

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



TESIS

**DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO
APLICADO AL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE
IQUITOS**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

JUNIOR ALEXANDER CARRASCO HERRERA

ID: 0009-0003-0763-3644

ASESOR

Ing. JUAN APACLLA CAJA

ID: 0000-0001-6792-3174

LIMA- PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Carrasco Herrera, Junior Alexander

jcarrasco@uni.pe

967 295 507

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres Elmer y Dusmila por su apoyo absoluto y sus enseñanzas en todo el desarrollo de mis etapas escolar, universitaria y profesional; asimismo, a mi hermano Jhon y mi familia por confiar en mi persona.

ÍNDICE

Resumen	4
Abstract	5
Prólogo	6
Lista de tablas	7
Lista de figuras	10
Lista de símbolos y siglas	13
Capítulo I: Introducción	16
1.1. Generalidades	17
1.2. Descripción del problema de investigación	18
1.3. Objetivos del estudio	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Antecedentes investigativos	20
1.4.1. Historia y ubicación geográfica	20
1.4.2. Incidentes y/o accidentes ocurridos en el aeropuerto	23
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	25
2.1. Conceptos generales	25
2.1.1. Conceptos generales de reglamentación de aeropuertos y pavimentos	25
2.1.2. Conceptos importantes relacionado con el área de movimiento de aeropuertos	28
2.1.3. Conceptos ligados a pavimentos	33
2.2. Aeropuerto de Iquitos	43
2.2.1. Importancia del Aeropuerto Internacional de Iquitos	43
2.2.2. Elementos que conforman el Aeropuerto de Iquitos	44
2.2.3. Data Histórica de pasajeros, carga y aeronaves	49

2.2.4. Evolución de los pavimentos del Lado Aire del aeropuerto	55
Capítulo: III Caracterización del tráfico aéreo	58
Capítulo IV: Caracterización del suelo de fundación y de los materiales	63
4.1. Calicatas realizadas en el Aeropuerto de Iquitos	63
4.2. Ensayos realizados y resultados obtenidos	64
4.2.1. Ensayo de granulometría y determinación de materiales que pasan la malla N° 200	65
4.2.2. Ensayos de Contenido de humedad del suelo, Límite Líquido e Índice de Plasticidad	66
4.2.3. Ensayo de Proctor Modificado y CBR	67
4.3. Otras zonas del departamento de loreto con suelos similares	69
Capítulo V: Metodologías de diseño de pavimentos de concreto hidráulico	70
5.1. Breve descripción de la norma peruana sobre diseño de pavimentos	70
5.2. Metodología de diseño de pavimentos de Canadá	71
5.2.1. Descripción de los parámetros de diseño según el método	71
5.2.2. Procedimiento de diseño estructural del pavimento	76
5.3. Metodología de diseño de pavimentos de la FAA (Estadounidense)	78
5.3.1. Descripción de los parámetros de diseño según el método	81
5.3.2. Procedimiento de diseño estructural	83
5.3.3. Consideraciones para el diseño de la losa de concreto hidráulico	87
5.3.4. Consideraciones para el diseño de márgenes de pista	88
5.4. Metodología de diseño de pavimentos de Francia	88
5.4.1. Descripción de los parámetros de diseño según el método francés	89
5.4.2. Consideraciones para la losa de concreto hidráulico	93
5.4.3. Procedimiento de diseño estructural o de cálculo	94

Capítulo VI: Diseño y análisis de pavimentos de concreto hidráulico para el Aeropuerto de Iquitos, empleando las metodologías estudiadas	96
6.1. Diseño de pavimentos en base a la Metodología de Canadá	96
6.2. Diseño de pavimentos en base a la Metodología FAA	103
6.3. Diseño de pavimentos en base a la Metodología de Francia	115
Capítulo VII: Comparación de resultados y selección de la mejor alternativa de diseño	127
Conclusiones	129
Recomendaciones	131
Referencias bibliográficas	132
Anexos	137

RESUMEN

La aviación civil en el Perú y en el mundo es uno de los modos de transporte de pasajeros y carga más seguros, y ello se logra debido al cumplimiento de estrictos estándares internacionales de seguridad tanto en la operación como en la infraestructura.

En el componente de infraestructura de un aeropuerto, los elementos estratégicos y esenciales son la pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves, los cuales requieren tener un adecuado diseño de pavimentos.

Cabe señalar que el Perú, no cuenta con una metodología propia de diseño de pavimentos de concreto hidráulico del área de movimiento de un aeropuerto y tampoco hay alguna norma de cumplimiento obligatorio.

Por tales razones, en la presente investigación se desarrolló el diseño de pavimentos de concreto hidráulico de los elementos antes mencionados para el Aeropuerto Internacional de Iquitos, por ser el aeropuerto con mayor movimiento de pasajeros y carga en región selva del país y cuarto a nivel nacional; con 3 metodologías de diseño como son: FAA-Federal Aviation Administration-Administración Federal de Aviación de Estados Unidos de América, de Canadá y de Francia

Para el diseño de los pavimentos se ha empleado información estadística del tráfico de pasajeros y carga en el Aeropuerto Internacional de Iquitos desde el año 2000 hasta el año 2023, así como información histórica desde el año 1973, proporcionada por el MTC sobre las características del terreno de fundación y su resistencia.

De los resultados se concluye que para el Aeropuerto Internacional de Iquitos y en otros aeropuertos y aeródromos de la región selva del país, es pertinente emplear la metodología de diseño de la FAA, debido a que los espesores de los pavimentos resultan intermedios entre los resultados de otras metodologías de diseño de pavimentos; además de que considera los movimientos reales de cada aeronave en un determinado aeropuerto.

ABSTRACT

The Civil Aviation in Perú and the World is one of the safest modes of passenger and cargo transportation, and this is achieved due to compliance with strict international safety standards in both operation and infrastructure.

In the infrastructure component of an airport, the strategic and essential elements are the Runway, taxiways and Aircraft parking Apron, which require having an adequate pavement design.

It should be noted that Perú does not have its own methodology for designing hydraulic concrete pavements for the movement area of an airport and there is no mandatory compliance standard either.

For these reasons, in the present investigation, the design of hydraulic concrete pavements of the aforementioned elements was developed for the Iquitos International Airport, as it is the first airport with the greatest movement of passengers and cargo in the jungle region of the country and fourth at the level national; with 3 design methodologies such as: FAA (American), Canadian and French.

For the design of the pavements, statistical information on passenger and cargo traffic at the Iquitos International Airport has been used from the year 2000 to the year 2023, as well as historical information since 1973, provided by the MTC on the characteristics of the terrain foundation and its resistance.

The results allow us to conclude that for the Iquitos International Airport and other airports and aerodromes in the jungle region of the country, it is pertinent to use the FAA design methodology, because the thickness of the pavements is smaller than the other design methodologies of pavements.

PRÓLOGO

La aviación civil en general, requiere de aeródromos con adecuados diseños de pavimentos por donde circulan las aeronaves en tierra, tales como la pista de aterrizaje, las calles de rodaje y las plataformas de estacionamiento de aeronaves.

Los pavimentos pueden ser rígidos (de concreto hidráulico), flexibles (de asfalto) y semirrígidos (adoquinado); de ellos, los que ofrecen mejores condiciones de resistencia a la aplicación de las cargas, son los pavimentos de concreto hidráulico; y para ello se requiere una metodología de diseño que sea adecuada para el lugar en el que se diseña.

En ese marco, es que el Sr. Carrasco, ha investigado respecto a las principales metodologías de diseño de pavimentos aeronáuticos en el mundo, aplicándolo a un aeropuerto muy importante para nuestro país, como es el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

De los resultados obtenidos, el autor propone que en el Perú se haga obligatorio el empleo de la Metodología de diseño de pavimentos de la FAA, en coincidencia a las recomendaciones del MTC y verificado por otras metodologías como: la Metodología Canadiense y Francesa, que permitiría optimizar la viabilidad de la inversión, planteamiento que encontramos coherente a las necesidades de desarrollo de la infraestructura aeroportuaria del país.

ASESOR

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Accidentes ocurridos en la pista del Aeropuerto de Iquitos por causales relacionados a diseño de pavimentos	23
Tabla N° 2: Pendientes longitudinales máximas en pistas	28
Tabla N° 3: Pendientes transversales máximas en pistas.....	28
Tabla N° 4: Resumen de los diferentes tipos de juntas en una losa de un pavimento rígido.	39
Tabla N° 5: Separación entre juntas en losas de concreto hidráulico para pavimentos sin base estabilizada.	40
Tabla N° 6: Separación entre juntas en losas de concreto hidráulico para pavimentos con base estabilizada.	40
Tabla N° 7: Diámetro, dimensión y separación de los Dowels o pasadores en función del espesor de la losa de concreto hidráulico.	41
Tabla N° 8: Dimensiones de los elementos del Lado Aire.....	45
Tabla N° 9: Cantidad de pasajeros movilizados desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos entre los años 2000 y 2023.	50
Tabla N° 10: Cantidad de carga movilizada desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos entre los años 2000 y 2023.	51
Tabla N° 11: Tipo de aeronaves que operan en el aeropuerto de Iquitos.....	53
Tabla N° 12: Fallas de los pavimentos del aeropuerto de Iquitos, reportado en las EFEs.	56
Tabla N° 13: Cantidad de operaciones desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos entre los años 2000 y 2023.....	58
Tabla N° 14: Cantidad de operaciones y salidas en el año base por cada aeronave que opera en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.	60
Tabla N° 15: Características de la aeronave B 747-100 y número de operaciones y salidas estimadas en el año base.	62
Tabla N° 16: Ubicación de las Calicatas efectuadas en el año 2013 en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.	64
Tabla N° 17: Profundidad de las muestras extraídas en cada una de las calicatas efectuadas en el año 2013 en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	65
Tabla N° 18: Caracterización del suelo en función al índice de Plasticidad.....	66

Tabla N° 19: Caracterización del suelo en función al índice de Plasticidad.....	66
Tabla N° 20: Resultados de los Ensayos de Proctor Modificado y CBR del terreno de fundación del Aeropuerto Internacional de Iquitos	67
Tabla N° 21: Tipos de suelo y valores de CBR de otros proyectos aeroportuarios en el departamento de Loreto	69
Tabla N° 22: Clasificación de aeronaves en base a las cargas en sus trenes de aterrizaje principal.....	72
Tabla N° 23: Factores de reducción en función al tipo de suelo.....	73
Tabla N° 24: Equivalencias entre CBR y S reducido en KN.....	74
Tabla N° 25: Factores de equivalencia granular por tipo de material	77
Tabla N° 26: Tipos de capas que conforman un pavimento de concreto hidráulico, codificación y materiales que los conforman según la Metodología de la FAA.....	79
Tabla N° 27: Espesores mínimos de las capas de un pavimento rígido según el método de la FAA.	81
Tabla N° 28: Valores de E y de poisson de los materiales de las capas de un pavimento	85
Tabla N° 29: Ponderación de la carga para cada elemento del área de movimiento	90
Tabla N° 30: Factores de equivalencia de materiales usados en las capas de pavimentos	92
Tabla N° 31: Cálculo del peso en cada camión del tren de aterrizaje principal de cada aeronave que opera en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	96
Tabla N° 32: Cálculo del peso en cada camión del tren de aterrizaje principal para el avión B747-100.....	98
Tabla N° 33: Clasificación del mix de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos en base al método canadiense.....	98
Tabla N° 34: Valores de S para cada elemento del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos	100
Tabla N° 35: Nuevos valores de S para cada elemento del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos, luego de retirado los resultados de la Calicata C-05.....	100
Tabla N° 36: Espesor equivalente de la primera iteración.....	102

Tabla N° 37: Estructura de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos bajo ma metodología de diseño canadiense.....	103
Tabla N° 38: Porcentaje de crecimiento de las operaciones anuales en el Aeropuerto Internacional de Iquitos desde el año 2003 hasta el año 2023.....	104
Tabla N° 39: Número de salidas anuales en promedio y salidas anuales totales en el periodo de 20 años usando la Ecuación 6.	105
Tabla N° 40: Determinación del K en pci en base a valores de CBR	107
Tabla N° 41: Coeficiente de variación elevado del valor K en pista de aterrizaje.....	108
Tabla N° 42: Valores de E en MPa para cada elemento del área de movimiento, calculado en base a la Ecuación 3, sin considerar Calicata C-05.....	108
Tabla N° 43: Estructura de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos bajo la metodología de diseño FAA.....	114
Tabla N° 44: Movimientos totales por aeronave calculados según el Método Francés.....	116
Tabla N° 45: Peso en una pata del TAP de cada avión del mix de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	117
Tabla N° 46: Cálculo del K_0 en MN/m ³	119
Tabla N° 47: Cálculo del espesor equivalente.....	119
Tabla N° 48: Movimientos equivalentes para un espesor de 0.35m.....	123
Tabla N° 49: Movimientos equivalentes para un espesor de 0.41m.....	125
Tabla N° 50: Estructura de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos bajo la metodología de diseño de Francia.	126

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Elementos que fueron rehabilitados y construidos durante los años 2001-2003 en el Aeropuerto de Iquitos.	22
Figura N° 2: Pista de despegue y aterrizaje con elementos conexos.	30
Figura N° 3: Esquema del sistema de calles de rodaje y los tipos de calles de rodaje.....	32
Figura N° 4: Esquema de la plataforma de estacionamiento de aeronaves y sus 05 tipos.	33
Figura N° 5: Esquema general de un pavimento de concreto hidráulico.	36
Figura N° 6: Esquema de las juntas de dilatación de un pavimento de concreto hidráulico.....	37
Figura N° 7: Esquema de las juntas de contracción de un pavimento de concreto hidráulico.....	38
Figura N° 8: Esquema de las juntas de construcción de un pavimento de concreto hidráulico.....	38
Figura N° 9: Aeródromos del departamento de Loreto, entre los que destaca el Aeropuerto Internacional de Iquitos como HUB regional.....	44
Figura N° 10:Elementos del Lado Aire del Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	46
Figura N° 11:Plano de distribución del primer nivel del Terminal de Pasajeros del Aeropuerto Internacional de Iquitos.	47
Figura N° 12:Elementos del Lado Tierra del Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	47
Figura N° 13:Elementos de Apoyo del Aeropuerto Internacional de Iquitos.	49
Figura N° 14:Movimiento anual de pasajeros desde/hacia el Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	51
Figura N° 15:Movimiento anual de carga desde/hacia el Aeropuerto Internacional de Iquitos.....	52
Figura N° 16:Ranurado de la superficie de rodadura de la pista del Aeropuerto de Iquitos.....	55
Figura N° 17:Operaciones de aeronaves entre los años 2000 y 2023 en el Aeropuerto de Iquitos.....	59

Figura N° 18: Camión del tren de aterrizaje principal de una aeronave.....	72
Figura N° 19: Determinación del espesor tal del pavimento en función al Índice de Congelamiento.	75
Figura N° 20: Nomograma para determinar el espesor de la losa de concreto hidráulico.	77
Figura N° 21: Interfaz del programa FAARFIELD, así como la indicación de las entradas y las salidas o resultados de acuerdo al análisis realizado.	86
Figura N° 22: Pata del tren de aterrizaje principal de una aeronave.	89
Figura N° 23: Nomograma para el cálculo K corregido en función al K_0 y al espesor equivalente.	93
Figura N° 24: Cálculo del espesor de losa de concreto hidráulico para el área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos-primera iteración.	102
Figura N° 25: Número de salidas anuales totales en el periodo de 20 años usando el programa FAARFIELD.....	107
Figura N° 26: Número de salidas anuales totales en el periodo de 20 años usando el programa FAARFIELD.....	110
Figura N° 27: Espesor de losa de concreto calculado para la pista de despegue y aterrizaje del Aeropuerto de Iquitos.	111
Figura N° 28: CDF para la pista de despegue y aterrizaje del Aeropuerto Internacional de Iquitos.	111
Figura N° 29: Espesor de losa de concreto calculado para las Calles de Rodaje B y C del Aeropuerto de Iquitos.	112
Figura N° 30: CDF para las Calles de Rodaje B y C del Aeropuerto Internacional de Iquitos.	112
Figura N° 31: Espesor de losa de concreto calculado para la Plataforma de Estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto de Iquitos.....	113
Figura N° 32: CDF para la Plataforma de estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos.	114
Figura N° 33: Determinación del K corregido en función al K_0 y al espesor equivalente.	120
Figura N° 34: Nomograma para cargas en las patas del TAP menores a 10 tn. Se precia que el espesor asumido muy grande para dichas aeronaves.	122

Figura N° 35: Nomograma para el avión A319-100. Se precia que con el espesor asumido el P_0 resulta 29.5 tn. 122

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

%	:	Porcentaje.
°C	:	Grados centígrados o grados Celsius.
E	:	Módulo de Elasticidad del concreto.
Ha	:	Hectárea
Kg	:	Kilogramo.
KN	:	Kilonewton.
LL	:	Límite Líquido.
m	:	Metro.
mm	:	Milímetro.
msnm	:	Metros sobre el nivel del mar.
m ²	:	metro cuadrado.
m ³	:	metro cúbico.
MPa	:	Megapascales.
N	:	Newton.
Sr.	:	Señor.
pci	:	Libra por pulgada cúbica.
P ₀	:	Carga admisible de una aeronave
psi	:	Libra por pulgada cuadrada.
AASHTO:	:	American Association of State and Highway Transportation Officials
ACN	:	Aircraft Classification Number.
AC	:	Advisory Circular.
AdP	:	Sociedad Concesionaria Aeropuertos del Perú S.A.
CBR	:	California Bearing Ratio.

CDF	:	Cumulative Damage Factor.
CORPAC S.A:		Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A.
DGAC	:	Dirección General de Aeronáutica Civil.
DGTA	:	Dirección General de Transporte Aéreo.
DRPA	:	Dirección de Regulación, Promoción y Desarrollo Aeronáutico.
EE.UU.:		Estados Unidos de América.
EFEs	:	Evaluaciones funcionales estructurales.
FAA	:	Federal Aviation Administration-Administración Federal de Aviación
FAARFIELD:		FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design.
ILS	:	Instrumental Landing System.
ITAC	:	l'Instruction Technique sur les Aérodomes Civils.
MDS	:	Máxima Densidad Seca.
MLW	:	Peso Máximo de Aterrizaje.
MTC	:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
MTOW:		Maximum Take Off Weight.
NTC	:	Norma Técnica Complementaria.
OACI	:	Organización de Aviación Civil Internacional.
OCH	:	Óptimo Contenido de Humedad.
OMGWS:		Outer Main Gear Wheel Span.
PCN	:	Número de Clasificación de Pavimentos.
PCR	:	Ratio de Clasificación de Pavimentos.
PMD	:	Plan Maestro de Desarrollo.
RAP	:	Regulaciones Aeronáuticas del Perú.
RESA	:	Área de Seguridad de Extremo de Pista.
SEI	:	Salvamento y Extinción de Incendios.

SUCS : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

TAP : Tren de aterrizaje principal.

UTM : Universal Transversal de Mercator.

VOR/DME: VHF omnidirectional range (VOR) with distance-measuring equipment (DME).

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la presente investigación, se compara 3 metodologías de diseño de pavimentos aeroportuarios mundialmente aceptadas y reconocidas, aplicadas en un aeropuerto del país con gran volumen de movimiento de pasajeros y carga, como es el Aeropuerto Internacional de Iquitos; para ello se ha desarrollado 07 capítulos, que se describen a continuación:

Capítulo I, contiene una breve introducción de la investigación, las generalidades sobre los aeropuertos, el problema planteado, los objetivos del estudio y los antecedentes del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Capítulo II, trata de los fundamentos teóricos como conceptos generales de reglamentación de aeropuertos, conceptos sobre el área de movimiento, conceptos relacionados a pavimentos, y una descripción del Aeropuerto Internacional de Iquitos (importancia en la región, elementos que lo conforma, data histórica de pasajeros y carga, y evolución de los pavimentos del lado aire).

Capítulo III, desarrolla la caracterización del tráfico aéreo, determinando el número de movimientos y salidas anuales por cada aeronave en el Aeropuerto Internacional de Iquitos a partir de los datos históricos; asimismo, describe los pesos máximos de los aviones que operan en el citado aeropuerto.

Capítulo IV, trata sobre las características del terreno de fundación del Aeropuerto Internacional de Iquitos, así como los materiales de las capas de los pavimentos actuales; todo ello para conocer la resistencia del terreno de fundación.

Capítulo V, describe y analiza 3 metodologías de diseño de pavimentos aeroportuarios, iniciando con una breve descripción de la norma actual peruana, luego analizado la metodología canadiense, la metodología de la FAA (estadounidense) y finalmente la metodología francesa.

Capítulo VI, trata sobre el diseño propiamente de los pavimentos de la pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos, por cada una de las 03 metodologías de diseño descritas en el capítulo V.

Capítulo VII, hace una comparación de los resultados obtenidos en el dimensionamiento de las capas de los pavimentos de cada elemento por cada tipo de metodología. Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones y anexos de la investigación.

1.1. GENERALIDADES

Los aeropuertos son infraestructuras que permiten el transporte de pasajeros y carga de manera rápida y segura. Asimismo, “constituyen un foco industrial de desarrollo y un motor de las actividades económicas” (García, 2012, p.53).

Según el libro *Aeropuertos Modernos, Ingeniería y Certificación* (2007), un aeropuerto, se subdivide en 3 componentes: el Lado Tierra, conformado por el edificio terminal, el estacionamiento para vehículos, y vialidades que comunican el aeropuerto con los centros urbanos; los Elementos de Apoyo, integrado por la zona de combustible, el cuerpo de rescate y extinción de incendios, hangares para aviación comercial y general, plantas de tratamiento de aguas residuales, subestación eléctrica y demás infraestructura de apoyo para el funcionamiento del aeropuerto; y finalmente el Lado Aire, compuesto por la pista de despegue y aterrizaje, calles de rodaje y plataformas.

A este último componente, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la denomina Área de Movimiento, dado que sirve para el despegue, aterrizaje y rodaje de las aeronaves; y constituye la parte más importante de un aeropuerto; en tal razón, los elementos que lo conforman requieren un diseño adecuado de pavimentos que sean resistentes, duraderos y que permitan el movimiento seguro de las aeronaves.

En cuanto a pavimentos, se puede distinguir principalmente 2 tipos: el pavimento de concreto asfáltico (pavimento flexible) y el pavimento de concreto hidráulico (pavimento rígido); de ellos: “los pavimentos rígidos son los de mayor vida útil y requieren menor costo de mantenimiento durante su vida útil” (Paredes y Delgado, 2019, p.117).

Asimismo, es más factible emplear el pavimento de concreto hidráulico que el flexible, por su gran diferencia de capacidad de carga, por el menor mantenimiento que recibe y por la modernidad ya que en países de primer mundo ya no se emplea

el pavimento flexible y únicamente utilizan el concreto hidráulico (Zagaceta y Romero, 2008, p.167).

El Aeropuerto Internacional “Coronel FAP. Francisco Secada Vignetta” de la ciudad Iquitos, se puede señalar que es uno de los principales aeropuertos a nivel nacional, ubicándose en los últimos 7 años (2017-2023) en el cuarto lugar en transporte de pasajeros, superado por los aeropuertos de Lima, Cusco y Arequipa; y se ubica en el segundo lugar en cuanto a transporte de carga, superado únicamente por el Aeropuerto de Lima. Si se considera a nivel de región selva, el citado aeropuerto es el que transporta la mayor cantidad de pasajeros y carga.

Por otro lado, a nivel de departamento, constituye un HUB o centro de conexión para llegar en menor tiempo y de manera segura a todas las otras provincias y ciudades del departamento de Loreto, tales como: Caballococha, El Estrecho, San Lorenzo, Colonia Angamos, etc. y zonas fronterizas con los países de Ecuador, Colombia y Brasil, como: Soplín Vargas, Tres Fronteras, Gueppi, etc.

Como se aprecia líneas arriba, se hace muy necesario que el aeropuerto de Iquitos cuente con pavimentos de su área de movimiento en condiciones adecuadas, que tome en cuenta las características de los materiales de la zona, que permitan las operaciones seguras y que ayude a continuar transportando gran cantidad de pasajeros y carga. Según las investigaciones citadas, un pavimento de concreto hidráulico constituye una gran alternativa para soportar adecuadamente las cargas que se mueven en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

En el Perú, de la revisión de documentación, no se ha registrado investigación alguna sobre pavimentos de concreto hidráulico en el aeropuerto de Iquitos diseñados bajo los métodos: Canadiense, de la Federal Aviation Administration (FAA) de los Estados Unidos de América, y Francés.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los pavimentos del Lado Aire del Aeropuerto Internacional de Iquitos (pista, calles de rodaje y plataforma), datan del año 1973, diseñados de modo empírico para aeronaves de la época, las cuales eran de menor capacidad a las que operan actualmente, y que, a la fecha, habiendo transcurrido más de 50 años, los pavimentos no han sido cambiados o reemplazados por una nueva estructura diseñados acorde a las normativas y metodologías actuales.

Según los documentos de evaluaciones funcionales y estructurales realizados por la DGAC a dichos pavimentos del aeropuerto Internacional de Iquitos, la pista, calles de rodaje y plataforma, tienen en promedio espesores de 35 cm conformado por una losa de concreto hidráulico y base de 22 cm, los cuales presentan deficiencias como fisuras, grietas, oquedades, desprendimientos de juntas, entre otros, que ameritarían ser corregidos. El Concesionario Aeropuertos del Perú, desde el año 2006, ha venido realizando mantenimientos periódicos a los mencionados pavimentos, pero dicha actividad no evita que los pavimentos continúen deteriorándose.

Tomando en cuenta que los pavimentos del área de movimiento ya cumplieron su vida útil y que el grado de deterioro va aumentando, conociendo que el Aeropuerto Internacional de Iquitos tiene una gran demanda de pasajeros y carga cada año a nivel nacional, sabiendo que el modo aéreo constituye el principal transporte desde/hacia Iquitos por no contar con modo de transporte terrestre que lo conecte con otras zonas del país y tomando en cuenta las características propias de la zona; es necesario implementar metodologías de diseño que tomen en cuenta las características particulares de la región y que permitan un mejor comportamiento estructural con un eficiente sistema de drenaje, para una mayor seguridad y funcionalidad a las operaciones aeroportuarias.

Por la situación descrita, resulta necesario realizar un diseño de los pavimentos de toda el área de movimiento del aeropuerto (pista, calles de rodaje y plataforma), acorde al tráfico actual y al mix de aeronaves, empleando las metodologías de diseño mundialmente aceptadas y de mayor uso en la ingeniería aeroportuaria como son de Canadá, de la FAA y de Francia.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. Objetivo general

Estudiar y evaluar los diferentes métodos de diseño estructural que existen para pavimentos aeroportuarios de concreto hidráulico y definir la mejor alternativa para el aeropuerto de Iquitos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar las metodologías de diseño de pavimentos aeroportuarios, como son los de la FAA, de Canadá y de Francia, aplicado al Aeropuerto Internacional de Iquitos.
- Identificar las propiedades del terreno de fundación, de los materiales, y la disponibilidad de los mismos, a fin de poder obtener un pavimento de concreto hidráulico de alta resistencia, acorde a las condiciones propias del Aeropuerto Internacional de Iquitos.
- Identificar el mix de aeronaves que operan actualmente en el aeropuerto y proyectar el tráfico futuro, a fin de diseñar los pavimentos que soporten las cargas de los aviones modernos.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos al final de la tesis con las diferentes metodologías de diseño, para que así se pueda identificar la mejor alternativa y determinar su viabilidad.

1.4. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.4.1. Historia y ubicación geográfica

Según la Dirección de Regulación, Promoción y Desarrollo Aeronáutico (DRPA) de la DGAC, el primer aeropuerto de la ciudad de Iquitos fue construido en el año 1930, en las cercanías al centro de la ciudad, básicamente para fines militares y para la comercialización del caucho a los Estados Unidos de América durante la Segunda Guerra Mundial. Dicho aeropuerto estuvo operativo únicamente hasta el año 1973.

Debido a la limitada capacidad para llevar a cabo operaciones de aeronaves comerciales a reacción de las aerolíneas de esa época, tales como el Boeing 707, y debido a que comenzaba a rodearse de población; la DGTA (hoy Dirección General de Aeronáutica Civil -DGAC) del Perú, propuso la reubicación del aeropuerto del centro de la ciudad al distrito de San Juan Bautista, distrito en el que se ubica actualmente el aeropuerto.

Las obras del nuevo aeropuerto (aeropuerto que opera actualmente), iniciaron en 1966 y culminaron en 1973, año en el que entró en operación el nuevo aeropuerto comercial.

Para la formalización del mismo, la DGAC, mediante Resolución Directoral N° 0032-73-TC/iae de fecha 29.03.1973, inscribió en sus registros, el Aeropuerto Internacional de Iquitos, teniendo como principales características aeronáuticas, las siguientes:

- Orientación de Pista: 12-30 (números colocados en los extremos de la pista que indican a los pilotos la orientación de la pista dividido entre 10, respecto al norte magnético).
- Dimensión de Pista: 1820 m x 45 m.
- Aeronaves de ingreso: DC-6; Boeing 737, BAC-111, F-28.
- Superficie de rodadura de la pista: Concreto Hidráulico.

Ese mismo año, 1973, la DGAC resolvió nombrar al aeropuerto de la ciudad de Iquitos como “Coronel FAP Francisco Secada Vignetta”, y es con ese nombre con el que se conoce actualmente.

Luego, el 20 de marzo de 1974, debido a la demanda de pasajeros extranjeros y con el fin de promover el transporte aéreo hacia otros países, con Resolución Directoral N° 0013-74-TC/iae de fecha 20.03.1974, la DGAC otorgó la categoría **de Aeropuerto Internacional al Aeropuerto de Iquitos**, y le inscribió en sus registros con las siguientes nuevas características principales:

- Elevación: 123.81 msnm.
- Orientación de Pista: 06-24.
- Dimensión de Pista: 2500 m x 45 m (ampliado respecto al situación anterior).
- Aeronaves de ingreso: Aviones con rueda dual de hasta 328.000 libras (148 778.30 kg).
- Capacidad de plataforma: 05 aeronaves del tipo Boeing 707.
- Superficie de rodadura de la pista: Concreto Hidráulico.

Ya para el año 2001, después de 28 años de construido el aeropuerto, la DGAC decidió llevar a cabo una obra denominada: “construcción y reparación de calles de rodaje y reparación de una gota de volteo en el aeropuerto de Iquitos”, el cual

consistió en la rehabilitación de la calle de rodaje central del aeropuerto, que hasta ese momento era la única calle de salida que tenían las aeronaves para abandonar la pista y acceder a la plataforma de estacionamiento; así como la construcción de una nueva calle de rodaje diagonal y una plataforma de viraje (gota de volteo) en el externo del umbral 24 de la pista (ver Figura N° 01); a fin de darle mayor capacidad operativa a la pista y mejorar los niveles de servicio del aeropuerto. Los pavimentos de dicha obra fueron hechos de concreto hidráulico, diseñados para soportar el peso máximo de despegue de la aeronave crítica llamada Boeing 747-Jumbo de 850 000 libras (385 553.514 kg) y con espesores de losa de 0.33 m. La obra fue concluida y recepcionada en el año 2003.

Figura N° 1. Elementos que fueron rehabilitados y construidos durante los años 2001-2003 en el Aeropuerto de Iquitos.



Fuente elaboración propia usando Google Earth.

En el año 2006, el MTC y la Sociedad Concesionaria Aeropuertos del Perú-AdP, celebraron el Contrato de Concesión del Primer Grupo de Aeropuertos de Provincias de la República del Perú, mediante el cual AdP se obligó a diseñar, mejorar, construir, mantener y explotar doce (12) aeropuertos, entre los cuales se encuentra el Aeropuerto Internacional de Iquitos. Es decir que actualmente, el aeropuerto de Iquitos está concesionado y viene siendo administrado por AdP hasta la actualidad.

Como parte de las gestiones que se han llevado a cabo para el desarrollo del aeropuerto, mediante Resolución Directoral N° 099-2012-MTC/12 de fecha 23.03.2012, la DGAC aprobó el segundo Plan Maestro de Desarrollo (PMD) y en el 2018, se aprobó la actualización de dicho PMD.

Es preciso señalar que la infraestructura tanto del Lado Aire como del Lado Tierra del Aeropuerto de Iquitos, entre ellos los pavimentos, **no ha sido cambiada o rehabilitada desde el año 1973, a excepción de las calles de rodaje y la plataforma de viraje que datan del 2003, habiendo transcurrido más de 50 años** y que urgen un nuevo diseño.

1.4.2. Incidentes y/o accidentes ocurridos en el aeropuerto

En el aeropuerto de Iquitos, los incidentes y/o accidentes más importantes suscitados debido a causas o factores relacionados con los pavimentos del área de movimiento se llevaron a cabo entre los años 1988 y 1992; luego de ello, se han presentado otros incidentes/accidentes, pero las causales han sido ajenas a la infraestructura del Lado Aire, siendo principalmente por condiciones meteorológicas (clima e intensidad de viento).

En marzo de 1989, el Señor (Sr.) Alberto Ferrari que laboraba en ese momento para la OACI, emitió un informe titulado “Estudio Aeropuerto Iquitos”, en el que señaló la ocurrencia de 05 incidentes y/o accidentes aéreos (entre los que destaca la salida de pista y el incendio de un avión B-737 de la extinta empresa aérea Faucett), debido principalmente a la textura lisa de la pista e inadecuada macrotextura, que la hacía resbaladiza al estar mojada, originando hidroplaneo de aeronaves.

Los incidentes y/o accidentes señalados en el citado informe, son los que se describen en la Tabla N° 01.

Tabla N° 1. Accidentes ocurridos en la pista del Aeropuerto de Iquitos por causales relacionados a diseño de pavimentos

Incidente y /o Accidente	Fecha de ocurrencia	Causal del accidente
Avión DC-8 (excursión de pista)	06 de abril de 1988	Mala textura superficial de la pista y presencia de áridos
Avión DC-8 (excursión de pista)	09 de noviembre de 1988	Mala textura superficial de la pista y presencia de áridos
Avión B-737 (excursión de pista)	29 de marzo de 1989	Mala textura superficial de la pista y presencia de áridos
Avión B-737 (Incendio)	25 de junio de 1989	Mala textura superficial de la pista y presencia de áridos
Avión DC-8 (excursión de pista)	10 de agosto de 1989	Mala textura superficial de la pista y presencia de áridos

Avión DC-8-33F (excursión de pista)	28 de marzo de 1992	Mala textura superficial de la pista y presencia de áridos
--	---------------------	---

Fuente: Elaboración propia, en base al Informe titulado "Estudio Aeropuerto Iquitos", 1989.

En ese marco y viendo los accidentes ocurridos en el Aeropuerto de Iquitos, es muy importante que los elementos del Lado Aire, como por ejemplo la pista que es el elemento más importante, siempre se encuentren en buenas condiciones, para evitar estos tipos de incidentes y/o accidentes.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. CONCEPTOS GENERALES

2.1.1. Conceptos generales de reglamentación de aeropuertos y pavimentos

OACI: Es una agencia especializada de las Naciones Unidas, creada el 07 de diciembre de 1944 con el objetivo de establecer estándares y normas internacionales que permita desarrollar, planificar y fomentar el transporte aéreo internacional de manera segura y ordenada con igualdad de oportunidades para todos los países.

La conforman 193 Estados de todo el mundo y es dirigido por un Consejo integrado por 36 Estados Miembros, entro los que destaca el Perú.

Anexos de la OACI: Son los documentos en los cuales se establecen los estándares, las normas y métodos que recomienda la OACI a los Estados Miembros cumplir, a fin de lograr una aviación civil eficiente, eficaz y sobre todo segura.

En total son 19 Anexos, que tratan de diferentes temas como: Licencias al personal, reglamento del aire, servicios meteorólogos, cartas aeronáuticas, operaciones de aeronaves, aeronavegabilidad, facilitación, búsqueda y salvamento, seguridad, protección al medio ambiente, entre otros, y el **Anexo 14** que trata sobre los **aeródromos**.

Anexo 14. Es el documento de la OACI, que contiene las normas y especificaciones que deben cumplir los aeródromos y helipuertos, tanto en características físicas como en espacio aéreo. Las especificaciones están relacionadas principalmente con el área de movimiento de un aeródromo (pista de despegue y aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves). Se divide en dos (02) volúmenes: El volumen I, relacionado con Aeródromos y el Volumen 2, relacionado con Helipuertos.

Dentro del Anexo 14, se hace referencia a diversos documentos técnicos, los cuales desarrollan a mayor detalle algunos temas específicos relacionados con la planificación, diseño y mantenimiento de los aeródromos; entre los documentos

que se citan en el Anexo 14, se encuentra el Manual de Diseño de Aeródromos (Doc. 9157-AN/901), cuya parte 3, trata sobre **pavimentos aeroportuarios**.

Aeródromo: Es el área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinada total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves. Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2022, p.1-2)

Aeropuerto: Según la Ley N° 28525, Ley de Promoción de los Servicios de Transporte Aéreo de fecha 25 de mayo del 2005, un aeropuerto es el aeródromo de uso público que cuenta con edificaciones, instalaciones, equipos y servicios destinados de forma habitual a la llegada, salida y movimiento de aeronaves, pasajeros y carga en superficie. Las áreas que lo conforman son intangibles, inalienables e imprescriptibles; y las áreas circundantes son zonas de dominio restringido, correspondiendo a los Gobiernos Regionales, Locales e instituciones públicas del Gobierno Nacional velar por su cumplimiento.

Aeronave: De acuerdo a la Ley de Aeronáutica Civil, Ley N° 27261, son aeronaves los aparatos o mecanismos que pueden circular en el espacio aéreo utilizando las reacciones del aire y que sean aptos para el transporte de personas o cosas.

Área de Movimiento: Parte del aeródromo que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras y las plataformas. (OACI, 2022, p.1-2)

Dirección General de Aeronáutica Civil: Según el “Texto Integrado del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones”, 2021, es el órgano de línea con autoridad técnico normativo a nivel nacional que ejerce la Autoridad Aeronáutica Civil del Perú, responsable de normar, vigilar, fiscalizar, sancionar, así como desarrollar estrategias para lograr que las actividades de aeronáutica civil y la navegación aérea civil logren un nivel de seguridad operacional aceptable. Depende del Despacho Viceministerial de Transportes.

Ley de Aeronáutica Civil del Perú (Ley N° 27261): Es aquella norma de cumplimiento obligatorio en el territorio nacional, en donde se regula la actividad aeronáutica civil peruana, así como a los involucrados en la misma. Dicha Ley faculta a la DGAC a ejercer la autoridad aeronáutica civil en el Perú (control,

vigilancia, supervisión, inspección, fiscalización y sanción). Consta de 19 títulos y fue promulgada por el Congreso de la República el 09 de mayo de 2000.

Reglamento de la Ley de Aeronáutica Civil N° 27261: Es aquel conjunto de artículos que establecen los procedimientos para el cumplimiento de la Ley. Dicho Reglamento consta de 18 Anexos, aprobados en base a los anexos de la OACI, y que fueron incorporados en el año 2003. El Reglamento de la Ley de Aeronáutica Civil fue aprobado por Decreto Supremo N° 050-2001-MTC de fecha 21 de diciembre de 2001.

Regulaciones Aeronáuticas del Perú (RAP): Son los documentos que regulan técnica y operativamente la actividad aeronáutica civil en el Perú, recogen y desarrollan los temas enumerativos de los Anexos del Reglamento de la Ley de Aeronáutica Civil. Las RAP son aprobadas, modificadas o dejadas sin efecto por la DGAC, mediante Resolución Directoral.

RAP 314-Aeródromos, Volumen I: Diseño y Operaciones de Aeródromos: Es la regulación peruana que brinda las especificaciones para el diseño de aeródromos (dimensiones físicas, características, instalaciones con las que se debe contar, superficie limitadora de obstáculos, ayudas visuales, mantenimiento de pavimentos, entre otros). Es de cumplimiento obligatorio de los explotadores de aeródromos tanto de uso público como privado.

En esta RAP se regulan requisitos mínimos para el dimensionamiento geométrico de toda el área de movimiento de los aeródromos.

Norma Técnica Complementaria (NTC): Es una norma, que emite la DGAC a través de una Resolución Directoral para regular aspectos técnicos específicos no contemplados en las RAP. Las NTC son directivas técnicas de cumplimiento obligatorio para los administrados. (RAP 11, 2018).

Circular de Asesoramiento (AC): Documento emitido por la DGAC, cuyo texto contiene explicaciones, o medios aceptables de cumplimiento, con la intención de ampliar aclarar o servir de guía o difusión de los requisitos de la reglamentación. No es un documento de carácter obligatorio. (RAP 11, 2018).

Dentro de este grupo se encuentra vigente la AC 314-15 del 24 de setiembre del 2021, relacionada con el Diseño y Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios.

2.1.2. Conceptos importantes relacionado con el área de movimiento de aeropuertos

2.1.2.1. Pista

Área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves. (OACI, 2022, p.1-8)

Una pista cuenta con elementos conexos como las márgenes de pista, las franjas de pista, las áreas de seguridad de extremo de pista, las zonas de parada y las zonas libres de obstáculos, que hacen que brinde mayor seguridad y eficiencia para las operaciones de los aviones.

De dichos elementos, solo la pista, la plataforma de viraje y la margen tienen una estructura de pavimento diseñada, dado que son los elementos por donde circulan las aeronaves, los otros elementos (franjas) no cuentan obligatoriamente con una estructura de pavimento diseñada del tipo superior, sino únicamente inferior (afirmado recubierto con un material que elimine la generación de polvo).

En cuanto a las características geométricas de las pendientes longitudinal y transversal de la pista, éstas dependen de la clave de referencia del aeropuerto (número y letra) y como máximo deben ser las indicadas en las Tablas N° 02 y N° 03, respectivamente.

Tabla N° 2. Pendientes longitudinales máximas en pistas

Número de clave del aeródromo	Pendiente máxima longitudinal
1	2.0 %
2	2.0 %
3	1.5 %
4	1.25%

Fuente: Elaboración propia, en base al Anexo 14, Volumen I, 2022.

Tabla N° 3. Pendientes transversales máximas en pistas

Letra de clave del aeródromo	Pendiente máxima transversal
A	2.0 %
B	2.0 %
C	1.5 %
D	1.5 %
E	1.5 %
F	1.5 %

Fuente: Elaboración propia, en base al Anexo 14, Volumen I, 2022.

En todos los casos, y según lo recomendado por el Anexo 14, Volumen I de la OACI, la pendiente transversal mínima debe ser 1%.

Es preciso indicar que la pendiente transversal se mide a partir del eje de la pista y la pendiente longitudinal corresponde al alineamiento del eje de la pista medido como la diferencia de las cotas de los umbrales de pista entre la longitud total de la pista.

A continuación, se describe brevemente las características más resaltantes de cada elemento conexo a la pista:

- Las pistas, según el número de clave del aeropuerto, están asociadas a márgenes, este elemento precitado es una porción de terreno adyacente a la pista, que sirve de transición entre el pavimento de la pista y el terreno natural de la franja; la función principal de una margen es mitigar la erosión del suelo producido por los reactores de los motores de las aeronaves, y evitar el ingreso de objetos de la franja a los motores de las turbinas de los aviones. Finalmente, en cuanto a su resistencia de la margen, debe construirse para soportar la carga de las aeronaves que se salgan de la pista y de los vehículos terrestres que circulen por ella. (ver Figura N° 02, numeral 2).
- Otro elemento conexo es la franja, que viene hacer el área envolvente de la pista y margen, con dimensiones especificadas para cada clave de referencia del aeropuerto y libre de objetos que constituyan un peligro para las aeronaves. En los aeródromos, para guiar a las aeronaves en su trayectoria de vuelo, se emplazan distintas Radioayudas en la franja de la pista, por lo que todas esas instalaciones deben ser frangibles (fácilmente destruibles), de tal manera que se reduzca el riesgo operacional. Existe franja nivelada y no nivelada, cuya distinción, dependerá de la clave de referencia del aeródromo y no es una superficie pavimentada, únicamente consta de terreno natural o material granular compactado recubierto por ciertos agentes estabilizadores que evitan el desprendimiento del material o la producción de polvo por el viento. (ver Figura N° 02, numeral 4).
- En cuanto al Área de Seguridad de Extremo de Pista (RESA), es un área que se sitúa en los extremos longitudinales de la franja de pista y cuya finalidad es proveer una superficie adicional para los aterrizajes y despegues demasiado cortos o demasiados largos de las aeronaves y salvaguardar la seguridad de las mismas. Tienen una longitud que va desde los 90 m hasta los 240 m,

dependiendo de la clave de la pista y su ancho es el doble de la pista. La superficie de este elemento tampoco es pavimentada. (ver Figura N° 02, numeral 5).

- En algunos casos, cuando no se dispone de un sistema de calles de rodaje, se hace necesario que adyacente a cualquiera de los lados de la pista y en los extremos de la misma, se consideren plataformas de viraje, las mismas que ayudarán al despeje rápido de la pista y a aumentar la capacidad de la pista. En cuanto al pavimento, las plataformas de viraje deberían ser diseñadas como mínimo igual a la pista de aterrizaje. (ver Figura N° 02, numeral 3).

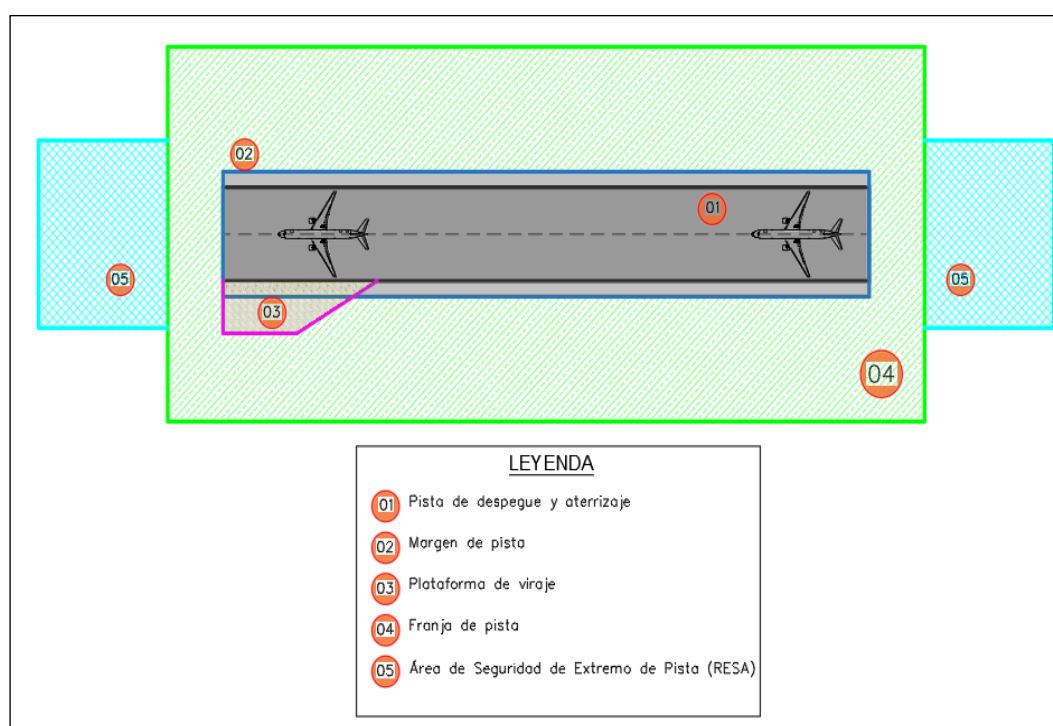


Figura N° 2. Pista de despegue y aterrizaje con elementos conexos.

