo de crear una estructura que durante 20 años sea capaz de soportar el tránsito de aviones hasta alcanzar los criterios de falla, presentando un CDF igual a 1 al final de este periodo. Paralelamente, este criterio se relaciona con los modos de falla presentados anteriormente. Por lo que, al tener un suelo de mayor capacidad, se espera que necesite una mayor cantidad de pasadas hasta alcanzar la falla, y de la misma forma, requiera una capa de menor espesor que mitigue las cargas de aeronaves.

Comparando los resultados obtenidos, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con un 95% de confianza, entrega los siguientes resultados para ambas versiones:

Tabla 8. Resultados Prueba de Shapiro-Wilk (resultados versión 2.0) en XLSTAT

valor-p (bilateral)	0,116
alfa	0,05

Tabla 9. Resultados Prueba de Shapiro-Wilk (resultados versión 1.42) en

XLSTAT

valor-p (bilateral)	0,125
alfa	0,05

Las hipótesis para esta prueba se mantienen. Como el valor p en ambos casos es mayor que alfa, no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo tanto, las distribuciones siguen una distribución normal.

Al comprobar que las muestras se comportan con una distribución normal, se presentan los siguientes resultados con la prueba paramétrica (t-student):

Tabla 10. Resultados Prueba t para dos muestras independientes / Prueba bilateral

valor-p (bilateral)	0,983
alfa	0,05

Para la prueba t, la hipótesis nula indica que no existe una diferencia significativa entre los resultados de las dos versiones, mientras que la alternativa corresponde a que si existen diferencias. Dado que el valor de p es mayor que el valor de alfa, no se rechaza la hipótesis nula, por lo que, con un 95% de confianza, se puede decir que los resultados no presentan diferencias.

Según lo presentado en la prueba paramétrica t-student, se establece que no hay diferencias significativas en los espesores obtenidos de base con las versiones 1.42 y 2.0 del programa FAARFIELD, mediante la implementación del modo de diseño. Tal como se presentó en el análisis previo, al poseer ambos programas el mismo modelo matemático y operación, presentan resultados equivalentes.

Al observar los valores de cada FAARFIELD, la única diferencia que se observa es que la versión 1.42 entrega un espesor con números decimales, mientras que la versión 2.0 entrega un numero redondeado (todo esto considerando que se trabajó con sistema internacional, mientras que por defecto el programa viene con medidas estadounidenses). En la práctica, estas diferencias no presentan una diferencia significativa, debido a que, por temas constructivos, estas medidas siempre son aproximadas a espesores constructivos.

La obtención del valor un CBR de diseño tiene un rol de suma importancia, debido a la sensibilidad que tendrán los resultados. Al observar la capacidad de algunos suelos existentes en el aeródromo, obtenidos a partir de la deflectometría, ciertas zonas tienen un CBR mayor al valor utilizado en el diseño, incluso, encontrándose fuera del rango de valores que se puede utilizar en el programa, además, existen lugares que presentan un CBR

menor al de diseño. En este sentido, estas diferencias en la capacidad de la subrasante presentarían en realidad una falla previa o posterior al periodo esperado según el criterio de diseño. Dicho esto, es recomendable estudiar de forma más precisa la capacidad del suelo en cada zona, creando diseños sectorizados, en lugar de tomar solo un CBR de diseño.

4. Conclusiones.

En el diseño de estructuras de pavimentos flexibles realizado por las versiones del programa FAARFIELD 1.42 y 2.0, no se presenta gran variación en los valores obtenidos por ambas versiones del software.

En el análisis de vida estructural de pavimentos flexibles, los resultados obtenidos con cada versión de FAARFIELD no presentan diferencias de acuerdo con las pruebas de hipótesis evaluadas, por lo que se evidencia su similitud en la entrega de resultados.

Las diferencias mínimas detectadas entre en los resultados de una versión y la otra de FAARFIELD, se debe a que las condiciones de borde de las aeronaves se presentan por defecto en el programa con valores que incluyen decimales de centésimas en la versión actualizada, mientras que en la versión 1.42 se presentan valores enteros.

La actualización del software apunta a la mejora de la interfaz del programa y a la incorporación de la nueva metodología ACR-PCR introducida en el AC 150-5320 año 2021

5. Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Dirección de Aeropuertos y Dirección de Aeronáutica Civil por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

6. Referencias.

- Álvarez, P., Mariscal, A., & Schvartzter, F. (2019). *Aplicación Del Concepto De Deriva Y Curvas CDF Al Diseño De Pavimentos*. Costa Rica, Junio, 2019.
- Brill, D. R. (2014). *FAA 40-Year Life Pavement Extension R&D*. Santiago de Chile, Septiembre, 2014.
- Federal Aviation Administration. (2011). *Use of Nondestructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements* (AC 150/5370-11B).
- Federal Aviation Administration. (2016). *Airport pavement design and evaluation*. Advisory Circular (AC 150/5320-6F).
- Federal Aviation Administration. (2018). *Standard Specifications for Construction of Airports*. Advisory Circular (AC 150/5370-10H).

- Federal Aviation Administration. (2021). *Airport pavement design and evaluation*. Advisory Circular (AC 150/5320-6G).
- Federal Aviation Administration. (2021). *Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design program* (FAARFIELD) (Version 1.42).
- Federal Aviation Administration. (2021). *Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design program* (FAARFIELD) (Version 2.0).
- Federal Aviation Administration. (2022). *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCR*. Advisory Circular (AC 150/5335-5D).
- International Civil Aviation Organization (ICAO). (1983). *Aerodrome Design Manual (Part 3-Pavements)*. ICAO Publications.
- Jain, S., Joshi, Y. P., & Goliya, S. S. (2013). *Design of Rigid and Flexible Pavements by various Methods & their Cost Analysis of each Method*. Int. Journal of Engineering Research and Applications, 3, 119-123. Recuperado de https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue5/V35119123.pdf.
- Kawa, I. (2017). *Development of New Subgrade Failure Model for Flexible Pavements in FAARFIELD*. Technical report DOT/FAA/TC-17/28.
- S. Shen, S.H. Carpenter. (2007). *Development of an asphalt fatigue model based on energy principles*. Assoc. Asphalt paving technol, 76 525-574. Recuperado de [Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists - Volume 76 \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/266444444)
- Retamal, J., Márquez, M., Bianchi, E. (2022). *Plan de Puentes 2020 – 2030*. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Registro de Propiedad Intelectual N° 2022-A-3364, Santiago de Chile.