Fuente elaboración propia.

2.1.2.2. Calle de rodaje

Es aquel elemento, establecido para el rodaje de aeronaves y destinado a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo. (OACI, 2022, p.1-3). Permite que los aviones al aterrizar despejen inmediatamente la pista, para dar pase a otras que requieren despegar; de esta forma se obtiene gran utilización de la pista y una eficaz y eficiente operación.

Las calles de rodaje, presentan dimensiones que se basan en el ancho exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal (OMGWS por sus siglas en inglés) de la aeronave, y dependiendo de la letra de clave del aeródromo, presentan márgenes y franjas.

Las calles de rodaje, se subdividen en: calles de salida rápida, calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves y calles en plataforma; de las cuales, la calle de salida rápida permite una mejor utilización de la pista. El pavimento de las calles de rodaje debe ser diseñado acorde a las cargas que circulan por ellas.

A continuación, se hace una descripción breve de la calle de salida rápida por estar relacionada con la optimización de la utilización de la pista.

- Calle de salida rápida:

Son calles de rodaje que se conectan en ángulo horizontal agudo a la pista (ángulo entre 25° y 45°, preferentemente 30°), permitiendo a las aeronaves que aterrizan, virar en promedio a 93 km/h, velocidad superior a las otras calles de rodaje. El objetivo principal con esta calle de rodaje, es disminuir el periodo de ocupación de la pista, aumentando la capacidad del aeródromo.

Dichas calles, se diseñan (dimensiones geométricas y ubicación), en función al número de la clave del aeropuerto y la flota de aeronaves que operarán sobre ellas.

Finalmente, es importante señalar que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son mucho menores que las velocidades en la pista, por lo que las cargas aplicadas en los pavimentos son más estáticas que dinámicas, por el tiempo que permanecen en el elemento.

A continuación, en la Figura N° 03, se representa el sistema de calles de rodaje y los tipos de calles de rodaje en un aeropuerto.

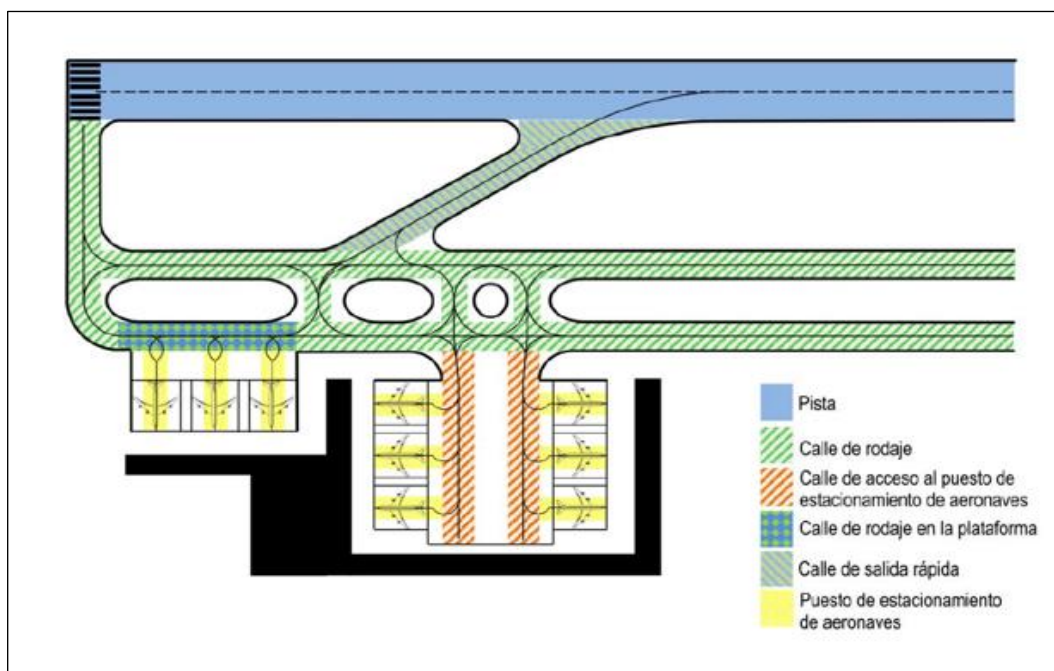


Figura N° 3. Esquema del sistema de calles de rodaje y los tipos de calles de rodaje.

Fuente: Documento 9157 Parte 2, 2020, p. 1-6.

2.1.2.3. Plataforma de estacionamiento de aeronaves:

Es aquella superficie destinada a dar cabida a las aeronaves, para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.

Dentro de una plataforma de estacionamiento, las zonas señalizadas para el aparcamiento de las aeronaves, se denominan “puestos de estacionamiento” los cuales pueden ser de “contacto” (la aeronave se estaciona con la proa hacia el terminal de pasajeros, permitiendo que las mangas o pasarelas tomen contacto con ella) o remoto (en donde la aeronave estacionada no tiene contacto con el terminal y está alejado del mismo). Algunas plataformas tienen instalado puntos de toma de combustible, puntos de toma de agua, puntos de aire y de energía eléctrica, entre otros.

Por lo general en los aeropuertos, existen 05 tipos de plataformas de estacionamiento (ver Figura N° 04), las cuales son: plataforma de terminal de pasajeros (1), del terminal de carga, de estacionamiento, de servicios y de

hangares; de todas ellas, únicamente la primera está relacionada con el movimiento de pasajeros, abastecimiento de combustible, embarque y desembarque de pasajeros, carga, correo y equipaje. Dicha plataforma está situada contiguo al terminal de pasajeros.

La superficie de una plataforma es pavimentada y la pendiente tanto longitudinal como transversal es como mínimo de 0.5% y como máximo de 1.5%.

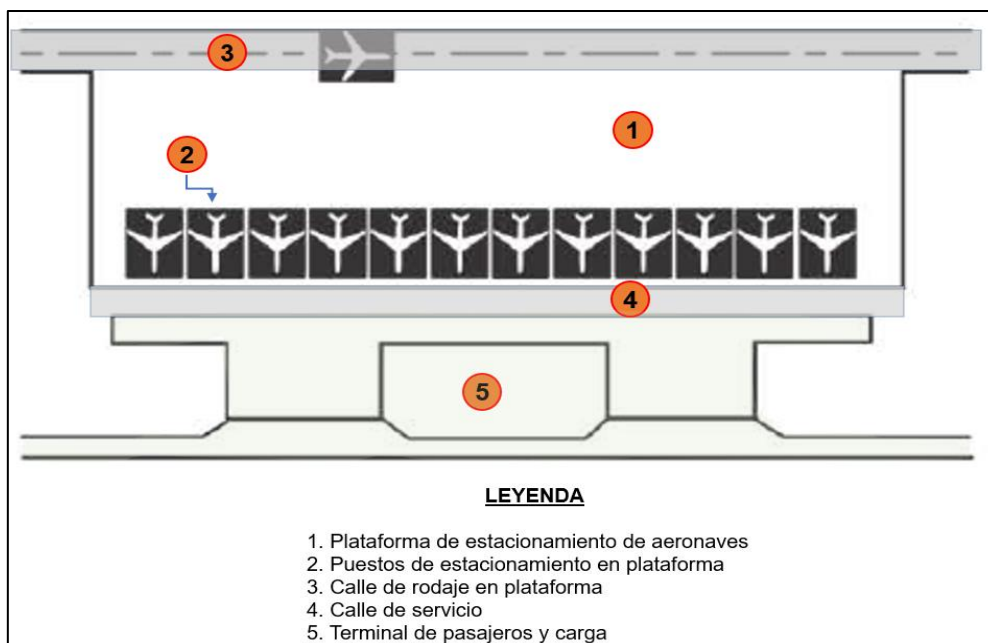


Figura N° 4. Esquema de la plataforma de estacionamiento de aeronaves y sus 05 tipos.

Fuente: Elaboración propia en base al Documento 9157 Parte 2, 2020, p. 3-8.

2.1.3. Conceptos ligados a pavimentos.

Los pavimentos aeroportuarios son estructuras conformadas por un conjunto de capas adyacentes por debajo de la superficie, cuya finalidad es soportar y distribuir las cargas de las aeronaves hasta que tengan una intensidad tolerable al llegar al terreno de fundación.

El objetivo principal de un diseño de pavimento aeroportuario consiste en escoger una adecuada combinación de espesores de capas y características de materiales, para que los esfuerzos y deformaciones causados por las sollicitaciones a que se somete la estructura permanezcan dentro de los límites

admisibles durante la vida útil de la estructura de la cual forman parte. (El subrayado es agregado). (Rolland, 2018, p.06).

Es importante señalar que en los aeropuertos las cargas o solicitaciones son mucho mayores que en otros modos de transporte, por lo que los pavimentos, por lo general, tendrán una estructura mayor a los pavimentos de carreteras y puertos. Asimismo, el movimiento de las cargas que se aplican en las pistas se desarrolla de manera rápida, mientras que, en las calles de rodaje, plataformas y plataformas de viraje, los movimientos son lentos o estáticos, por lo que en estas zonas el desgaste o deterioro de los pavimentos es mucho mayor, lo que requiere materiales resistentes y que puedan perdurar durante la vida de diseño escogida.

Otro punto a tener en cuenta en los pavimentos aeroportuarios es el requerimiento de un buen drenaje, es decir, que no haya acumulaciones o “charcos” de agua sobre la superficie de rodadura del pavimento que produzca inestabilidad o deterioro prematuro, y para ello es importante diseñar la infraestructura con las pendientes longitudinales y transversales señaladas en las Tablas N° 02 y N° 03, así como diseñar adecuados sistemas de drenaje.

Del mismo modo, en el diseño de pavimentos es muy importante tener en cuenta la temperatura del ambiente, dado que éste impacta en la deformación de los materiales que conforman las capas; por ejemplo, a altas temperaturas los materiales sufren expansión y a bajas temperaturas contracción, lo que puede provocar ahuellamientos o fisuramientos en los pavimentos.

Existen diferentes tipos de pavimentos, tales como: pavimentos de concreto asfáltico (flexible), compuestos (asfalto más concreto), de concreto hidráulico (rígido), segmentado o adoquinado (semirrígido), pavimentos afirmados y superficies tratadas; de ellos, los más empleados en la aeronáutica civil en el Perú y en el mundo, son los pavimentos flexibles y rígidos.

Cada uno de estos pavimentos tienen sus ventajas y desventajas dependiendo del uso para el que se diseñará. A continuación, se resume las principales ventajas de un pavimento de concreto hidráulico sobre un pavimento de concreto asfáltico:

- Mayor resistencia a las cargas estáticas y dinámicas de las aeronaves.
- Mayor tiempo de vida útil.
- Menor costos de mantenimiento durante su vida útil.

- Menor frecuencia de trabajos de mantenimiento durante la vida útil de diseño (muy importante para aeropuertos en región selva muy alejados y de difícil acceso para el transporte de maquinaria y materiales).
- En plataformas, el efecto de los derrames de combustibles es prácticamente nulo, por lo que no requiere de lavado o mantenimiento permanente.
- Al tener juntas longitudinales y transversales, induce las fallas hacia ellas, a diferencia de un pavimento flexible que no cuenta con juntas.
- Tiene mejor comportamiento a altas temperaturas, que los pavimentos flexibles.
- A temperaturas elevadas, no existe ningún riesgo de ahuellamiento; entre otros.

Como se puede apreciar, un pavimento de concreto hidráulico o pavimento rígido, tiene mayores ventajas sobre un pavimento flexible, sobre todo para resistir cargas pesadas en climas cálidos; en tal razón, se brindará una descripción de este tipo de pavimento, así como de sus capas que lo conforman.

Pavimento rígido o también llamado pavimento de concreto hidráulico:

Es una estructura conformada por 2 o más capas, cuya capa superficial es una losa de concreto hidráulico que puede ser simple o armada, apoyada sobre capas de materiales granulares que pueden estar estabilizados o no, llamadas bases o subbases. La losa de concreto, por su gran rigidez y elevado módulo de elasticidad resiste, absorbe adecuadamente los esfuerzos de compresión originadas por las cargas que reciben, así como, distribuye mejor las cargas de las ruedas de los aviones, permitiendo que lleguen tensiones o esfuerzos muy bajos a las capas inferiores y sobre todo al terreno de fundación.

En la Figura N°05, se representa las capas que generalmente conforman un pavimento rígido, la magnitud de las cargas que aplica una aeronave y la manera en que las capas del pavimento resisten y absorbe dichas cargas.

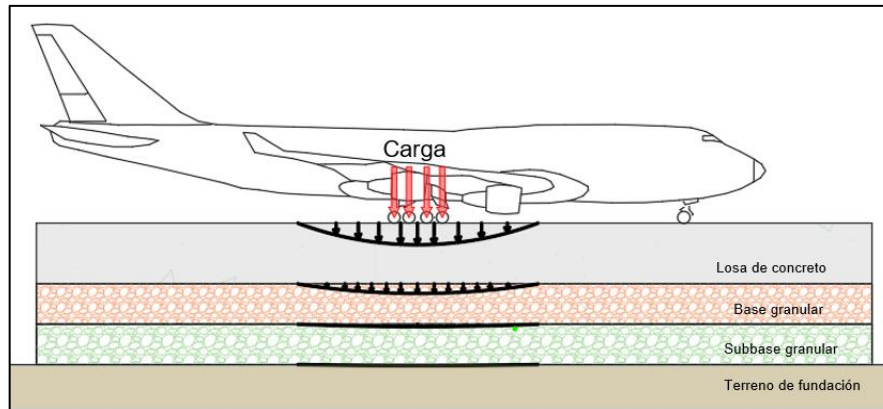


Figura N° 5. Esquema general de un pavimento de concreto hidráulico.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe de manera general cada una de las capas que conforman un pavimento rígido.

2.1.3.1. Superficie de Rodadura

Es la losa de concreto hidráulico que está en contacto directo con las ruedas de las aeronaves cuya resistencia a la flexión a los 28 días, según el Pavement Structural Design Training Manual ATR-021, 1995, está entre 4.0 Magapascales (MPa) y 5.17 MPa.

Esta capa cumple los siguientes objetivos:

- Proporcionar una textura antideslizante.
- Minimizar la infiltración de agua superficial en la subrasante; y
- Fundamentalmente, proporcionar soporte estructural para las cargas de aeronaves, transmitidas a través de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Asimismo, debido a las variaciones de temperatura de la zona, cambios en el contenido de humedad, entre otros, que pueden producir agrietamiento aleatorio, en esta superficie, se hace necesario considerar el empleo de juntas, las cuales se dividen en 3 categorías como son: juntas de dilatación, juntas de contracción y juntas de construcción.

A continuación, se detalla cada una de ellas:

- a) Juntas de Dilatación: Son juntas que se construyen cuando las losas están contiguas a otros elementos o estructuras, o cuando hay cruce de losas en

diferentes direcciones (por ejemplo, entre una pista y una calle de rodaje perpendicular), o cuando se prevé expansiones. (ver Figura N° 06). Esta categoría de juntas, a su vez se subdivide en 2 tipos: Tipo A y Tipo A-1.

- Tipo A: Se emplean cuando aumenta el espesor de la losa de concreto a lo largo del borde de esta.
- Tipo A-1: Son juntas de dilatación reforzadas para proporcionar una capacidad de carga equivalente a un borde espesado, y se emplean para pavimentos de concreto de más de 0.230 m. Por lo general este tipo de junta se emplea en la unión entre la pista y las calles de rodaje.

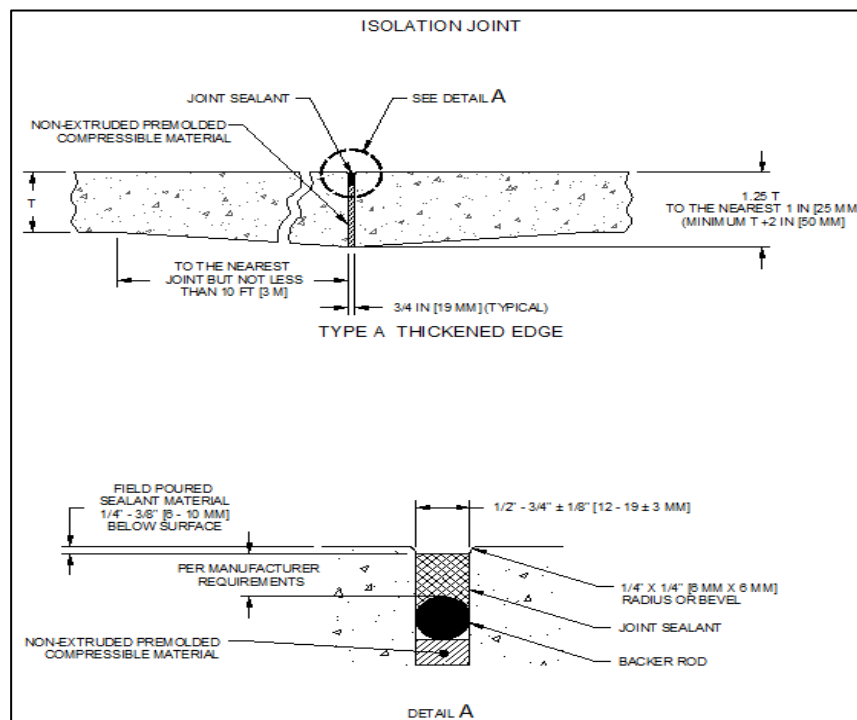


Figura N° 6. Esquema de las juntas de dilatación de un pavimento de concreto hidráulico.

Fuente: Advisory Circular (AC) 150/5320-6G, 2021, p.3-40.

- b) Juntas de Contracción: Son aquellas juntas que se construyen para proporcionar fisuramiento controlado cuando el pavimento se contrae debido a las condiciones climáticas de la zona (variación en el contenido de humedad y de temperatura); asimismo ayudan a disminuir las tensiones causadas por el alabeo de las losas. Esta categoría de juntas, a su vez se subdivide en 3 tipos: Tipo B, Tipo C y Tipo D. (Ver Figura N° 07).

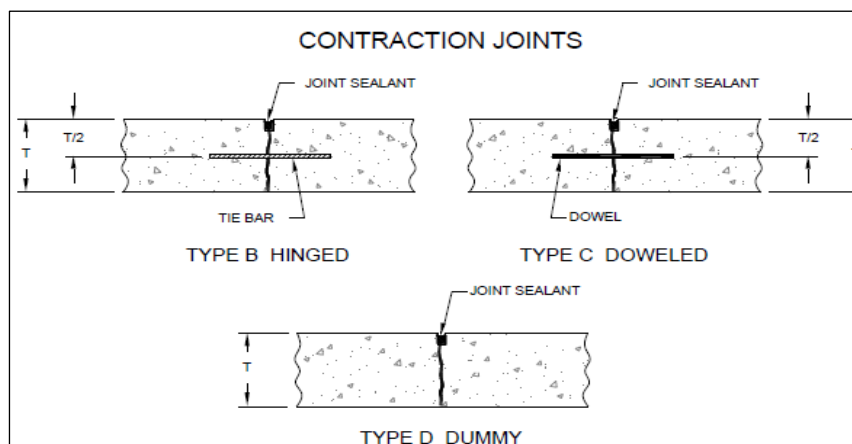


Figura N° 7. Esquema de las juntas de contracción de un pavimento de concreto hidráulico.
Fuente: AC 150/5320/6G, 2021, p.3-41.

- c) Juntas de Construcción: Son aquellas juntas que se usan cuando dos o más losas contiguas se colocan en diferentes momentos, como, por ejemplo: al finalizar una jornada de trabajo, o entre carriles de pavimentación. También a su vez se subdividen en juntas de construcción tipo E y tipo F. (Ver Figura N° 08.).

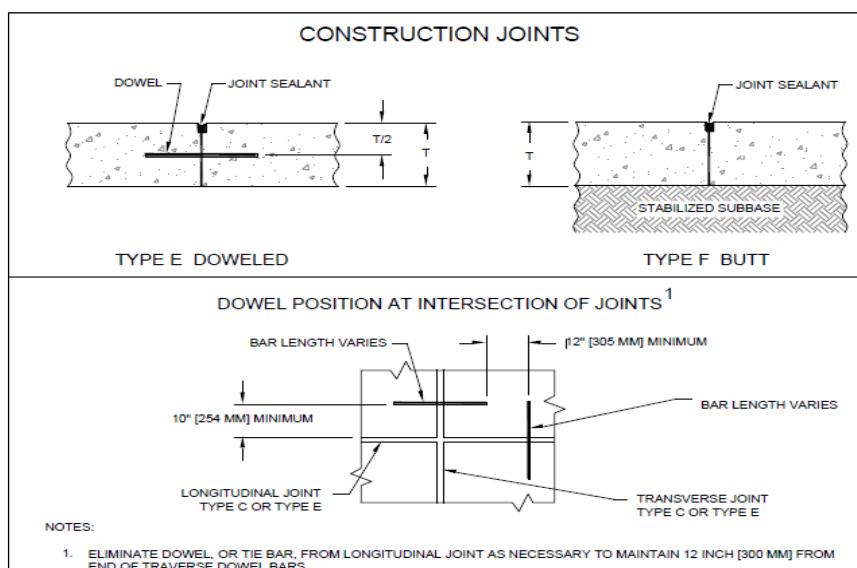


Figura N° 8. Esquema de las juntas de construcción de un pavimento de concreto hidráulico.
Fuente: AC 150/5320-6G, 2021, p.3-41.

En la Tabla N° 04, se resume los tipos de juntas en las losas de los pavimentos rígidos.

Las juntas antes señaladas, obedecen a un diseño para determinar la disposición y el espaciamiento correspondiente. Es muy importante indicar que todas las juntas deben contemplar algún sellador para evitar infiltración de agua productos de lluvias, y materiales extraños, ingresen a las capas inferiores y dañen su estructura.

Tabla N° 4. Resumen de los diferentes tipos de juntas en una losa de un pavimento rígido.

Tipo	Descripción	Uso en el sentido longitudinal	Uso en el sentido transversal
A	Juntas de dilatación de borde espesado	Se emplea en: <ul style="list-style-type: none"> • Intersección de pavimentos. • Cuando el borde se ubique contiguo a futuras expansiones. • Borde de estructuras. 	Se emplea en: <ul style="list-style-type: none"> • Intersección de pavimentos en ángulo. • Cuando el borde se ubique en la futura expansión. • Donde el pavimento colinde con otra estructura.
A-1	Junta de dilatación reforzada	Se emplean en: <ul style="list-style-type: none"> • Losas de concreto con espesor mayor a 0.230 m. • Intersección de pavimentos. • Cuando el borde se ubique contiguo a futuras expansiones. • Borde de estructuras. 	Se emplean en: <ul style="list-style-type: none"> • Losas de concreto con espesor mayor a 0.230 m. • Intersección de pavimentos • Cuando el borde este ubicado en la futura expansión • Borde de estructuras
B	Junta de contracción articulada	Se emplean en: <ul style="list-style-type: none"> • Losas de concreto con espesor menor a 0.230 m. • Secciones que están a 6m o menos de un borde libre de pavimento en losas con espesor < 0.230 m 	No son utilizadas, excepto en losas con espesor menor 0.230 m, cuando usen "anillo de tensión".
C	Junta de contracción con pasadores	Se emplea en zonas ubicadas a 6m o menos de un borde libre de pavimento en losas con espesor mayor a 0.230 m.	Se emplea en las últimas tres juntas desde un borde libre, y en las dos o tres juntas a cada lado de una junta de dilatación.
D	Junta de contracción ficticia	Para todas las otras juntas de contracción en pavimentos.	Para todas las otras juntas de contracción en pavimentos.
E	Junta de construcción con pasadores	Se emplea en todas las juntas de construcción a excepción de las juntas de dilatación.	Se utiliza en todas las áreas que separan las operaciones de pavimentación.
E1	Junta de construcción con pasadores atados	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza en pista o calles de rodaje con losas mayores a 0.230 m de espesor. • Generalmente se usan cuando operan aeronaves de 13,610 kg o más. 	No se emplea.
F	Junta de construcción a tope	Para todas las juntas de construcción en pavimentos donde operen aeronaves con peso menor a 13,610 kg sobre una base estabilizada.	Para todas las juntas de construcción en pavimentos donde operen aeronaves con peso menor a 13,610 kg sobre una base estabilizada.

Fuente: Elaboración propia, en base a la AC 150/5320-6G, 2021.

Por otro lado, de acuerdo a las investigaciones realizadas por la FAA de los Estados Unidos de América (EE.UU.), existen espaciamientos máximos entre juntas para asegurar un óptimo desempeño de las mismas; dichos espaciamientos, dependen del espesor de la losa y del tipo de base (estabilizada o no estabilizada).

A modo de resumen, en las Tablas N° 05 y N° 06, se indica la separación máxima en el sentido longitudinal entre las juntas en un pavimento de concreto hidráulico.

- Para pavimento sin base estabilizada.

Tabla N° 5. Separación entre juntas en losas de concreto hidráulico para pavimentos sin base estabilizada.

Espesor de losa	Separación entre juntas
Menos de 0.15 m	3.8 m
Entre 0.16 y 0.23 m	4.6 m
Mayor a 0.23 m	6.1 m

Fuente: Elaboración propia, en base a la AC 150/5320-6G, 2021.

- Para pavimento con base estabilizada

Tabla N° 6. Separación entre juntas en losas de concreto hidráulico para pavimentos con base estabilizada.

Espesor de losa	Separación entre juntas
Entre 0.203 y 0.254 m	3.8 m
Entre 0.267 y 0.330 m	4.6 m
Entre 0.343 y 0.406 m	5.3 m
Mayor a 0.406 m	6.1 m

Fuente: Elaboración propia, en base a la AC 150/5320-6G, 2021

Asimismo, el espaciamiento máximo de las juntas en el sentido transversal, es el valor que resulta de multiplicar el espaciamiento máximo longitudinal por un factor igual a 1.25 (AC 150/5320-6G, 2021, p.3-47).

Finalmente, los pasadores o también llamados Dowels y las barras de unión para las juntas descritas y mostradas en la Tabla N° 04, se requieren para transferir las cargas entre una losa y otra losa, así como asegurar la trabazón entre ellas. A continuación, se explica en que consiste cada uno de ellos:

- Barras de unión:

Son barras generalmente de acero de diámetro N° 04 (12.7mm), que miden longitudinalmente 0.51m, espaciadas a cada 0.90 m, y se emplean para losas menores o iguales a 0.15m.

- Pasadores o Dowels:

Son barras, cuya función es transferir cargas entre una losa y otra a través de la junta. Se requiere pasadores en todas las juntas de construcción ya sea longitudinal o transversal. Las barras a su vez pueden ser lisas o corrugadas.

Dichos pasadores o Dowels, deben cumplir ciertas dimensiones y tener un espaciamiento entre ellos, por ello en la Tabla N° 07, se muestra valores en base al espesor de la losa de concreto.

Tabla N° 7. Diámetro, dimensión y separación de los Dowels o pasadores en función del espesor de la losa de concreto hidráulico.

Espesor de la losa (m)	Diámetro (mm)	Longitud (m)	Separación (m)
Entre 0.152-0.178 m	20	0.460	0.305
Entre 0.191-0.305 m	25	0.480	0.305
Entre 0.318-0.406 m	30	0.510	0.380
Entre 0.419-458 m	40	0.510	0.460
Entre 0.521-0.610 m	50	0.610	0.460

Fuente: Elaboración propia, en base a la AC 150/5320-6G, 2021

2.1.3.2. Capa de Base

Es aquella capa situada inmediatamente debajo de la capa de rodadura que tiene como función resistir y transmitir las cargas recibidas hacia a la subbase y a través de ésta a la subrasante, impedir el ascenso capilar del agua de la capa subyacente y drenar el agua que se puede haber infiltrado desde la losa de concreto.

La capa de base puede estar construida con materiales granulares y suelo a la que se le denomina base granular, o construida con materiales granulares, suelo y algún producto químico que modifica la calidad y por ende la resistencia de los materiales a la que se le denomina base estabilizada. La estabilización, se puede llevar a cabo empleando materiales como el cemento, asfalto, cal hidratada u otro agente estabilizante.

El empleo de una u otra base dependerá de la calidad, resistencia de los materiales y de las cargas a las que estará sometido el pavimento. Por ejemplo, la AC 150/5320-6G de la FAA, recomienda que en pistas cuyas aeronaves que despegan y aterrizan pesan más de 45,359.24 kg, se construyan con base estabilizada.

2.1.3.3. Capa de Sub base

Es aquella capa ubicada por debajo de la base y por encima de la subrasante, cuya función, similar a la de la base, es resistir y distribuir las cargas que llegan de las capas superiores en menor intensidad.

Los materiales que se emplean en esta capa son de menor calidad que los de la base, por consiguiente, son mucho más económicos y en el diseño se busca que esta capa pueda tener un mayor espesor que la base.

Asimismo, como parte de las funciones que tiene esta capa, es la impedir el ascenso capilar del agua desde la subrasante, absorber deformaciones por los cambios volumétricos que pueda haber en la subrasante producto del cambio climático, actuar como capa drenante del agua que se pueda haber infiltrado en la base, entre otros.

2.1.3.4. Terreno de Fundación o Subrasante

Es aquel elemento que no forma parte del paquete estructural del pavimento, pero que es importante porque sobre él se apoyan todas las capas del pavimento. Su espesor es infinito; sin embargo, se acostumbra a mejorar y compactar 0.30m para asegurar uniformidad del terreno.

La resistencia o el valor de soporte que ofrece este elemento, se mide a través del Módulo de Reacción de la Subrasante o también llamado Módulo de Reacción o Módulo K, el cual se determina a través de ensayos de placa de carga o a través de correlaciones usando otros ensayos como el CBR.

2.2. AEROPUERTO DE IQUITOS

2.2.1. Importancia del Aeropuerto Internacional de Iquitos

El Aeropuerto Internacional Francisco Secada Vignetta de la ciudad de Iquitos, se localiza en el distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto a unos 7 km del centro de la ciudad de Iquitos y es en donde opera actualmente. Tiene un área de 298 hectáreas (Ha) y está a una altitud de 93 metros sobre el nivel del mar (msnm).

El Aeropuerto de Iquitos, es el aeropuerto más importante de la región amazónica del Perú, por el gran movimiento anual de pasajeros y carga desde/hacia dicha ciudad. Iquitos es la única capital de departamento a nivel nacional, que no cuenta con conexión terrestre con el resto del país, teniendo únicamente los modos de transporte aéreo y fluvial para el ingreso y salida de la población y visitantes de esta ciudad.

En esa misma línea, el Aeropuerto de Iquitos, constituye un HUB o centro de conexión para llegar en menor tiempo y de manera segura a todas las otras provincias y ciudades del departamento de Loreto, tales como Caballococha, El Estrecho, San Lorenzo, Colonia Angamos, etc., y zonas fronterizas con los países de Ecuador, Colombia y Brasil, como Soplín Vargas, Tres Fronteras, Gueppi, etc.

En el departamento de Loreto, existen en total 13 aeródromos (ver Figura N° 09), de los cuales el Aeropuerto de Iquitos, es la infraestructura aeroportuaria más importante y a través del cual se puede acceder a los otros aeródromos, puesto que todos los aeródromos del departamento, a excepción del aeropuerto de Yurimaguas, realizan vuelos únicamente desde/hacia Iquitos.

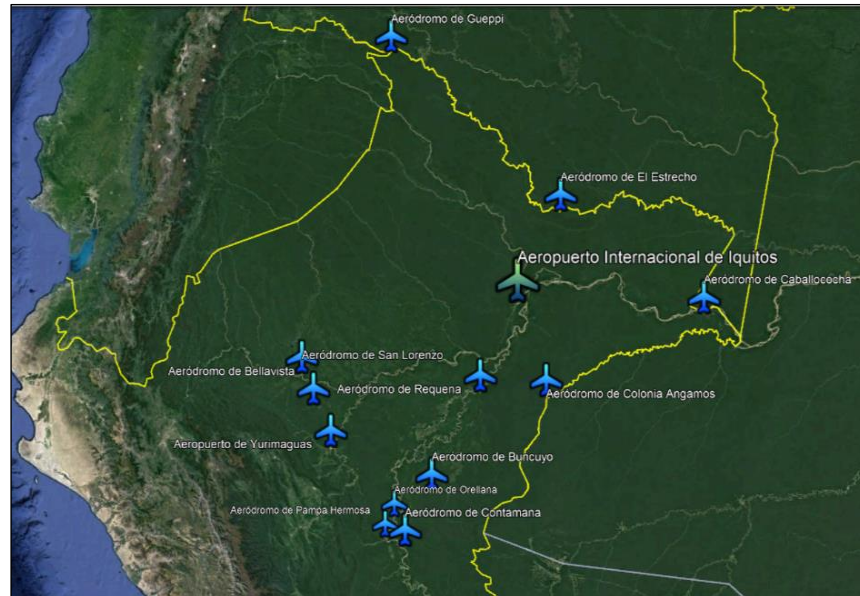


Figura N° 9. Aeródromos del departamento de Loreto, entre los que destaca el Aeropuerto Internacional de Iquitos como HUB regional.

Fuente: Elaboración propia usando Google Earth.

2.2.2. Elementos que conforman el Aeropuerto de Iquitos.

A continuación, se describen los elementos en cada grupo:

2.2.2.1. Lado Aire del Aeropuerto.

Grupo conformado por:

- Pista de despegue y aterrizaje: Tiene una designación equivalente a 06-24, con dimensiones de 2500 m de largo por 45 m de ancho y presenta una pendiente longitudinal de 0.134% y una pendiente transversal de 1.5%. Asimismo, contempla márgenes laterales de 5 m de ancho y una Franja de 2620 m x 150 m de ancho.
- Plataforma de Viraje: Está ubicada próxima al Umbral 24 y presenta un área total de 3667.66 m².
- Calles de Rodaje: El aeropuerto tiene 2 calles de rodaje:
 - Calle de Rodaje Bravo (Calle de Rodaje B): Está situada perpendicular a la pista de aterrizaje, aproximadamente a 708 m del Umbral 24 y tiene dimensiones de 92 m x 23 m.

- Calle de Rodaje Charlie (Calle de Rodaje C): Se ubica en forma diagonal a la pista y plataforma, aproximadamente a 411 m del Umbral 24 de la pista y tiene dimensiones de 195 m de largo x 23 m de ancho.
- Plataforma de estacionamiento de aeronaves: Se ubica al noreste de la pista de aterrizaje, aproximadamente a 708 m del umbral 24 de la pista y tiene una forma octogonal de 54,064 m² con capacidad para 08 posiciones de estacionamiento de aeronaves de los tipos C, D y E.
- Drenajes: En el Lado Aire, el aeropuerto cuenta con 2 canales de drenaje paralelos abiertos, ubicados a 75 m a cada lado del eje de pista, de concreto hidráulico y de forma trapezoidal. Sirve para evacuar las aguas superficiales producto de las lluvias en el aeropuerto.
- Vía Perimetral y Cerco Perimétrico: El aeropuerto, presenta una vía perimetral pavimentada únicamente en todo el sector frontal de aproximadamente 4,350m de longitud. Asimismo, cuenta con un cerco perimétrico de 9,715 m, de los cuales 6,315 m son de malla olímpica y 3,400 m de árboles vivos.

En la Tabla N° 08, se resume las dimensiones de los elementos del Lado Aire o Área de Movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Tabla N° 8. Dimensiones de los elementos del Lado Aire

Elementos	Dimensiones
Clave de referencia	4E
Pista de despegue y aterrizaje	2500 m x 45 m
Márgenes de Pista	2500 m x 5 m (5 m a cada lado de la pista)
Franja de pista	2620 m x 150 m
Plataforma de Viraje	3667.66 m ²
Calle de Rodaje B	92 m x 23 m
Calle de Rodaje C	195 m x 23 m
Plataforma de estacionamiento de aeronaves	54,064 m ²

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 10, se presenta la configuración actual del Aeropuerto Internacional de Iquitos y sus elementos que conforman el Lado Aire.

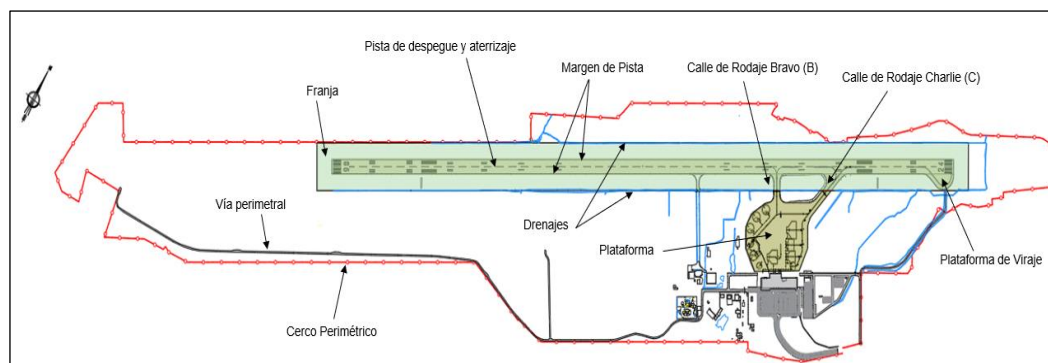


Figura N° 10. Elementos del Lado Aire del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Elaboración propia en base al Plan Maestro de Desarrollo-Revisión C, año 2019.

2.2.2.2. Lado Tierra del Aeropuerto

Grupo conformado por:

- Zona de ingreso al aeropuerto: Es el que comprende la avenida de ingreso al aeropuerto de 345 m x 20 m de ancho, la zona de estacionamiento de vehículos (frente al terminal de pasajeros) de un área aproximada de 8,100 m² y capacidad para más de 250 vehículos y el ingreso peatonal de pasajeros.
- Terminal de Pasajeros: El terminal, tiene un área construida de aproximadamente 6,532.27 m², presenta 2 niveles y está construido a base a estructuras metálicas con divisiones en albañilería y drywall. En el primer nivel (ver Figura N° 11), se distinguen tres zonas: la primera conformada por el Hall de ingreso, la zona de counters, oficinas de aerolíneas, tiendas y baños (damas y caballeros); la segunda zona conformada por: el control de embarque, las salas de embarque nacional e internacional, baños (damas y caballeros) y sala VIP; y finalmente la tercera zona conformada por: la sala de llegada (recojo de equipajes), controles de seguridad (migraciones, aduanas, policía), y baños (damas y caballeros).

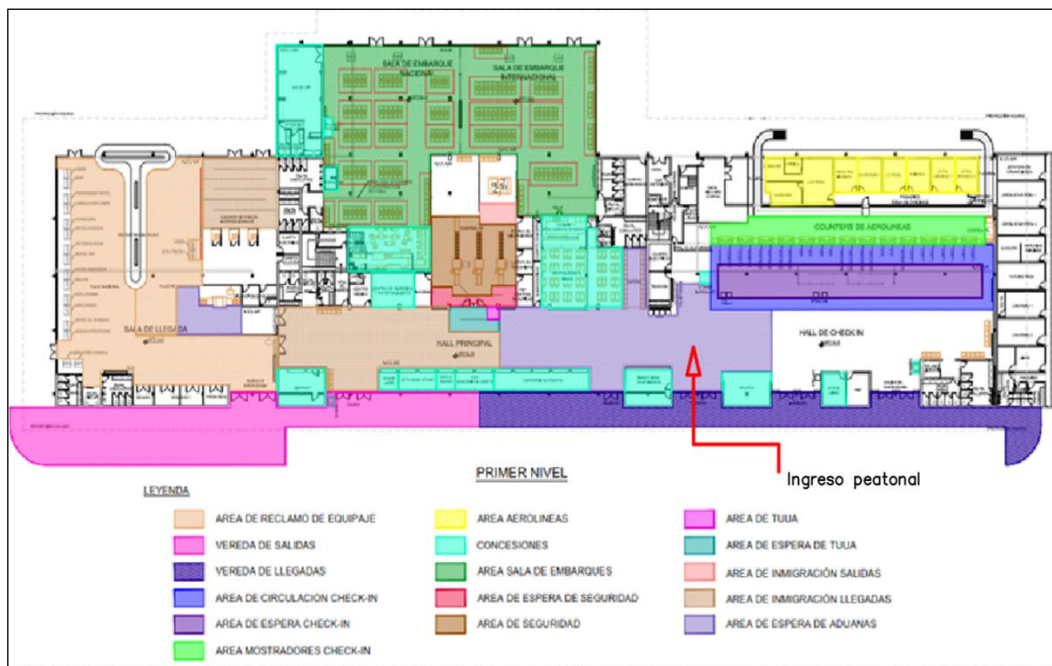


Figura N° 11. Plano de distribución del primer nivel del Terminal de Pasajeros del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Plan Maestro de Desarrollo-Revisión C, año 2019.

En el segundo nivel, se cuenta con oficinas y almacenes para el Concesionario, así como, salas de capacitaciones, sala CCTV (Circuito cerrado de televisión), cuarto de telecomunicaciones, gerencia del aeropuerto, servicios higiénicos para damas y caballeros, y comedor.

En la Figura N° 12, se presenta la configuración actual del Aeropuerto Internacional de Iquitos y sus elementos que conforman el Lado Tierra.

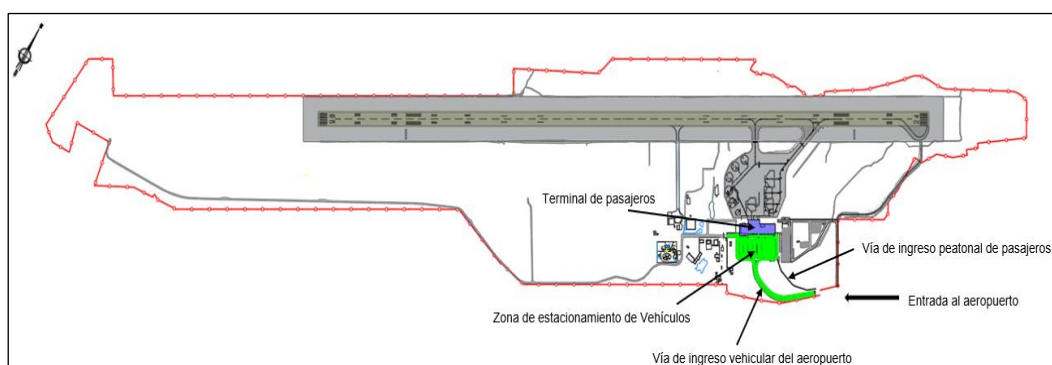


Figura N° 12. Elementos del Lado Tierra del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Elaboración propia en base al Plan Maestro de Desarrollo-Revisión C, año 2019.

2.2.2.3. Elementos de Apoyo.

Grupo conformado por:

- Edificios de Almacenes: cuenta con 05 almacenes, los cuales están administrados de la siguiente manera: por la compañía Talma S.A. (01 edificio ubicado en la parte central del aeropuerto, de un nivel y con un área de 2,729.21 m²), Transber (tiene 02 edificios, uno de 655,41 m² y otro de 1,032.42 m², ambos de un nivel), Avianca (un edificio de 02 niveles de un área de 160.62 m²) y LC Perú (con un almacén de 467.97 m² y de un solo nivel).
- Salvamento y Extinción de Incendios (SEI): Tiene un área construida de 532 m² y está ubicado en la parte central del aeropuerto. Funciona las 24 horas del día y tiene como objetivo atender las emergencias que se puedan presentar tanto en el Lado Aire como en el Lado Tierra del aeropuerto. La Categoría o nivel de protección es 8 (indica muy buen nivel de protección, puesto que los valores van de 0 a 10 según OACI) y cuenta con 03 Camiones SEI.
- Hangares: Únicamente, el aeropuerto cuenta con un solo Hangar de mantenimiento de Aeronaves de un área aproximada de 1,146.53 m², el cual viene siendo utilizado por la empresa Helisur.
- Planta de Combustible: Cuenta con una planta de combustible emplazada en un terreno de 5,566.11 m², y tiene capacidad para almacenar aproximadamente 2,836 barriles de combustible Turbo A-1 y gasolina de aviación (AVGAS). Dicha planta viene siendo operado por la empresa Petróleos del Perú S.A. (PETROPERÚ).
- Instalaciones de Servicios: Cuenta con instalaciones de suministro de energía (02 subestaciones eléctricas), suministro de agua potable (pozo subterráneo, caseta de bombeo y cisterna con capacidad para 70 m³ de agua).
- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): El aeropuerto cuenta con una PTAR para el tratamiento de desagües domésticos, con capacidad de 88.88 m³/día. Las aguas tratadas, se vierten a un canal de drenaje ubicado a 30 m de la planta.
- Torre de Control: Está localizado en la zona norte del aeropuerto, contigua al Terminal de pasajeros, tiene un área construida de 159.09 m², consta de 4 niveles, siendo el último nivel el usado como cabina de control. Dicha torre está bajo la administración de la Corporación Peruana de Aeropuertos y

Aviación Comercial S.A. (CORPAC S.A.) y brinda servicios de Control de Aproximación del Tránsito Aéreo y Control de Aproximación.

- Radioayudas y Meteorología: Cuenta con un sistema de aterrizaje por instrumentos ILS de Categoría I en el umbral de pista 06 y un VOR/DME. Asimismo, cuenta con una estación meteorológica, operada por CORPAC S.A.

En la Figura N° 13, se presenta la configuración actual del Aeropuerto Internacional de Iquitos y sus Elementos de Apoyo.

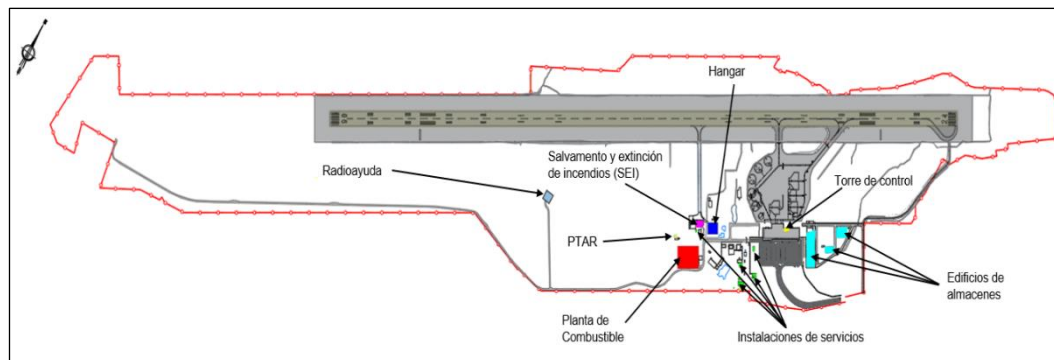


Figura N° 13. Elementos de Apoyo del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Elaboración propia en base al Plan Maestro de Desarrollo-Revisión C, año 2019.

2.2.3. Data Histórica de pasajeros, carga y aeronaves

En cuanto al movimiento de pasajeros y carga, se analizó la información estadística obtenida de CORPAC S.A., comprendida entre los años 2000 y 2023. La data analizada brinda una idea sobre el crecimiento de la demanda de pasajeros y carga a lo largo de los años, pero con mayor intensidad desde el año 2014 hasta antes de la pandemia del COVID 19.

En la Tabla N° 09, se presenta el movimiento anual de pasajeros tanto nacional como Internacional, mientras que en la Tabla N° 10, se presenta el movimiento de carga desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos. Asimismo, en las Figuras N° 14 y N° 15 se muestra gráficamente la variación anual de pasajeros y carga, respectivamente en el mencionado aeropuerto.

Tabla N° 9. Cantidad de pasajeros movilizados desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos entre los años 2000 y 2023.

Años	Movimiento Anual de Pasajeros (Entradas y Salidas en el Aeropuerto de Iquitos)			
	Nacional (N)	Internacional (I)	Total, de Pasajeros (N+I)	Promedio Diario
2000	371,691	373	372,064	1,019
2001	361,105	257	361,362	990
2002	322,853	367	323,220	886
2003	315,699	3,623	319,322	875
2004	344,874	2,124	346,998	951
2005	388,433	2,143	390,576	1,070
2006	428,027	214	428,241	1,173
2007	505,001	1,231	506,232	1,387
2008	505,233	9	505,242	1,384
2009	513,287	0	513,287	1,406
2010	644,910	0	644,910	1,767
2011	649,626	0	649,626	1,780
2012	734,637	3,442	738,079	2,022
2013	854,281	7,888	862,169	2,362
2014	985,126	14,247	999,373	2,738
2015	1,037,468	8,723	1,046,191	2,866
2016	934,031	0	934,031	2,559
2017	972,145	0	972,145	2,663
2018	1,082,370	0	1,082,370	2,965
2019	1,167,702	0	1,167,702	3,199
2020	529,969	663	530,632	1,454
2021	781,081	332	781,413	2,141
2022	956,768	165	956,933	2,622
2023	988,419	151	988,570	2,708
Cantidad de Pasajeros transportados desde el 2000 hasta el año 2023.			16,420,688	
Cantidad de pasajeros transportados en promedio por año desde el 2000 hasta el 2023.			684,195	

Fuente: Elaboración propia.

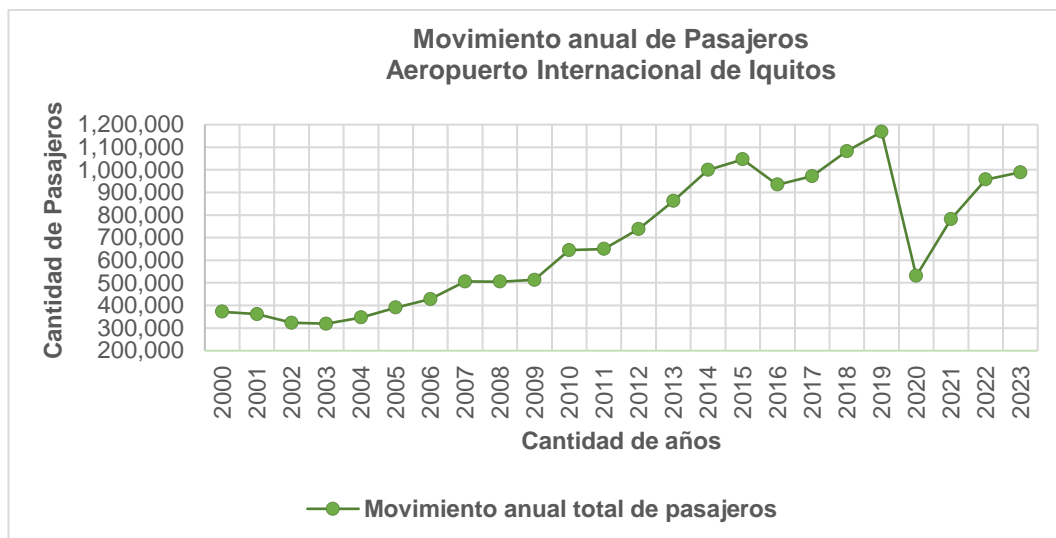


Figura N° 14. Movimiento anual de pasajeros desde/hacia el Aeropuerto Internacional de Iquitos.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 10. Cantidad de carga movilizada desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos entre los años 2000 y 2023.

Año	Movimiento Anual de Carga (en Kg)			
	N	I	Total, de Carga (N+I)	Promedio Diario
2000	-	-	17,526,000	48,016
2001	14,188,579	505,591	14,694,170	40,258
2002	14,787,027	406,696	15,193,723	41,627
2003	10,811,871	471,938	11,283,809	30,915
2004	9,772,588	352,794	10,125,382	27,741
2005	11,701,625	550,756	12,252,381	33,568
2006	11,830,878	507,740	12,338,618	33,804
2007	8,291,285	49,603	8,340,888	22,852
2008	10,215,548	100,324	10,315,872	28,263
2009	10,379,754	78,462	10,458,216	28,653
2010	12,896,004	0	12,896,004	35,332
2011	12,791,698	0	12,791,698	35,046
2012	10,166,336	22,745	10,189,081	27,915
2013	11,367,368	54,579	11,421,947	31,293
2014	11,185,797	90,301	11,276,098	30,893
2015	11,295,237	37,165	11,332,402	31,048
2016	8,989,011	0	8,989,011	24,627
2017	8,636,716	0	8,636,716	23,662
2018	9,253,092	2,067	9,255,159	25,357
2019	10,317,818	30,556	10,348,374	28,352
2020	10,253,482	50,162	10,303,644	28,229
2021	11,763,939	431,974	12,195,913	33,413

2022	11,456,524	188,270	11,644,794	31,904
2023	11,425,113	0	11,425,113	31,302
Cantidad de carga transportada desde el 2000 hasta el año 2023 (en Kg).			275,235,013	
Cantidad de carga transportada en promedio desde el 2000 hasta el 2023.			11,468,126	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: La cantidad de carga incluye los vuelos de servicio comercial regular, comercial no regular, aviación general, militar y correo



Figura N° 15. Movimiento anual de carga desde/hacia el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 09 y Figura N° 14, se aprecia que el Aeropuerto de Iquitos, a partir del año 2003 hasta el año 2019, presentó un crecimiento sostenido de movimiento de pasajeros cada año, a excepción de los años 2020 y 2021, en donde debido a causas externas producidas principalmente por la pandemia del COVID 19, movilizó menor cantidad de pasajeros, llegando incluso a niveles que solo se habían registrado antes del año 2010. Sin embargo, en los años 2022 y 2023, se aprecia que la tendencia vuelve a crecer tratando de recuperar los niveles pre pandemia.

Por otro lado, en la Tabla N° 10 y Figura N° 15, se observa, que en cuanto a los movimientos anuales de carga (carga más correo) desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos, ha sido variable con el paso de los años, no habiendo sido afectado por la pandemia del Covid 19 y teniendo una tendencia a seguir manteniendo a decrecer paulatinamente en los próximos años.

De ambas tablas, se puede indicar que el Aeropuerto Internacional de Iquitos, ha transportado en promedio (del año 2000 al año 2023) 684,195 pasajeros y 11,468,126 kg de carga anualmente, tanto a nivel nacional como internacional; lo cual representa en promedio el 3.5% de todo el movimiento de pasajeros de los aeropuertos a nivel nacional en el mismo rango de años y el 4.4% de todo el movimiento de carga en todo el país.

En tal razón, el Aeropuerto de Iquitos, constituye uno de los principales centros aeroportuarios del Perú, siendo el cuarto aeropuerto más importante en cuanto a la movilización de pasajeros y el segundo en cuanto a transporte de carga, estando solo por debajo de aeropuertos como Lima, Cusco y Arequipa; en ese sentido, la infraestructura del Lado Aire, especialmente los pavimentos, deben ser diseñados para tener la capacidad de resistir todas las sollicitaciones y la demanda actual y futura de los próximos años, que con seguridad seguirá incrementándose.

Por otro lado, también es muy importante conocer los tipos de aeronaves que han operado y operan en el Aeropuerto Internacional de Iquitos, puesto que son los vehículos que transportan a los pasajeros y carga, y que tienen diferentes dimensiones, capacidades de almacenamiento y diferentes distribuciones de trenes de aterrizajes que finalmente son los que transmiten las cargas a los pavimentos.

De acuerdo a la información proporcionada por el MTC, a través del Memorando N° 1200-2022-MTC/12.08 del 03 de agosto del 2022 de la DRPA de la DGAC, los registros de aeronaves que operan y que han operado en el mencionado aeropuerto desde el año 2017 hasta el año 2021, son los que se muestran en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11. Tipo de aeronaves que operan en el aeropuerto de Iquitos.

Aeronaves que operan y que han operado en el Aeropuerto de Iquitos				
Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021
Airbus A319-100	Airbus A319-100	Airbus A319-100	Airbus A319-100	Airbus A319-100
Airbus A320-100	Airbus A320-100	Airbus A320-100	Airbus A320-100	Airbus A320-100
Antonov AN-32A	Antonov AN-32A	Airbus A320neo	Airbus A320neo	Airbus A320neo
BAE 146-100	BAE 146-100	Antonov AN-32A	Antonov AN-32A	Antonov AN-32
BAE 146-200	BAE 146-300	Beechcraft B1900D	Beechcraft B1900D	BAE JS32

BAE 146-300	Beechcraft B1900D	Beechcraft Super King Air 200 (BK Air 200)	BK Air 200	Beechcraft B1900D
Beechcraft B1900D	BK Air 200	Beechcraft B-200	Beechcraft B-200	BK Air 200
BK Air 200	Beechcraft B-200	Boeing B737-476	Boeing B737-476	Beechcraft B-200
Beechcraft B-200	Bombardier Dash 8-400	Boeing B737-300	Boeing B737-300	Boeing B737-476
Bombardier Dash 8-400	Boeing B737-476	Boeing B737-400	Boeing B737-500	Boeing B733
Boeing B737-476	Boeing B737-200	Boeing B737-500	Boeing B733	Bombardier DH 8D
Boeing B737-200	Boeing B737-300	Cessna C-208-B	Bombardier DHC 8 (DHC 8-402)	Cessna C-206
Boeing B737-300	Boeing B737-400	Cessna C-U206F	Cessna C-206	Cessna C-210
Boeing B737-400	Boeing B737-500	Cessna C-185A	Cessna C-208-B	Cessna C-208-B
Boeing B737-500	Cessna C-U206F	Cessna C-U206G	Cessna C-T210N	Cessna C-T210N
Cessna C-T210N	Cessna C-U206G	DHC-8-402	Cessna C-U206F	Cessna C-185A
Cessna C-402B	Cessna C-185A	Fokker F27-MK050	Cessna C-185A	Cessna C-U206G
Cessna C-185A	Embraer 190 (E90)	Fokker F70	Cessna C-U206G	Cessna C-402B
Embraer 190 (E90)	Fokker F27-MK050	Israel Aircraft Ind 1125 Astra	Fokker F27-MK050	Cessna C-U206F
Fokker F27-MK050	Israel Aircraft Ind 1125 Astra	Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	Fokker F70	Israel Aircraft Ind 1125 Astra
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	Jetstream JS32	Israel Aircraft Ind 1125 Astra	Israel Aircraft Ind G200 Galaxi
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	Jetstream J32	Piper Seneca PA-34-200T	Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	Jetstream Caraban J32
Learjet 60	Jetstream JS32	Piper CHIII PA-42	Jetstream JS32	Jetstream JS32
Piper CHIII PA-42	Piper Seneca PA-34-200T	Piper PA-32	Piper Seneca PA-34-200T	Piper Seneca PA-34-200T
Piper PA-34	Piper CHIII PA-42		Piper PA-32	Piper PA-32RT-300
Piper PA-32	Piper PA-32		Piper CHIII PA-42	Piper PA-32RT-308
				Piper PA-42

Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por la DGAC, 2021.

Es preciso indicar, que la flota de aeronaves mostradas en la Tabla N°11, es la misma que ha operado en los años 2022 y 2023, puesto que las aerolíneas del mercado nacional siguen siendo las mismas y no se ha encontrado información que indique o evidencie el retiro de algún modelo de aeronave descrito anteriormente o el ingreso de otros modelos de aviones al Aeropuerto Internacional de Iquitos.

2.2.4. Evolución de los pavimentos del Lado Aire del aeropuerto.

La operación del Aeropuerto Internacional de Iquitos inició en el año 1973, por lo que los pavimentos del Lado Aire tienen a ese año como inicio de su vida útil. Después de 22 años de operación, en 1995, CORPAC S.A. como operador del aeropuerto, llevó a cabo trabajos pequeños de ranurado sobre la superficie de rodadura de la pista de aterrizaje (ver Figura N° 16), a fin de mejorar la eficiencia de frenado de las aeronaves, evitar el fenómeno de hidroplano debido a las precipitaciones pluviales constantes en Iquitos y minimizar la ocurrencia de incidentes/accidentes.



Figura N° 16. Ranurado de la superficie de rodadura de la pista del Aeropuerto de Iquitos

Fuente: DGAC, 2003.

Posteriormente, no se volvió a evaluar el estado de los pavimentos hasta el año 2003. En dicho año, la DGAC realizó una evaluación del estado situacional de los pavimentos de la pista, calle de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves, encontrando algunas fallas, tales como: desgaste superficial de las losas de concreto producto de las operaciones (aterrizajes y despegues) de aeronaves y por la antigüedad de los pavimentos de más de 30 años hasta ese momento, fisuras en las losas, grietas, entre otros.

A consecuencia de dicha evaluación, en julio del 2003, la DGAC ordenó a CORPAC S.A. que las cargas máximas de las aeronaves permitidas para la operación en el aeropuerto de Iquitos, expresado en PCN (Número de Clasificación de Pavimentos que indica la resistencia del pavimento), deberían ser como máximo de 45 R/C/X/U (R: rígido, C: categoría de la subrasante, X: presión de los neumáticos y U: tipo de evaluación del pavimento). Este valor indicaba la resistencia del pavimento para ser utilizado sin restricción por aeronaves de igual o menor ACN- Aircraft Classification Number (valor publicado para cada aeronave por los fabricantes en sus correspondientes manuales).

Hasta el año 2006, no había una evaluación permanente del desempeño de los pavimentos del mencionado aeropuerto, hasta que, el 11 de diciembre de 2006 con la firma del Contrato de Concesión del Primer Grupo de Aeropuertos del Perú entre el MTC y AdP, este último se obligó a realizar, entre otros, evaluaciones funcionales y estructurales (EFEs) anualmente a todos los pavimentos del lado aire del Aeropuerto hasta que culmine la concesión, a fin de llevar un registro permanente de la condición de los pavimentos.

Es así que, a través del Memorando N° 1200-2022-MTC/12.08 de fecha 03.08.2022 de la DRPA de la DGAC, se logró obtener información sobre las EFEs de los pavimentos del Lado Aire del mencionado aeropuerto desde el año 2013 hasta el año 2020, que luego de la revisión, se ha encontrado que los pavimentos presentan muchas fallas, principalmente superficiales que requieren de una intervención mayor. El resumen del estado de los pavimentos hasta el año 2020, se describe en la Tabla N° 12.

Tabla N° 12. Fallas de los pavimentos del aeropuerto de Iquitos, reportado en las EFEs.

Año de la EFE	Fallas Encontradas
2013	<ul style="list-style-type: none">- Desprendimientos superficiales puntuales, en pista y plataforma.- Condición superficial mala de las márgenes que provoca infiltración de agua.
2014	<ul style="list-style-type: none">- Agrietamiento longitudinal, transversal y diagonal, desprendimiento de agregados, astillamiento de esquinas y juntas, baja macro textura en pista.- Daño del sello de juntas en calles de rodaje.- Agrietamiento longitudinal, transversal y diagonal, desprendimiento de agregados en plataforma de estacionamiento de aeronaves.
2015	<ul style="list-style-type: none">- Desprendimiento superficial, daño en sello de junta, fisuras, losas fragmentadas y desprendimiento de juntas en pista de aterrizaje.- Desprendimiento superficial, daño en sello de junta, fisuras, losas fragmentadas, desprendimiento y roturas de juntas Calles de Rodaje.

2016	<ul style="list-style-type: none">- Fisuras de esquina, fisuras longitudinales y transversales, desprendimiento de juntas, grietas, la mayoría de leve severidad en la pista de aterrizaje.- El estado de los pavimentos en general daba una vida remanente de más de 10 años.
2017	<ul style="list-style-type: none">- Valor de BBI (Boeing Bump Index-índice de rugosidad) crítico, fisuras de esquina, fisuras longitudinales y transversales, desprendimiento de juntas, grietas en pista, desagregación superficial, la mayoría de leve severidad en la pista de aterrizaje.
2018	<ul style="list-style-type: none">- Sectores de pista con rugosidad inaceptable, daño de sellado de juntas, grietas por contracción y vida remanente de 7.8 años en pista de aterrizaje.- Daño de sellado de juntas, grietas por contracción, fisuras en bloque en pista de aterrizaje.- Fisuras en bloque en calle de rodaje.- Fisuras en bloque, daño de sellado de juntas y grietas por contracción de gran severidad en plataforma de estacionamiento de aeronaves.
2019	<ul style="list-style-type: none">- Condición superficial deteriorada en pista de aterrizaje- Vida remanente de 6.9 años de Calle de Rodaje B.
2020	<ul style="list-style-type: none">- Valores de BBI crítico en algunos sectores, fisuras en esquina, fisuras longitudinales y transversales, desprendimiento en junta, grietas desordenadas, desagregación superficial de severidad leve y PCN 46/R/C/W/T menor al ACN 52 en pista de aterrizaje. (ACN 52 indica que los aviones infringen un daño al pavimento como 52 y el pavimento solo tiene la capacidad para soportar aviones que infringen daño como 46).- Fisuras longitudinales y transversales, desprendimiento en junta, desprendimiento en esquina, grietas desordenadas en calles de rodaje B y C; asimismo, PCN igual a 48/R/C/W/T, lo que es menor al ACN 50.- Fisuras longitudinales y transversales, desprendimiento en junta, desprendimiento en esquina y grietas desordenadas en Plataforma de estacionamiento de aeronaves.

Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por la DGAC, 2022.

Como se ha podido apreciar, los pavimentos del área de movimiento se culminaron de construir a inicios de 1973 con concreto hidráulico y desde ese entonces, los pavimentos del aeropuerto de Iquitos no han sido reemplazados con nueva estructura, llevando más de 50 años de vida, lo cual ha superado ampliamente la vida útil para un pavimento de estas características.

CAPITULO: III CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO AÉREO

La caracterización del tráfico aéreo consiste en determinar el número de movimientos y el número de salidas anuales de las aeronaves que operan y que han operado en el Aeropuerto de Iquitos, puesto que las salidas o despegues son los momentos más críticos debido a que las aeronaves se encuentran a su máxima capacidad.

La máxima capacidad en aeronáutica civil, se entiende como el peso máximo que tiene la aeronave antes del despegue, o también llamado MTOW (por sus siglas en inglés), el cual se compone por el peso de la estructura propia del avión sin sustentación, el peso de los pasajeros, el peso de la carga paga y el peso del combustible. El valor del MTOW de las aeronaves, es proporcionado por los fabricantes de aeronaves a través de los manuales de planificación, mantenimiento y características de las aeronaves.

El número de movimientos y de salidas anuales de las aeronaves en el Aeropuerto de Iquitos, se determinará a partir del número de operaciones anuales, que es, llegadas más salidas, en igual proporción.

En la Tabla N° 13 y en la Figura N° 17, se muestra la cantidad de operaciones desde el año 2000 hasta el año 2023 que ha tenido el Aeropuerto de Iquitos, asimismo, se ha calculado el número de salidas anuales en cada año.

Tabla N° 13. Cantidad de operaciones desde/hacia el Aeropuerto de Iquitos entre los años 2000 y 2023.

Año	Cantidad de Operaciones (Entradas y Salidas de aeronaves)			
	N	I	Total, de Operaciones (N+I)	Total, de salidas anuales
2000	8,125	282	8,407	4,204
2001	7,887	365	8,252	4,126
2002	6,693	303	6,996	3,498
2003	6,736	361	7,097	3,549
2004	6,937	325	7,262	3,631
2005	7,497	194	7,691	3,846
2006	8,239	146	8,385	4,193
2007	8,029	133	8,162	4,081
2008	12,998	151	13,149	6,575
2009	11,492	180	11,672	5,836
2010	13,538	201	13,739	6,870

2011	10,454	170	10,624	5,312
2012	10,653	242	10,895	5,448
2013	12,907	377	13,284	6,642
2014	13,118	533	13,651	6,826
2015	13,294	452	13,746	6,873
2016	10,934	96	11,030	5,515
2017	10,085	128	10,213	5,107
2018	11,515	171	11,686	5,843
2019	12,749	236	12,985	6,493
2020	9,734	276	10,010	5,005
2021	11,947	334	12,281	6,141
2022	10,543	309	10,852	5,426
2023	10,859	118	10,977	5,489

Fuente: Elaboración propia en base a información estadística de CORPAC S.A.

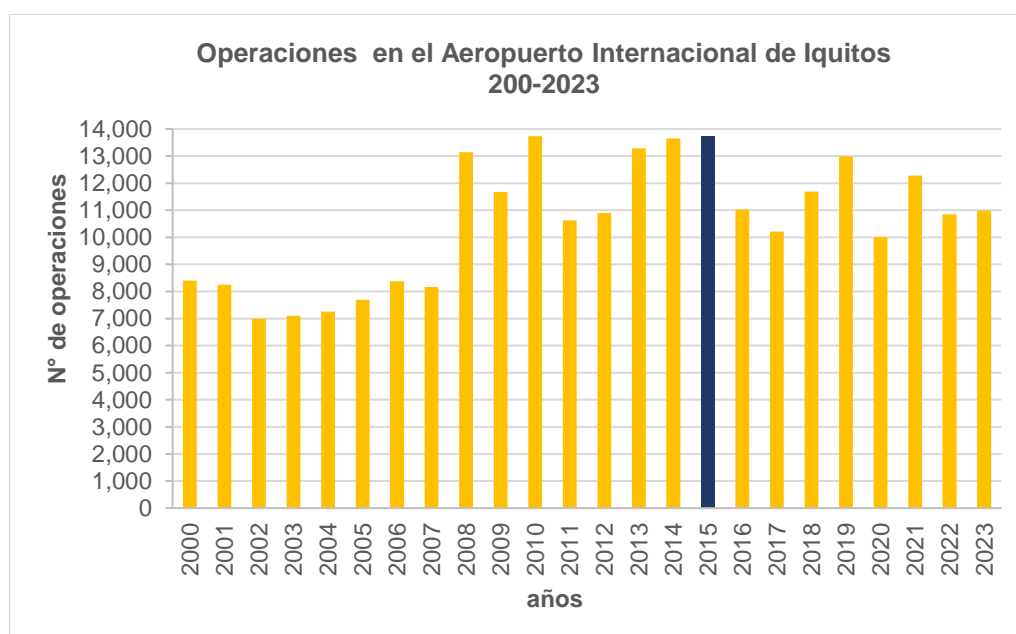


Figura N° 17. Operaciones de aeronaves entre los años 2000 y 2023 en el Aeropuerto de Iquitos.

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, de la Tabla N° 13 y la Figura N° 17, se puede apreciar que, en el año 2015, el Aeropuerto de Iquitos tuvo su mayor número de operaciones y salidas anuales, por lo que, en la presente investigación, se tomará ese valor como el número de operaciones y número de salidas en el año base, para distribuirlo en cada una de las aeronaves que han operado.

La cantidad de aeronaves que operan y que han operado en el Aeropuerto de Iquitos, se presentó en la Tabla N° 11 de la presente investigación, dicha lista será

ordenada por su número de clave de referencia y se incluirá su MTOW, conjuntamente con la anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal-Outer Main Gear Wheel Span (OMWGS) de cada aeronave.

Asimismo, para distribuir el número de operaciones y salidas anuales por cada aeronave, se ha tenido en cuenta que los aviones de mayor clave de referencia tales como las claves 3 y 4, son las que tienen más frecuencias de vuelos, principalmente en la ruta Iquitos-Lima; por lo que su porcentaje de incidencia es del orden del 25% y 45%, respectivamente; luego las salidas de las aeronaves de claves 1, y 2, que principalmente operan al interior del departamento de Loreto, siendo Iquitos su principal base de operaciones, representan un porcentaje del orden de 20% y 10%, respectivamente.

De todo ello, se ha obtenido las operaciones y las salidas anuales para cada aeronave, las mismas que se presentan en la Tabla N° 14.

Tabla N° 14. Cantidad de operaciones y salidas en el año base por cada aeronave que opera en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Tipo de Aeronave	MTOW (Kg)	Grupo de Clave de Aeronave	OMWGS (m)	N° de operaciones	N° de Salidas anuales
Cessna C-185A	1,520	1A	2.7	132	66
Piper PA-32	1,542	1A	3.4	134	67
Piper PA-32RT-300	1,632	1A	3.4	142	71
Piper PA-32RT-308	1,632	1A	3.4	142	71
Cessna C-U206G	1,633	1A	2.7	142	71
Cessna C-206	1,633	1A	2.7	142	71
Cessna C-U206F	1,633	1A	2.7	142	71
Cessna C-T210N	1,814	1A	3.2	158	79
Cessna C-210	1,814	1A	3.2	158	79
Piper Seneca PA-34-200T	2,100	1A	3.4	182	91
Piper PA-34	2,155	1A	3.4	188	94
Cessna C-402B	2,860	1A	3.4	248	124
Cessna C-208-B	3,969	1B	3.4	346	173
Beechcraft B-200	5,670	1B	5.8	494	247
Piper CHIII PA-42	5,080	2A	5.7	114	57
Piper PA-42	5,080	2A	5.7	114	57
Beechcraft Super King Air 200	5,670	2B	5.2	126	63
Beechcraft B1900D	7,668	2B	5.8	172	86
BAE 146-100	38,101	2C	6.2	850	425
Learjet 60	10,660	3A	3.4	74	37

Jetstream J32	7,350	3B	4.5	52	26
Jetstream JS32 o BAE JS32	7,360	3B	4.5	52	26
Fokker F27-MK050	19,773	3C	7.9	138	69
Antonov AN-32A	27,000	3C	7.9	190	95
Bombardier DH 8D	28,998	3C	9.5	204	102
Bombardier Dash 8-400	29,574	3C	9.5	208	104
De Havilland Canada DHC-8-402	30,481	3C	9.5	214	107
Fokker F70	41,730	3C	8.0	294	147
BAE 146-200	42,184	3C	7.8	296	148
BAE 146-300	44,225	3C	7.8	310	155
Embraer 190 (E90)	45,000	3C	7.2	316	158
Airbus A319-100	75,500	3C	8.9	530	265
Airbus A320neo	79,000	3C	8.9	556	278
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	16,080	4B	3.7	208	104
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	10,660	4B	3.7	138	69
Boeing B737-200	52 390	4C	6.4	680	340
Boeing B737-500	61,600	4C	6.4	800	400
Boeing B737-300	63,200	4C	6.4	820	410
Boeing B733	63,200	4C	6.4	820	410
Boeing B737-400	68,000	4C	6.4	882	441
Boeing B737-476	68,000	4C	6.4	882	441
Airbus A320-100	73,700	4C	8.9	956	478
TOTAL, DE OPERACIONES Y SALIDAS AÑO BASE				13746	6,873

Fuente: Elaboración propia

La información, del número de operaciones y de salidas por cada aeronave, será muy importante para el cálculo de pavimentos, empleando los diferentes métodos de diseño.

Por otro lado, del PMD del Aeropuerto Internacional de Iquitos (aprobado en el año 2019), se desprende que, a largo plazo, se prevé que opere la aeronave Boeing 747-100B, la cual según el Manual de Diseño de Aeródromos -Documento 9157-Parte 1 de la OACI, es de clave 4E y requiere una longitud de pista mínimo de 3060 m, lo que hace muy difícil su ingreso al citado aeropuerto en las condiciones actuales por las dimensiones de la pista, entre otros.

Sin perjuicio de lo antes señalado, y considerando que en el futuro la aeronave ingresaría al aeropuerto previa ampliación de pista, en la presente investigación, se considerará como parte de la flota de aeronaves para el diseño de los

pavimentos a la mencionada aeronave, estimándole 02 operaciones por mes o lo que equivale a 01 salida por mes en el año base. (Ver Tabla N° 15).

Tabla N° 15. Características de la aeronave B 747-100 y número de operaciones y salidas estimadas en el año base.

Tipo de Aeronave	MTOW (Kg)	Grupo de Clave de Aeronave	OMWGS (m)	N° de operaciones	N° de Salidas anuales
Boeing B747-100	333,400	4E	12.4	24	12

Fuente: Elaboración propia, en base al PMD,2019.

CAPITULO IV: CARACTERIZACIÓN DEL SUELO DE FUNDACIÓN Y DE LOS MATERIALES

En el presente capítulo, se resumirán las características del terreno de fundación del Aeropuerto de Iquitos, así como los materiales que la conforman y la resistencia que presentan; todo ello, en base a los estudios de campo realizados por el Concesionario en el citado aeropuerto.

De acuerdo al Memorando N° 1200-2022-MTC/12.08 de la DRPA de la DGAC, en las EFEs desde el año 2013 hasta el año 2020; únicamente en el año 2013 se llevaron a cabo ensayos destructivos de campo, lo que ha permitido conocer las principales características del terreno de fundación o subrasante donde se emplaza el aeropuerto y su capacidad de soporte.

A continuación, se explica el ensayo destructivo (calicata) efectuado y los ensayos de laboratorio realizado a las muestras extraídas en campo.

4.1. Calicatas realizadas en el Aeropuerto de Iquitos.

Para determinar las características del suelo de fundación del área de movimiento del Aeropuerto de Iquitos, en el año 2013, se efectuaron pruebas destructivas a través de siete (07) calicatas a lo largo de la pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves.

De las 07 calicatas, cinco (05) se ubicaron en la pista de aterrizaje (de la C1 a la C5), espaciadas aproximadamente a cada 488.5 metros, cuyas excavaciones oscilaron de entre 0.95 y 1.55 m de profundidad, debido a que el material por debajo de dicha profundidad era el mismo. En dichas calicatas se pudo encontrar tres (03) tipos de estratos o capas por debajo de la losa de concreto hidráulico, a las que se les ha denominado como M1, M2 y M3.

Asimismo, las 02 calicatas restantes, fueron realizadas, 01 en la calle de rodaje C y 01 en la plataforma de estacionamiento de aeronaves, cuyas perforaciones fueron de 1.65 y 1.70 metros de profundidad, respectivamente. Producto de dichas calicatas, también se determinaron 3 estratos de suelo por debajo de la losa de concreto, de las mismas características que las encontradas en pista.

En la Tabla N° 16, se muestran los sectores, la ubicación en coordenadas UTM y la orientación de cada una de las calicatas ejecutadas.

Tabla N° 16. Ubicación de las Calicatas efectuadas en el año 2013 en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Elemento	Número de Calicata	Ubicación (UTM)	Lado a partir del eje
Pista de despegue y aterrizaje	C-01	Norte: 9580968 N Este: 0687058 E	Derecho
	C-02	Norte: 9581281 N Este: 0687454 E	Izquierdo
	C-03	Norte: 9581496 N Este: 0687876 E	Derecho
	C-04	Norte: 9581799 N Este: 0688255 E	Izquierdo
	C-05	Norte: 9582032 N Este: 0688698 E	Derecho
Calle de Rodaje C	C-06	Norte: 9581775 N Este: 0688472 E	Derecha
Plataforma de estacionamiento de aeronaves	C-07	Norte: 9581644 N Este: 0688280 E	Izquierda

Fuente: Elaboración propia, en base a la EFE,2013.

4.2. Ensayos realizados y resultados obtenidos

Luego de la excavación de las calicatas, las muestras extraídas de cada estrato fueron llevadas a un laboratorio de la ciudad de Lima, laboratorio en donde se realizaron los siguientes ensayos a cada una de las muestras:

- Ensayo de granulometría de suelo por tamizado.
- Ensayo para determinar los materiales que pasan la malla N° 200.
- Ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.
- Ensayo para determinar el límite líquido, el límite plástico e índice de plasticidad del suelo.
- Ensayo de Proctor modificado.
- Ensayo de California Bearing Ratio (CBR), para medir la capacidad de soporte del suelo.

En la Tabla N° 17, se indican las muestras en cada calicata y la profundidad de cada una de ellas, a partir de la superficie del pavimento.

Tabla N° 17. Profundidad de las muestras extraídas en cada una de las calicatas efectuadas en el año 2013 en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Elemento	Calicata	Profundidad (m)	Muestras
Pista	C-01	0.95	M-1 (profundidad de 0.5 a 0.65 m)
			M-2 (profundidad de 0.65 a 0.95 m)
	C-02	1.15	M-1 (profundidad de 0.50 a 0.60 m)
			M-2 (profundidad de 0.60 a 0.70 m)
			M-3 (profundidad de 0.70 a 1.15 m)
	C-03	1.55	M-1 (profundidad de 0.45 a 0.55 m)
			M-2 (profundidad de 0.55 a 1.10 m)
			M-3 (profundidad de 1.10 a 1.55 m)
	C-04	1.35	M-1 (profundidad de 0.50 a 0.65 m)
			M-2 (profundidad de 0.65 a 0.75 m)
			M-3 (profundidad de 0.75 a 1.35 m)
	C-05	1.1	M-1 (profundidad de 0.45 a 0.55 m)
			M-2 (profundidad de 0.55 a 0.70 m)
			M-3 (profundidad de 0.70 a 1.10 m)
	Calle de Rodaje C	C-06	1.65
M-2 (profundidad de 0.45 a 1.65 m)			
Plataforma de estacionamiento de aeronaves	C-07	1.7	M-1 (profundidad de 0.40 a 1.40 m)
			M-2 (profundidad de 1.40 a 1.70 m)

Fuente: Elaboración propia, en base a la EFE,2013.

De dichos ensayos, se determinó que el suelo de fundación o subrasante, en su mayoría, está compuesto por finos que pasan la Malla N° 200, siendo éstos, principalmente, arenas y arcillas. Se hace un resumen de los resultados de los principales ensayos de laboratorio:

4.2.1. Ensayo de granulometría y determinación de materiales que pasan la malla N° 200.

Los resultados señalan que todas las muestras, contienen gran porcentaje de material que pasan la malla N° 200 (en promedio M-1: 27%, M-2: 48% y M-3: 59%), lo que indica que el suelo predominantemente es fino por debajo de los 0.40 m. Para mayor detalle ver Anexo N° 01.

Es pertinente señalar que la Muestra M-1, inicia a una profundidad entre 0.40 y 0.50 m, debido a que los materiales por encima de ésta, corresponden a las capas del pavimento construidas y existentes, y no se ensayó puesto que no constituye el terreno de fundación.

4.2.2. Ensayos de Contenido de humedad del suelo, Límite Líquido e Índice de Plasticidad.

Los resultados del ensayo de contenido de humedad, indican que el suelo de Iquitos tiene entre un 1.10 y 26 % de contenido de agua, parámetros muy importantes a tener en cuenta, puesto que influye en la resistencia de la subrasante.

Del mismo modo, de los resultados de los ensayos de Límite Líquido e Índice de Plasticidad, las muestras M-1, en su mayoría tienen valores NP (No Plástico), mientras que las muestras M-2 y M-3, en su mayoría presentan valores de entre 13 y 22, lo cual según la Tabla N° 18, indica que el suelo del Aeropuerto de Iquitos, a profundidades mayores de 0.55 m, es arcilloso de mediana plasticidad.

Tabla N° 18. Caracterización del suelo en función al índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Fuente: Cuadro 4.6, MTC, Manual de Carreteras-Sección Suelos y Pavimentos, 2014.

Teniendo, los resultados de granulometría, de contenido de humedad, de límite líquido e índice de plasticidad, se procedió a clasificar los suelos en base al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y al Sistema AASHTO, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla N° 19.

Tabla N° 19. Caracterización del suelo en función al índice de Plasticidad

Elemento	Calicata	Muestra	Clasificación		Descripción
			SUCS	AASHTO	
Pista	C-01	M-1	SP-SM	A-2-4 (0)	Arena pobremente gradada con limo
		M-2	CL	A-6 (8)	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	C-02	M-1	SM	A-2-4 (0)	Arena limosa
		M-2	CL	A-6 (12)	Arcilla de baja plasticidad
		M-3	CL	A-6 (5)	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	C-03	M-1	SP-SM	A-2-4 (0)	Arena pobremente gradada con limo
		M-2	SC	A-6 (2)	Arena arcillosa
		M-3	CL	A-6 (10)	Arcilla de baja plasticidad con arena
	C-04	M-1	CL	A-6 (8)	Arcilla arenosa de baja plasticidad

	C-05	M-2	SM	A-2-4 (0)	Arena limosa
		M-3	CL	A-6 (4)	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		M-1	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente gradada con limo y grava
		M-2	CL	A-6 (5)	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		M-3	ML	A-4 (0)	Limo arenoso
Calle de Rodaje C	C-06	M-1	–	–	Lente de arcilla color beige
		M-2	CL	A-6 (15)	Arcilla de baja plasticidad con arena
Plataforma	C-07	M-1	CL	A-6 (5)	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		M-2	SM	A-2-4 (0)	Arena limosa

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla N° 19, los suelos en el Aeropuerto Internacional de Iquitos a profundidades entre 0.40 m y 0.60 m son arenosos limosos de baja plasticidad, mientras que a profundidades entre 0.60 y 1.70 m son arcillosos de mediana y baja plasticidad. El perfil estratigráfico se presenta en el Anexo N° 01.

4.2.3. Ensayo de Proctor Modificado y CBR.

Estos ensayos, miden la compactación del suelo en condiciones saturadas y la capacidad de soporte del mismo, respectivamente; por ello es que, en las muestras de las calicatas realizadas en el año 2013, se efectuaron estas pruebas, las mismas que se resumen en la Tabla N° 20.

Tabla N° 20. Resultados de los Ensayos de Proctor Modificado y CBR del terreno de fundación del Aeropuerto Internacional de Iquitos

Elemento	Calicata	Muestras	Proctor Modificado		CBR			
			OCH (%)	MDS (g/cm ³)	100% MDS		95% MDS	
					2.5 mm	5.0 mm	2.5 mm	5.0 mm
Pista	C-01	M-1 (0.5-0.65)	–	–	–	–	–	–
		M-2 (0.65-0.95)	11.8	1.861	4.4	4.7	3.4	3.6
	C-02	M-1 (0.50-0.60)	–	–	–	–	–	–
		M-2 (0.60-0.70)	–	–	–	–	–	–
		M-3 (0.70-1.15)	11.5	1.913	5.6	5.7	4.1	3.9
	C-03	M-1 (0.45-0.55)	–	–	–	–	–	–

		M-2 (0.55-1.10)	–	–	–	–	–	–
		M-3 (1.10-1.55)	10.6	1.926	3.3	3.2	2.6	2.4
		M-1 (0.50-0.65)	–	–	–	–	–	–
	C-04	M-2 (0.65-0.75)	–	–	–	–	–	–
		M-3 (0.75-1.35)	13.1	1.853	5.7	5.9	3.9	3.6
		M-1 (0.45-0.55)	–	–	–	–	–	–
	C-05	M-2 (0.55-0.70)	–	–	–	–	–	–
		M-3 (0.70-1.10)	9.7	2.002	16.2	21.5	10.4	14.1
		M-1 (0.40-0.45)	–	–	–	–	–	–
Calle de Rodaje Charlie	C-06	M-2 (0.45-1.65)	10.9	1.859	3.0	2.8	2.4	2.1
		M-1 (0.40-1.40)	12.7	1.893	5.1	4.9	3.5	3.2
Plataforma	C-07	M-2 (1.40-1.70)	–	–	–	–	–	–

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 20, se aprecia que los valores de CBR, para el 95 % de la MDS y una penetración de 2.5 mm (0.1 pulgadas), oscilan en su mayoría entre 2.4% y 4.1%; y para una penetración de 5.0 mm (0.2 pulgadas), oscilan en su mayoría entre 2.1% y 3.9%.

Similar a ello, se observa que para el 100% de la MDS y una penetración de 2.5 mm, los valores de CBR, en su mayoría, oscilan entre 3.0% y 5.7%; mientras que para una penetración de 5.0 mm, oscilan entre 2.8% y 5.7%.

Los valores de la muestra M-3 de la Calicata C-05, se observa que están muy por encima de los resultados de las otras muestras, ello podría deberse a errores durante la realización de los ensayos, lo que constituiría un valor atípico.

Asimismo, teniendo en cuenta que los valores de CBR al 95 % de la MDS son más conservadores que al 100 % de la MDS, se deberá emplear dichos resultados; no obstante, en la presente investigación, y dependiendo del método de diseño se realizarán los diseños de pavimentos con valores de CBR tanto al 95% como al 100 % de la MDS para una penetración de 2.5 mm.

4.3. Otras zonas del departamento de Loreto con suelos similares

Se ha recopilado valores de CBR de terrenos de fundación de otras zonas del departamento de Loreto que cuentan con aeródromos o que podrían contar con ellos, cuyos suelos presentan características similares a las del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Para ello, se ha investigado en el aplicativo “Sistema de Seguimiento de Inversiones-SSI” del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), las inversiones o proyectos aeroportuarios declarados viables por la DGAC del MTC en el departamento de Loreto.

De dicha búsqueda, se ha encontrado que existen 04 proyectos de inversión declarados viables, en cuyos estudios de pre inversión a nivel de perfil, se ha encontrado información sobre los tipos de suelo que presentan dichas zonas. En la Tabla N° 21, se resume los tipos de suelo y su resistencia expresado en CBR.

Tabla N° 21. Tipos de suelo y valores de CBR de otros proyectos aeroportuarios en el departamento de Loreto

Nombre de la Zona	Tipo de Suelo	Valor de CBR			
		100% MDS		95% MDS	
		2.5 mm	5.0 mm	2.5 mm	5.0 mm
Soplín Vargas	ML	4.16	4.68	2.90	3.20
El Estrecho	OL	4.64	5.50	4.00	5.50
Cabalococha	-	3.43	3.44	2.99	3.30
Barranca		3.32	-	2.54	-

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

5.1. Breve descripción de la norma peruana sobre diseño de pavimentos

La DGAC, dentro de la RAP 314, indica las características físicas y las dimensiones mínimas que deberá cumplir el área de movimiento de un aeródromo; sin embargo, no especifica la metodología que se debe emplear en el diseño y evaluación correspondiente; en ese marco, es que ha implementado la Circular de Asesoramiento C.A: 314-15, versión vigente del 24 de setiembre del 2021, como guía para el **Diseño y Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios**.

La citada circular de asesoramiento, recomienda y propone el uso de la Advisory Circular-AC 150/5320-6G "Diseño y Evaluación de Pavimentos Aeroportuarios (Airport Pavement Design and Evaluation)", de la FAA y el programa de cómputo FAARFIELD como metodología de diseño aeroportuario a nivel nacional, pero no argumenta las razones para el empleo de dicha circular.

En la presente investigación, se analizará el empleo de la citada Circular de Asesoramiento, la cual se explica dentro de la Metodología de Diseño de la FAA de los Estados Unidos de América.

Por otro lado, la OACI, y como se ha explicado anteriormente, ha elaborado una serie de documentos técnicos, entre los que se encuentra el Manual de Diseño de Aeródromos (Doc. 9157-AN/901), cuya parte 3, trata sobre pavimentos aeroportuarios.

En la parte 3 del citado manual, la OACI, entre otros, lista a las metodologías de diseño de pavimentos aeroportuarios de los países de Canadá, Francia y Estado Unidos de América, a fin de que los demás estados, sin restricción alguna, decidan emplear uno u otro método de diseño; sin embargo, no desarrolla a profundidad cada una de ellas.

5.2. Metodología de diseño de pavimentos de Canadá

Es un método desarrollado por Transport Canadá, que es una institución del estado canadiense responsable de todos los modos de transporte, entre ellos el aéreo.

Para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, el gobierno Canadiense ha desarrollado un manual que data de 1995 y establece la utilización de curvas o nomogramas, centrados en determinar el espesor de la losa de concreto para una resistencia a la flexión en la parte inferior de la losa como mínimo de 4.0 MPa, de tal manera que garantice el soporte de las cargas de las aeronaves. El método asume que el Módulo de Elasticidad del concreto (E) y el coeficiente de poisson son: 27,580 MPa y 0.15, respectivamente. El diseño de pavimentos se realiza para 20 años como mínimo.

5.2.1. Descripción de los parámetros de diseño según el método

a) Tráfico:

Agrupar a las aeronaves según las características de cargas similares y no de manera individual, estableciendo una escala de 1 a 12, en función a las cargas del tren de aterrizaje. La agrupación, se hace en base al peso en el camión del tren de aterrizaje y la presión de neumáticos de cada aeronave que opera en el aeropuerto.

Para conocer los rangos que permita la agrupación, se hace uso de la Tabla N° 22.

Tabla N° 22. Clasificación de aeronaves en base a las cargas en sus trenes de aterrizaje principal

Fuente:

Clasificación estándar de carga en trenes de aterrizaje	Trenes de rueda única		Trenes de aterrizaje duales			Trenes de aterrizaje de doble tándem		
	Carga en un camión del tren (KN)	Presión de Neumático (MPa)	Carga en el camión del tren (KN)	Presión de Neumático (MPa)	Espaciamiento entre las ruedas duales (cm)	Carga en el camión del tren (KN)	Presión de Neumático (MPa)	Espaciamiento entre ruedas de doble tándem (cm)
1	20.00	0.30						
2	30.00	0.35						
3	45.00	0.40						
4	60.00	0.45	80.00	0.50	50.00			
5	80.00	0.50	110.00	0.60	55.00			
6	110.00	0.55	130.00	0.65	60.00			
7	140.00	0.60	170.00	0.70	65.00			
8			220.00	0.85	70.00			
9			290.00	1.05	75.00	440.00	1.10	65 x 115
10			400.00	1.15	90.00	660.00	1.20	90 x 150
11						900.00	1.55	110 x 165
12						1120.00	1.80	115 x 165

Elaboración propia en base a la Table 2.2. del Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.16.

El camión del tren es un término utilizado para referirse a uno de los 02 soportes del tren de aterrizaje principal de una aeronave, tal y como se observa en la Figura N° 18.



Figura N° 18. Camión del tren de aterrizaje principal de una aeronave.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, una vez clasificadas las aeronaves, el método indica que se debe seleccionar aquel grupo que tenga el valor más alto. En la metodología de diseño canadiense, no se considera el número de operaciones o frecuencia o el número

de repeticiones de la carga en la vida útil de diseño, dado que se señala que es muy estimativo y todo se reduce a la carga de diseño.

b) Resistencia de terreno de fundación (K):

En esta metodología la resistencia de la subrasante, se define como la carga requerida para producir una deflexión de 12.5 mm luego de 10 repeticiones, al aplicarla por medio de una placa rígida de 750 mm de diámetro.

De acuerdo al método, no hay una fórmula que correlacione directamente la medición usando plato de carga con el CBR comúnmente empleado en la medición de la subrasante; sin embargo, establece métodos indirectos de cálculo y unos rangos de valores de soporte del terreno de fundación para cada tipo de suelo.

Para determinar el valor de K, primero se debe calcular un valor adecuado de las mediciones llamado S, a través de la Ecuación 1:

$$S = r - 0.675xd \quad (1)$$

Donde:

S=Valor adecuado de medición

r= promedio de mediciones realizadas.

d= desviación estándar.

Es preciso indicar que, al número obtenido de S, se le multiplica por un factor de reducción, tomando en consideración el material de la subrasante y el nivel freático. Los factores se muestran en la Tabla N° 23.

Tabla N° 23. Factores de reducción en función al tipo de suelo.

Tipo de suelo	Factor de Reducción
Suelo Gravoso	0 %
Suelos con arenas medias y gruesas	10%
Suelos arcillosos	15% - 45%
Limos y arenas muy finas	45% - 50%

Fuente: Elaboración propia en base al Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.9.

Es preciso indicar que el método recomienda que, si el terreno presenta un nivel freático alto, en el primer metro de profundidad contado desde la superficie, al

Valor adecuado de medición reducido, se le aplicará otro factor de reducción igual a 10%.

El nuevo valor adecuado de medición reducido, debe expresarse en unidades de Kilonewtons-KN, para lo cual, en la Tabla N° 24, se ha establecido unas equivalencias entre valores típicos de CBR y S reducido en función a los tipos de suelo; en tal razón, será necesario identificar el tipo de suelo que se tiene en el aeropuerto de Iquitos junto a su CBR para obtener el S reducido en KN.

Tabla N° 24. Equivalencias entre CBR y S reducido en KN

Tipo de Suelo	Clasificación SUCS	Valores típicos de CBR (%)	Valores típicos de S en KN
Grava bien gradada	GW	60-80	290
Grava mal gradada	GP	35-60	200
Grava limosa	GM	40-80	135
Grava arcillosa	GC	20-40	110
Arena bien gradada	SW	20-40	160
Arena mal gradada	SP	15-25	110
Arena limosa	SM	20-40	65
Arena arcillosa	SC	10-20	65
Limo con bajo LL	ML	5-15	55
Arcilla con bajo LL	CL	5-15	65
Limo con alto LL	MH	4-8	20
Limo con alto LL	CH	3-5	30

Fuente: Elaboración propia en base al Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.17 y la AC 150/5320-6G, 2021, p.121.

Ahora bien, teniendo el valor adecuado de medición reducido en KN, se calcula el valor de K, el cual se expresa en Magapascales por metro (MPa/m) y para ello, se emplea la Ecuación 2.

$$K = 0.474 \times S \times 10^{\frac{t}{165}} \quad (2)$$

Donde:

K=resistencia de la subrasante en MPa/m

S= Valor adecuado de la medición en KN.

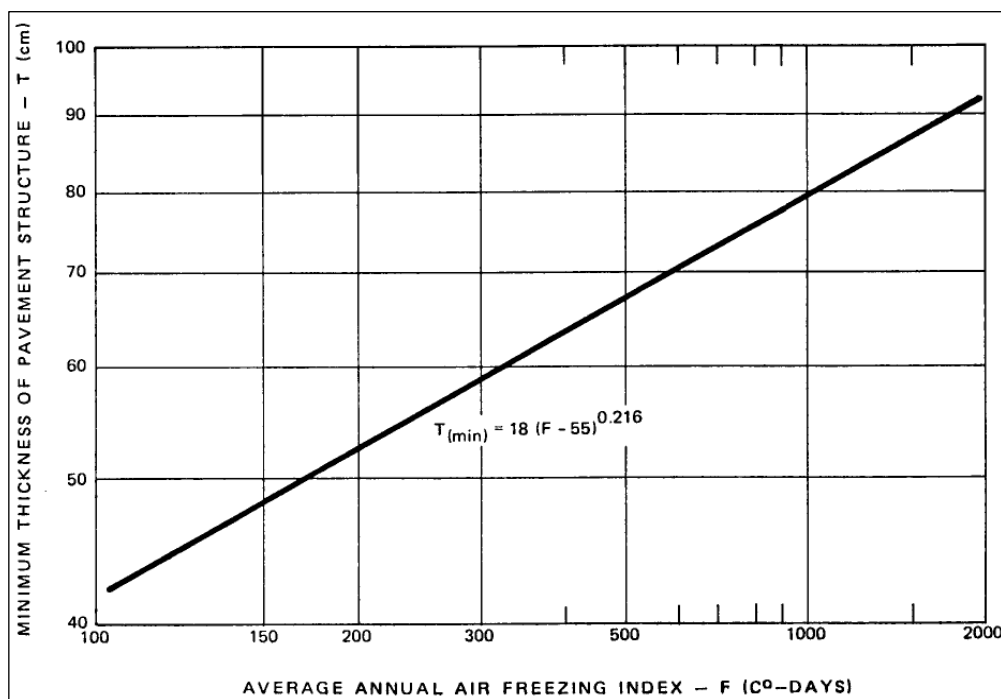
t= espesor equivalente granular de la base y subbase (cm).

Finalmente, para fines de diseño el método admite un valor máximo de resistencia del terreno de fundación de 135 MPa/m, a fin de prevenir cualquier contingencia con la subrasante (asentamiento, levantamiento, entre otros).

c) Condiciones climáticas:

En la metodología canadiense, debido a las temperaturas extremas que presenta el país de Canadá, considera a la condición climática como un factor de diseño y lo expresa como Índice de Congelamiento, el cual se calcula sumando las temperaturas medias diarias en grados Celsius, de un periodo tan largo como sea posible. Al final, si el valor total de las temperaturas medias resulta un valor negativo, entonces para fines del método se le considera positivo, y si el valor es positivo se le considera negativo.

Este factor es importante, porque a partir de ello, se puede determinar la profundidad de penetración de la helada en la subrasante y, por lo tanto, el espesor mínimo requerido del pavimento que contrarreste dicho efecto de helada.



En ese sentido, establece una ecuación lineal para calcular el espesor mínimo de la estructura del pavimento. (Ver Figura N° 19).

Figura N° 19. Determinación del espesor tal del pavimento en función al Índice de Congelamiento.

Fuente: Figure 2.9, Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.27.

Es preciso señalar que, en zonas donde no hay heladas o temperaturas por debajo de 0°C, para fines prácticos y tomando en cuenta la Figura N° 19, se podría considerar que el espesor mínimo del pavimento debería ser 0.40 m.

5.2.2. Procedimiento de diseño estructural del pavimento

Una de las consideraciones de esta metodología de diseño de pavimentos, es que prioriza el cálculo de la losa de concreto hidráulico, asumiendo que las cargas son perpendiculares a la losa y alejadas de los extremos, debiendo garantizar una resistencia a la flexión no menor de 4.0 MPa en 28 días o una resistencia a la compresión no menor de 280 Kg/cm².

Otra de las consideraciones, es la obligatoriedad de que el espesor mínimo de la base en el diseño de pavimentos nuevos de concreto hidráulico sea igual a 15 cm. (Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.53).

A continuación, se presenta una guía para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico en el Aeropuerto Internacional de Iquitos, bajo la metodología Canadiense:

- Determinar el valor de clasificación más alta del mix de aeronaves que operan en el Aeropuerto de Iquitos, haciendo uso de la Tabla N° 22.
- Luego se debe calcular de valor adecuado de la resistencia del terreno de fundación en KN.
- Posterior a ello, se debe determinar el valor de K en MPa/m usando la Ecuación 2 y asumiendo un espesor granular equivalente de la estructura total que tendría pavimento.
- El espesor granular equivalente es la homogenización de los materiales de la estructura de un pavimento y se calcula como la multiplicación del espesor de cada capa (losa, base y subbase) por un factor que se obtiene a partir de la Tabla N° 25, los cuales están acorde a las propiedades de los materiales.

Tabla N° 25. Factores de equivalencia granular por tipo de material

Material del pavimento	Factor de equivalencia granular
Sub base granular seleccionada	1
Base granular con piedra chancada	1
Base estabilizada con asfalto	1.5
Base estabilizada con cemento	2.0
Concreto asfáltico (buen estado)	2.0
Concreto asfáltico (mal estado)	1.5
Concreto hidráulico (buen estado)	3.0
Concreto hidráulico (regular estado)	2.5
Concreto hidráulico (mal estado)	2.0

Fuente: Elaboración propia en base al Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.39.

- Teniendo el tipo de carga de las aeronaves y el valor de K en MPa, se emplea el nomograma de la Figura N° 20, a fin de determinar el espesor de la losa de concreto hidráulico.

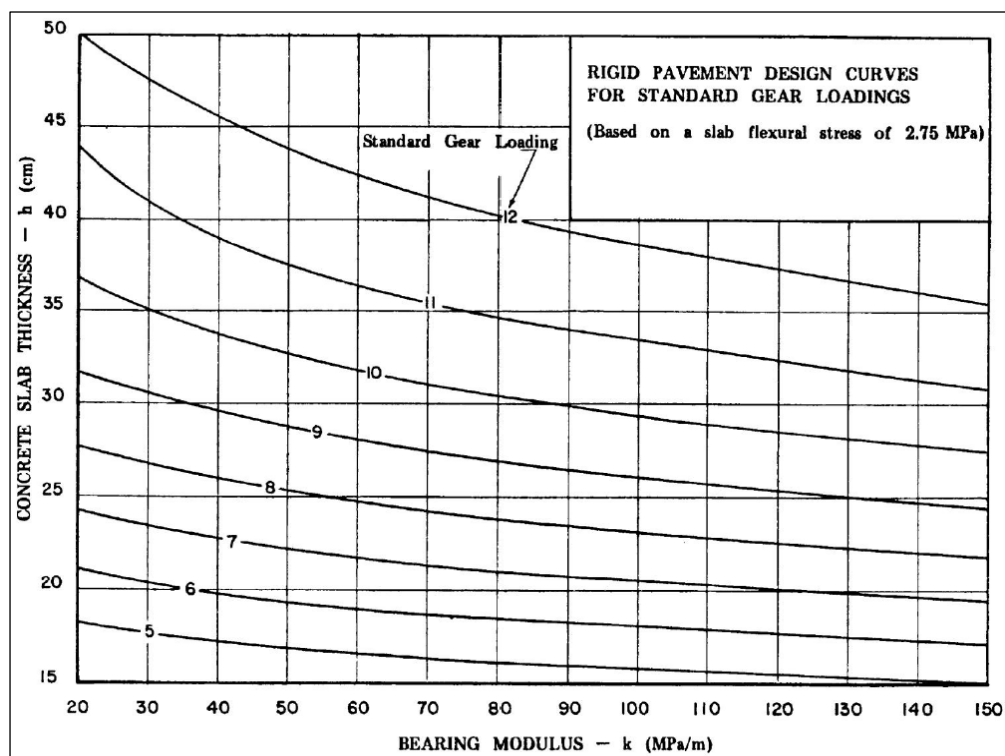


Figura N° 20. Nomograma para determinar el espesor de la losa de concreto hidráulico.

Fuente: Figure 4.2, Pavement Structural Design Training Manual, 1995, p.59.

- Luego, teniendo el espesor de losa de concreto hidráulico calculada, se recalcula el valor de K, con un nuevo espesor granular equivalente y se vuelve a emplear el nomograma de la figura N° 20. Este proceso se repite tantas veces que sea necesario, hasta que el espesor de la losa de concreto hidráulico ya no tenga variación significativa o el valor converja a cierto número.
- Finalmente, la estructura total de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos, comprenderá del espesor de la losa de concreto calculada, del espesor de la base y del espesor de la subbase, si lo hubiera.
- Este procedimiento es igual para pista, calles de rodaje y plataforma de estacionamiento de aeronaves.

La metodología Canadiense, establece que el paquete estructural que tenga mayor espesor, es el seleccionado como diseño del nuevo pavimento.

Se debe tener en cuenta que, el método recomienda un espesor mínimo de base o subbase es 15 cm y un espesor de losa mínimo de 23 cm. Luego de diseñado el pavimento, en Canadá no se acostumbra medir la resistencia de los pavimentos, puesto que el método asegura la vida útil más allá de los 20 años.

5.3. Metodología de diseño de pavimentos de la FAA (Estadounidense)

Esta metodología de diseño ha sido desarrollada por la Federal Aviation Administration-FAA (Administración Federal de Aviación) de los EE.UU., el cual, para el diseño de pavimentos rígidos, se basa en la teoría elástica de capas y la teoría de elementos finitos tridimensional (3D).

La metodología considera que, en el diseño y el análisis de los pavimentos aeroportuarios, se debe tener especial cuidado con cuatro (04) componentes muy importantes, los cuales son:

- La subrasante (suelo natural).
- Los materiales (para capa superficial, base y subbase).
- Características de cargas aplicadas por las aeronaves (peso, presión de neumáticos, ubicación y frecuencia), y,
- El Clima (Temperatura, viento, humedad).

Teniendo en cuenta dichos factores, el diseño de los pavimentos aeroportuarios de concreto hidráulico o también llamado pavimento rígido, se hacen para resistir una vida útil de veinte (20) años o más.

Así como se ha expuesto en el acápite de “Conceptos ligados a pavimentos” del Capítulo II de la presente investigación, la FAA también considera que un pavimento de concreto hidráulico, debe estar conformado por una capa de rodadura a la que se le denomina losa de concreto, una capa de base y una capa de subbase (solo cuando sea necesario); sin embargo, el método se centra en diseñar la losa de concreto hidráulico, porque considera que es la capa que, se encarga, predominantemente, de resistir los esfuerzos o cargas de las aeronaves y en menor medida de transferir las cargas a las capas inferiores.

Asimismo, considera que las capas que conforman el pavimento rígido deben estar constituidas por materiales de calidad, que cumplan con las especificaciones técnicas previstas, entre otros; en tal razón, brinda una serie de materiales a ser usados como capas en el pavimento.

En la Tabla N° 26, se describen las capas que podrían conformar un pavimento de concreto hidráulico, así como los materiales o la mezcla de materiales que conformarían cada una de las capas. La elección de los materiales dependerá de factores particulares, tales como, el tipo de superficie, tipo de suelo en el terreno de fundación, la disponibilidad de los materiales en la zona, entre otros.

Tabla N° 26. Tipos de capas que conforman un pavimento de concreto hidráulico, codificación y materiales que los conforman según la Metodología de la FAA.

Capa de pavimento	Código de la Capa	Descripción de la capa
Capa de superficie	P-501	Capa de concreto hidráulico-PCC, formado por la mezcla de agregado grueso, agregado fino, cemento y/o aditivos. La resistencia a la compresión a los 28 días debe ser como mínimo de 310 kg/cm ² .
	P-401	Capa asfáltica en caliente, formado por la mezcla de agregado grueso, fino y cemento asfáltico. Se emplea en pavimentos flexibles donde operan aeronaves con peso bruto mayor a 13,600 kg.
	P-403	Capa de mezcla asfáltica en caliente o frío, usada en pavimentos flexibles donde operan aeronaves con peso bruto menor a 13,600 kg.
	P-404	Capa de mezcla asfáltica similar a la P-401, con la diferencia que ésta es resistente al derrame de combustible.
	P-401/P-403	Agregados similares a la capa P-401 de superficie; sin embargo, la proporción varía. Se emplea debajo de la capa P-501.

Capa de base estabilizada	P-304	Capa formada por la mezcla de agregado (grueso y fino) tratado con cemento portland (CTB), cuya resistencia a la flexión a los 7 días debe ser entre 21 kg/cm ² y 42 kg/cm ² .
	P-306	Capa formada por la mezcla de concreto magro (concreto pobre de baja resistencia a la flexión), la cual es susceptible a agrietamientos reflectantes.
	P-307	Es una capa permeable, formada por agregados (grueso y fino) tratada con cemento portland (CTB), cuyo coeficiente de permeabilidad está entre 40 y 150 m/día y la resistencia a flexión a los 7 días entre 28 y 56 kg/cm ² .
Capa de base	P-207	Capa formada por agregados de pavimentos asfálticos reciclados (FDR), la cual puede usarse debajo de bases estabilizadas o cuando las cargas que soportará el pavimento son menores a 27,215 kg.
	P-208	Capa formada por agregado triturado, usada cuando las cargas que soportará el pavimento son menores de 27,215 kg.
	P-209	Capa formada por agregado chancado de mayor calidad que la capa P-208 y su uso se recomienda directamente debajo de superficies de rodadura rígidas y flexibles.
	P-210	Capa formada por piedra caliche, usada debajo de bases estabilizadas o cuando las cargas que soportará el pavimento son menores de 27,215 kg.
	P-211	Capa formada por piedra caliza y puede ser usado directamente debajo de superficies de rodadura flexibles y rígidas.
	P-212	Capa formada a base de conchas de ostras o almejas, usado para pavimentos de bajo volumen de tráfico.
	P-217	Capa formada por la mezcla de arcilla, piedra o arena y aglomerante, y es ideal para calles de rodaje y márgenes de pista.
	P-219	Capa formada por agregados de concreto reciclado. Si los agregados son de calidad, puede ser equivalente a un P-209.
	P-220	Capa formada por la mezcla de suelo (de la zona) tratado con cemento portland in situ. Esta capa tiene un espesor mínimo de 0.30 m.
Capa de subbase	P-213	Capa formada por la mezcla de arena y arcilla que se puede usar debajo de una capa estabilizada.
	P-154	Capa de subbase, que se puede usar directamente debajo de losas de concreto. Está conformada por materiales granulares y su CBR mínimo debe ser de 20%.
Subrasante o terreno de fundación	P-152	Consiste en la excavación, o conformación del terraplén de la subrasante en un espesor mínimo de 0.10 m. La compactación debe ser del 100 % de la máxima densidad para suelos cohesivos y 95% de la máxima densidad para suelos no cohesivos. El CBR mínimo debe ser 3%.
	P-155	Estrato conformado por la mezcla de arcilla con cal, que permitan aumentar la resistencia y estabilidad del terreno de fundación.
	P-156	Estrato conformado por la mezcla de suelos granulares con cemento portland, que permitan aumentar la resistencia y reducir la permeabilidad del terreno de fundación.

	P-157	Estrato conformado por la mezcla de suelos granulares con polvo de horno para aumentar resistencia y reducir la contracción-hinchamiento del suelo.
	P-158	Estrato conformado por la mezcla de suelos finos con ceniza volante.

Fuente: Elaboración propia en base a la AC 150/5370-10 H, 2018.

Importante indicar que las capas P-207, P-209, P-211, P-220, por la calidad de los materiales que la conforman, si en la etapa constructiva llegan a tener CBR igual a 100, entonces pueden ser usadas como base estabilizada.

Asimismo, las capas de base usadas debajo de una base estabilizada, deben tener un CBR como mínimo de 35% en la etapa constructiva.

Ahora bien, la metodología de diseño de la FAA, establece unos espesores mínimos para cada capa del pavimento (Ver Tabla N° 27), y ello dependerá del peso de las aeronaves que operan en el aeropuerto, de tal manera que permitan garantizar condiciones adecuadas dentro de la vida útil del pavimento.

Tabla N° 27. Espesores mínimos de las capas de un pavimento rígido según el método de la FAA.

Tipo de Capa	Código de capas a usar	Peso bruto máximo de aeronaves operando en el aeropuerto (kg)		
		< 27,215	< 45,360	≥ 45,360
Capa de superficie	P-501	0.150 m	0.150 m	0.150 m
Capa de base estabilizada	P-401 o P-403, P-304, P-306, P307	No requiere	No requiere	0.125 m
Capa de base	P-207, P-208, P-209, P-210, P-211, P-212, P-217, P-219, P-220	No requiere	0.150 m	0.150 m
Capa de Subbase	P-154, P-213	0.10 m	Solo cuando sea necesario por heladas	Solo cuando sea necesario por heladas

Fuente: Table 3-4, AC 150/5320-6G, 2021, p.3-21.

5.3.1. Descripción de los parámetros de diseño según el método.

a) Subrasante o terreno de Fundación expresado en Módulo Elástico (E)

Para la metodología de la FAA, la resistencia de la subrasante, se calcula como el promedio de las pruebas realizadas en un laboratorio menos una desviación estándar. Si el coeficiente de variación es mayor a 20 %, se eliminan algunos

valores de las pruebas que se puedan considerar como atípicas. Asimismo, cuando la resistencia de la subrasante sea muy baja, se puede analizar el mejoramiento de la misma puesto que podría resultar una solución más económica que un dimensionamiento de capas más esbeltas de subbase y/o base.

En la metodología de la FAA, AC 150/5320-6G, 2021, para diseñar los pavimentos, se hace necesario caracterizar el material de la subrasante mediante el E, el mismo que para pavimentos rígidos, se determina a partir del Módulo de Reacción de la Subrasante (valor K), utilizando la Ecuación 3:

$$E = 20.15xK^{1.284} \quad (3)$$

Donde:

E = Módulo Elástico en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante en pci (libras por pulgada cúbica).

Si se requiriese el valor de E en MPa, al resultado se debe multiplicar por el factor de 0.00689476.

Cuando no se cuente con valores de K obtenidos a partir de ensayos de plato de carga, el E se determina a partir de valores de CBR y para ello se emplea la Ecuación 4:

$$K = 28.6926xCBR^{0.7788} \quad (4)$$

Donde:

K resulta en unidades pci.

Sobre los valores de CBR, se debe indicar que, para efectos de diseño, la FAA únicamente admite en materiales de subrasante de muy buena calidad, valores máximos de 33 %, lo que equivale a un módulo elástico (E) de 345 MPa.

b) Número de salidas anuales del mix de aeronaves.

Para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico, la Metodología de la FAA, toma en cuenta las salidas anuales de cada aeronave que opera en un aeropuerto, así como el MTOW de cada aeronave. El MTOW lo asume para cada aeronave, puesto que es mayor al peso máximo de aterrizaje (MLW). Únicamente, cuando

las llegadas constituyen el 85% o más de las operaciones de la pista, se permite el empleo del MLW, lo cual en el Perú no es usual.

Sobre la distribución del MTOW en la aeronave, se señala que el 95% del peso lo asume el tren de aterrizaje principal y el 5% de todo el peso, el tren delantero. Asimismo, el tipo de tren y la configuración de las aeronaves, influyen en la distribución de las cargas en el pavimento. Del mismo modo, si hay un aumento en el peso bruto de la aeronave, también habrá un aumento proporcional en la presión de los neumáticos.

Para proyectar el número de salidas o despegues anuales totales durante el periodo de vida del diseño (20 años), la FAA ha implementado la Ecuación 5; sin embargo, los parámetros que intervienen en dicha ecuación no están bien definidos, tales como el valor de P o el α , por ello y de manera conservadora se ha empleado la Ecuación 6. Se indica que la Ecuación 6 es conservadora puesto que en la proyección de las salidas anuales presenta mayores valores que la proyección que realiza el software de cálculo FAARFIELD.

$$N = (\alpha) + \left(\frac{r \times L}{200^P} \right) \times (N_a) \times L \quad (5)$$

Donde:

N = Número total de salidas en el periodo de vida de diseño.

N_a = Número de salidas anuales en el año base o año 1.

r = Tasa de crecimiento, en porcentaje.

L = Periodo de vida de diseño (típicamente 20 años).

α = No definido para el usuario, es un parámetro propio incorporado en el programa.

P = No definido para el usuario, es un parámetro propio incorporado en el programa.

5.3.2. Procedimiento de diseño estructural

La FAA, para el procedimiento de diseño, y a fin de simplificar los cálculos, ha desarrollado un software de diseño de pavimentos llamado FAARFIELD (FAA Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design), cuya versión vigente es la 2.1.1 del 21 de diciembre del 2023 (software es de uso libre y gratuito) y considera toda la teoría elástica de capas y la teoría de elementos finitos tridimensional (3D).

El Software FAARFIELD ha sido desarrollado utilizando modelos de falla basados en pruebas a gran escala realizadas desde 1940 hasta la actualidad. Para pavimentos de concreto hidráulico, utiliza la tensión horizontal en la parte inferior de la losa o capa de concreto como predictor de la vida estructural del pavimento y verifica los espesores mínimos de la base, subbase y/o subbase, pero su análisis se centra principalmente en la losa de concreto.

Asimismo, se debe tener en cuenta que, en el citado programa, cuando las aeronaves que se incluyen en el análisis tienen un peso de 45,359 kg o más, se incorpora el uso de una base estabilizada. Únicamente cuando menos del 5% del tráfico pesa más de 45,359 kg y todas las cargas son menores a 49,895 kg, se prescinde de la capa de base estabilizada.

Dentro del programa FAARFIELD, existen 02 conceptos muy importantes que se debe tener en cuenta en el diseño de pavimento rígido y son: i) factor de daño acumulado, y ii) relación de pasadas y coberturas.

i) Factor de Daño Acumulado (CDF): Es el resultado de la suma del daño que provoca cada aeronave del mix de aeronaves en todas las operaciones a lo largo del tiempo (20 años), tomando en cuenta la separación entre ruedas, la carga y la ubicación de los trenes en relación al eje del pavimento. No representa el daño que provoca la aeronave de diseño, sino todo el mix aeronaves, y permite identificar cuáles son las aeronaves que provocan el mayor daño en el pavimento.

Dicho factor, se expresa como la relación de las repeticiones de las cargas aplicadas, entre las repeticiones de las cargas permitidas hasta la falla, y lo realiza por secciones transversales de 0.254 m sobre un ancho total de 20.83 m, por lo que el CDF en cada sección se obtiene sumando los efectos de todas las aeronaves bajo la hipótesis de Miner (daño acumulado para la falla por fatiga) y el valor usado para el diseño es el máximo que resulta de las 82 secciones (resulta de dividir 20.83 m entre 0.254 m).

Cuando en el programa, el CDF alcanza el valor de 1 en cualquier de las secciones, se interpreta que el pavimento habrá fallado de acuerdo con la definición de falla utilizada en los procedimientos de diseño y dentro de las limitaciones de los materiales; sin embargo, no quiere decir que el pavimento no seguirá funcionando más allá de la vida útil de diseño.

El programa calcula la relación de pasada a cobertura para cada sección transversal, asumiendo que el 75 % de las pasadas ocurren dentro de un “ancho de desplazamiento” de 1.778 m. Es preciso señalar que, incluso con la misma configuración del tren de aterrizaje principal, las aeronaves tendrán diferentes relaciones de paso a cobertura en cada una de las secciones transversales y pueden mostrar poco efecto en la CDF máxima.

ii) Relación de Pasadas y coberturas (P/C):

Es aquel factor que resulta de la división entre el número de pasadas requeridas para aplicar una cobertura y una unidad de área del pavimento. Este concepto se incorpora al programa FAARFIELD, puesto que, en la práctica, rara vez un avión viaja en una trayectoria perfectamente recta o por la misma trayectoria. El movimiento lateral se conoce como errante de la aeronave y se modela con una distribución normal. A medida que una aeronave se mueve a lo largo de una calle de rodaje o pista, puede tomar varias trayectorias o pases por el pavimento hasta un punto específico del pavimento para recibir la cobertura de una aplicación de carga completa.

Asimismo, una cobertura ocurre cuando una unidad de área del pavimento experimenta la respuesta máxima (esfuerzo para pavimento rígido) inducida por una aeronave determinada.

Por otro lado, dentro del programa FAARFIELD, las capas del pavimento tienen diferentes módulos elásticos y valores de poisson, los cuales están en función del material empleado. (Ver Tabla N° 28). Ello resulta importante, puesto que tiene influencia dentro de la determinación de los espesores de las capas diseñadas.

Tabla N° 28. Valores de E y de poisson de los materiales de las capas de un pavimento

Tipo de Capa	Código de capas	E en capas rígidas (MPa)	E en capas flexibles (MPa)	Valor de Poisson
	P-501	30,000	–	0.15

Capa de superficie	P-401, P-403	—	1380	0.35
Capa de base estabilizada	P-401, P-403	3000		0.35
	P-306	5000		0.20
	Resto	1700-5000	1000-3000	0.35
Capa de base	P-207	170-3500		0.35
	P-208, P-209, P-210, P-211, P-212, P-217, P-219, P-220	Calculado por el programa internamente		0.35
Capa de Subbase	P-154, P-213	Calculado por el programa internamente		0.35
Subrasante	7-350			0.35

Fuente: Elaboración propia en base a la Table 3-2, AC 150/5320-6G, 2021, p.3-19.

Luego de conocer los conceptos y consideraciones que emplea el programa para el diseño de pavimentos, es preciso conocer la interfaz de la citada herramienta de cálculo, y para ello en la Figura N° 21 y también en el Anexo N°03, se presenta la vista de la pantalla principal donde se incluye los datos de entrada que requiere para el análisis y los resultados o salidas del mismo.

The image shows the FAARFIELD software interface. On the left, under 'ENTRADAS' (Inputs), there are two yellow boxes: 'Estructura de Pavimento y valor de Subrasante' (Pavement Structure and Subgrade Value) and 'Mix de Aeronaves' (Aircraft Mix). On the right, under 'SALIDAS' (Outputs), there are four green boxes: 'Diseño de capas de pavimento' (Pavement Layer Design), 'Vida útil' (Service Life), 'Compactación' (Compaction), and 'PCR' (Pavement Condition Rating). The central window displays a 'Design of pavement of the Plot' section with a table of materials and their properties, and a cross-section diagram of the pavement layers.

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m ³)	R (MPa)
P-501 PCC Surface	356	27570.04	4.48	
P-401/P-403 HMA Stabilized	127	2757.00		
P-209 Crushed Aggregate	152	517.11		
Subgrade	103.42	46.8		

Figura N° 21. Interfaz del programa FAARFIELD, así como la indicación de las entradas y las salidas o resultados de acuerdo al análisis realizado.

Fuente: Elaboración propia usando la interfaz del programa.

De la Figura N° 21, se aprecia que el método de diseño, a través del programa FAARFIELD, brinda 4 resultados para un diseño de pavimento, los cuales son: espesores de las capas del pavimento, vida útil, requisitos de compactación y ratio de clasificación del pavimento (PCR). Para la presente investigación, se hará énfasis en los espesores de las capas de pavimentos.

Ahora bien, para llegar a obtener dichos resultados, el método recomienda seguir los siguientes pasos:

- Iniciar el programa y seleccionar un tipo de pavimento.
- Modificar la estructura del pavimento, adicionando, eliminando o cambiando las capas, según la necesidad.
- Ingresar el valor del módulo elástico del terreno de fundación o subrasante.
- Adicionar el mix de tráfico de aeronaves.
- Cambiar el peso y el número de salidas anuales de las aeronaves del mix seleccionado, de ser necesario.
- Ejecutar la opción de diseñar el espesor del pavimento.
- Finalmente, ejecutar las opciones de vida útil / compactación, para obtener la vida útil y los requisitos de compactación de la subrasante para construcción.

5.3.3. Consideraciones para el diseño de la losa de concreto hidráulico.

De acuerdo a la metodología, la capa superficial a base de concreto hidráulico, se diseñará como mínimo para una resistencia a la flexión de entre 4.14 MPa y 5.17 MPa, debido a que dicha resistencia es la más crítica para mezclas de concreto y debido a factores como variaciones de temperatura, cambios en el contenido de humedad, etc., que pueden producir agrietamientos aleatorios sobre las losas de concreto.

Asimismo, durante la fase de diseño y luego verificada en la fase constructiva, las losas de concreto diseñadas deben considerar el empleo de juntas (de dilatación, de Contracción y de Construcción). Las losas de concreto hidráulico de más de 0.225 m de espesor, requieren juntas de contracción longitudinales intermedias adyacentes a un borde libre, así como juntas con pasadores para las últimas tres juntas transversales de un borde libre. (AC 150/5320-6G, 2021, p.3-36).

5.3.4. Consideraciones para el diseño de márgenes de pista

A pesar de que, en la presente investigación, no se diseñará las márgenes de pista, es importante brindar una orientación para el diseño del pavimento de dichos elementos, con el objetivo de evitar el ingreso de partículas y objetos de la franja a los motores de los aviones y reducir costos debido a la reducción del espesor de las capas durante su construcción.

El procedimiento de diseño usando el programa FAARFIELD, es de la siguiente manera:

- Primero se ingresa al programa el mix de aeronaves y se le asigna a cada una de ellas un valor de 1200 salidas anuales, procediendo a calcular.
- Una vez culminado el cálculo de las capas, se busca y se escogen las aeronaves con mayor CDF, luego una vez identificadas, se procede a diseñar el pavimento para las aeronaves escogidas, considerando una sola salida anual para un periodo de vida útil de 15 años.
- Finalmente, el diseño elegido, será el que muestre la mayor sección de pavimento.

5.4. Metodología de diseño de pavimentos de Francia

Francia dentro del continente europeo, es uno de los pocos países que ha desarrollado una metodología de diseño de pavimentos para aeropuertos en comparación de los otros países de dicho continente que han adoptado la metodología de diseño de pavimentos de la FAA; por ello es importante conocer los fundamentos del método y la factibilidad de su aplicación en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

La Metodología de diseño de Francia o método francés diseña los pavimentos rígidos para un periodo de 10 años o 3650 días; sin embargo, brinda la posibilidad de diseñar para 20 años asumiendo que “n” movimientos por día durante 20 años, equivalen a “2n” movimientos por día durante 10 años. (l’Instruction Technique sur les Aérodomes Civils- ITAC, 1999, p.5-4).

En el método de diseño francés, se prioriza el cálculo de la losa de concreto hidráulico y para ello, tiene 02 maneras de dimensionar o 02 tipos de cálculo: el

cálculo general o fijo y el cálculo optimizado. El primero, se emplea cuando no se cuenta con datos precisos de tráfico o cuando se requiere hacer una estimación muy general; en cambio el segundo, se emplea cuando se tienen datos más precisos de tráfico y toma en cuenta todos los tipos de aeronaves que operan sobre el aeropuerto, por lo que es iterativo.

En la presente investigación, se empleará el cálculo optimizado del método francés.

5.4.1. Descripción de los parámetros de diseño según el método francés

a) Tráfico.

Dentro de este parámetro de diseño, el método francés divide el tráfico en 02 componentes, uno en el peso de la aeronave y otro en el número de movimientos acumulados en el tiempo de vida del análisis.

Sobre la carga de las aeronaves, se debe considerar el peso máximo de despegue-MTOW, el cual se distribuye entre el tren de aterrizaje principal que soporta el 95% del peso de la aeronave, y el tren de morro o tren delantero o tren de nariz que soporta el 5% restante del peso; por ende, los trenes de aterrizaje principal causan las tensiones mayores sobre el pavimento.

En los cálculos, se considera la carga en cada pata del tren de aterrizaje principal (ver Figura N° 22), la cual viene hacer el 47.5 % del MTOW del avión si éste tiene 02 patas en el tren de aterrizaje principal.

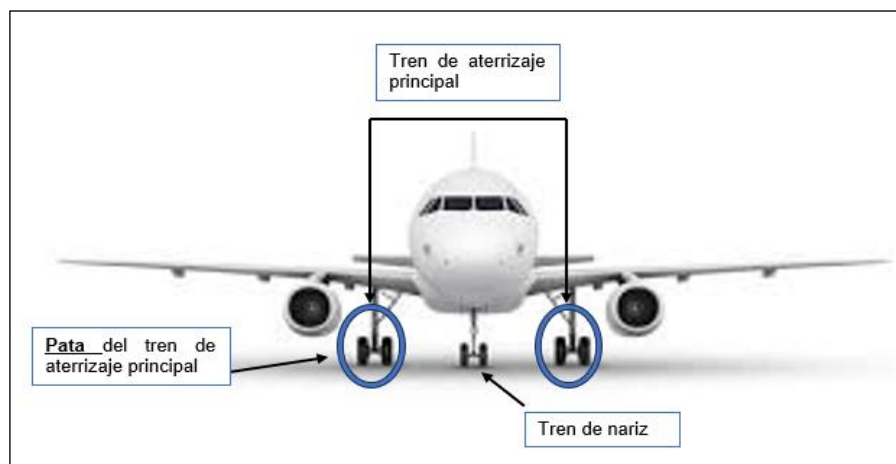


Figura N° 22. Pata del tren de aterrizaje principal de una aeronave.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, dependiendo de la velocidad de las aeronaves, a la carga se le afecta por un factor; por ejemplo, no es lo mismo tener un pavimento para una pista donde una aeronave rueda a alta velocidad que una calle de rodaje o plataforma donde las velocidades son mucho menores; en tal razón, el método de diseño de pavimentos francés pondera las cargas dependiendo del componente del área de movimiento, tal y como se señala en la Tabla N° 29.

Tabla N° 29. Ponderación de la carga para cada elemento del área de movimiento

Componente o elemento del área de movimiento	Ponderación
Pista y calle de salida rápida (solo hasta 600 m antes del extremo de pista) cuando se tienen calles de rodaje paralelas.	0.8 P
Márgenes de pista.	0.7 P
Pista completa cuando no hay calles de rodaje paralelas y si hay calle de rodaje perpendicular.	P
Plataforma de estacionamiento.	1.1 P

Fuente: Elaboración propia en base al Documento 9157 Parte 3, 1983, p. 3-82.

De las observaciones e investigaciones, el método francés ha llegado a determinar que la deformación bajo la carga P, aumenta casi linealmente con el logaritmo del número de aplicaciones.

Sobre los movimientos acumulados, estos comprenden un despegue más un aterrizaje, por lo que para proyectar los movimientos de las aeronaves partiendo de los datos de un año base, el volumen 2 del “dimensionnement des chaussées”, 1983, p.53, indica que se debe emplear la Ecuación 6:

$$N = N_1 x \frac{(1+p)^{10} - 1}{p} \quad (6)$$

Donde:

N = Número total de movimientos reales en el año 10.

N1 = Número de movimientos en el año base o año 1.

p = tasa de crecimiento promedio anual de los movimientos en %.

Es preciso indicar que dicha fórmula proyecta los movimientos acumulados en 10 años; sin embargo, si se requiriese proyectar los movimientos para un tiempo mayor, también es válida la fórmula, solo que en ese caso se cambiará el exponente por el número de años evaluado.

Por otro lado, el tráfico normal asumido en los ábacos o herramientas para el cálculo de pavimentos de concreto hidráulico por el método francés es de 10 movimientos por día en el aeropuerto, luego la carga se irá corrigiendo.

Si el movimiento real de las aeronaves, no son iguales a 10 como asume el método, entonces se hace la corrección a una carga equivalente mediante la Ecuación 7:

$$N' = C_p x N \quad (7)$$

Donde:

N' = Número de movimientos equivalentes.

N = Número de movimientos reales.

C_p = Coeficiente de ponderación.

El C_p, se obtiene a partir de la Ecuación 8:

$$C_p = 10^{5x(R-1)} \quad (8)$$

Donde:

R = relación entre la carga real y la carga admisible en una pata del tren de aterrizaje principal.

Cabe señalar que la carga admisible se calcula a partir de gráficos establecidos para las aeronaves en base a un espesor de losa asumido inicialmente antes de una iteración. Generalmente se inicia la iteración asumiendo un espesor de losa de 30 cm.

b) Terreno de fundación

El método de diseño de pavimentos francés, al terreno de fundación, lo caracteriza a través del módulo de reacción (K₀) en MN/m³; dicho valor se obtiene al 95 % de la MDS del Proctor modificado y el número de ensayos tiene que ser lo suficiente para que arroje resultados parecidos entre ellos.

Cuando no se tenga valores de K₀ extraídos de ensayos de placa de carga, el método indica que se puede correlacionar con el CBR, y para ello se tomará el CBR más bajo obtenido de los ensayos de laboratorio compactado al 95% de densidad óptima del Proctor modificado.

Una vez obtenido el K_0 en MN/m³, y para los cálculos, el método indica que se debe corregir el módulo de reacción de la subrasante en función al espesor equivalente de las capas del pavimento por debajo de la losa de concreto según la Figura N° 23, de donde se obtendrá el K (módulo de reacción de subrasante corregido). La corrección se realiza porque tanto la base como la subbase u otras capas que conforman el pavimento también tiene un aporte estructural para la resistencia del terreno de fundación. Para la corrección, no se considera el espesor de la losa.

Ahora bien, para determinar el espesor equivalente del pavimento, se debe emplear la Ecuación 9:

$$E_q = e_{r1}x C_1 + e_{r2}x C_2 + e_{ri}x C_i \quad (9)$$

Donde:

E_q = Espesor equivalente en cm.

e_{ri} = Espesor real de la capa i en cm.

C_i = Coeficiente de equivalencia de la capa i.

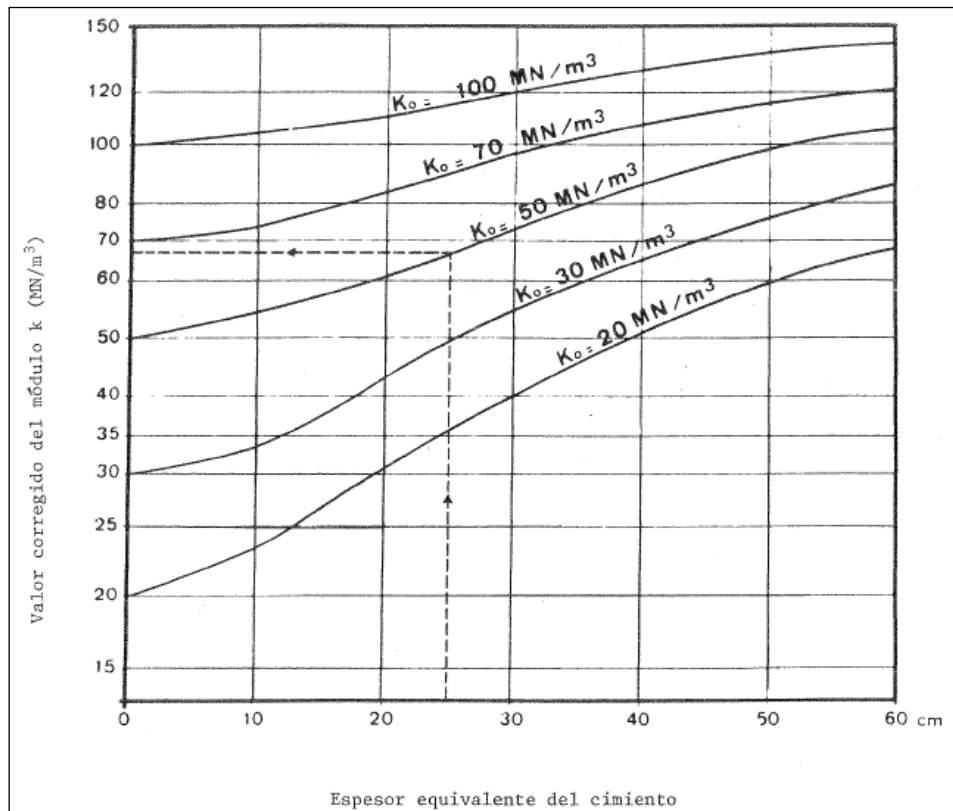
En cuanto a los Coeficientes de equivalencia, éstos toman en cuenta la resistencia de los materiales que conforman las capas, cuyos valores se indican en la Tabla N°30.

Tabla N° 30. Factores de equivalencia de materiales usados en las capas de pavimentos

Materiales	Coeficiente de equivalencia
Mezcla asfáltica densa	2
Mezcla de arena-grava ligada con asfalto	1.5
Emulsión asfáltica arena-grava	1.2
Arena-grava tratada con ligantes hidráulicos (cemento, escoria, ceniza)	1.5
Grava triturada con grano uniforme	1
Arena tratada con ligantes hidráulicos (cemento, escoria)	1
Gravilla	0.75
Arena	0.5

Fuente: Documento 9157 Parte 3, 1983, p. 3-84.

Figura N° 23. Nomograma para el cálculo K corregido en función al K_0 y al espesor equivalente.



Fuente: Figura 4-13, Documento 9157 Parte 3, 1983, p.3-89.

Finalmente, para pavimentos de concreto hidráulico, la metodología recomienda que la base sea granular y con espesor real mínimo de 20 cm, dado que por debajo de dicho valor se requiere análisis especial.

5.4.2. Consideraciones para la losa de concreto hidráulico.

En el método de diseño francés, las losas de concreto hidráulico se diseñan tomando en cuenta la resistencia a la flexión del concreto y dicho valor se obtiene a partir de ensayos de rotura de probetas cilíndricas realizados en laboratorio a los 90 días o también dividiendo la resistencia a la rotura por flexión (RRF) entre un factor de seguridad.

La RRF, se mide en el laboratorio a través de probetas en condiciones saturadas a 90 días calendarios. El método indica que, si se tienen valores de resistencia a los 28 días, se debe multiplicar por 1.1.

En cuanto al factor de seguridad, es un valor que dependerá de la trabazón entre las losas. Para pavimentos con losas sin trabazón, el factor seguridad a considerar es de 2.6 y para pavimentos con losas que están interconectadas con barras o Dowels, el factor de seguridad es de 1.8.

En el método francés, la losas de concreto se diseñan para ser simples, de dimensiones cortas de entre 4.0 m y 7.5 m y como máximo 25 veces su espesor; y con Dowels. El criterio de cálculo, no es la presión máxima a nivel de terreno de fundación, sino el momento admisible de flexión de la losa de concreto.

En los cálculos se considera que el concreto tendrá: $E = 30,000$ MPa y un coeficiente de poisson de 0.15.

Para el mantenimiento, el método francés señala que los refuerzos o rehabilitaciones se deben realizar a partir de 30 años, por lo que el costo del mantenimiento es mínimo (Service Technique des Bases Aériennes-STBA, 2000).

5.4.3. Procedimiento de diseño estructural o de cálculo

El objetivo del diseño de pavimento de concreto hidráulico, según la metodología es calcular el espesor de la losa de concreto, más que calcular el espesor de la base o subbase, para ello establece el siguiente procedimiento:

- Calcular el tráfico o el número de movimientos por cada aeronave en un periodo de 10 años.
- Calcular el peso en cada pata del tren de aterrizaje principal de cada aeronave y ponderar la carga en base al elemento del área de movimiento.
- Calcular el K corregido.
- Luego asumiendo un espesor de la losa de concreto, se calcula la carga admisible por pata de tren de aterrizaje principal de cada aeronave.
- Se calcula la relación de carga dividiendo los pesos reales entre los pesos admisibles por aeronaves.
- Posterior a ello, se calcula el coeficiente de ponderación (C_p).
- Se calcula el número de movimientos equivalentes en base a los movimientos reales y el (C_p).

- Finalmente, si el número de movimientos equivalentes calculado resulta menor a 36,500 entonces el procedimiento de cálculo finaliza y el espesor de la losa resulta el valor asumido inicialmente; de no ser así, se asume otro espesor de losa y el proceso se vuelve iterativo hasta que el número de movimientos equivalentes sea menor a 36,500.

CAPITULO VI: DISEÑO Y ANÁLISIS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA EL AEROPUERTO DE IQUITOS, EMPLEANDO LAS METODOLOGÍAS ESTUDIADAS

En el presente capítulo, se procede a diseñar o calcular los pavimentos del área de movimiento para el Aeropuerto Internacional de Iquitos por las metodologías indicadas en el capítulo V de la presente investigación:

6.1. Diseño de pavimentos en base a la Metodología de Canadá:

Primero se realiza la clasificación estándar de la carga de diseño y para ello, se procede a ordenar los datos de las aeronaves que operan en el Aeropuerto de Iquitos en base a lo especificado en el capítulo V. El objetivo es determinar el peso en cada camión de los trenes de aterrizaje de las distintas aeronaves, así como identificar el tipo de rueda que compone cada camión del tren de aterrizaje.

Partiendo de la Tabla N°14 del capítulo III-Characterización del tráfico aéreo, se convierte los MTOW en Kg de los aviones a KN, tal y como lo señala el método; para ello, se emplea el factor de conversión que un kilogramo fuerza es igual a 9.80665 N y que 1000 N es igual a 1KN.

Luego de ello, se calcula el peso en el tren de aterrizaje principal (TAP) y para ello, se asumirá que los TAP concentran el 95% del MTOW de las aeronaves, cualquiera sea su clave. Posteriormente, se calculará el peso en cada camión que compone el TAP según la configuración de cada aeronave y se identificará que tipo de camión es en base al número de ruedas de cada camión, por ejemplo, puede ser rueda única (01 rueda en cada pata), dual (02 ruedas en cada pata) y dual tándem (04 ruedas en cada pata).

A continuación, en la Tabla N° 31, se muestra el resultado de dicha clasificación.

Tabla N° 31. Cálculo del peso en cada camión del tren de aterrizaje principal de cada aeronave que opera en el Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Tipo Aeronave	de	Grupo de Clave de Aeronave	MTOW (Kg)	MTOW (KN)	MTOW en el TAP (KN)	MTOW en cada camión del TAP (KN)	Ruedas en cada camión del TAP
---------------	----	----------------------------	-----------	-----------	---------------------	----------------------------------	-------------------------------

Cessna C-185A	1A	1,520	14.91	14.16	7.08	Única
Piper PA-32	1A	1,542	15.12	14.37	7.18	Única
Piper PA-32RT-300	1A	1,632	16.00	15.20	7.60	Única
Piper PA-32RT-308	1A	1,632	16.00	15.20	7.60	Única
Cessna C-U206G	1A	1,633	16.01	15.21	7.61	Única
Cessna C-206	1A	1,633	16.01	15.21	7.61	Única
Cessna C-U206F	1A	1,633	16.01	15.21	7.61	Única
Cessna C-T210N	1A	1,814	17.79	16.90	8.45	Única
Cessna C-210	1A	1,814	17.79	16.90	8.45	Única
Piper Seneca PA-34-200T	1A	2,100	20.59	19.56	9.78	Única
Piper PA-34	1A	2,155	21.13	20.08	10.04	Única
Cessna C-402B	1A	2,860	28.05	26.64	13.32	Única
Cessna C-208-B	1B	3,969	38.92	36.98	18.49	Única
Beechcraft B-200	1B	5,670	55.60	52.82	26.41	Dual
Piper CHIII PA-42	2A	5,080	49.82	47.33	23.66	Única
Piper PA-42	2A	5,080	49.82	47.33	23.66	Única
Beechcraft Super King Air 200	2B	5,670	55.60	52.82	26.41	Dual
Beechcraft B1900D	2B	7,668	75.20	71.44	35.72	Dual
BAE 146-100	2C	38,101	373.64	354.96	177.48	Dual
Learjet 60	3A	10,660	104.54	99.31	49.66	Dual
Jetstream J32	3B	7,350	72.08	68.47	34.24	Única
Jetstream JS32	3B	7,360	72.18	68.57	34.28	Única
Fokker F27-MK050	3C	19,773	193.91	184.21	92.11	Dual
Antonov AN-32 ^a	3C	27,000	264.78	251.54	125.77	Dual
Bombardier DH 8D	3C	28,998	284.37	270.15	135.08	Dual
Bombardier Dash 8-400	3C	29,574	290.02	275.52	137.76	Dual
De Havilland Canada DHC-8-402	3C	30,481	298.92	283.97	141.99	Dual
Fokker F70	3C	41,730	409.23	388.77	194.38	Dual
BAE 146-200	3C	42,184	413.68	393.00	196.50	Dual
BAE 146-300	3C	44,225	433.70	412.01	206.01	Dual
Embraer 190 (E90)	3C	45,000	441.30	419.23	209.62	Dual

Airbus A319-100	3C	75,500	740.40	703.38	351.69	Dual
Airbus A320neo	3C	79,000	774.73	735.99	367.99	Dual
Israel Aircraft Ind Galaxi	4B	16,080	157.69	149.81	74.90	Dual
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	4B	10,660	104.54	99.31	49.66	Dual
Boeing B737-200	4C	52,390	513.77	488.08	244.04	Dual
Boeing B737-500	4C	61,600	604.09	573.89	286.94	Dual
Boeing B737-300	4C	63,200	619.78	588.79	294.40	Dual
Boeing B733	4C	63,200	619.78	588.79	294.40	Dual
Boeing B737-400	4C	68,000	666.85	633.51	316.75	Dual
Boeing B737-476	4C	68,000	0.00	0.00	0.00	Dual
Airbus A320-100	4C	73,700	722.75	686.61	343.31	Dual

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, considerando lo señalado en el capítulo III, en el sentido que en el largo plazo operaría la aeronave Boeing 747-100; a continuación, también se hace el cálculo del MTOW en el camión del TAP y se clasifica su TAP. Ver Tabla N° 32.

Tabla N° 32. Cálculo del peso en cada camión del tren de aterrizaje principal para el avión B747-100

Tipo de Aeronave	Grupo de Clave de Aeronave	MTOW (Kg)	MTOW (KN)	MTOW en el TAP (KN)	MTOW en cada camión del TAP (KN)	Ruedas en cada camión del TAP
Boeing B747-100	4E	333,400 0.00	3,269.54	3,106.06	776.52	Doble tándem

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, teniendo el peso en cada camión del tren de aterrizaje principal en KN para cada aeronave y conociendo la configuración de cada tren de aterrizaje, se procede a clasificar cada avión en base a la Tabla N° 22; en consecuencia, se obtiene el resultado que se muestra en la Tabla N° 33.

Tabla N° 33. Clasificación del mix de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos en base al método canadiense

Tipo de Aeronave	MTOW en cada TAP (KN)	Ruedas en cada camión del TAP	CLASIFICACIÓN DE AERONAVES SEGÚN MÉTODO CANADIENSE
------------------	-----------------------	-------------------------------	--

Cessna C-208-B	18.49	Única	1
Piper CHIII PA-42	23.66	Única	1
Piper PA-42	23.66	Única	1
BAE 146-100	177.48	Dual	7
Jetstream J32	34.24	Única	2
Jetstream JS32 o BAE JS32	34.28	Única	2
Fokker F27-MK050	92.11	Dual	4
Antonov AN-32A	125.77	Dual	6
Bombardier DH 8D	135.08	Dual	6
Bombardier Dash 8-400	137.76	Dual	6
De Havilland Canada DHC-8-402	141.99	Dual	6
Fokker F70	194.38	Dual	7
BAE 146-200	196.50	Dual	8
BAE 146-300	206.01	Dual	8
Embraer 190 (E90)	209.62	Dual	8
Airbus A319-100	351.69	Dual	10
Airbus A320neo	367.99	Dual	10
Boeing B737-200	244.04	Dual	8
Boeing B737-500	286.94	Dual	9
Boeing B737-300	294.40	Dual	9
Boeing B733	294.40	Dual	9
Boeing B737-400	316.75	Dual	9
Boeing B737-476	0.00	Dual	9
Airbus A320-100	343.31	Dual	9
Boeing B747-100	776.52	Doble tándem	10

Fuente: Elaboración propia.

Es preciso indicar que en el mix de aeronaves que operan y que operarán en el Aeropuerto Internacional de Iquitos, hay aviones que tienen un peso muy pequeño en los camiones del tren de aterrizaje principal, a tal punto que en el método canadiense no podrían ser clasificadas puesto que no se encuentran dentro de los rangos especificados; en ese sentido en la Tabla N° 33 no se han colocado dichas aeronaves, pero si se muestra de manera completa en el Anexo N° 02 colocándoles un guión.

Asimismo, se ha encontrado que hay valores de MTOW en cada TAP que no coinciden exactamente con las cargas del método, como, por ejemplo: el avión BAE 146-200 que tiene un peso igual a 196.50 KN y tren de aterrizaje dual, mientras que en la Tabla N° 22 no hay dicho valor, sino que estaría entre 170 KN y 220 KN para trenes de aterrizaje duales con clasificación entre 7 y 8; ante dichos casos, se ha interpolado, y se ha clasificado al entero superior más próximo. En

el ejemplo, para el avión BAE 146-200, con la interpolación, el resultado es de 7.53, por lo que se clasifica como 8.

De la tabla, se puede señalar que, para el aeropuerto de Iquitos, el mix de aeronaves identificadas se clasifica como 10.

Ahora bien, en la Tabla N° 20 del Capítulo IV, correspondiente a la caracterización del suelo de fundación y los materiales, se presentó el resumen de los valores de la resistencia del terreno de fundación del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos expresado en CBR; en tal razón, a partir de dichos valores se procederá a obtener el valor de K en MPa/m, de acuerdo al método.

Para ello, se procede a calcular el valor adecuado de medición (S) de los datos de CBR obtenidos de campo, tanto al 95% de la MDS como al 100% de la MDS para una penetración de 2.5 mm, por ser más conservador, usando la Ecuación 1. Los resultados se muestran en la Tabla N° 34.

Tabla N° 34. Valores de S para cada elemento del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos

DESCRIPCIÓN	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
Promedio de mediciones realizadas (r).	4.88	7.04	2.4	3	3.5	5.1
Desviación estándar (d)	3.14	5.21	-	-	-	-
Valor adecuado de la medición (S)	2.76	3.52	2.4	3	3.5	5.1

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Tabla N° 34, la desviación estándar para la pista resulta muy elevado, ello puede deberse al valor atípico encontrado en la Calicata C-05, por ello, para la presente investigación, no se tomará dicho valor en el cálculo del S del presente método. Los nuevos resultados se presentan en la Tabla N° 35.

Tabla N° 35. Nuevos valores de S para cada elemento del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos, luego de retirado los resultados de la Calicata C-05

DESCRIPCIÓN	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS

Promedio de mediciones realizadas (r).	3.50	4.75	2.40	3.00	3.50	5.10
Desviación estándar (d)	0.67	1.13	-	-	-	-
Nuevo valor adecuado de la medición (S)	3.05	3.99	2.40	3.00	3.50	5.10
Factor de reducción	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Valor adecuado de medición reducido (Sd)	1.37	1.79	1.08	1.35	1.58	2.30

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, considerando lo señalado por el método canadiense en el sentido de que al S se le afecta por un factor de reducción en función al tipo de suelo de la subrasante, en la Tabla N° 35 se muestra los resultados luego de afectarlo al S por 0.45. El valor del factor de reducción se obtuvo de la Tabla N° 23, sabiendo que el Aeropuerto Internacional de Iquitos, tiene un terreno de fundación cuyos materiales son arcillas y limos.

Teniendo el nuevo S reducido, se procede a calcular el valor de soporte de la subrasante en KN, para ello, y dado que, en la presente investigación, únicamente se tiene registros de calicatas y valores de CBR, se empleará la equivalencia de la Tabla N° 24, con ello se obtiene los siguientes valores de K en KN:

- Pista de despegue y aterrizaje = 30 KN
- Calles de rodaje B y C = 30 KN
- Plataforma de estacionamiento de aeronaves = 30 KN

Como se puede apreciar, los valores de K para toda el área de movimiento del Aeropuerto de Iquitos, presenta un único valor igual a 30 KN, ello se debe a los valores bajos y cercanos del S reducido.

Ahora bien, para calcular la estructura de los pavimentos y el espesor de la losa de concreto hidráulico, que es igual para todos los elementos, se asume que el pavimento estará compuesto de base y subbase granular debido al bajo valor de soporte del terreno de fundación, cuyos espesores reales serán los mínimos recomendados por el método e iguales a 15 cm.

Teniendo en cuenta ello, se procedió a calcular el espesor de la losa de concreto de manera iterativa asumiendo en primera instancia un espesor de 25 cm.

Con los espesores reales asumidos y tomando en cuenta la Tabla N° 25, se calculó el espesor equivalente de la primera iteración, cuyo resultado se muestra en la Tabla N° 36.

Tabla N° 36. Espesor equivalente de la primera iteración.

Estructura del pavimento	Espesores reales (cm)	factores	Espesor equivalente (cm)
Losa de concreto hidráulico	25	3	75
Base granular	15	1	15
Subbase granular	15	1	15
Total, espesor del pavimento	55		105

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el espesor equivalente y usando la Ecuación 2, se calculó el valor de K, con lo cual se obtuvo 61.55 MPa/m tanto para el 95% y 100% de la MDS de toda el área de movimiento.

Finalmente teniendo los valores de K y de la clasificación del Mix de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos, se hizo uso de la Figura N° 20, por lo que se obtuvo un espesor de losa igual a 31.8 cm, tal y como se muestra en la Figura N° 24.

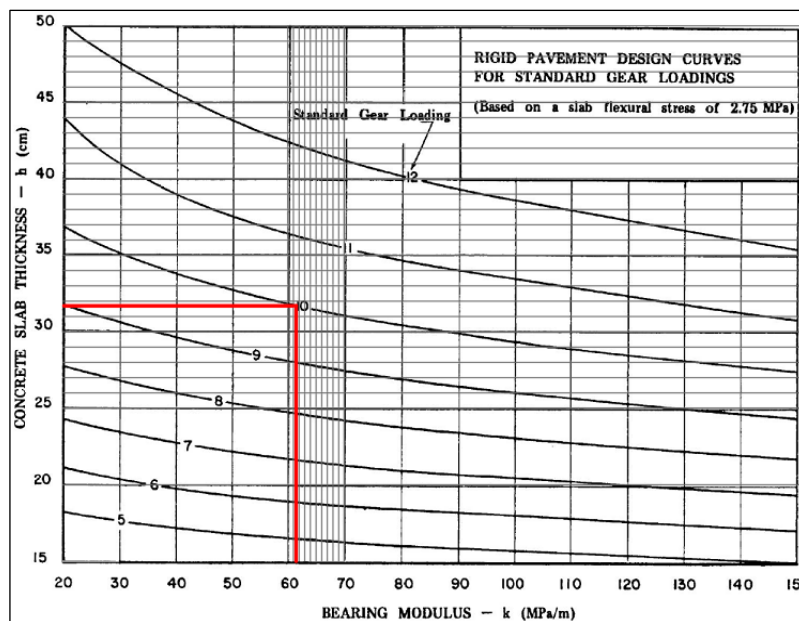


Figura N° 24. Cálculo del espesor de losa de concreto hidráulico para el área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos-primera iteración.

Fuente: Figura 4-13, Documento 9157 Parte 3, 1983, p.3-89.

Ahora bien, como el espesor de la losa calculada en 31.8 cm, difiere del supuesto inicialmente igual a 25 cm, se vuelve a calcular el espesor equivalente con el nuevo valor de la losa de concreto y también se vuelve a calcular el K en MPa,

para nuevamente a través del Figura N° 24, determinar el nuevo espesor de la losa, con lo cual el proceso se vuelve iterativo hasta que el espesor de la losa converja a un valor.

Luego de realizado 05 iteraciones en el presente análisis, se obtuvo que el espesor de la losa de concreto hidráulico resulta ser 30.5 cm.

Por lo tanto, la estructura del pavimento para la pista, calle de rodaje y plataforma, calculada con la Metodología de Diseño Canadiense, resulta la siguiente:

Tabla N° 37. Estructura de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos bajo metodología de diseño canadiense.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Losa de concreto hidráulico (cm)	30.5	30.5	30.5
Base Granular (cm)	15	15	15
Subbase granular (cm)	15	15	15
TOTAL (cm)	60.5	60.5	60.5

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo N° 02, se adjunta los resultados de cada iteración.

6.2. Diseño de pavimentos en base a la Metodología FAA

Con relación a esta metodología, se calculó los factores que influyen en el diseño de pavimentos de acuerdo a lo explicado en el capítulo V, y luego se efectuó el diseño de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos. Cabe señalar que el presente método toma en cuenta las frecuencias o volúmenes de movimiento de las aeronaves en el aeropuerto, expresado en salidas anuales.

Para conocer las salidas anuales en el año base o año 0, se empleó la Tabla N° 14 y partir de allí se proyectó las salidas anuales para el periodo de evaluación, que según el método son 20 años.

Para la proyección de las salidas anuales, se requirió una tasa de crecimiento anual y como no hay un parámetro específico que indique el valor o la forma de cálculo, en la presente investigación, se analizó la variación de las operaciones en el Aeropuerto Internacional de Iquitos año a año desde el 2003 (se consideró este

año porque a partir de allí las operaciones comenzaron a incrementarse), hasta el año 2023, para de ello, sacar una tasa de crecimiento anual. (ver Tabla N° 38).

Tabla N° 38. Porcentaje de crecimiento de las operaciones anuales en el Aeropuerto Internacional de Iquitos desde el año 2003 hasta el año 2023.

Año	Total, de Operaciones anuales	Porcentaje de crecimiento anual
2000	8,407.00	
2001	8,252.00	-2.00%
2002	6,996.00	-15.00%
2003	7,097.00	1.00%
2004	7,262.00	2.00%
2005	7,691.00	6.00%
2006	8,385.00	9.00%
2007	8,162.00	-3.00%
2008	13,149.00	61.00%
2009	11,672.00	-11.00%
2010	13,739.00	18.00%
2011	10,624.00	-23.00%
2012	10,895.00	3.00%
2013	13,284.00	22.00%
2014	13,651.00	3.00%
2015	13,746.00	1.00%
2016	11,030.00	-20.00%
2017	10,213.00	-7.00%
2018	11,686.00	14.00%
2019	12,985.00	11.00%
2020	10,010.00	-23.00%
2021	11,257.00	13.00%
2022	10,852.00	-4.00%
2023	10,977.00	1.00%
Porcentaje de crecimiento promedio anual.		5.00%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla N° 38, el crecimiento promedio anual de las operaciones aéreas en el Aeropuerto de Iquitos estuvo alrededor del 5%; por consiguiente, es el valor que se usará para la proyección de las salidas anuales.

Ahora bien, teniendo las salidas anuales en el año base y la tasa de crecimiento definido, se procedió a estimar las salidas anuales futuras en 20 años y para ello, en la presente investigación se realizó de 02 formas:

- i) Se calcularon las salidas anuales con la Ecuación 6, la cual brinda valores acumulado en 20 años, luego a ese resultado se le dividió entre 20 para obtener las salidas promedio en cada año.
- ii) Se calcularon las salidas anuales con el mismo programa FAARFIELD, colocándole las salidas del año base y el porcentaje de crecimiento previamente definido.

Luego del análisis, se obtuvo como resultado lo mostrado en la Tabla N° 39 y en la Figura N° 25, respectivamente.

Tabla N° 39. Número de salidas anuales en promedio y salidas anuales totales en el periodo de 20 años usando la Ecuación 6.

Tipo de Aeronave	MTOW (Kg)	N° de Salidas anuales (año base)	Porcentaje de crecimiento anual (%)	Salidas anuales en promedio por año	N° de Salidas anuales totales en 20 años
Cessna C-185A	1,520	66	5%	109	2,186
Piper PA-32	1,542	67		111	2,218
Piper PA-32RT-300	1,632	71		117	2,348
Piper PA-32RT-308	1,632	71		117	2,348
Cessna C-U206G	1,633	71		117	2,349
Cessna C-206	1,633	71		117	2,349
Cessna C-U206F	1,633	71		117	2,349
Cessna C-T210N	1,814	79		130	2,609
Cessna C-210	1,814	79		130	2,609
Piper Seneca PA-34-200T	2,100	91		151	3,021
Piper PA-34	2,155	94		155	3,100
Cessna C-402B	2,860	124		206	4,114
Cessna C-208-B	3,969	173		285	5,709
Beechcraft B-200	5,670	247		408	8,156
Piper CHIII PA-42	5,080	57		94	1,873
Piper PA-42	5,080	57		94	1,873
Beechcraft Super King Air 200	5,670	63		105	2,091
Beechcraft B1900D	7,668	86		141	2,828
BAE 146-100	38,101	425		703	14,051
Learjet 60	10,660	37		62	1,239
Jetstream J32	7,350	26	43	854	
Jetstream JS32 o BAE JS32	7,360	26	43	855	
Fokker F27-MK050	19,773	69	115	2,298	

Antonov AN-32A	27,000	95		157	3,138
Bombardier DH 8D	28,998	102		169	3,370
Bombardier Dash 8-400	29,574	104		172	3,437
De Havilland Canada DHC-8-402	30,481	107		177	3,542
Fokker F70	41,730	147		242	4,849
BAE 146-200	42,184	148		245	4,902
BAE 146-300	44,225	155		257	5,139
Embraer 190 (E90)	45,000	158		261	5,229
Airbus A319-100	75,500	265		439	8,774
Airbus A320neo	79,000	278		459	9,181
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	16,080	104		172	3,449
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	10,660	69		114	2,286
Boeing B737-200	52,390	340		562	11,237
Boeing B737-500	61,600	400		661	13,212
Boeing B737-300	63,200	410		678	13,555
Boeing B733	63,200	410		678	13,555
Boeing B737-400	68,000	441		729	14,585
Boeing B737-476	68,000	441		729	14,585
Airbus A320-100	73,700	478		790	15,808
Boeing B747-100	333,400	12		20	397
SALIDAS ANUALES CONSIDERADAS				11,381	227,657

Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse, las salidas anuales totales calculadas con la Ecuación 6, son más conservadores que los cálculos realizados con el programa FAARFIELD 2.1.1; en tal razón, para la presente investigación se decidió emplear la primera forma de cálculo.

Posteriormente, se procedió a calcular el Módulo Elástico (E) del terreno de fundación en MPa. Para ello, se calculó el módulo de reacción de la subrasante K_{pci} según la Ecuación 4, en base a los valores de CBR obtenidos en campo.

De ello, se obtuvo los resultados que se muestran en la Tabla N° 40:

Traffic				
Stored Aircraft Mix		Save Aircraft Mix to		
Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures
S-3	1,520	66	5	1,980
PA-32-300 Cherokee Six	1,542	67	5	2,010
PA-32R-301 Saratoga	1,632	142	5	4,260
Cessna 206 Stationair	1,633	213	5	6,390
Cessna C210 Centurion	1,814	158	5	4,740
PA-34-220T Seneca II/ III/ IV	2,100	91	5	2,730
S-5	2,155	94	5	2,820
Cessna 414/414A Chancellor	2,860	124	5	3,720
Cessna 208B Grand Caravan	3,969	173	5	5,190
Beechcraft King Air B200	5,670	310	5	9,300
S-10	5,080	113	5	3,390
D-15	7,668	86	5	2,580
BAe 146-300/300QC/300QT	38,101	425	5	12,750
D-30	10,660	37	5	1,110
S-15	7,360	52	5	1,560
Fokker F27	19,773	69	5	2,070
D-75	27,000	95	5	2,850
Q400/Dash 8 Series 400	29,574	206	5	6,180
D-100	30,481	107	5	3,210
D-100	41,730	147	5	4,410
D-100	42,184	148	5	4,440
BAe 146-300/300QC/300QT	44,225	155	5	4,650
EMB-190 STD	45,000	158	5	4,740
A319-100 opt	75,500	265	5	7,950
A320neo	79,000	278	5	8,340
D-30	16,080	104	5	3,120
D-25	10,660	69	5	2,070
B737-200	52,390	340	5	10,200
B737-500	61,600	400	5	12,000
B737-300	63,200	820	5	24,600
B737-400	68,000	882	5	26,460
A320-200 std	73,700	478	5	14,340
B747-100B/300B	333,400	12	5	360
B747-100B/300B Belly	333,400	12	5	360

Figura N° 25. Número de salidas anuales totales en el periodo de 20 años usando el programa FAARFIELD

Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1.

Tabla N° 40. Determinación del K en pci en base a valores de CBR

Elementos del área de movimiento del aeropuerto de Iquitos	Muestras	CBR		Módulo K en pci
		95% MDS	100% MDS	
Pista de aterrizaje	C-01	3.40	4.40	74.42
	C-02	4.10	5.60	86.1
	C-03	2.60	3.30	60.39

	C-04	3.90	5.70	82.81
	C-05	10.40	16.20	177.76
Calle de rodaje	C-06	2.40	3.00	56.74
Plataforma de estacionamiento de aeronaves	C-07	3.50	5.10	76.12

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, con los valores de K y de acuerdo al método, se procedió a calcular la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV), a fin de verificar y corroborar la cohesión de los datos. El método indica que si el CV es mayor a 20% entonces hay mucha dispersión de datos por lo que se tiene que descartar aquellos datos atípicos hasta que el CV logre dicho parámetro.

A continuación, en la Tabla N° 41, se muestra los resultados del promedio de mediciones, desviación estándar y CV de cada elemento del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Tabla N° 41. Coeficiente de variación elevado del valor K en pista de aterrizaje.

Descripción	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
	K (pci)	K (pci)	K (pci)
Promedio de mediciones (X)	96.30	56.74	76.12
Desviación estándar (σ)	46.61	-	-
Coeficiente de variación (CV) = $(\sigma/X) * 100\%$	48%	-	-

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Tabla N° 41, el CV de los datos de la pista es 48%, lo cual indica una gran dispersión de los datos; en tal razón, se procedió a calcular nuevamente el CV sin tomar en cuenta el valor de la Calicata C-05; con ello se obtuvo un valor de 15%, lo cual indica que los datos considerados son más uniformes.

Habiendo calculado el X, σ y el CV, se procedió a calcular el E en MPa según la Ecuación 3, con lo cual se obtuvo los resultados que se presentan en la Tabla N° 42 para cada elemento del área de movimiento del mencionado aeropuerto.

Tabla N° 42. Valores de E en MPa para cada elemento del área de movimiento, calculado en base a la Ecuación 3, sin considerar Calicata C-05.

Descripción	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Promedio valores de K en pci	75.93	56.74	76.12

σ	11.47	-	-
Nuevo CV en %	15%	-	-
Valor de K de diseño en pci	64.46	56.74	76.12
E en psi	4258.26	3614.29	5272.31
E en MPa	29.36	24.92	36.35

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, luego de tener los resultados de los 02 principales factores que establece el método de diseño de la FAA, se procedió a calcular la estructura de los pavimentos de la pista, calle de rodaje y plataforma haciendo uso del software FAARFIELD 2.1.1. Cabe indicar que el programa calcula el espesor de la capa de la superficie de rodadura, mientras que la base y sub base lo asigna el diseñador.

Para la presente investigación, por debajo de la losa de concreto, se ha considerado 02 capas: 01 capa de base estabilizada con cemento y 01 capa de base granular, de acuerdo lo especificado en el numeral 5.3 del capítulo V de la presente tesis.

A continuación, se muestra la secuencia o el procedimiento realizado en el diseño de los pavimentos:

- i) Al abrir el programa, se modificaron las unidades al Sistema Internacional, dado que por defecto aparece en unidades inglesas; luego se procedió a cargar el mix de aeronaves del Aeropuerto de Iquitos con sus MTOW y sus salidas anuales en 20 años. Cabe indicar que en el programa existe una librería de aeronaves, pero no todos los modelos y tipos de avión del mundo están en la librería; por ello, el programa tiene aeronaves tipo, en función a la configuración de los trenes de aterrizaje y al peso; por ejemplo, la aeronave Cessna C-185A no se encuentra en la librería del programa; sin embargo, al tener un tren de aterrizaje simple y un peso de 1532 Kg, se buscó un modelo tipo del programa y se encontró que se asemeja con la S-3; por lo tanto se usó dicho avión.

Al igual que dicho avión, se identificaron otras aeronaves del mix que no estaban en la librería de FAARFIELD por ello se usaron los aviones tipo. El mix de aeronaves cargado al programa se muestra en la Figura N° 26.

Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)
S-3	1,520	109	0	2,180	0	0	0	385.08
PA-32-300 Cherokee Six	1,542	111	0	2,220	0	0	0	344.74
PA-32R-301 Saratoga	1,632	235	0	4,700	0	0	0	260.69
Cessna 206 Stationair	1,633	352	0	7,040	0	0	0	357.35
Cessna C210 Centurion	1,814	260	0	5,200	0	0	0	336.26
PA-34-220T Seneca II/ III/ IV	2,100	151	0	3,020	0	0	0	384.17
S-5	2,155	155	0	3,100	0	0	0	327.57
Cessna 414/414A Chancellor	2,860	206	0	4,120	0	0	0	434.73
Cessna 208B Grand Caravan	3,969	285	0	5,700	0	0	0	517.11
Beechcraft King Air B200	5,670	513	0	10,260	0	0	0	670.87
S-10	5,080	187	0	3,740	0	0	0	386.09
D-15	7,668	141	0	2,820	0	0	0	427.37
BAe 146-300/300QC/300QT	38,101	703	0	14,060	0	0	0	853.48
D-30	10,660	62	0	1,240	0	0	0	459.10
S-15	7,360	86	0	1,720	0	0	0	372.92
Fokker F27	19,773	115	0	2,300	0	0	0	1061.58
D-75	27,000	157	0	3,140	0	0	0	601.93
Q400/Dash 8 Series 400	29,574	341	0	6,820	0	0	0	1577.20
D-100	30,481	177	0	3,540	0	0	0	648.65
D-100	41,730	242	0	4,840	0	0	0	888.04
D-100	42,184	245	0	4,900	0	0	0	897.70
BAe 146-300/300QC/300QT	44,225	257	0	5,140	0	0	0	990.66
EMB-190 STD	45,000	261	0	5,220	0	0	0	951.17
A319-100 opt	75,500	439	0	8,780	0	0	0	1377.49

Figura N° 26. Número de salidas anuales totales en el periodo de 20 años usando el programa FAARFIELD

Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1.

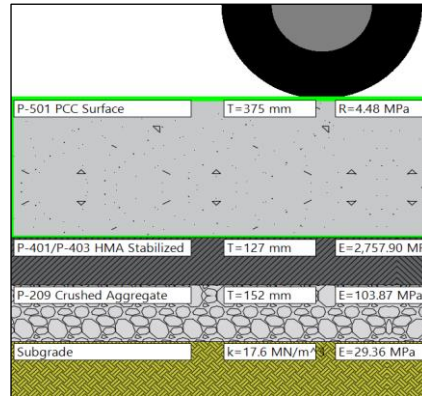
- ii) Luego se procedió a seleccionar el tipo de pavimento a diseñar que para el presente caso fue “New Rigid” o “Nuevo pavimento rígido” y asignó las capas que serán del pavimento.

Con ello, el programa queda listo para calcular la losa de concreto de cada elemento, de acuerdo a su módulo E.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para cada elemento del área de movimiento:

- a) Para la pista de despegue y aterrizaje.

Se ingresó su módulo E, el cual es igual a 29.36 MPa y luego se procedió a calcular. El programa tardó alrededor de 6568 segundos o 1.8 horas, determinando un espesor de losa igual a 37.5 cm, según se muestra en la Figura N° 27.



Design Life (Years):

The standard design life for pavement structure is 20 years (1 to 50 allowed).

Slab Stress

Slab Edge Stress (MPa) Slab Interior Stress (MPa)

Most Demanding Aircraft: A320neo

Results

Calculated Life (Years): Total thickness to the top of the subgrade (mm):

Figura N° 27. Espesor de losa de concreto calculado para la pista de despegue y aterrizaje del Aeropuerto de Iquitos.
Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1.

Asimismo, se obtuvo un CDF igual a 1 y la aeronave crítica o la que ocasionaría más daño al pavimento en los 20 años es el A320neo y ello se muestra en la Figura N° 28.

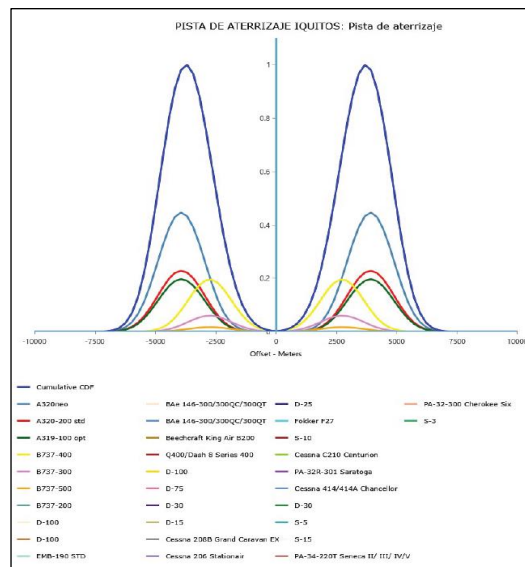


Figura N° 28. CDF para la pista de despegue y aterrizaje del Aeropuerto Internacional de Iquitos.
Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1.

b) Para las calles de rodaje B y C.

Se ingresó su módulo E, el cual es igual a 24.92 MPa y luego se procedió a calcular. El programa tardó alrededor de 6015 segundos o 1.7 horas, determinando un espesor de losa igual a 37.9 cm, según se muestra en la Figura N° 29.

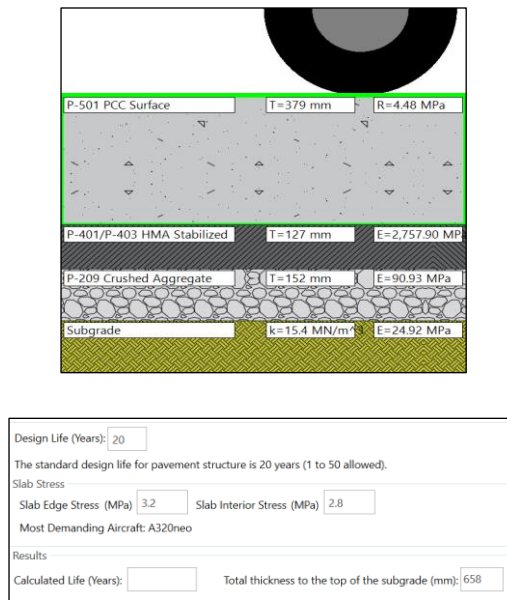


Figura N° 29. Espesor de losa de concreto calculado para las Calles de Rodaje B y C del Aeropuerto de Iquitos.

Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1

Asimismo, se obtuvo un CDF igual a 1 y la aeronave crítica o la que ocasionaría mayor daño al pavimento en los 20 años es el A320neo y ello se muestra en la Imagen N° 30.

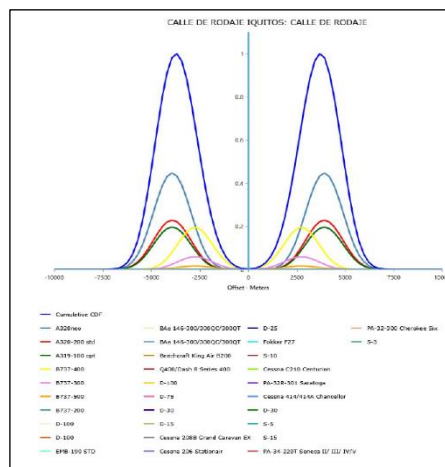


Figura N° 30. CDF para las Calles de Rodaje B y C del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1.

c) Para la plataforma de estacionamiento de aeronaves

Se ingresó su módulo E, el cual es igual a 36.35 MPa y luego se procedió a calcular. El programa tardó alrededor de 5588 segundos o 1.5 horas, determinando un espesor de losa igual a 37.2 cm, según se muestra en la Figura N° 31.

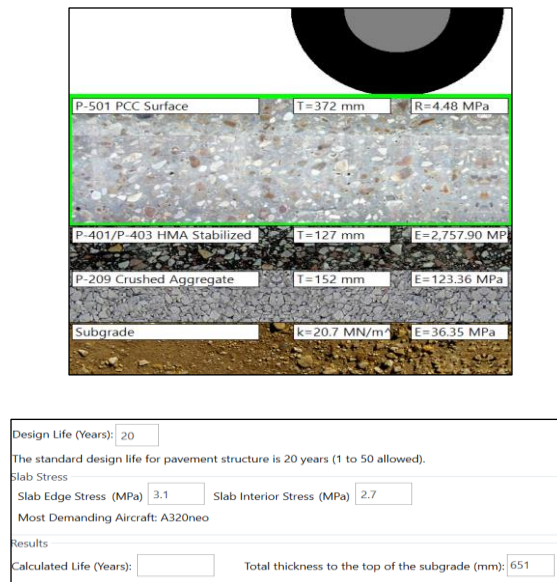


Figura N° 31. Espesor de losa de concreto calculado para la Plataforma de Estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto de Iquitos.

Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1

Asimismo, se obtuvo un CDF igual a 1 y la aeronave crítica o la que ocasionaría mayor daño al pavimento en los 20 años es el A320neo y ello se muestra en la Imagen N° 32.

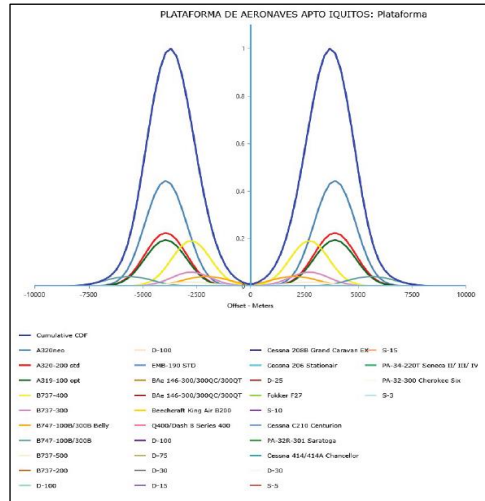


Figura N° 32. CDF para la Plataforma de estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Fuente: Interfaz del programa FAARFIELD v.2.1.1.

Por lo tanto, la estructura del pavimento para la pista, calles de rodaje y plataforma, calculada con la Metodología de Diseño FAA, resulta la siguiente:

Tabla N° 43. Estructura de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos bajo la metodología de diseño FAA.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Losa de concreto hidráulico (cm)-P501	37.5	37.9	37.2
Base estabilizada (cm)	12.70	12.70	12.7
Base Granular (cm)-P209	15.20	15.20	15.20
TOTAL (cm)	65.4	65.8	65.1

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo N° 03, se adjunta el procedimiento y los resultados del cálculo para cada elemento del área de movimiento.

Finalmente, es preciso tener en cuenta que, a pesar de que en el mix de aeronaves, el avión B747-100 es el más pesado con relación a los aviones, resulta que su baja frecuencia en el Aeropuerto Internacional de Iquitos, no genera que la estructura del pavimento se modifique y que la aeronave A320neo sea la que genera mayor impacto en el pavimento.

Ahora bien, si la frecuencia de la aeronave B747 se incrementara, por ejemplo, a una salida diaria semanal, ya la estructura se modificaría y este avión se convertiría en la nueva aeronave crítica.

6.3. Diseño de pavimentos en base a la Metodología de Francia

En esta metodología y al igual que en el procedimiento de cálculo de las metodologías anteriores, el objetivo principalmente es calcular y determinar el espesor de la losa de concreto de la superficie de rodadura, y para ello se hizo uso del tráfico del Aeropuerto Internacional de Iquitos, las cargas de las aeronaves y la resistencia del terreno de fundación.

Con respecto al tráfico, el método considera el número de movimientos u operaciones anuales, lo cual, para el Aeropuerto de Iquitos, por su configuración geométrica y sus instalaciones, viene hacer dos veces el número de salidas anuales; ello en razón de que un movimiento o una operación equivale a una salida más una llegada, asumiendo que el avión que aterriza es el mismo que despegó del aeropuerto, para ello se usó la información de las Tablas N° 14 y N° 15 de la presente investigación.

El método considera que el pavimento se diseña principalmente para 10 años; sin embargo, indica que los n movimientos para 20 años equivalen a $2n$ movimientos para 10 años; en tal razón, el número de movimientos anuales en el año base del Aeropuerto de Iquitos contemplados en las Tablas N°14 y N°15, se multiplicó por 2, y partir de allí se proyectó los movimientos totales en 10 años aplicando la Ecuación 6 y con eso se obtiene los n movimientos en 20 años.

Ahora bien, en la Ecuación 6 se requiere una tasa de crecimiento anual y como en el método no hay una especificación para determinar dicho parámetro ni una fórmula de cálculo; entonces se empleó el porcentaje de crecimiento anual del 5% que se calculó previamente y se mostró en el resultado de la Tabla N° 39.

Con ello, se obtuvo los movimientos anuales totales para cada aeronave, según se muestran a continuación:

Tabla N° 44. Movimientos totales por aeronave calculados según el Método Francés

Tipo de Aeronave	N° de Salidas anuales en el año base	N° de movimientos en el año base	N° de movimientos en el año base duplicado	N° de movimientos totales en 10 años
Cessna C-185A	66	132	264	3,321
Piper PA-32	67	134	268	3,371
Piper PA-32RT-300	71	142	284	3,572
Piper PA-32RT-308	71	142	284	3,572
Cessna C-U206G	71	142	284	3,572
Cessna C-206	71	142	284	3,572
Cessna C-U206F	71	142	284	3,572
Cessna C-T210N	79	158	316	3,975
Cessna C-210	79	158	316	3,975
Piper Seneca PA-34-200T	91	182	364	4,578
Piper PA-34	94	188	376	4,729
Cessna C-402B	124	248	496	6,239
Cessna C-208-B	173	346	692	8,704
Beechcraft B-200	247	494	988	12,427
Piper CHIII PA-42	57	114	228	2,868
Piper PA-42	57	114	228	2,868
Beechcraft Super King Air 200	63	126	252	3,170
Beechcraft B1900D	86	172	344	4,327
BAE 146-100	425	850	1,700	21,382
Learjet 60	37	74	148	1,862
Jetstream J32	26	52	104	1,308
Jetstream JS32 o BAE JS32	26	52	104	1,308
Fokker F27-MK050	69	138	276	3,471
Antonov AN-32A	95	190	380	4,780
Bombardier DH 8D	102	204	408	5,132
Bombardier Dash 8-400	104	208	416	5,232
De Havilland Canada DHC-8-402	107	214	428	5,383
Fokker F70	147	294	588	7,396
BAE 146-200	148	296	592	7,446
BAE 146-300	155	310	620	7,798
Embraer 190 (E90)	158	316	632	7,949
Airbus A319-100	265	530	1,060	13,333
Airbus A320neo	278	556	1,112	13,987
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	104	208	416	5,232

Israel Aircraft Ind 1125 Astra	69	138	276	3,471
Boeing B737-200	340	680	1,360	17,106
Boeing B737-500	400	800	1,600	20,125
Boeing B737-300	410	820	1,640	20,628
Boeing B733	410	820	1,640	20,628
Boeing B737-400	441	882	1,764	22,187
Boeing B737-476	441	882	1,764	22,187
Airbus A320-100	478	956	1,912	24,049
Boeing B747-100	12	24	48	604
r (%) = 5%				
Total	6,885	13,770	27,540	346,396

Fuente: Elaboración propia

Luego, de acuerdo al método, se procedió a calcular las cargas en cada pata del tren de aterrizaje principal (TAP) de cada aeronave que opera en el Aeropuerto Internacional de Iquitos, considerando que el tren de aterrizaje principal soporta el 95% del MTOW y que cada pata del TAP soporta el 47.5% del MTOW, con ello se obtuvo lo siguiente:

Tabla N° 45. Peso en una pata del TAP de cada avión del mix de aeronaves del Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Tipo de Aeronave	Ruedas en cada pata del tren	MTOW (Kg)	Peso en el TAP (kg)	Peso en una pata del TAP (kg) (P)
Cessna C-185A	Única	1,520	1,444	722
Piper PA-32	Única	1,542	1,465	733
Piper PA-32RT-300	Única	1,632	1,550	775
Piper PA-32RT-308	Única	1,632	1,550	775
Cessna C-U206G	Única	1,633	1,551	776
Cessna C-206	Única	1,633	1,551	776
Cessna C-U206F	Única	1,633	1,551	776
Cessna C-T210N	Única	1,814	1,723	862
Cessna C-210	Única	1,814	1,723	862
Piper Seneca PA-34-200T	Única	2,100	1,995	998
Piper PA-34	Única	2,155	2,047	1,024
Cessna C-402B	Única	2,860	2,717	1,359
Cessna C-208-B	Única	3,969	3,771	1,886
Beechcraft B-200	Dual	5,670	5,387	2,694
Piper CHIII PA-42	Única	5,080	4,826	2,413
Piper PA-42	Única	5,080	4,826	2,413
Beechcraft Super King Air 200	Dual	5,670	5,387	2,694
Beechcraft B1900D	Dual	7,668	7,285	3,643

BAE 146-100	Dual	38,101	36,196	18,098
Learjet 60	Dual	10,660	10,127	5,064
Jetstream J32	Única	7,350	6,983	3,492
Jetstream JS32 o BAE JS32	Única	7,360	6,992	3,496
Fokker F27-MK050	Dual	19,773	18,784	9,392
Antonov AN-32A	Dual	27,000	25,650	12,825
Bombardier DH 8D	Dual	28,998	27,548	13,774
Bombardier Dash 8- 400	Dual	29,574	28,095	14,048
De Havilland Canada DHC-8-402	Dual	30,481	28,957	14,479
Fokker F70	Dual	41,730	39,644	19,822
BAE 146-200	Dual	42,184	40,075	20,038
BAE 146-300	Dual	44,225	42,014	21,007
Embraer 190 (E90)	Dual	45,000	42,750	21,375
Airbus A319-100	Dual	75,500	71,725	35,863
Airbus A320neo	Dual	79,000	75,050	37,525
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	Dual	16,080	15,276	7,638
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	Dual	10,660	10,127	5,064
Boeing B737-200	Dual	52,390	49,771	24,886
Boeing B737-500	Dual	61,600	58,520	29,260
Boeing B737-300	Dual	63,200	60,040	30,020
Boeing B733	Dual	63,200	60,040	30,020
Boeing B737-400	Dual	68,000	64,600	32,300
Boeing B737-476	Dual	68,000	64,600	32,300
Airbus A320-100	Dual	73,700	70,015	35,008
Boeing B747-100	Doble Tándem	333,400	316,730	79,183

Fuente: Elaboración propia

Según el método, a las cargas en las patas de los TAP obtenidos en la Tabla N° 45, se les ponderan en función al elemento o infraestructura del área de movimiento, y para la configuración del Aeropuerto de Iquitos, los factores considerados, en función a la Tabla N°29, son los siguientes:

- Para pista de despegue y aterrizaje: El factor de ponderación es igual 1, debido a que el Aeropuerto de Iquitos no presenta calles de rodaje paralelas.
- Para Calles de rodaje B y C: El factor de ponderación es igual a 1, debido a que son calles de rodaje perpendicular y de salida rápida.
- Para Plataforma de estacionamiento de aeronaves: El factor de ponderación es igual a 1.1.

Por otro lado, y de acuerdo al método de diseño, se debe calcular el módulo de reacción (K_0) en MN/m^3 en base a ensayos de placa de carga; sin embargo, debido a que no se cuenta con dichos ensayos, se usó los datos de CBR de la Tabla N° 20 y la Ecuación 4, donde se correlaciona el K en pci con el CBR. Cabe señalar que, para el Aeropuerto de Iquitos, los CBR adoptados serán los mínimos valores obtenidos al 95% de la MDS.

Para expresar el K_0 en MN/m^3 , se empleó la conversión siguiente: una libra equivale a 0.453592 kg, una pulgada equivale a 0.0254 m y un Kilogramo fuerza equivale a 9.80665 Newton. Los resultados se muestran en la Tabla N° 46.

Tabla N° 46. Cálculo del K_0 en MN/m^3

DESCRIPCIÓN	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
K_0 en pci	60.39	56.74	76.12
K_0 en Kg/m^3	1,671,588.08	1,570,556.51	2,106,992.63
K_0 en N/m^3	16,392,679.24	15,401,898.00	20,662,539.27
K_0 en MN/m^3	16.39	15.40	20.66

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien y de acuerdo al método, para calcular el módulo de reacción corregido (K) en MN/m^3 , se hizo necesario determinar una estructura de pavimento de acuerdo a las recomendaciones mencionadas en el numeral 5.4 del Capítulo V de la presente investigación.

Por el material del suelo de subrasante del Aeropuerto Internacional de Iquitos, se consideró que el pavimento debe estar conformado por 03 capas: una por una losa de concreto hidráulico, otra por una base granular y finalmente una subbase granular.

A partir de ello, se calculó el espesor equivalente, el cual ayudó a determinar el K corregido. Cabe indicar que los coeficientes de equivalencia se obtuvieron de la Tabla N° 30 y en el valor no se considera el espesor de la losa de concreto hidráulico. El resultado del espesor equivalente se presenta en la Tabla N°47.

Tabla N° 47. Cálculo del espesor equivalente.

Descripción	Espesor real	Coefficiente de equivalencia	Espesor equivalente
Base granular (m)	0.20	1.00	0.20
subbase granular de gravilla	0.20	0.75	0.15
Espesor total (m)	0.40		0.35

Fuente: Elaboración propia

A partir de allí y empleando el nomograma de la Figura N° 23, se obtuvo el valor del módulo de reacción corregido (K), el cual resultó ser igual a 46 MN/m³ de acuerdo a lo que se muestra en la Figura N° 33.

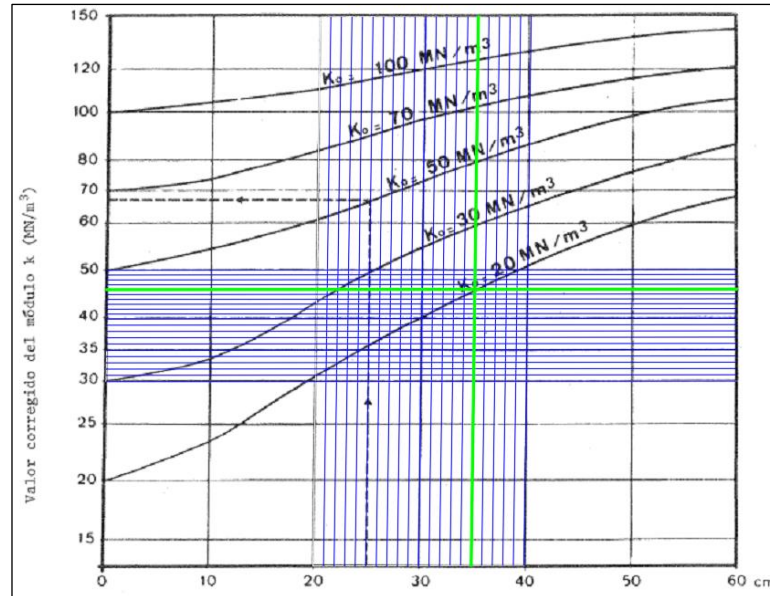


Figura N° 33. Determinación del K corregido en función al K₀ y al espesor equivalente.
Fuente: Elaboración propia en base a la Figura 4-13, Documento 9157 Parte 3, 1983, p.3-89.

Como puede observarse de la Figura N° 33, la curva mínima de valores de K₀ inicia en 20 MN/m³, por ello y dado que en todos los elementos del área de movimiento del Aeropuertos de Iquitos se tienen valores cercanos a 20 MN/m³, se eligió dicha curva para determinar el K corregido; en ese sentido, la pista, las calles de rodaje B y C y la plataforma de estacionamiento de aeronaves, con el método francés, tienen el mismo valor de K corregido el igual a 46 MN/m³.

Posterior a ello, el método indica que es importante conocer la resistencia del concreto que tendrá la losa; en ese sentido, y de acuerdo a la recomendación del capítulo V, se determinó una resistencia a la flexión igual a 4 MPa para la losa de concreto. Para efectos de los cálculos, dicho valor se divide por un factor de seguridad igual a 1.8, con lo cual en los cálculos se empleó un valor de 2.2 MPa.

A partir de los datos obtenidos, se realizó el cálculo para cada elemento del área de movimiento mediante un proceso iterativo. Para iniciar el proceso, se asume un valor inicial del espesor de la losa y a partir de allí, se calculó la carga admisible (P₀) de cada aeronave en función a las curvas de cargas de cada avión. La carga admisible en las gráficas es para cada pata del tren de aterrizaje principal.

El método francés, para aquellas aeronaves que no cuentan con curva de cargas, ha elaborado gráficas estándar para aeronaves con peso en los trenes entre 5-15 toneladas ya sea con ruedas simples o duales.

El proceso iterativo del método, se realizó hasta que el número total de movimientos equivalentes, fuese menor que 36,500 movimientos. Una vez logrado esta condición el proceso culminó y se obtuvo el espesor de la losa.

A continuación, se explica el cálculo realizado de manera iterativa para cada elemento del área de movimiento del Aeropuerto de Iquitos:

a) Para la pista de aterrizaje y calles de Rodaje B y C:

El cálculo para ambos elementos resulta igual, puesto que tienen el mismo valor de K y la misma ponderación de carga. Para iniciar, se asumió un espesor de losa igual a 0.35 m, con ello y haciendo uso de nomogramas de cada avión, se calculó la carga admisible (P_0) de cada aeronave. Es preciso señalar que, para las aeronaves ligeras, entre 5 y 15 tn en una pata del TAP, el espesor máximo de una losa es 0.30m, por lo que, al asumir un espesor de losa inicial superior a ello, permite desprestigiar el efecto de dichas aeronaves sobre el pavimento y centrarse, según el método, en aquellas aeronaves que generan un impacto mayor. (Ver Figuras N° 34 y N° 35).

En la presente investigación, para aquellas aeronaves cuyo P_0 no es posible determinar, se les consideró un valor de 0, mientras que para aquellas que si se logró obtener dicho parámetro se les colocó el valor encontrado.

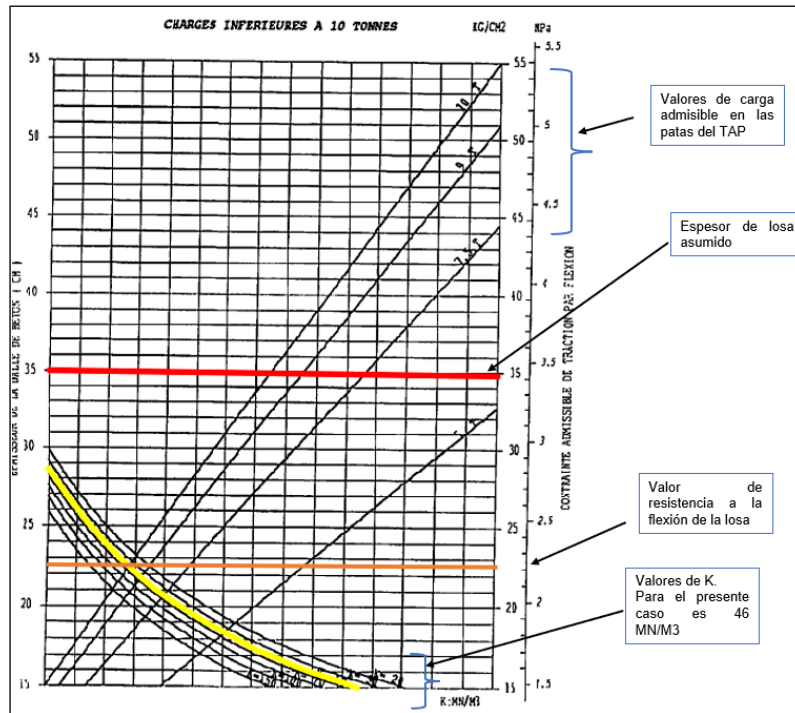


Figura N° 34. Nomograma para cargas en las patas del TAP menores a 10 tn. Se precia que el espesor asumido muy grande para dichas aeronaves.
Fuente: Elaboración propia en base al "Dimensionnement Des Chaussées D' Aérodomes ", 1993.

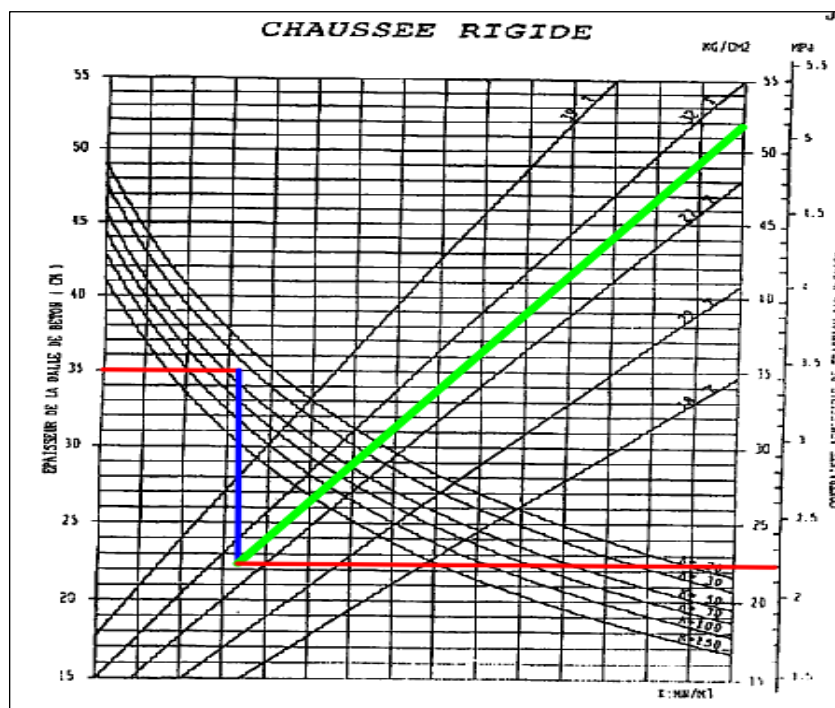


Figura N° 35. Nomograma para el avión A319-100. Se precia que con el espesor asumido el P_0 resulta 29.5 tn.
Fuente: Elaboración propia en base al "Dimensionnement Des Chaussées D' Aérodomes ", 1993.

Una vez obtenido el P_0 , de cada aeronave, se procedió a determinar la relación de la carga (R) y el Coeficiente de Ponderación (C_p) en base a la Ecuación 8. Luego de ello, se calculó el número de movimientos equivalentes para cada aeronave en base a la Ecuación 7, para finalmente, realizar la sumatoria de todo el mix de aeronaves y comparar con el valor de 36,500.

Los resultados del primer cálculo con un espesor de losa igual a 0.35 m, se presenta en la Tabla N° 48.

Tabla N° 48. Movimientos equivalentes para un espesor de 0.35m.

Tipo de Aeronave	Carga Ponderada P	P_0	Relación de carga $R=P/P_0$	CP	Movimientos Equivalentes (N')
Cessna C-185A	722	0	0	0	0.00
Piper PA-32	733	0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-300	775	0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-308	775	0	0	0	0.00
Cessna C-U206G	776	0	0	0	0.00
Cessna C-206	776	0	0	0	0.00
Cessna C-U206F	776	0	0	0	0.00
Cessna C-T210N	862	0	0	0	0.00
Cessna C-210	862	0	0	0	0.00
Piper Seneca PA-34-200T	998	0	0	0	0.00
Piper PA-34	1,024	0	0	0	0.00
Cessna C-402B	1,359	0	0	0	0.00
Cessna C-208-B	1,886	0	0	0	0.00
Beechcraft B-200	2,694	0	0	0	0.00
Piper CHIII PA-42	2,413	0	0	0	0.00
Piper PA-42	2,413	0	0	0	0.00
Beechcraft Super King Air 200	2,694	0	0	0	0.00
Beechcraft B1900D	3,643	0	0	0	0.00
BAE 146-100	18,098	0	0	0	0.00
Learjet 60	5,064	0	0	0	0.00
Jetstream J32	3,492	0	0	0	0.00
Jetstream JS32 o BAE JS32	3,496	0	0	0	0.00
Fokker F27-MK050	9,392	0	0	0	0.00
Antonov AN-32A	12,825	0	0	0	0.00
Bombardier DH 8D	13,774	0	0	0	0.00
Bombardier Dash 8-400	14,048	0	0	0	0.00
De Havilland Canada DHC-8-402	14,479	0	0	0	0.00
Fokker F70	19,822	0	0	0	0.00

BAE 146-200	20,038	0	0	0	0.00
BAE 146-300	21,007	0	0	0	0.00
Embraer 190 (E90)	21,375	0	0	0	0.00
Airbus A319-100	35,863	29,500	1.22	12.59	167,862.50
Airbus A320neo	37,525	29,500	1.27	22.39	313,168.90
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	7,638	0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	5,064	0	0	0	0.00
Boeing B737-200	24,886	28,000	0.89	0.28	4,789.70
Boeing B737-500	29,260	28,000	1.05	1.78	35,822.50
Boeing B737-300	30,020	28,500	1.05	1.78	36,717.80
Boeing B733	30,020	28,500	1.05	1.78	36,717.80
Boeing B737-400	32,300	28,000	1.15	5.62	124,690.90
Boeing B737-476	32,300	28,000	1.15	5.62	124,690.90
Airbus A320-100	35,008	29,500	1.19	8.91	214,276.60
Boeing B747-100	79,183	53,000	1.49	281.84	170,231.40
MOVIMIENTOS EQUIVALENTES TOTALES					1,228,969.00

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla N° 48, los movimientos equivalentes de todo el mix de aeronaves para el Aeropuerto Internacional de Iquitos son de aproximadamente 1,228,969.90, lo cual es muy superior a 36,500 movimientos en el tiempo de evaluación; en ese sentido, se volvió a calcular asumiendo un espesor mayor e igual a 0.40m.

Con el espesor asumido de 0.40m, se obtuvo que los movimientos equivalentes resultan 35,511.30 lo cual es menor a 36,500; en consecuencia, el cálculo se detuvo, teniendo dicho espesor de diseño.

Para detalle del cálculo ver Anexo 04.

b) Para la plataforma de estacionamiento de aeronaves.

De la misma manera que para la pista de despegue y aterrizaje y las calles de rodaje B y C, se procedió con los cálculos, únicamente haciendo la diferencia de que para este elemento, la carga ponderada es superior a la de la pista y calles de rodaje, puesto que su factor es de 1.1.

Es preciso indicar que el valor de P_0 , no varía en relación a lo calculado para la pista y calles de rodaje, puesto que depende del K en MN/m^3 y de la resistencia a la flexión de la losa, parámetros que son iguales para toda el área de movimiento.

Sabiendo ello, y para iniciar el cálculo se asumió un espesor de losa igual a 0.40m. El procedimiento que se siguió fue similar a la de la pista y calles de rodaje, por lo que se obtuvo un valor de 108,258.50 movimientos equivalentes, superior a las 36,500 del método; en consecuencia, se volvió a calcular tomando un nuevo espesor de losa igual a 0.41m

Para dicho espesor, los resultados se muestran en la Tabla N° 49.

Tabla N° 49. Movimientos equivalentes para un espesor de 0.41m.

Tipo de Aeronave	Carga Ponderada P	P ₀	Relación de carga R=P/P ₀	CP	Movimientos Equivalentes (N')
Cessna C-185A	722	0	0	0	0.00
Piper PA-32	733	0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-300	775	0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-308	775	0	0	0	0.00
Cessna C-U206G	776	0	0	0	0.00
Cessna C-206	776	0	0	0	0.00
Cessna C-U206F	776	0	0	0	0.00
Cessna C-T210N	862	0	0	0	0.00
Cessna C-210	862	0	0	0	0.00
Piper Seneca PA-34-200T	998	0	0	0	0.00
Piper PA-34	1,024	0	0	0	0.00
Cessna C-402B	1,359	0	0	0	0.00
Cessna C-208-B	1,886	0	0	0	0.00
Beechcraft B-200	2,694	0	0	0	0.00
Piper CHIII PA-42	2,413	0	0	0	0.00
Piper PA-42	2,413	0	0	0	0.00
Beechcraft Super King Air 200	2,694	0	0	0	0.00
Beechcraft B1900D	3,643	0	0	0	0.00
BAE 146-100	18,098	0	0	0	0.00
Learjet 60	5,064	0	0	0	0.00
Jetstream J32	3,492	0	0	0	0.00
Jetstream JS32 o BAE JS32	3,496	0	0	0	0.00
Fokker F27-MK050	9,392	0	0	0	0.00
Antonov AN-32A	12,825	0	0	0	0.00
Bombardier DH 8D	13,774	0	0	0	0.00
Bombardier Dash 8-400	14,048	0	0	0	0.00
De Havilland Canada DHC-8-402	14,479	0	0	0	0.00
Fokker F70	19,822	0	0	0	0.00
BAE 146-200	20,038	0	0	0	0.00

BAE 146-300	21,007	0	0	0	0.00
Embraer 190 (E90)	21,375	0	0	0	0.00
Airbus A319-100	35,863	0	0	0	0.00
Airbus A320neo	37,525	0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	7,638	0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	5,064	0	0	0	0.00
Boeing B737-200	24,886	0	0	0	0.00
Boeing B737-500	29,260	0	0	0	0.00
Boeing B737-300	30,020	0	0	0	0.00
Boeing B733	30,020	0	0	0	0.00
Boeing B737-400	32,300	38,000	0.5	5.62	11,093.50
Boeing B737-476	32,300	38,000	0.5	5.62	11,093.50
Airbus A320-100	35,008	0	0	0	0.00
Boeing B747-100	79,183	73,000	1.19	281.84	5,381.60
MOVIMIENTOS EQUIVALENTES TOTALES					27,568.60

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Tabla N° 49, los movimientos equivalentes de todo el mix de aeronaves para el Aeropuerto Internacional de Iquitos son de aproximadamente 27,568.60, lo cual es inferior a 36,500 movimientos en el tiempo de evaluación; en ese sentido, el espesor de la losa de concreto para la plataforma resulta 0.41 m.

Por lo tanto, la estructura del pavimento para la pista, calles de rodaje y plataforma, calculada con la Metodología de Diseño de Francia, resulta la siguiente:

Tabla N° 50. Estructura de los pavimentos del área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos bajo la metodología de diseño de Francia.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Losa de concreto hidráulico (cm)	40.0	40.0	41.0
Base granular(cm)	20.0	20.0	20.0
Sub Base Granular (cm)	20.0	20.0	20.0
TOTAL (cm)	80.0	80.0	81.0

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo N° 04, se adjunta el procedimiento y los resultados del cálculo para cada elemento del área de movimiento.

CAPITULO VII: COMPARACIÓN DE RESULTADOS Y SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE DISEÑO

En el presente, capítulo se hace una recopilación de los resultados obtenidos en cada método de diseño:

- a) En la Metodología de diseño de pavimentos de Canadá, para las condiciones del Aeropuerto Internacional de Iquitos, se obtuvo la siguiente estructura de pavimentos:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Losa de concreto hidráulico (cm)	30.5	30.5	30.5
Base Granular (cm)	15	15	15
Subbase granular (cm)	15	15	15
TOTAL (cm)	60.5	60.5	60.5

- b) En la Metodología de diseño de pavimentos de la FAA (Estadounidense), para las condiciones del Aeropuerto Internacional de Iquitos, se obtuvo la siguiente estructura de pavimentos:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Losa de concreto hidráulico (cm)-P501	37.5	37.9	37.2
Base estabilizada (cm)	12.70	12.70	12.70
Base Granular (cm)-P209	15.20	15.20	15.20
TOTAL (cm)	65.4	65.8	65.1

- c) En la Metodología de diseño de pavimentos de Francia, para las condiciones del Aeropuerto Internacional de Iquitos, se obtuvo la siguiente estructura de pavimentos:

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	PISTA	CALLE DE RODAJE	PLATAFORMA
Losa de concreto hidráulico (cm)	40.0	40.0	41.0
Base granular(cm)	20.0	20.0	20.0
Sub Base Granular (cm)	20.0	20.0	20.0
TOTAL (cm)	80.0	80.0	81.0

- d) Asimismo, si comparamos técnicamente los resultados de las metodologías de diseño de Canadá y de Francia, se observa que las capas de la estructura del pavimento son idénticas (losa de concreto, base granular y subbase granular); sin embargo, se diferencian en los espesores de cada una de ellas (para el método Canadiense los espesores de las capas son menores que los espesores calculados por el método francés). En cuanto a los requisitos mínimos de resistencia del concreto a flexión para la losa, ambas metodologías exigen que sea 4 MPa o expresado en resistencia a la compresión sería 280 Kg/cm².
- e) Si comparamos técnicamente los resultados de las 03 metodologías, se observa que las capas de la estructura del pavimento calculadas por la metodología de la FAA, difieren con las capas de las otras 02 metodologías; ello se da porque el método de la FAA, exigen el empleo de una base estabilizada que asegura la resistencia al paso de las cargas de los aviones en el tiempo evaluado y poco más. Además de ello, dicho método exige que la losa de concreto sea diseñada y construida con una resistencia mínima a la flexión de 4.14 MPa o expresado en resistencia a la compresión 315 Kg/cm², lo que hace que dicha metodología de diseño de pavimentos sea la más apropiada técnicamente para el diseño y la construcción de pavimentos aeroportuarios.

CONCLUSIONES

El área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos presenta un suelo arenoso arcilloso cuya resistencia es baja, en promedio CBR igual a 3% o un K de 65 pci.

De las Metodologías de diseño de pavimentos estudiadas, la metodología de la FAA de Estados Unidos es la más actualizada y con conceptos mecánicos empíricos

En cuanto al diseño de los pavimentos, se obtuvo un menor espesor de losa para la pista, calles de rodaje B y C y plataforma de estacionamiento de aeronaves, usando la Metodología Canadiense, mientras que los mayores espesores de losa se encontraron con la Metodología de Francia.

De los resultados obtenidos por las 03 metodologías estudiadas, para el área de movimiento del Aeropuerto Internacional de Iquitos, bajo los mismos parámetros de diseño, se concluye que la metodología de diseño de pavimentos de la FAA, nos proporciona espesores de capas promedios.

La metodología de diseño de la FAA, obliga a emplear una base estabilizada que proporciona una resistencia adicional y absorbe los esfuerzos de las cargas que transmite la losa de concreto hidráulico.

En cuanto a la base estabilizada, se concluye que se empleará el cemento portland, el mismo que se usará para la losa de concreto hidráulico. Dicho material, así como los agregados gruesos, para la fase constructiva, deberán ser transportados de la ciudad de Yurimaguas por vía fluvial, por ser la ciudad más cercana a Iquitos que dispone de material granular grueso.

En cuanto a las dimensiones de la losa de concreto, se concluye que serán de 5.30 m de largo por 6.60 m de ancho, con Dowels lisos de diámetro igual a 30 mm, longitud de 0.51 m y espaciadas en ambos sentidos a 0.38 m; todo ello en base a lo señalado en el numeral 2.1.3. del Capítulo II de la presente tesis (Se presenta un esquema referencial en el Anexo N° 05).

A efectos de corroborar las dimensiones de la losa de concreto, por la metodología de diseño de la FAA, se recomienda realizar un análisis numérico a través de elementos finitos.

Como hay otros proyectos que tiene el MTC a través de la DGAC con tipo de suelo similar al del Aeropuerto Internacional de Iquitos, el procedimiento de diseño de la estructura aquí diseñada podría emplearse en los otros proyectos.

Tener presente que a pesar de que los suelos de la selva podrían ser semejantes, la disponibilidad de material y los costos de transporte, también pueden influir en la definición de la estructura del pavimento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el Ministerio de Transportes-MTC, en su calidad de Entidad Normativa de la ingeniería aeroportuaria del país, haga obligatorio el empleo de la Metodología de la FAA para el diseño de pavimentos aeroportuarios en aeropuertos con características similares al Aeropuerto Internacional de Iquitos.

Se recomienda que antes de iniciar un diseño de pavimentos del área de movimiento de un aeropuerto, se realicen pruebas destructivas para determinar con mayor seguridad el tipo de suelo, puesto que como se ha visto es un factor fundamental dentro del dimensionamiento de las capas del pavimento.

Para una mayor durabilidad de los pavimentos del área de movimiento de un aeropuerto, se recomienda siempre hacer un estudio de hidrología para poder dimensionar estructuras de drenaje que permitan evacuar adecuadamente las aguas superficiales de los pavimentos y así prolongar la vida útil de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barcia, T. (2019). *El aeropuerto viejo debe ser reubicado*. Pro & Contra. <https://proycontra.com.pe/el-aeropuerto-viejo-debe-ser-reubicado/>
- Cifuentes, V. y Vargas, M. (2007). *Aeropuertos Modernos: Ingeniería y Certificación*. Instituto Politécnico Nacional.
- Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley N° 28525, Ley de Promoción de los Servicios de Transporte Aéreo*. Diario Oficial El Peruano 25 de mayo de 2005. <https://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/28525.pdf>
- Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A. (2022). *Información de Estadísticas*. Plataforma Gob.pe. https://www.gob.pe/institucion/corpac/colecciones/5782-informacion-de-estadisticas?filter%5Bend_date%5D=&filter%5Bstart_date%5D=&filter%5Bterms%5D=&sheet=
- Dirección de Regulación, Promoción y Desarrollo Aeronáutico. (2022). *Memorando N° 1200-2022-MTC/12.08*. Lima, Perú.
- Federal Aviation Administration. (2021). *Airport Pavement Design and Evaluation*. (AC 150/5320-6G). FAA. https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document/information/documentID/1039843
- Federal Aviation Administration. (2018). *Standard Specifications for Construction of Airports*. (AC 150/5370-10H). FAA. https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document/information/documentID/1035128
- Ferrari, A. (1989). *Estudio Aeropuerto Iquitos*. Internacional Civil Aviation Office.

García, G. (2014). *Diseño de pistas para aeropistas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM.

<https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000723547>

García, M. (2012). *Ingeniería Aeroportuaria*. (4.^a ed.). Fundación Aena.

l'Instruction Technique sur les Aérodomes Civils. (ITAC, 1999). *Chapitre 5- Conception des Chaussées aéronautiques. Sommaire general*. Paris, Francia.

Internacional Civil Aviation Organization (s.f.). *About ICAO*. ICAO.

<https://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>

Menéndez, J. (2012). *Ingeniería de Pavimentos, Materiales Diseño y Construcción*. (3.^a ed.). Fondo Editorial ICG.

Ministère des Transport/ DGAC, Direction Générale de l' Aviation Civile/ SBA, Service des Bases Aériennes/ STBA, Service Technique des Bases Aériennes. (1983). *Dimensionnement des Chaussées, Volume 1*. Paris, Francia.

Ministère de L'Équipement Des Transports Et Du Tourisme, Aviation Civile. (1993). *Dimensionnement des Chaussées D' Aérodomes*. Paris, Francia.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000). *Ley N.º 27261-Ley de Aeronáutica Civil*. Plataforma Gob.pe.

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/395507-27261-ley-de-aeronautica-civil>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos*. Plataforma Gob.pe.

https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Regulación Aeronáutica del Perú (RAP) 1 “Definiciones y Abreviaturas”*. Plataforma Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/320177-rap-1-definiciones-y-abreviaturas>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2024). *Regulación Aeronáutica del Perú (RAP) 11 “Reglas Generales de Elaboración de la Reglamentación”*. Plataforma Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/320184-rap-11-reglas-generales-de-elaboracion-de-la-reglamentacion>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021). *Regulación Aeronáutica del Perú (RAP) 314 “Aeródromos”, Volumen I Diseño y Operación de Aeródromos*. Plataforma Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/321330-rap-314-aerodromos>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021). *Texto Integrado del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones*. Plataforma Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/2003675-reglamento-de-organizacion-y-funciones-rof-julio-2021>
- MTC & BYT Loreto. (2021). *Estudio de pre inversión a nivel de perfil Informe Final: Del Estudio de Mecánica de Suelos*. <https://drive.google.com/drive/folders/1OXisTFVEDYtmAuBTdqMsgRW6quZCQBoz>
- MTC & Consorcio Aeródromo. (2020). *Informe de Mecánica de Suelos*. https://drive.google.com/drive/folders/1m1MxDvPCpGuL994z7FkSAUIWsmtdGUcj?usp=share_link

- MTC & Consorcio CIH Barranca. (2021). *Informe N° 5 Tarea 8-Diseño parte aeronáutica*. https://drive.google.com/drive/folders/1P6TwkJG-03rbj3WOXH2s5pBHAmj9MMQ4?usp=drive_link
- MTC & Igemin. (2020). *Informe Final: Mejoramiento del Servicio Aeroportuario de Pasajeros y Carga del Aeródromo de Caballococha en el distrito de Ramón Castilla - provincia de Mariscal Ramón Castilla - departamento de Loreto*.
[file:///C:/Users/Junior%20Alexander/Downloads/20240901_Exportacion%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Junior%20Alexander/Downloads/20240901_Exportacion%20(2).pdf)
- Morales Tovar, R. (2010). *Mejoramiento de la plataforma del Área de Movimiento en aeródromos: aplicación de los pavimentos adoquinados de Concreto*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2022). *Anexo 14 al convenio sobre Aviación Civil Internacional, Aeródromos, Volumen I, Diseño y Operación de Aeródromos*. (9.ª ed.). OACI.
<https://elibrary.icao.int/product/274806>
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2020). *Documento 9157, Manual de diseño de aeródromos, Parte 1-Pistas*. (4.ª ed.). OACI.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2020). *Documento 9157, Manual de diseño de aeródromos, Parte 2-Calles de rodaje, plataformas y apartaderos de espera*. (5.ª ed.). OACI.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (1983). *Manual de diseño de aeródromos (Doc 9157-AN/901), Parte 3-Pavimentos*. (2.ª ed.). OACI.
- Paredes, F. y Delgado, J. (2019). *Análisis comparativo de pavimento flexible y rígido para la reparación de las calles del centro del distrito de Tarapoto*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional de la UNSM.
<http://hdl.handle.net/11458/3351>

- Public Works & Government Services Canada. (1995). *Pavement Structural Design Training Manual ATR-021 (AK-77-68-300), Manuel de Formation Sur La Conception Des Chaussées*. CAPTG.
<https://captg.ca/publications/#ICAO>
- Rolland, D. (2018). *Pavimentos Aeronáuticos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM.
<https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000770407>
- Service Technique des bases Aériennes. (2000). *Chaussées Aéronautiques en Béton Hydraulique*. SBA; LCPC.
<https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/publications/chaussees-aeronautiques-en-beton-hydraulique>
- Service Technique des bases Aériennes. (1983). *Dimensionnement des Chaussées Volume 2*. SBA; STBA.
<https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/publications/dimensionnement-chaussees>
- Service Technique des bases Aériennes. (1983). *Dimensionnement des Chaussées Volume 3*. SBA; STBA.
<https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/publications/dimensionnement-chaussees>
- Zagaceta, I. y Romero, R. (2008). *El pavimento de concreto hidráulico en la modernización y rehabilitación de la avenida arboleda*. [Tesis de licenciatura]. Instituto Politécnico Nacional.

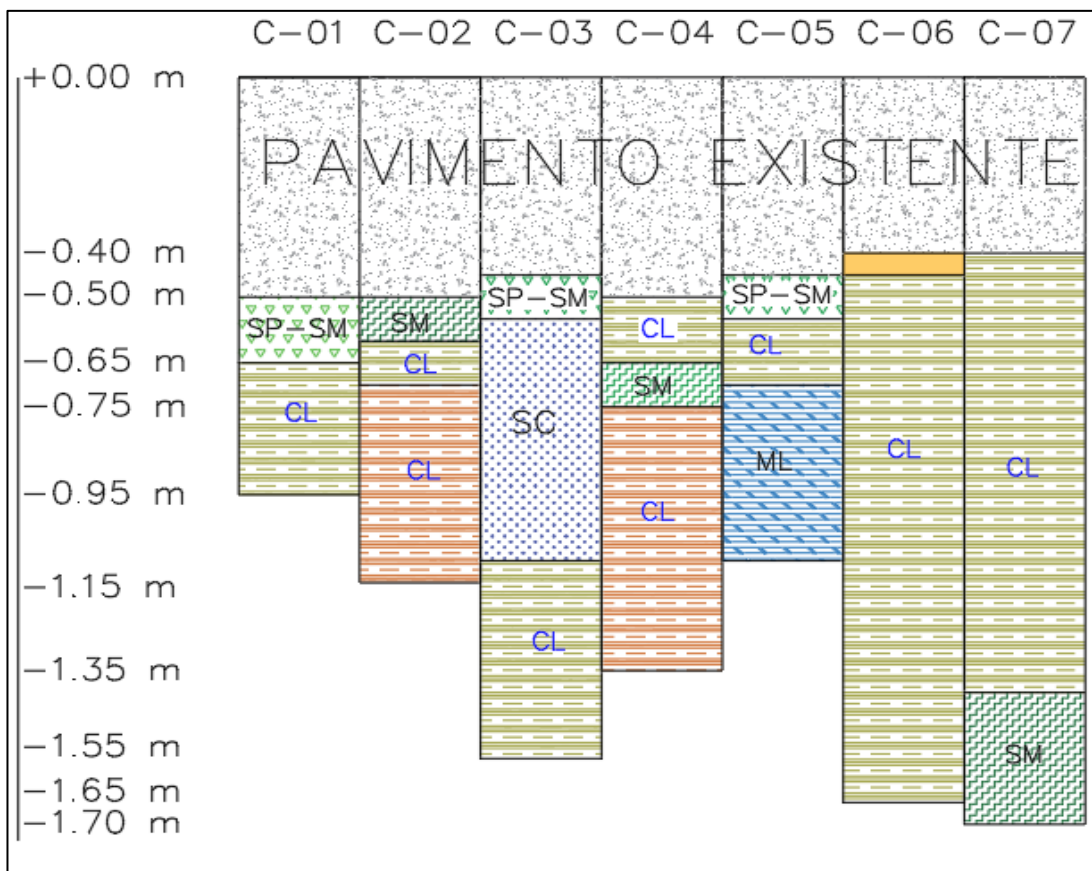
ANEXOS

Anexo N° 01: Características, del terreno de fundación, ensayos de resistencia del área de movimiento y perfil estratigráfico	138
Anexo N° 02: Clasificación de aeronaves y nomogramas de los cálculos realizados en base al Método Canadiense.	140
Anexo N° 03: Procedimiento y resultado de los cálculos realizados con el Programa FAARFIELD 2.1.1.	146
Anexo N° 04: Nomogramas de cálculo realizados en base al Método Francés.	157
Anexo N° 05: Esquema referencial de la losa de concreto hidráulico, juntas y Dowels.	167

Anexo N°01: Características del terreno de fundación, ensayos de resistencia del área de movimiento y perfil estratigráfico

Elemento	Número de Calicata	Ubicación (Coordenadas UTM)	Profundidad (m)	Muestras	Granulometría (% que pasa)										Contenido de Humedad (%)	Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)	Clasificación		Descripción	Densidad de Campo (g/cm ²)		Proctor Modificado		CBR									
					2"	1"	3/4"	1/2"	N°04	N°10	N°20	N°40	N°50	N°80				N°100	N°200		SUCS	AASHTO	Húmeda	Seca	O.C.H.(%)	M.D.S.(g/cm ³)	100 % MDS	95% MDS	2.5 mm	5 mm	2.5 mm	5 mm		
					100 % MDS		95% MDS																											
Pista	C-01	Norte: 9580968 N Este: 0687058 E	0.95	M-1 (profundidad de 0.5 a 0.65 m)						100	98	77	46	21	16	11.3	15.9	NP	NP	SP-SM	A-2-4 (0)	Arena pobremente gradada con limo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
				M-2 (profundidad de 0.65 a 0.95 m)																														
	C-02	Norte: 9581281 N Este: 0687454 E	1.15	M-1 (profundidad de 0.50 a 0.60 m)						100	96	70	44	25	21	16.1	12.9	NP	NP	SM	A-2-4 (0)	Arena limosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
				M-2 (profundidad de 0.60 a 0.70 m)																														
				M-3 (profundidad de 0.70 a 1.15 m)																														
	C-03	Norte: 9581496 N Este: 0687876 E	1.55	M-1 (profundidad de 0.45 a 0.55 m)			100	95	94	92	89	63	36	18	15	10.6	14.9	NP	NP	SP-SM	A-2-4 (0)	Arena pobremente gradada con limo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
				M-2 (profundidad de 0.55 a 1.10 m)																														
				M-3 (profundidad de 1.10 a 1.55 m)																														
	C-04	Norte: 9581799 N Este: 0688255 E	1.35	M-1 (profundidad de 0.50 a 0.65 m)																														
				M-2 (profundidad de 0.65 a 0.75 m)				100	99	99	96	84	62	44	35	22.6	1.1	19	NP	SM	A-2-4 (0)	Arena limosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
				M-3 (profundidad de 0.75 a 1.35 m)		100	91	91	91	91	91	87	77	67	60	50.4	22.5	29	15	CL	A-6 (4)	Arcilla arenosa de baja plasticidad	-	-	-	-	13.1	1.853	5.7	5.9	3.9	3.6		
	C-05	Norte: 9582032 N Este: 0688698 E	1.1	M-1 (profundidad de 0.45 a 0.55 m)	100	91	89	86	82	80	78	58	32	15	11	8.4	12.4	NP	NP	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente gradada con limo y grava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
				M-2 (profundidad de 0.55 a 0.70 m)																														
				M-3 (profundidad de 0.70 a 1.10 m)																														
	Calle de Rodaje Charlie	C-06	Norte: 9581775 N Este: 0688472 E	1.65	M-1 (profundidad de 0.40 a 0.45 m)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
M-2 (profundidad de 0.45 a 1.65 m)																																		
Plataforma de estacionamiento de aeronaves	C-07	Norte: 9581644 N Este: 0688280 E	1.7	M-1 (profundidad de 0.40 a 1.40 m)																														
				M-2 (profundidad de 1.40 a 1.70 m)																														

PERFIL ESTRATIGRÁFICO



LEYENDA

Elemento	Calicata	Muestra	CLAS.	Descripción
			SUCS	
Pista	C-01	M-1	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo
		M-2	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	C-02	M-1	SM	Arena limosa
		M-2	CL	Arcilla de baja plasticidad
		M-3	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	C-03	M-1	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo
		M-2	SC	Arena arcillosa
		M-3	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena
	C-04	M-1	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		M-2	SM	Arena limosa
		M-3	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
	C-05	M-1	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo y grava
M-2		CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad	
M-3		ML	Limo arenoso	
Calles de Rodaje	C-06	M-1	-	Lente de arcilla color beige
		M-2	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena
Plataforma	C-07	M-1	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad
		M-2	SM	Arena limosa

ANEXO N° 02: Clasificación de aeronaves y nomogramas de los cálculos realizados en base al Método Canadiense

2.1. Clasificación de Aeronaves según el Método

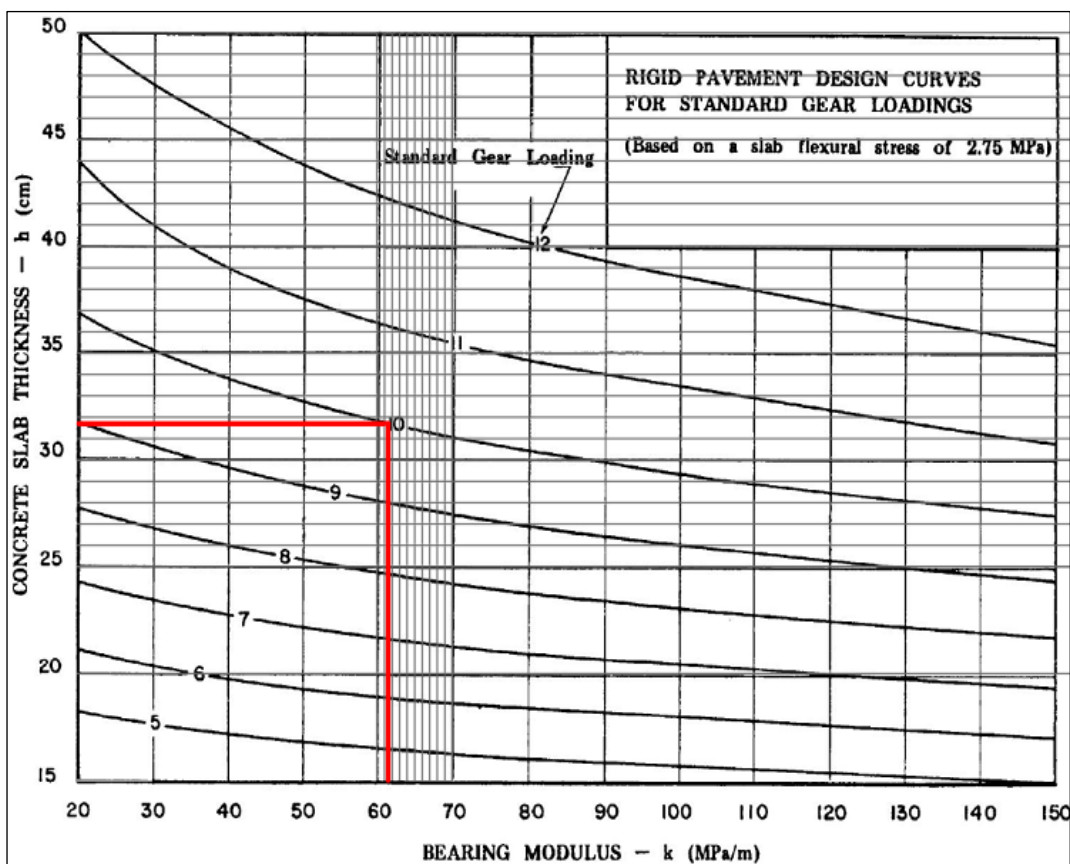
Tipo de Aeronave	Grupo de Clave de Aeronave	MTOW (Kg)	MTOW (KN)	MTOW en el TAP (95% del MTOW) (KN)	MTOW en cada camión del TAP (KN)	Ruedas en cada camión del TAP	CLASIFICACIÓN DE AERONAVES SEGÚN MÉTODO
Cessna C-185A	1A	1,520	14.91	14.16	7.08	Única	-
Piper PA-32	1A	1,542	15.12	14.37	7.18	Única	-
Piper PA-32RT-300	1A	1,632	16.00	15.20	7.60	Única	-
Piper PA-32RT-308	1A	1,632	16.00	15.20	7.60	Única	-
Cessna C-U206G	1A	1,633	16.01	15.21	7.61	Única	-
Cessna C-206	1A	1,633	16.01	15.21	7.61	Única	-
Cessna C-U206F	1A	1,633	16.01	15.21	7.61	Única	-
Cessna C-T210N	1A	1,814	17.79	16.90	8.45	Única	-
Cessna C-210	1A	1,814	17.79	16.90	8.45	Única	-
Piper Seneca PA-34-200T	1A	2,100	20.59	19.56	9.78	Única	-
Piper PA-34	1A	2,155	21.13	20.08	10.04	Única	-
Cessna C-402B	1A	2,860	28.05	26.64	13.32	Única	-
Cessna C-208-B	1B	3,969	38.92	36.98	18.49	Única	1
Beechcraft B-200	1B	5,670	55.60	52.82	26.41	Dual	-
Piper CHIII PA-42	2A	5,080	49.82	47.33	23.66	Única	1
Piper PA-42	2A	5,080	49.82	47.33	23.66	Única	1
Beechcraft Super King Air 200	2B	5,670	55.60	52.82	26.41	Dual	-
Beechcraft B1900D	2B	7,668	75.20	71.44	35.72	Dual	-
BAE 146-100	2C	38,101	373.64	354.96	177.48	Dual	7
Learjet 60	3A	10,660	104.54	99.31	49.66	Dual	-
Jetstream J32	3B	7,350	72.08	68.47	34.24	Única	2
Jetstream JS32 o BAE JS32	3B	7,360	72.18	68.57	34.28	Única	2
Fokker F27-MK050	3C	19,773	193.91	184.21	92.11	Dual	4
Antonov AN-32A	3C	27,000	264.78	251.54	125.77	Dual	6
Bombardier DH 8D	3C	28,998	284.37	270.15	135.08	Dual	6
Bombardier Dash 8-400	3C	29,574	290.02	275.52	137.76	Dual	6
De Havilland Canada DHC-8-402	3C	30,481	298.92	283.97	141.99	Dual	6
Fokker F70	3C	41,730	409.23	388.77	194.38	Dual	7
BAE 146-200	3C	42,184	413.68	393.00	196.50	Dual	8
BAE 146-300	3C	44,225	433.70	412.01	206.01	Dual	8
Embraer 190 (E90)	3C	45,000	441.30	419.23	209.62	Dual	8
Airbus A319-100	3C	75,500	740.40	703.38	351.69	Dual	10
Airbus A320-Neo	3C	79,000	774.73	735.99	367.99	Dual	10
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	4B	16,080	157.69	149.81	74.90	Dual	-
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	4B	10,660	104.54	99.31	49.66	Dual	-
Boeing B737-200	4C	52,390	513.77	488.08	244.04	Dual	8
Boeing B737-500	4C	61,600	604.09	573.89	286.94	Dual	9
Boeing B737-300	4C	63,200	619.78	588.79	294.40	Dual	9
Boeing B733	4C	63,200	619.78	588.79	294.40	Dual	9
Boeing B737-400	4C	68,000	666.85	633.51	316.75	Dual	9
Boeing B737-476	4C	68,000	666.85	633.51	316.75	Dual	9
Airbus A320-100	4C	73,700	722.75	686.61	343.31	Dual	9
Boeing B747-100	4E	333,400	3,269.54	3106.06	776.52	doble tandem	10

2.2. Dimensionamiento de pavimentos por el Método Canadiense (Iteraciones realizadas)

ITERACIÓN N° 01

Espesor de losa supuesto inicialmente y espesor total equivalente			
Estructura del pavimento asumido	Iteración 1		
	Espesor real	Factores	Espesor equivalente
Losa de concreto hidráulico (cm)	25	3	75
Base granular (cm)	15	1	15
Subbase granular (cm)	15	1	15
Total espesor (t)	55		105

Determinación del K en Mpa/m para todos los elementos del lado aire del aeropuerto						
Descripción	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
S en KN	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
valor de t en cm	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
K en MPa/m	61.55	61.55	61.55	61.55	61.55	61.55

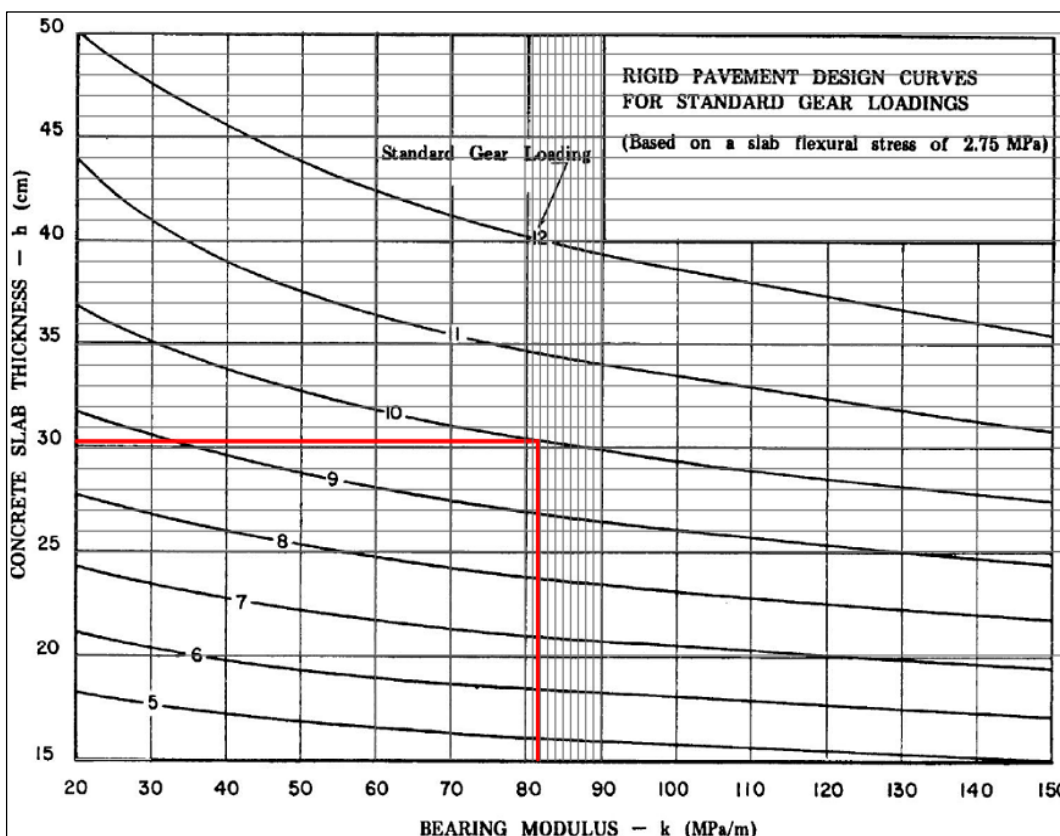


Espesor de losa resultante:	31.8 cm
-----------------------------	---------

ITERACIÓN 02

Nuevo Espesor de losa y espesor total equivalente			
Estructura del pavimento asumido	Iteración 2		
	Espesor real	Factores	Espesor equivalente
Losa de concreto hidráulico (cm)	31.8	3	95.4
Base granular (cm)	15	1	15
Subbase granular (cm)	15	1	15
Total espesor (t)	61.8		125.4

Determinación del K en Mpa/m para todos los elementos del lado aire del Aeropuerto de Iquitos						
Descripción	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
S en KN	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
valor de t en cm	125.40	125.40	125.40	125.40	125.40	125.40
K en MPa/m	81.83	81.83	81.83	81.83	81.83	81.83

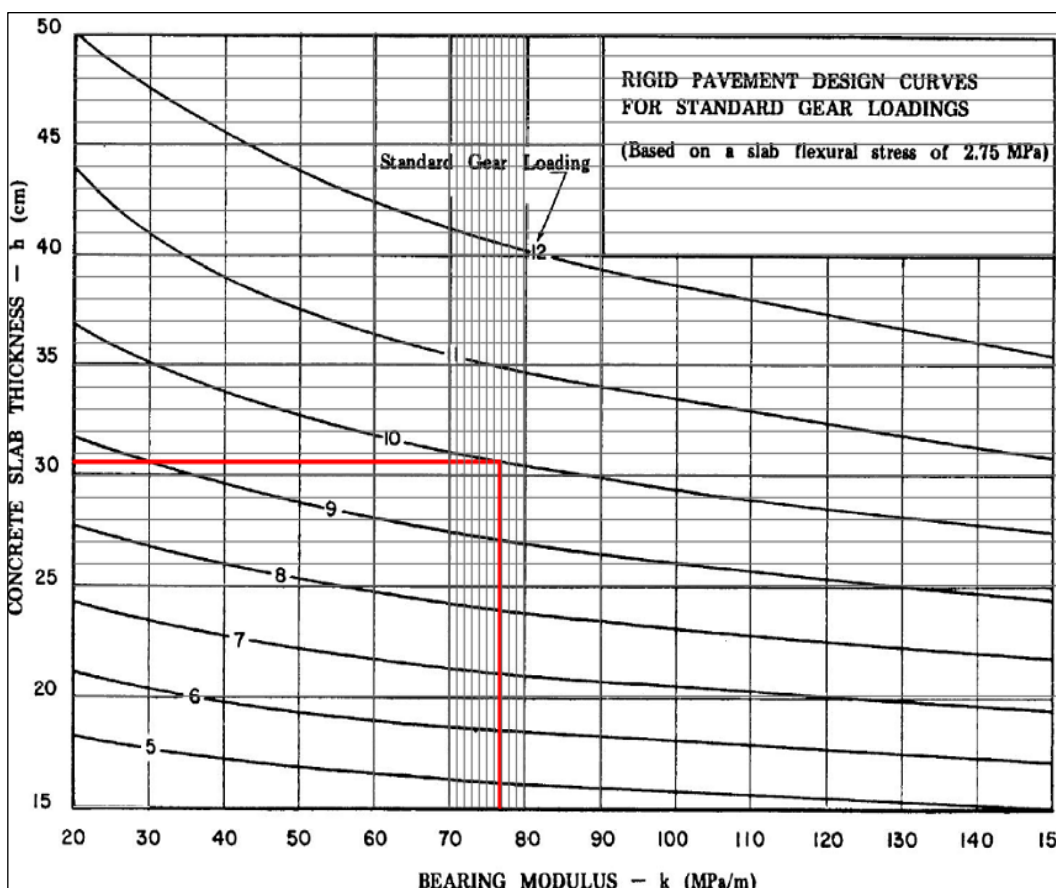


Espesor de losa resultante:	30.3 cm
-----------------------------	---------

ITERACIÓN 03

Nuevo Espesor de losa y espesor total equivalente			
Estructura del pavimento asumido	Iteración 3		
	Espesor real	Factores	Espesor equivalente
Losa de concreto hidráulico (cm)	30.3	3	90.9
Base granular (cm)	15	1	15
Subbase granular (cm)	15	1	15
Total espesor (t)	60.3		120.9

Determinación del K en Mpa/m para todos los elementos del lado aire del Aeropuerto de Iquitos						
Descripción	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
S en KN	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
valor de t en cm	120.90	120.90	120.90	120.90	120.90	120.90
K en MPa/m	76.85	76.85	76.85	76.85	76.85	76.85

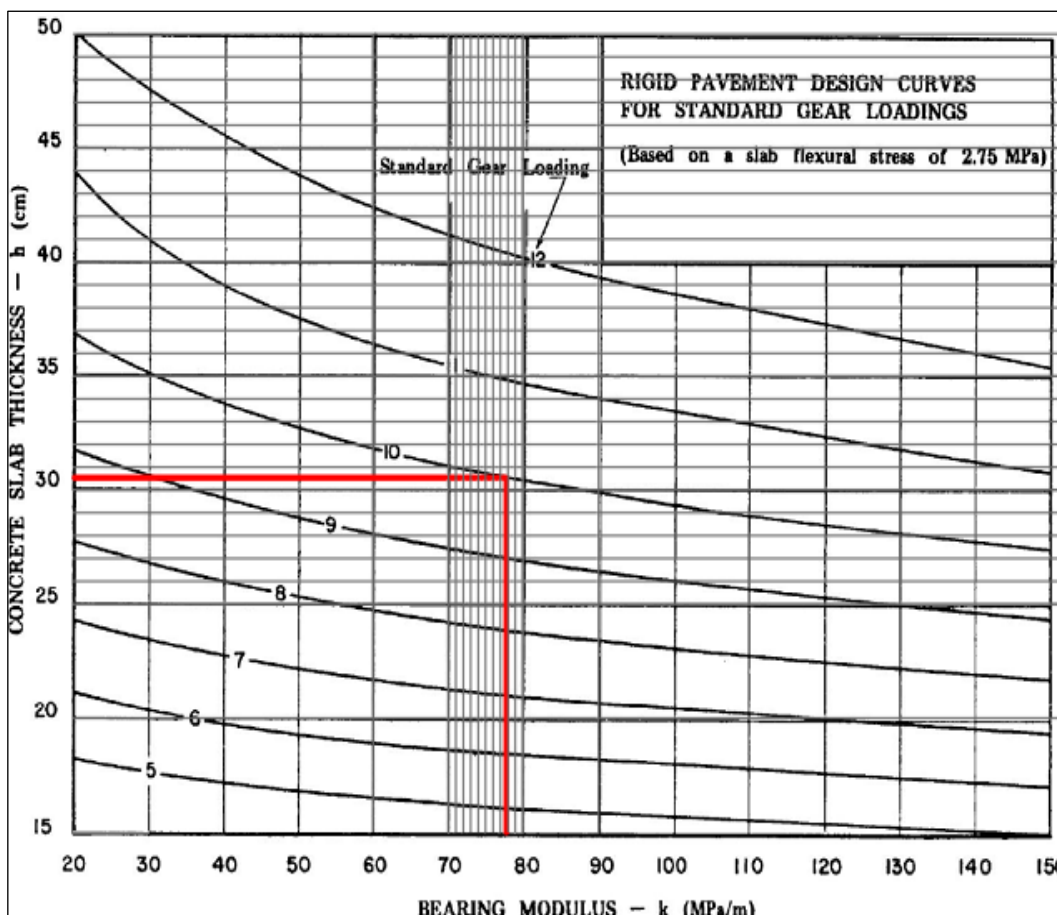


Espesor de losa resultante:	30.6 cm
-----------------------------	---------

ITERACIÓN 04

Nuevo Espesor de losa y espesor total equivalente			
Estructura del pavimento asumido	Iteración 4		
	Espesor real	Factores	Espesor equivalente
Losa de concreto hidráulico (cm)	30.6	3	91.8
Base granular (cm)	15	1	15
Subbase granular (cm)	15	1	15
Total espesor (t)	60.6		121.8

Determinación del K en MPa/m para todos los elementos del lado aire del Aeropuerto de Iquitos						
Descripción	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
S en KN	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
valor de t en cm	121.80	121.80	121.80	121.80	121.80	121.80
K en MPa/m	77.82	77.82	77.82	77.82	77.82	77.82

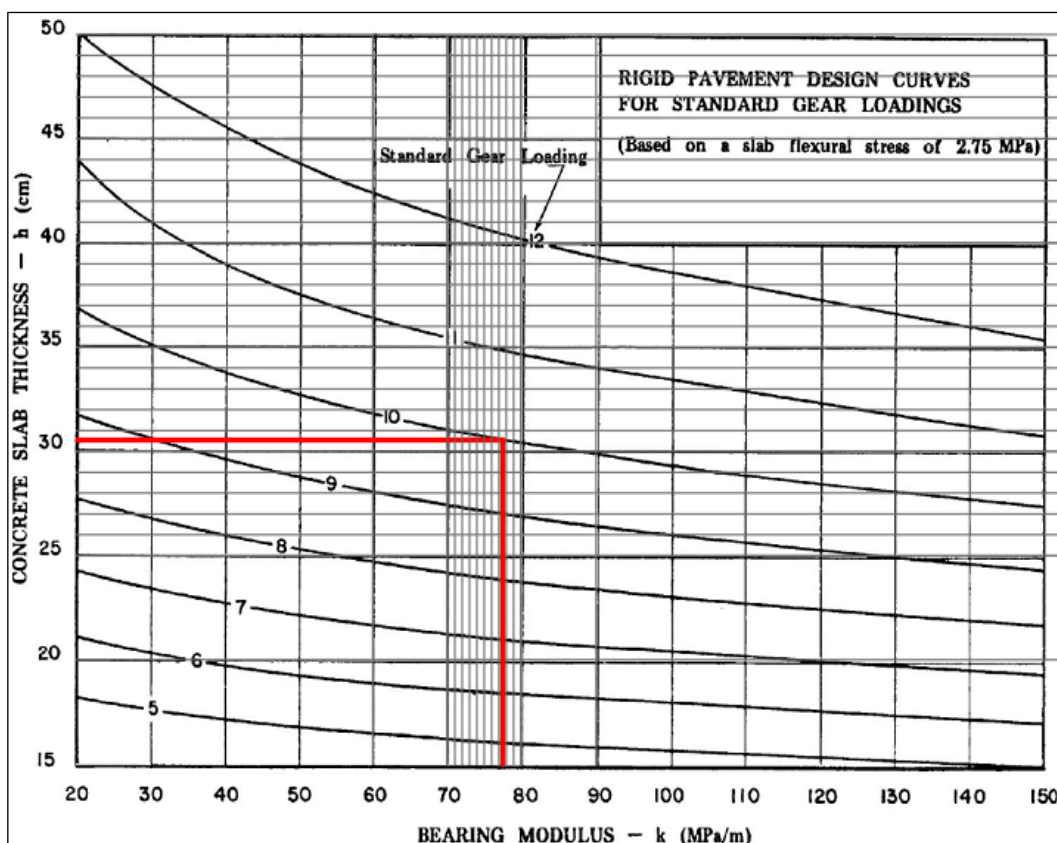


Espesor de losa resultante:	30.5 cm
-----------------------------	---------

ITERACIÓN 05

Nuevo Espesor de losa y espesor total equivalente			
Estructura del pavimento asumido	Iteración 5		
	Espesor real	Factores	Espesor equivalente
Losa de concreto hidráulico (cm)	30.5	3	91.5
Base granular (cm)	15	1	15
Subbase granular (cm)	15	1	15
Total espesor (t)	60.5		121.5

Determinación del K en Mpa/m para todos los elementos del lado aire del Aeropuerto de Iquitos						
Descripción	PISTA		CALLE DE RODAJE		PLATAFORMA	
	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS	95% MDS	100% MDS
S en KN	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
valor de t en cm	121.50	121.50	121.50	121.50	121.50	121.50
K en MPa/m	77.49	77.49	77.49	77.49	77.49	77.49



Espeor de losa resultante: **30.5 cm**

Culmina iteraciones, puesto que espesor de losa después del cálculo coincide con espesor de losa inicial o antes de cálculo.

ANEXO N° 03: Procedimiento y resultado de los cálculos realizados con el Programa FAARFIELD 2.1.1.

ENTRADAS

Estructura de Pavimento y valor de Subrasante

Mix de Aeronaves

The screenshot displays the FAARFIELD 2.0.7 software interface. The 'Section' window shows the following parameters:

- Job Name: Aeropuerto de Iquitos
- Section Name: Diseño de pavimento de la Pist
- Pavement Type: New Rigid
- Design Life (Years): 20
- Results: Calculated Life (Years): [blank], Total thickness to the top of the subgrade: 635 mm

The 'Pavement Layers' table is as follows:

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m ³)	R (MPa)
P-501 PCC Surface	356	27579.04		4.48
P-401/P-403 HMA Stabilized	127	2757.90		
P-209 Crushed Aggregate	152	517.11		
Subgrade		103.42	46.8	

The cross-section diagram on the right shows the following layers from top to bottom:

- P-501 PCC Surface (T=356 mm)
- P-401/P-403 HMA Stabilized (T=127 mm)
- P-209 Crushed Aggregate (T=152 mm)
- Subgrade (k=46.8 MN/m³)

SALIDAS

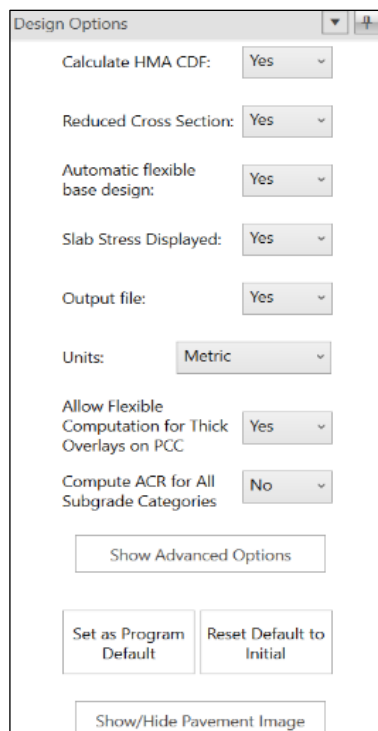
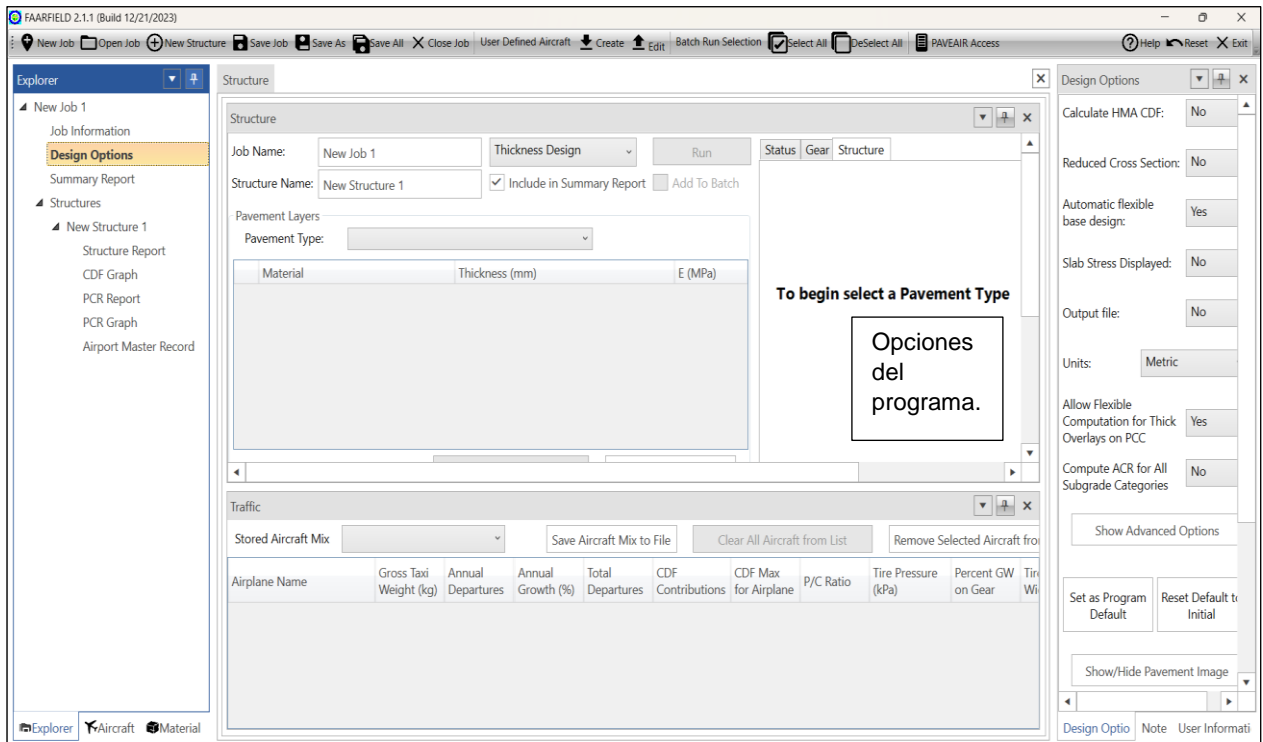
Diseño de capas de pavimento

Vida útil

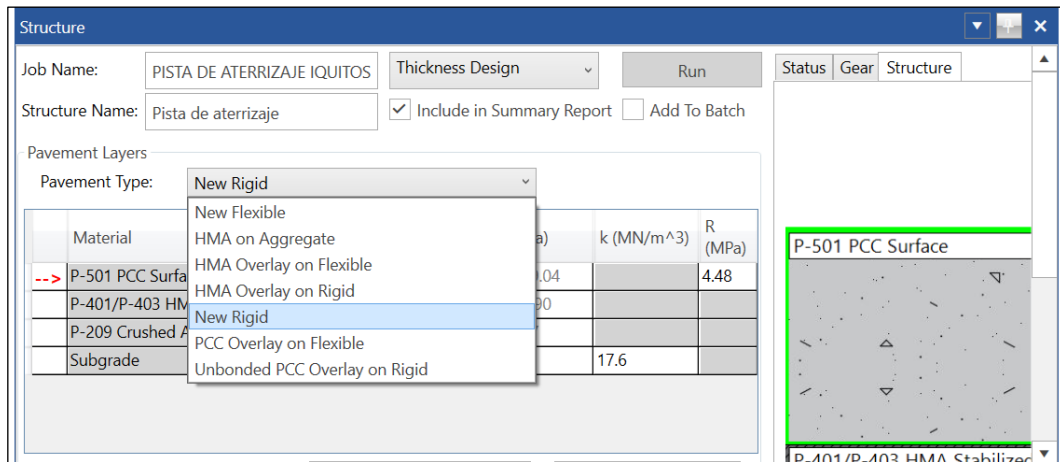
Compactación

PCR

3.1). Interfaz del programa y modificación de Unidades Inglesas a S.I.



3.2). Selección de la opción de diseño de pavimento rígido (“New Rigid”)



3.3). Resultados del diseño para la pista de despegue y aterrizaje.

Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 Structure Report

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

Job Name: PISTA DE ATERRIZAJE IQUITOS

Structure: Pista de aterrizaje

Analysis Type: New Rigid

Last Run: Thickness Design 2024-08-06 18:08:43

Design Life = 20 Years

Slab edge stress results: 3.2 (MPa)

Slab interior stress results: 3.4 (MPa)

Total thickness to the top of the subgrade = 655mm

Full Cross Section (100% Annual Departures)

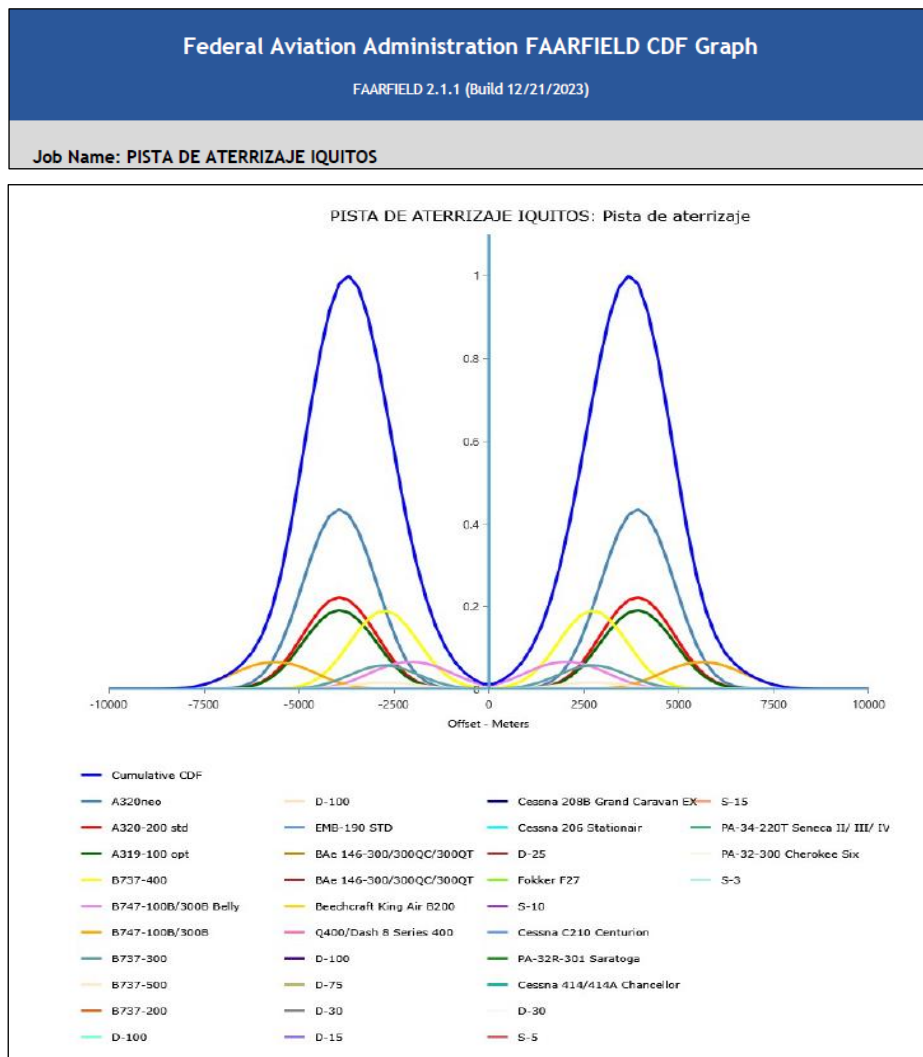
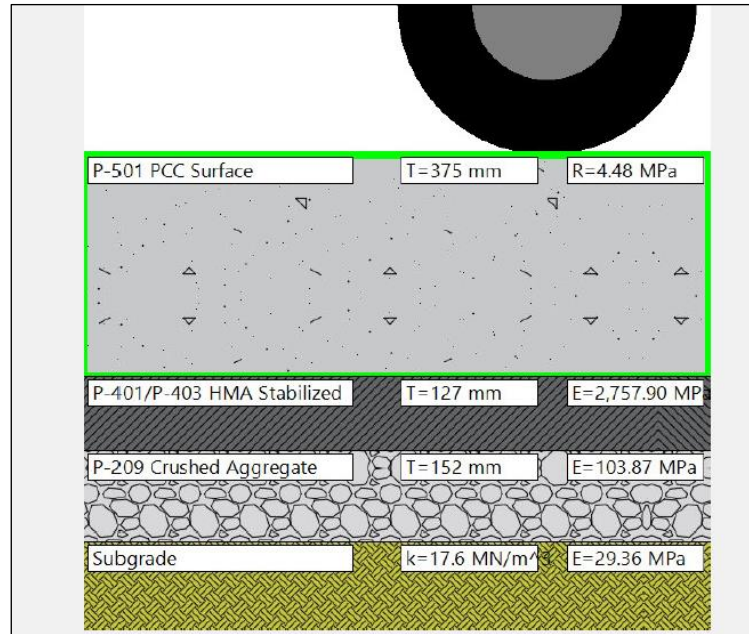
Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	k (MN/m ³)	Poisson's Ratio	Strength R (MPa)
1	P-501 PCC Surface	375	27,579.04	0	0.15	4.48
2	P-401/P-403 HMA Stabilized	127	2,757.90	0	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	152	103.87	0	0.35	0
4	Subgrade	0	29.36	17.6	0.4	0

Airplane Information				
No.	Name	Gross Wt. (kg)	Annual Departures	% Annual Growth
1	S-3	1,520	109	0
2	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	111	0
3	PA-32R-301 Saratoga	1,632	235	0
4	Cessna 206 Stationair	1,633	352	0
5	Cessna C210 Centurion	1,814	260	0
6	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,100	151	0
7	S-5	2,155	155	0
8	Cessna 414/414A Chancellor	2,860	206	0
9	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	285	0
10	Beechcraft King Air B200	5,670	513	0
11	S-10	5,080	187	0
12	D-15	7,668	141	0
13	BAe 146-300/300QC/300QT	38,101	703	0
14	D-30	10,660	62	0
15	S-15	7,360	86	0
16	Fokker F27	19,773	115	0
17	D-75	27,000	157	0
18	Q400/Dash 8 Series 400	29,574	341	0
19	D-100	30,481	177	0
20	D-100	41,730	242	0
21	D-100	42,184	245	0
22	BAe 146-300/300QC/300QT	44,225	257	0
23	EMB-190 STD	45,000	261	0
24	A319-100 opt	75,500	439	0
25	A320neo	79,000	459	0
26	D-30	16,080	172	0
27	D-25	10,660	114	0
28	B737-200	52,390	562	0
29	B737-500	61,600	661	0
30	B737-300	63,200	1,356	0
31	B737-400	68,000	1,458	0
32	A320-200 std	73,700	790	0
33	B747-100B/300B	333,400	20	0
34	B747-100B/300B Belly	333,400	20	0

Additional Airplane Information				
No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	S-3	0.00	0.00	16.25
2	PA-32-300 Cherokee Six	0.00	0.00	15.16
3	PA-32R-301 Saratoga	0.00	0.00	12.83
4	Cessna 206 Stationair	0.00	0.00	14.91
5	Cessna C210 Centurion	0.00	0.00	13.73
6	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	0.00	0.00	13.72
7	S-5	0.00	0.00	12.6
8	Cessna 414/414A Chancellor	0.00	0.00	12.46
9	Cessna 208B Grand Caravan EX	0.00	0.00	11.54
10	Beechcraft King Air B200	0.00	0.00	7.93
11	S-10	0.00	0.00	8.92
12	D-15	0.00	0.00	5.48
13	BAe 146-300/300QC/300QT	0.00	0.00	3.72
14	D-30	0.00	0.00	4.89
15	S-15	0.00	0.00	7.3
16	Fokker F27	0.00	0.00	5.46
17	D-75	0.00	0.00	3.6
18	Q400/Dash 8 Series 400	0.00	0.00	5.51
19	D-100	0.00	0.00	3.55
20	D-100	0.00	0.00	3.55
21	D-100	0.00	0.00	3.55
22	BAe 146-300/300QC/300QT	0.00	0.00	3.72
23	EMB-190 STD	0.00	0.00	3.85
24	A319-100 opt	0.19	0.19	3.66
25	A320neo	0.42	0.43	3.56
26	D-30	0.00	0.00	4.89
27	D-25	0.00	0.00	5.03
28	B737-200	0.00	0.00	3.7
29	B737-500	0.01	0.02	3.82
30	B737-300	0.03	0.06	3.8
31	B737-400	0.11	0.19	3.52
32	A320-200 std	0.22	0.22	3.7
33	B747-100B/300B	0.01	0.07	4.05
34	B747-100B/300B Belly	0.02	0.07	4.07

NOTE:
User is responsible for checking frost protection requirements.



3.4). Resultados del diseño para las calles de rodaje B y C.

Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.1 Structure Report

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

Job Name: CALLE DE RODAJE IQUITOS

Structure: CALLE DE RODAJE

Analysis Type: New Rigid

Last Run: Thickness Design 2024-08-06 19:59:46

Design Life = 20 Years

Slab edge stress results: 3.2 (MPa)

Slab interior stress results: 3.5 (MPa)

Total thickness to the top of the subgrade = 659mm

Full Cross Section (100% Annual Departures)

Pavement Structure Information by Layer

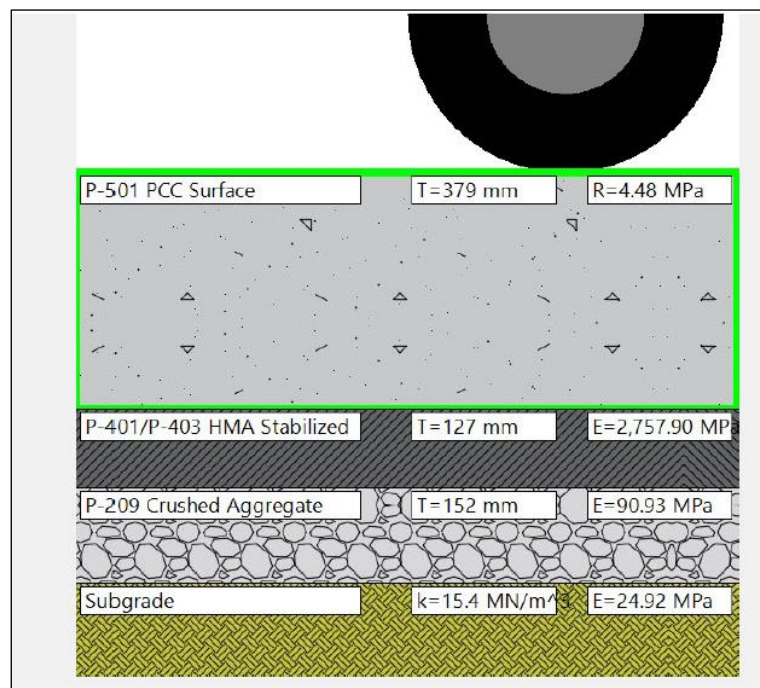
No.	Type	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	k (MN/m ³)	Poisson's Ratio	Strength R (MPa)
1	P-501 PCC Surface	379	27,579.04	0	0.15	4.48
2	P-401/P-403 HMA Stabilized	127	2,757.90	0	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	152	90.93	0	0.35	0
4	Subgrade	0	24.92	15.4	0.4	0

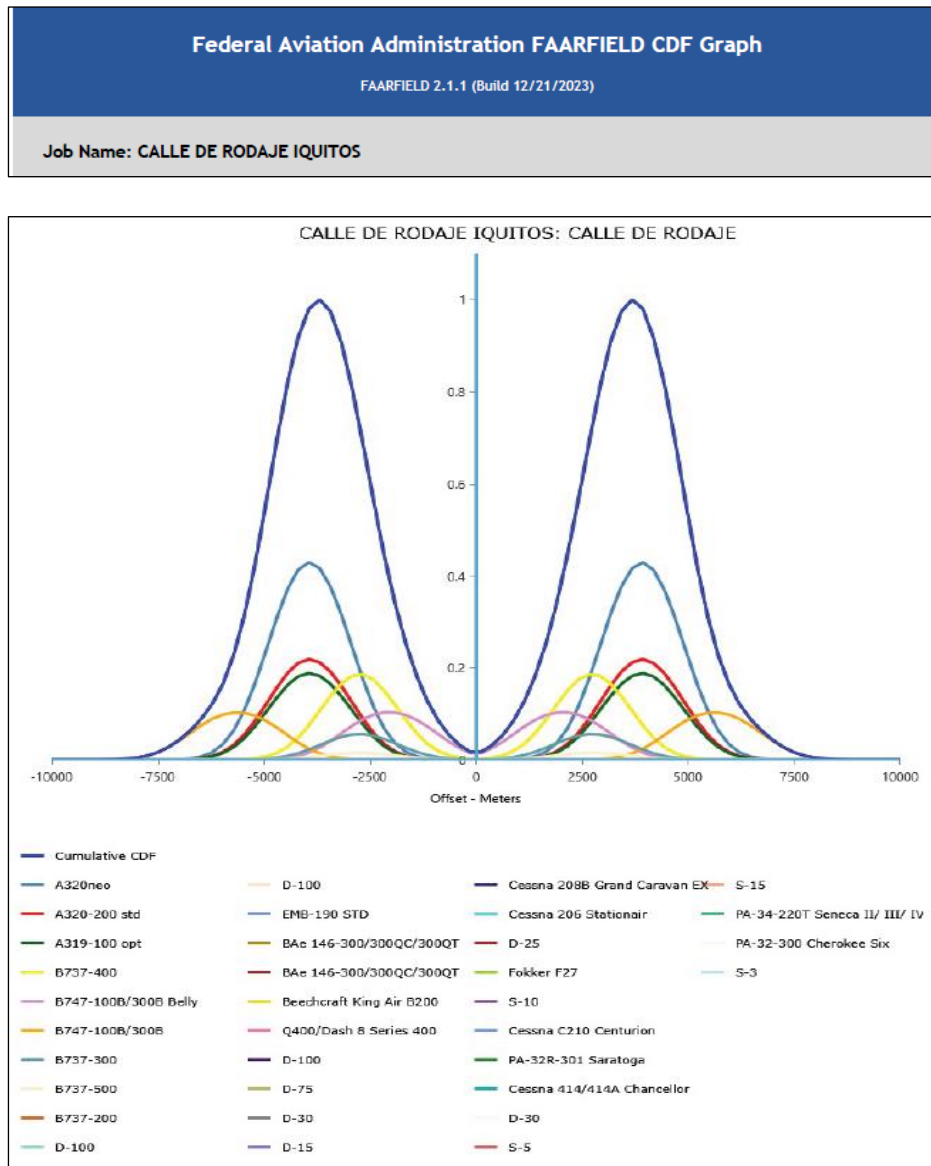
Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. (kg)	Annual Departures	% Annual Growth
1	S-3	1,520	109	0
2	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	111	0
3	PA-32R-301 Saratoga	1,632	235	0
4	Cessna 206 Stationair	1,633	352	0
5	Cessna C210 Centurion	1,814	260	0
6	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,100	151	0
7	S-5	2,155	155	0
8	Cessna 414/414A Chancellor	2,860	206	0
9	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	285	0
10	Beechcraft King Air B200	5,670	513	0
11	S-10	5,080	187	0
12	D-15	7,668	141	0
13	BAe 146-300/300QC/300QT	38,101	703	0
14	D-30	10,660	62	0
15	S-15	7,360	86	0
16	Fokker F27	19,773	115	0
17	D-75	27,000	157	0
18	Q400/Dash 8 Series 400	29,574	341	0
19	D-100	30,481	177	0
20	D-100	41,730	242	0
21	D-100	42,184	245	0
22	BAe 146-300/300QC/300QT	44,225	257	0
23	EMB-190 STD	45,000	261	0
24	A319-100 opt	75,500	439	0
25	A320neo	79,000	459	0
26	D-30	16,080	172	0
27	D-25	10,660	114	0
28	B737-200	52,390	562	0
29	B737-500	61,600	661	0
30	B737-300	63,200	1,356	0
31	B737-400	68,000	1,458	0
32	A320-200 std	73,700	790	0
33	B747-100B/300B	333,400	20	0
34	B747-100B/300B Betty	333,400	20	0

Additional Airplane Information				
No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	S-3	0.00	0.00	16.25
2	PA-32-300 Cherokee Six	0.00	0.00	15.16
3	PA-32R-301 Saratoga	0.00	0.00	12.83
4	Cessna 206 Stationair	0.00	0.00	14.91
5	Cessna C210 Centurion	0.00	0.00	13.73
6	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	0.00	0.00	13.72
7	S-5	0.00	0.00	12.6
8	Cessna 414/414A Chancellor	0.00	0.00	12.46
9	Cessna 208B Grand Caravan EX	0.00	0.00	11.54
10	Beechcraft King Air B200	0.00	0.00	7.93
11	S-10	0.00	0.00	8.92
12	D-15	0.00	0.00	5.48
13	BAe 146-300/300QC/300QT	0.00	0.00	3.72
14	D-30	0.00	0.00	4.89
15	S-15	0.00	0.00	7.3
16	Fokker F27	0.00	0.00	5.46
17	D-75	0.00	0.00	3.6
18	Q400/Dash 8 Series 400	0.00	0.00	5.51
19	D-100	0.00	0.00	3.55
20	D-100	0.00	0.00	3.55
21	D-100	0.00	0.00	3.55
22	BAe 146-300/300QC/300QT	0.00	0.00	3.72
23	EMB-190 STD	0.00	0.00	3.85
24	A319-100 opt	0.18	0.19	3.66
25	A320neo	0.42	0.43	3.56
26	D-30	0.00	0.00	4.89
27	D-25	0.00	0.00	5.03
28	B737-200	0.00	0.00	3.7
29	B737-500	0.01	0.02	3.82
30	B737-300	0.03	0.06	3.8
31	B737-400	0.11	0.19	3.52
32	A320-200 std	0.21	0.22	3.7
33	B747-100B/300B	0.01	0.10	4.05
34	B747-100B/300B Belly	0.03	0.10	4.07

NOTE:
User is responsible for checking frost protection requirements.





3.5). Resultados del diseño para la plataforma de estacionamiento de aeronaves.



Full Cross Section (100% Annual Departures)

Pavement Structure Information by Layer

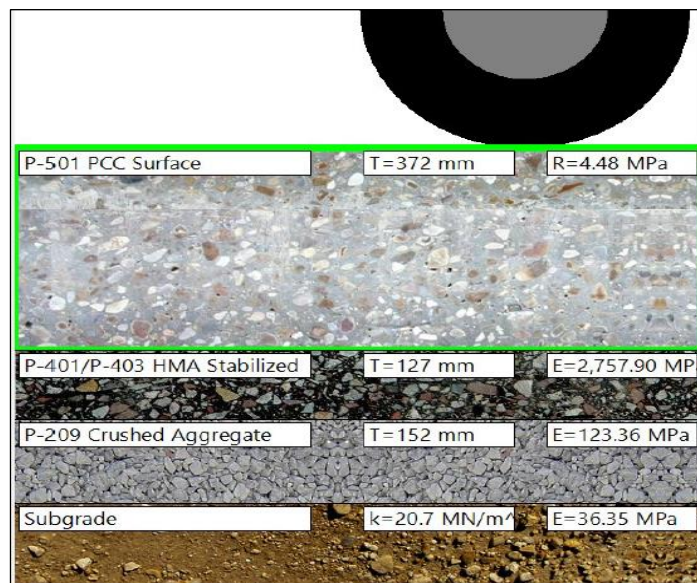
No.	Type	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	k (MN/m ³)	Poisson's Ratio	Strength R (MPa)
1	P-501 PCC Surface	372	27,579.04	0	0.15	4.48
2	P-401/P-403 HMA Stabilized	127	2,757.90	0	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	152	123.36	0	0.35	0
4	Subgrade	0	36.35	20.7	0.4	0

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. (kg)	Annual Departures	% Annual Growth
1	S-3	1,520	109	0
2	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	111	0
3	PA-32R-301 Saratoga	1,632	235	0
4	Cessna 206 Stationair	1,633	352	0
5	Cessna C210 Centurion	1,814	260	0
6	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,100	151	0
7	S-5	2,155	155	0
8	Cessna 414/414A Chancellor	2,860	206	0
9	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	285	0
10	Beechcraft King Air B200	5,670	513	0
11	S-10	5,080	187	0
12	D-15	7,668	141	0
13	BAe 146-300/300QC/300QT	38,101	703	0
14	D-30	10,660	62	0
15	S-15	7,360	86	0
16	Fokker F27	19,773	115	0
17	D-75	27,000	157	0
18	Q400/Dash 8 Series 400	29,574	341	0
19	D-100	30,481	177	0
20	D-100	41,730	242	0
21	D-100	42,184	245	0
22	BAe 146-300/300QC/300QT	44,225	257	0
23	EMB-190 STD	45,000	261	0
24	A319-100 opt	75,500	439	0
25	A320neo	79,000	459	0
26	D-30	16,080	172	0
27	D-25	10,660	114	0
28	B737-200	52,390	562	0
29	B737-500	61,600	661	0
30	B737-300	63,200	1,356	0
31	B737-400	68,000	1,458	0
32	A320-200 std	73,700	790	0
33	B747-100B/300B	333,400	20	0
34	B747-100B/300B Belly	333,400	20	0

Additional Airplane Information				
No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	S-3	0.00	0.00	16.25
2	PA-32-300 Cherokee Six	0.00	0.00	15.16
3	PA-32R-301 Saratoga	0.00	0.00	12.83
4	Cessna 206 Stationair	0.00	0.00	14.91
5	Cessna C210 Centurion	0.00	0.00	13.73
6	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	0.00	0.00	13.72
7	S-5	0.00	0.00	12.6
8	Cessna 414/414A Chancellor	0.00	0.00	12.46
9	Cessna 208B Grand Caravan EX	0.00	0.00	11.54
10	Beechcraft King Air B200	0.00	0.00	7.93
11	S-10	0.00	0.00	8.92
12	D-15	0.00	0.00	5.48
13	BAe 146-300/300QC/300QT	0.00	0.00	3.72
14	D-30	0.00	0.00	4.89
15	S-15	0.00	0.00	7.3
16	Fokker F27	0.00	0.00	5.46
17	D-75	0.00	0.00	3.6
18	Q400/Dash 8 Series 400	0.00	0.00	5.51
19	D-100	0.00	0.00	3.55
20	D-100	0.00	0.00	3.55
21	D-100	0.00	0.00	3.55
22	BAe 146-300/300QC/300QT	0.00	0.00	3.72
23	EMB-190 STD	0.00	0.00	3.85
24	A319-100 opt	0.19	0.19	3.66
25	A320neo	0.43	0.44	3.56
26	D-30	0.00	0.00	4.89
27	D-25	0.00	0.00	5.03
28	B737-200	0.00	0.00	3.7
29	B737-500	0.01	0.02	3.82
30	B737-300	0.03	0.06	3.8
31	B737-400	0.11	0.19	3.52
32	A320-200 std	0.22	0.22	3.7
33	B747-100B/300B	0.01	0.04	4.05
34	B747-100B/300B Belly	0.01	0.04	4.07

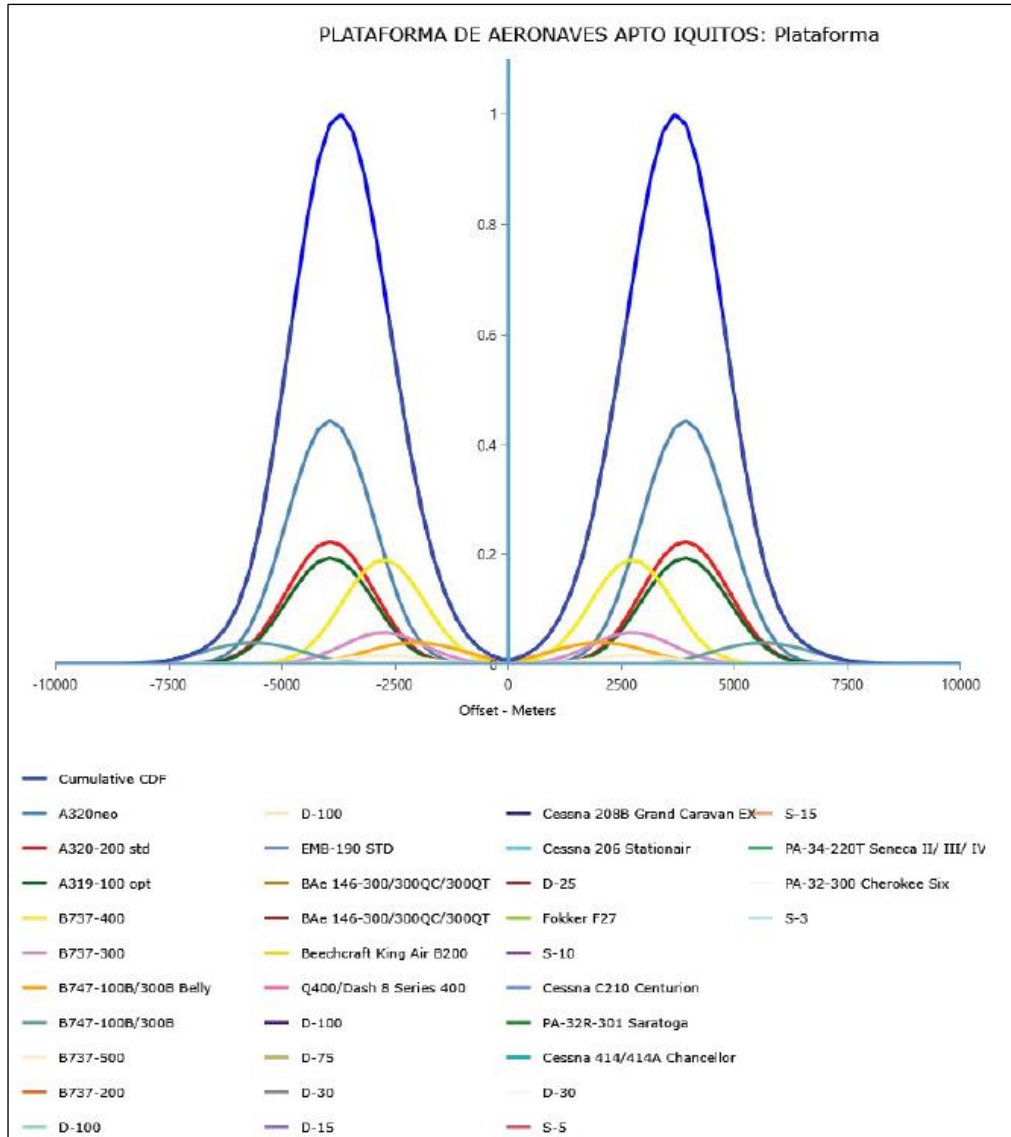
NOTE:
User is responsible for checking frost protection requirements.



Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.1.1 (Build 12/21/2023)

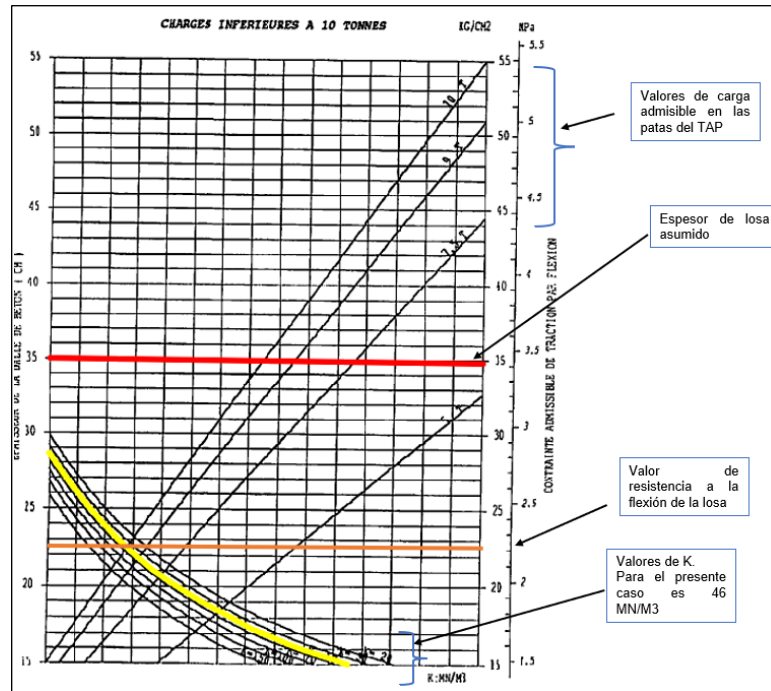
Job Name: PLATAFORMA DE AERONAVES APTO IQUITOS



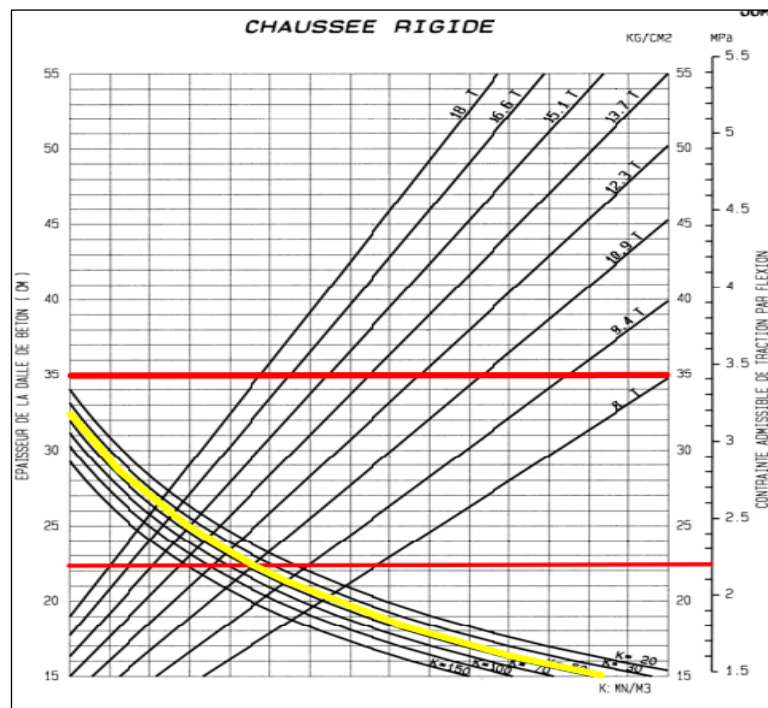
Anexo N° 04: Nomogramas de cálculo realizados en base al Método Francés

4.1.) Nomogramas del cálculo de P_0 , para un espesor de losa de 0.35 m.

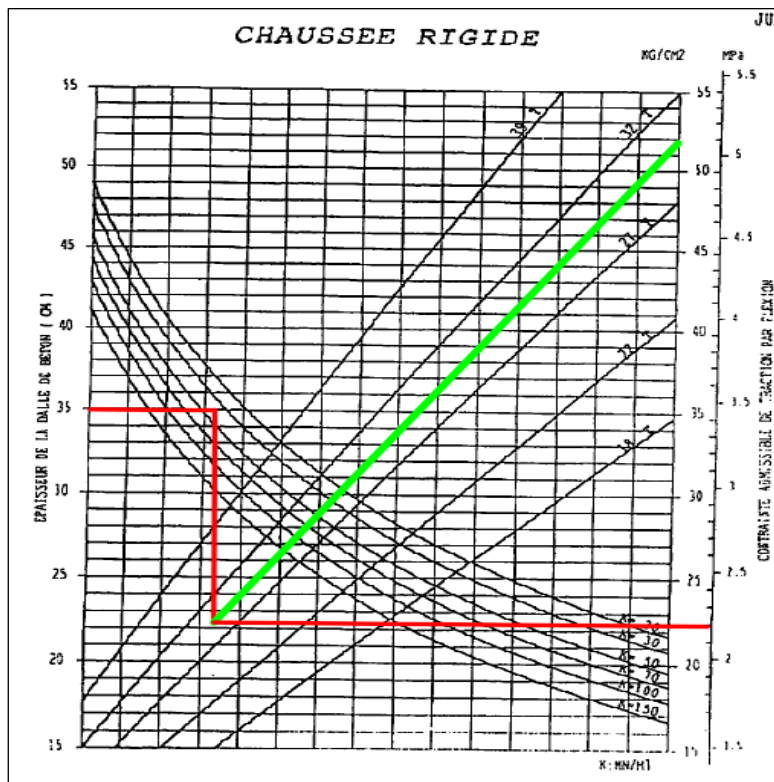
a) Nomograma para cargas en las patas del TAP menores a 10 tn



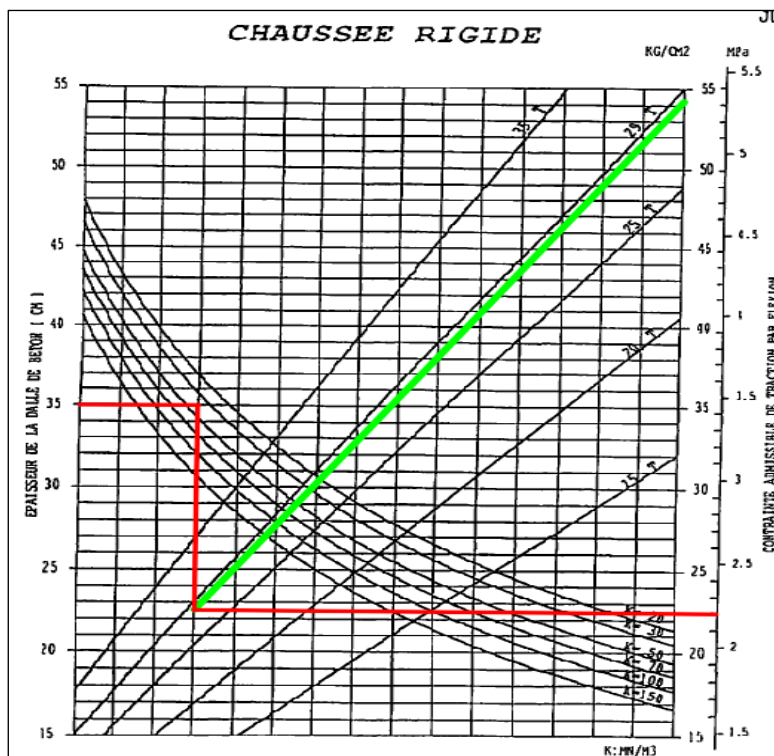
b) Nomograma para cargas en las patas del TAP del avión DASH 8Q-400 y similares



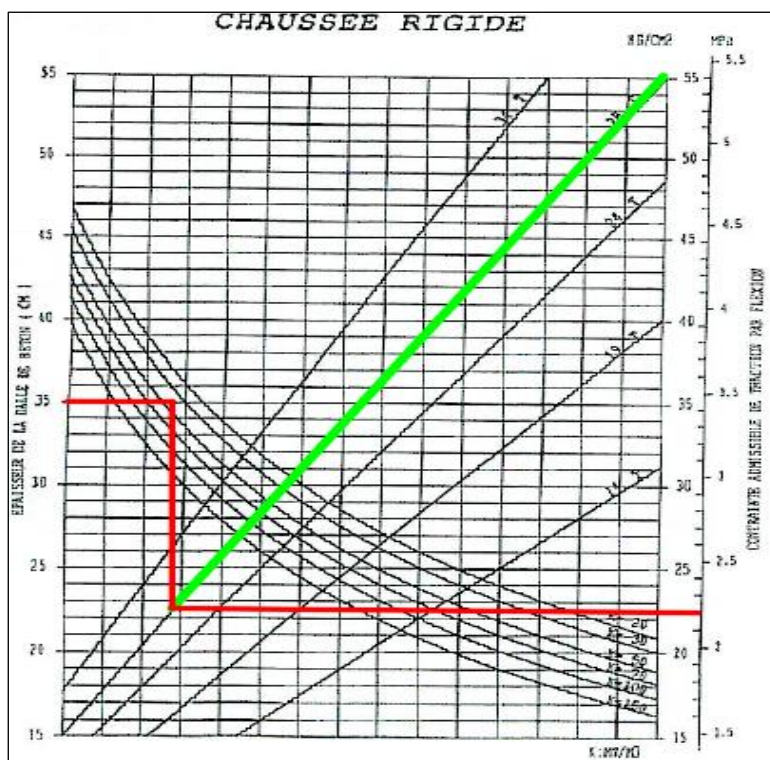
c) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones A319-100 y A320neo.



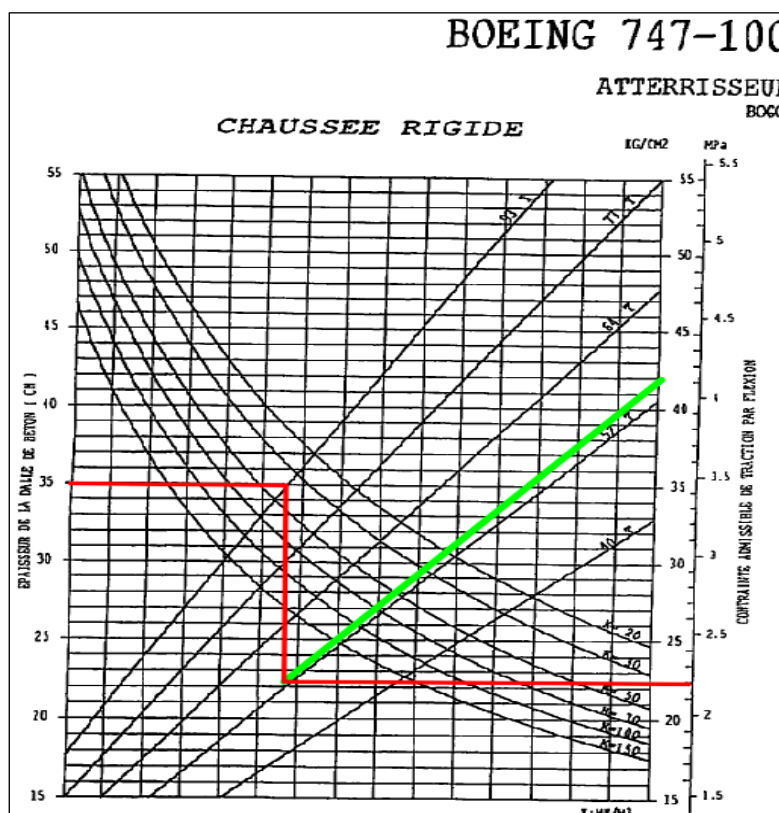
d) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones B737-300 y B733.



e) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones B737-200, B737-400 y B737-500.

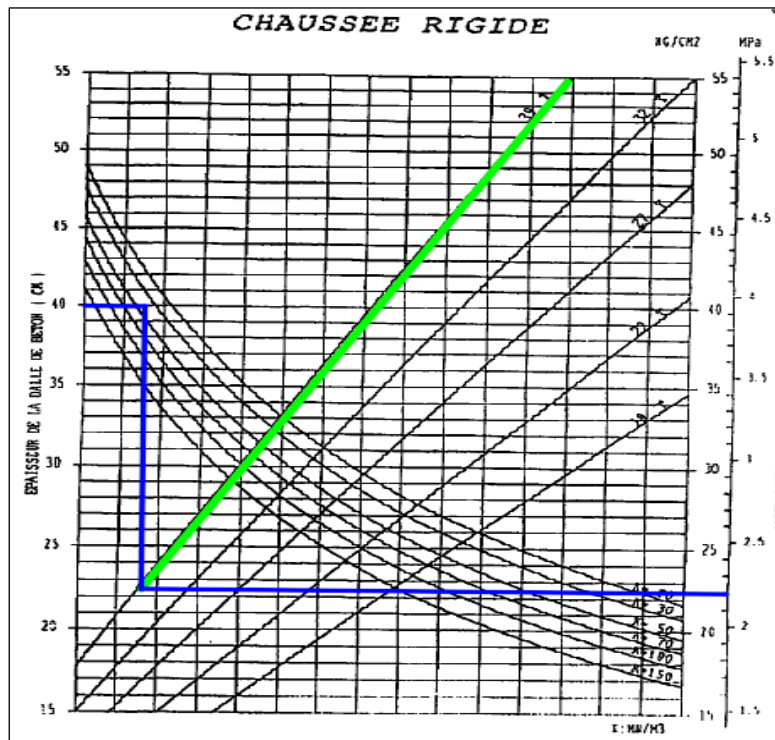


f) Nomograma para cargas en las patas del TAP del avión B747-100

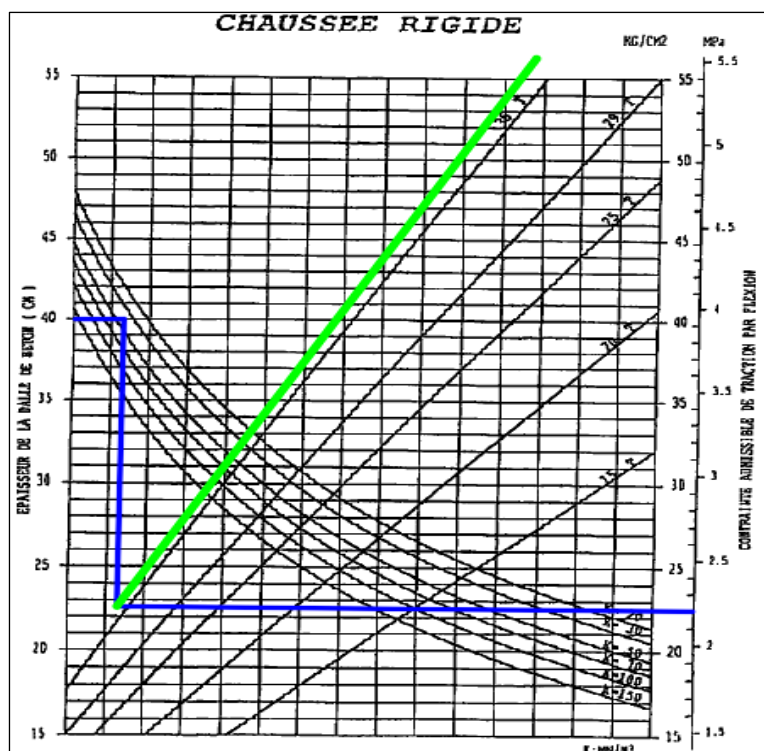


4.2.) Nomogramas del cálculo de P_0 , para un espesor de losa de 0.40 m.

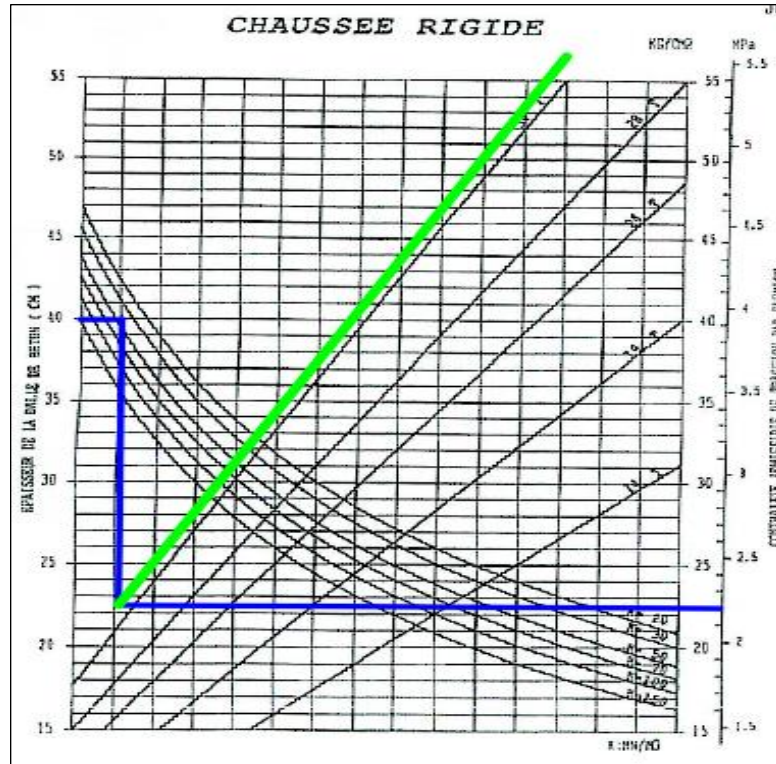
a) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones A319-100 y A320neo.



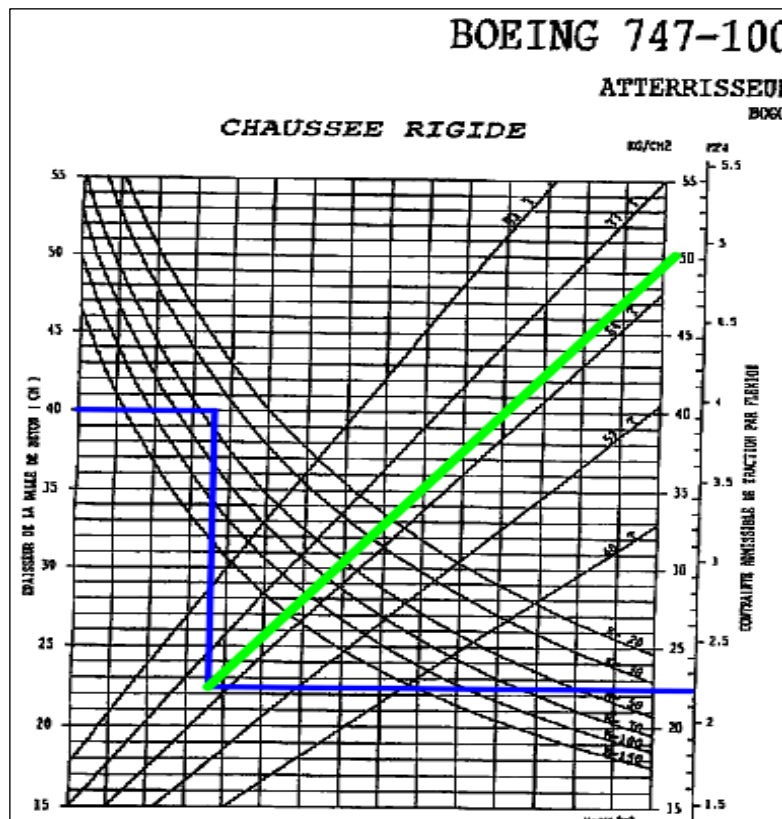
b) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones B737-300 y B733.



c) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones B737-200, B737-400 y B737-500.

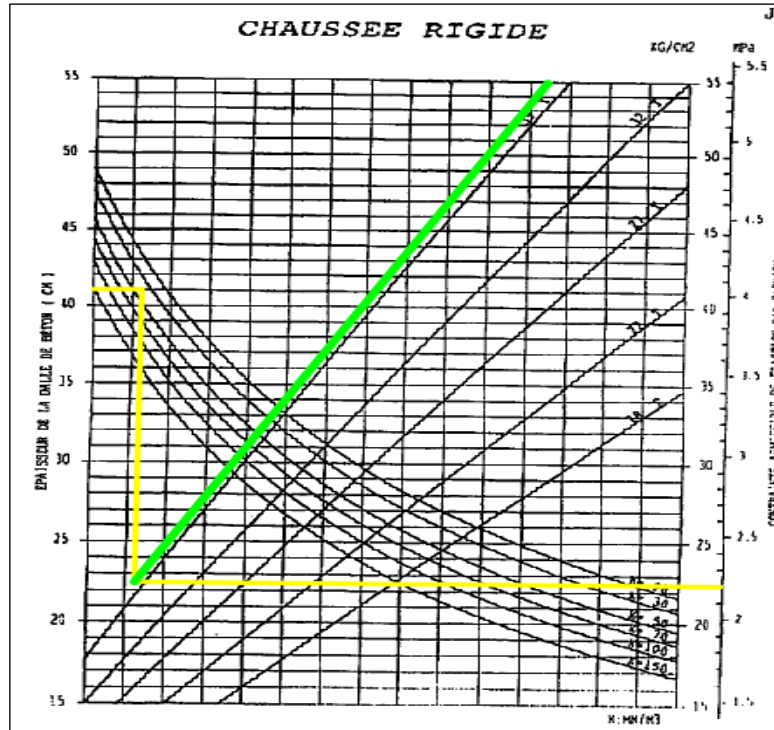


d) Nomograma para cargas en las patas del TAP del avión B747-100

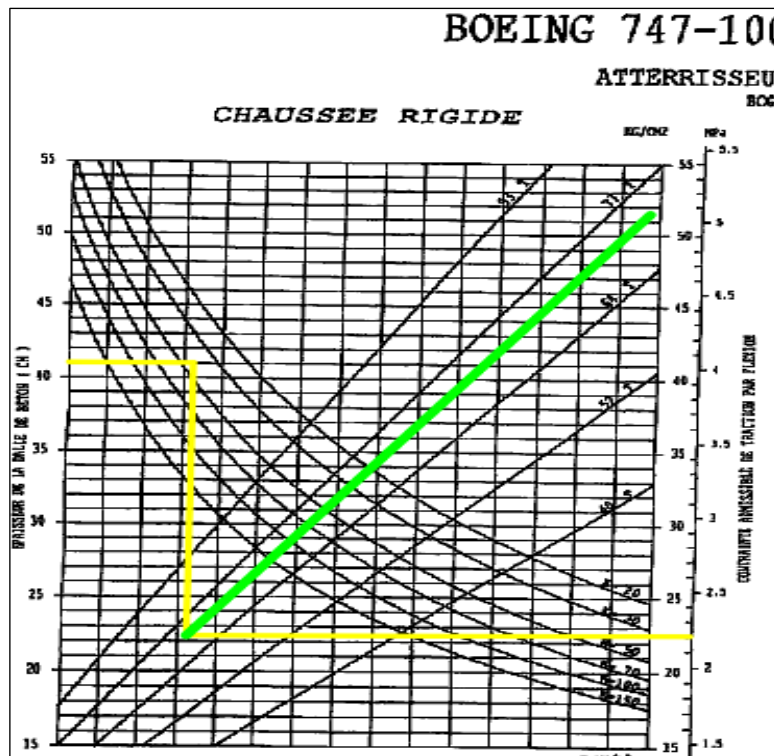


4.3.) Nomogramas del cálculo de P_0 , para un espesor de losa de 0.41 m.

a) Nomograma para cargas en las patas del TAP de los aviones A319-100 y A320neo.



b) Nomograma para cargas en las patas del TAP del avión B747-100



4.4.) Movimientos Equivalentes para la pista de aterrizaje y calles de rodaje B y C con espesor de losa igual a 0.35m.

Tipo de Aeronave	N° de Salidas anuales totales en 10 años	Ruedas en cada pata del tren	MTOW (Kg)	Peso en el TAP (kg)	Peso en una pata del TAP (kg) (P)	Ponderación de la carga para pista y calles de rodaje Px1.0.	Resistencia del concreto σ (Mpa)	Carga Admisible en cada pata del TAP (Kg) (P0)	Relación de carga R=P/P0	Coefficiente de Ponderación (CP)	Movimientos Equivalentes (N')
Cessna C-185A	3,321	Única	1,520	1,444	722	722	2.22	0	0	0	0.00
Piper PA-32	3,371	Única	1,542	1,465	733	733		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-300	3,572	Única	1,632	1,550	775	775		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-308	3,572	Única	1,632	1,550	775	775		0	0	0	0.00
Cessna C-U206G	3,572	Única	1,633	1,551	776	776		0	0	0	0.00
Cessna C-206	3,572	Única	1,633	1,551	776	776		0	0	0	0.00
Cessna C-U206F	3,572	Única	1,633	1,551	776	776		0	0	0	0.00
Cessna C-T210N	3,975	Única	1,814	1,723	862	862		0	0	0	0.00
Cessna C-210	3,975	Única	1,814	1,723	862	862		0	0	0	0.00
Piper Seneca PA-34-200T	4,578	Única	2,100	1,995	998	998		0	0	0	0.00
Piper PA-34	4,729	Única	2,155	2,047	1,024	1,024		0	0	0	0.00
Cessna C-402B	6,239	Única	2,860	2,717	1,359	1,359		0	0	0	0.00
Cessna C-208-B	8,704	Única	3,969	3,771	1,886	1,886		0	0	0	0.00
Beechcraft B-200	12,427	Dual	5,670	5,387	2,694	2,694		0	0	0	0.00
Piper CHIII PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,413		0	0	0	0.00
Piper PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,413		0	0	0	0.00
Beechcraft Super King Air 200	3,170	Dual	5,670	5,387	2,694	2,694		0	0	0	0.00
Beechcraft B1900D	4,327	Dual	7,668	7,285	3,643	3,643		0	0	0	0.00
BAE 146-100	21,382	Dual	38,101	36,196	18,098	18,098		0	0	0	0.00
Learjet 60	1,862	Dual	10,660	10,127	5,064	5,064		0	0	0	0.00
Jetstream J32	1,308	Única	7,350	6,983	3,492	3,492		0	0	0	0.00
Jetstream JS32 o BAE JS32	1,308	Única	7,360	6,992	3,496	3,496		0	0	0	0.00
Fokker F27-MK050	3,471	Dual	19,773	18,784	9,392	9,392		0	0	0	0.00
Antonov AN-32A	4,780	Dual	27,000	25,650	12,825	12,825		0	0	0	0.00
Bombardier DH 8D	5,132	Dual	28,998	27,548	13,774	13,774		0	0	0	0.00
Bombardier Dash 8-400	5,232	Dual	29,574	28,095	14,048	14,048		0	0	0	0.00
De Havilland Canada DHC-8-402	5,383	Dual	30,481	28,957	14,479	14,479		0	0	0	0.00
Fokker F70	7,396	Dual	41,730	39,644	19,822	19,822		0	0	0	0.00
BAE 146-200	7,446	Dual	42,184	40,075	20,038	20,038		0	0	0	0.00
BAE 146-300	7,798	Dual	44,225	42,014	21,007	21,007		0	0	0	0.00
Embraer 190 (E90)	7,949	Dual	45,000	42,750	21,375	21,375		0	0	0	0.00
Airbus A319-100	13,333	Dual	75,500	71,725	35,863	35,863		29,500	1.22	12.59	167,862.50
Airbus A320-Neo	13,987	Dual	79,000	75,050	37,525	37,525		29,500	1.27	22.39	313,168.90
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	5,232	Dual	16,080	15,276	7,638	7,638		0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	3,471	Dual	10,660	10,127	5,064	5,064		0	0	0	0.00
Boeing B737-200	17,106	Dual	52,390	49,771	24,886	24,886		28,000	0.89	0.28	4,789.70
Boeing B737-500	20,125	Dual	61,600	58,520	29,260	29,260		28,000	1.05	1.78	35,822.50
Boeing B737-300	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	30,020		28,500	1.05	1.78	36,717.80
Boeing B733	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	30,020		28,500	1.05	1.78	36,717.80
Boeing B737-400	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	32,300		28,000	1.15	5.62	124,690.90
Boeing B737-476	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	32,300	28,000	1.15	5.62	124,690.90	
Airbus A320-100	24,049	Dual	73,700	70,015	35,008	35,008	29,500	1.19	8.91	214,276.60	
Boeing B747-100	604	Doble tandem	333,400	316,730	79,183	79,183	53,000	1.49	281.84	170,231.40	
MOVIMIENTOS EQUIVALENTES TOTALES											1,228,969.00

4.5.) Movimientos Equivalentes para la pista de aterrizaje y calles de rodaje B y C con espesor de losa igual a 0.40m.

Tipo de Aeronave	N° de Salidas anuales totales en 10 años	Ruedas en cada pata del tren	MTOW (Kg)	Peso en el TAP (Kg)	P (Kg)	Ponderación Px1 (Kg)	σ (Mpa)	P0 (Kg)	R	CP	N'
Cessna C-185A	3,321	Única	1,520	1,444	722	722	2.22	0	0	0	0.00
Piper PA-32	3,371	Única	1,542	1,465	733	733		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-300	3,572	Única	1,632	1,550	775	775		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-308	3,572	Única	1,632	1,550	775	775		0	0	0	0.00
Cessna C-U206G	3,572	Única	1,633	1,551	776	776		0	0	0	0.00
Cessna C-206	3,572	Única	1,633	1,551	776	776		0	0	0	0.00
Cessna C-U206F	3,572	Única	1,633	1,551	776	776		0	0	0	0.00
Cessna C-T210N	3,975	Única	1,814	1,723	862	862		0	0	0	0.00
Cessna C-210	3,975	Única	1,814	1,723	862	862		0	0	0	0.00
Piper Seneca PA-34-200T	4,578	Única	2,100	1,995	998	998		0	0	0	0.00
Piper PA-34	4,729	Única	2,155	2,047	1,024	1,024		0	0	0	0.00
Cessna C-402B	6,239	Única	2,860	2,717	1,359	1,359		0	0	0	0.00
Cessna C-208-B	8,704	Única	3,969	3,771	1,886	1,886		0	0	0	0.00
Beechcraft B-200	12,427	Dual	5,670	5,387	2,694	2,694		0	0	0	0.00
Piper CHIII PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,413		0	0	0	0.00
Piper PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,413		0	0	0	0.00
Beechcraft Super King Air 200	3,170	Dual	5,670	5,387	2,694	2,694		0	0	0	0.00
Beechcraft B1900D	4,327	Dual	7,668	7,285	3,643	3,643		0	0	0	0.00
BAE 146-100	21,382	Dual	38,101	36,196	18,098	18,098		0	0	0	0.00
Learjet 60	1,862	Dual	10,660	10,127	5,064	5,064		0	0	0	0.00
Jetstream J32	1,308	Única	7,350	6,983	3,492	3,492		0	0	0	0.00
Jetstream JS32 o BAE JS32	1,308	Única	7,360	6,992	3,496	3,496		0	0	0	0.00
Fokker F27-MK050	3,471	Dual	19,773	18,784	9,392	9,392		0	0	0	0.00
Antonov AN-32A	4,780	Dual	27,000	25,650	12,825	12,825		0	0	0	0.00
Bombardier DH 8D	5,132	Dual	28,998	27,548	13,774	13,774		0	0	0	0.00
Bombardier Dash 8-400	5,232	Dual	29,574	28,095	14,048	14,048		0	0	0	0.00
De Havilland Canada DHC-8-402	5,383	Dual	30,481	28,957	14,479	14,479		0	0	0	0.00
Fokker F70	7,396	Dual	41,730	39,644	19,822	19,822		0	0	0	0.00
BAE 146-200	7,446	Dual	42,184	40,075	20,038	20,038		0	0	0	0.00
BAE 146-300	7,798	Dual	44,225	42,014	21,007	21,007		0	0	0	0.00
Embraer 190 (E90)	7,949	Dual	45,000	42,750	21,375	21,375		0	0	0	0.00
Airbus A319-100	13,333	Dual	75,500	71,725	35,863	35,863		39,000	0.92	0.4	5,333.20
Airbus A320-Neo	13,987	Dual	79,000	75,050	37,525	37,525		39,000	0.96	0.63	8,811.80
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	5,232	Dual	16,080	15,276	7,638	7,638		0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	3,471	Dual	10,660	10,127	5,064	5,064		0	0	0	0.00
Boeing B737-200	17,106	Dual	52,390	49,771	24,886	24,886		0	0	0	0.00
Boeing B737-500	20,125	Dual	61,600	58,520	29,260	29,260		0	0	0	0.00
Boeing B737-300	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	30,020		0	0	0	0.00
Boeing B733	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	30,020		0	0	0	0.00
Boeing B737-400	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	32,300		37,500	0.86	0.2	4,437.40
Boeing B737-476	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	32,300	37,500	0.86	0.2	4,437.40	
Airbus A320-100	24,049	Dual	73,700	70,015	35,008	35,008	39,000	0.9	0.32	7,695.70	
Boeing B747-100	604	Doble tandem	333,400	316,730	79,183	79,183	67,000	1.18	7.94	4,795.80	
MOVIMIENTOS EQUIVALENTES TOTALES											35,511.30

4.6.) Movimientos Equivalentes para la plataforma de estacionamiento de aeronaves con espesor de losa igual a 0.40m.

Tipo de Aeronave	N° de Salidas anuales totales en 10 años	Ruedas en cada pata del tren	MTOW (Kg)	Peso en el TAP (Kg)	P (Kg)	Ponderación Px1.1 (Kg)	σ (Mpa)	P0 (Kg)	R	CP	N'
Cessna C-185A	3,321	Única	1,520	1,444	722	794	2.22	0	0	0	0.00
Piper PA-32	3,371	Única	1,542	1,465	733	806		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-300	3,572	Única	1,632	1,550	775	853		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-308	3,572	Única	1,632	1,550	775	853		0	0	0	0.00
Cessna C-U206G	3,572	Única	1,633	1,551	776	854		0	0	0	0.00
Cessna C-206	3,572	Única	1,633	1,551	776	854		0	0	0	0.00
Cessna C-U206F	3,572	Única	1,633	1,551	776	854		0	0	0	0.00
Cessna C-T210N	3,975	Única	1,814	1,723	862	948		0	0	0	0.00
Cessna C-210	3,975	Única	1,814	1,723	862	948		0	0	0	0.00
Piper Seneca PA-34-200T	4,578	Única	2,100	1,995	998	1,098		0	0	0	0.00
Piper PA-34	4,729	Única	2,155	2,047	1,024	1,126		0	0	0	0.00
Cessna C-402B	6,239	Única	2,860	2,717	1,359	1,495		0	0	0	0.00
Cessna C-208-B	8,704	Única	3,969	3,771	1,886	2,075		0	0	0	0.00
Beechcraft B-200	12,427	Dual	5,670	5,387	2,694	2,963		0	0	0	0.00
Piper CHIII PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,654		0	0	0	0.00
Piper PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,654		0	0	0	0.00
Beechcraft Super King Air 200	3,170	Dual	5,670	5,387	2,694	2,963		0	0	0	0.00
Beechcraft B1900D	4,327	Dual	7,668	7,285	3,643	4,007		0	0	0	0.00
BAE 146-100	21,382	Dual	38,101	36,196	18,098	19,908		0	0	0	0.00
Learjet 60	1,862	Dual	10,660	10,127	5,064	5,570		0	0	0	0.00
Jetstream J32	1,308	Única	7,350	6,983	3,492	3,841		0	0	0	0.00
Jetstream JS32 o BAE JS32	1,308	Única	7,360	6,992	3,496	3,846		0	0	0	0.00
Fokker F27-MK050	3,471	Dual	19,773	18,784	9,392	10,331		0	0	0	0.00
Antonov AN-32A	4,780	Dual	27,000	25,650	12,825	14,108		0	0	0	0.00
Bombardier DH 8D	5,132	Dual	28,998	27,548	13,774	15,151		0	0	0	0.00
Bombardier Dash 8-400	5,232	Dual	29,574	28,095	14,048	15,453		0	0	0	0.00
De Havilland Canada DHC-8-402	5,383	Dual	30,481	28,957	14,479	15,927		0	0	0	0.00
Fokker F70	7,396	Dual	41,730	39,644	19,822	21,804		0	0	0	0.00
BAE 146-200	7,446	Dual	42,184	40,075	20,038	22,042		0	0	0	0.00
BAE 146-300	7,798	Dual	44,225	42,014	21,007	23,108		0	0	0	0.00
Embraer 190 (E90)	7,949	Dual	45,000	42,750	21,375	23,513		0	0	0	0.00
Airbus A319-100	13,333	Dual	75,500	71,725	35,863	39,449		39,000	1.01	1.12	14,933.00
Airbus A320-Neo	13,987	Dual	79,000	75,050	37,525	41,278		39,000	1.06	2	27,974.00
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	5,232	Dual	16,080	15,276	7,638	8,402		0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	3,471	Dual	10,660	10,127	5,064	5,570		0	0	0	0.00
Boeing B737-200	17,106	Dual	52,390	49,771	24,886	27,375		0	0	0	0.00
Boeing B737-500	20,125	Dual	61,600	58,520	29,260	32,186		0	0	0	0.00
Boeing B737-300	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	33,022		0	0	0	0.00
Boeing B733	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	33,022		0	0	0	0.00
Boeing B737-400	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	35,530		37,500	0.95	0.56	12,424.70
Boeing B737-476	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	35,530	37,500	0.95	0.56	12,424.70	
Airbus A320-100	24,049	Dual	73,700	70,015	35,008	38,509	39,000	0.99	0.89	21,403.60	
Boeing B747-100	604	Doble tandem	333,400	316,730	79,183	87,101	67,000	1.3	31.62	19,098.50	
MOVIMIENTOS EQUIVALENTES TOTALES											108,258.50

4.7.) Movimientos Equivalentes para la plataforma de estacionamiento de aeronaves con espesor de losa igual a 0.41m.

Tipo de Aeronave	N° de Salidas anuales totales en 10 años	Ruedas en cada pata del tren	MTOW (Kg)	Peso en el TAP (Kg)	P (Kg)	Ponderación Px1.1 (Kg)	σ (Mpa)	P0 (Kg)	R	CP	N'
Cessna C-185A	3,321	Única	1,520	1,444	722	794	2.22	0	0	0	0.00
Piper PA-32	3,371	Única	1,542	1,465	733	806		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-300	3,572	Única	1,632	1,550	775	853		0	0	0	0.00
Piper PA-32RT-308	3,572	Única	1,632	1,550	775	853		0	0	0	0.00
Cessna C-U206G	3,572	Única	1,633	1,551	776	854		0	0	0	0.00
Cessna C-206	3,572	Única	1,633	1,551	776	854		0	0	0	0.00
Cessna C-U206F	3,572	Única	1,633	1,551	776	854		0	0	0	0.00
Cessna C-T210N	3,975	Única	1,814	1,723	862	948		0	0	0	0.00
Cessna C-210	3,975	Única	1,814	1,723	862	948		0	0	0	0.00
Piper Seneca PA-34-200T	4,578	Única	2,100	1,995	998	1,098		0	0	0	0.00
Piper PA-34	4,729	Única	2,155	2,047	1,024	1,126		0	0	0	0.00
Cessna C-402B	6,239	Única	2,860	2,717	1,359	1,495		0	0	0	0.00
Cessna C-208-B	8,704	Única	3,969	3,771	1,886	2,075		0	0	0	0.00
Beechcraft B-200	12,427	Dual	5,670	5,387	2,694	2,963		0	0	0	0.00
Piper CHIII PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,654		0	0	0	0.00
Piper PA-42	2,868	Única	5,080	4,826	2,413	2,654		0	0	0	0.00
Beechcraft Super King Air 200	3,170	Dual	5,670	5,387	2,694	2,963		0	0	0	0.00
Beechcraft B1900D	4,327	Dual	7,668	7,285	3,643	4,007		0	0	0	0.00
BAE 146-100	21,382	Dual	38,101	36,196	18,098	19,908		0	0	0	0.00
Learjet 60	1,862	Dual	10,660	10,127	5,064	5,570		0	0	0	0.00
Jetstream J32	1,308	Única	7,350	6,983	3,492	3,841		0	0	0	0.00
Jetstream JS32 o BAE JS32	1,308	Única	7,360	6,992	3,496	3,846		0	0	0	0.00
Fokker F27-MK050	3,471	Dual	19,773	18,784	9,392	10,331		0	0	0	0.00
Antonov AN-32A	4,780	Dual	27,000	25,650	12,825	14,108		0	0	0	0.00
Bombardier DH 8D	5,132	Dual	28,998	27,548	13,774	15,151		0	0	0	0.00
Bombardier Dash 8-400	5,232	Dual	29,574	28,095	14,048	15,453		0	0	0	0.00
De Havilland Canada DHC-8-402	5,383	Dual	30,481	28,957	14,479	15,927		0	0	0	0.00
Fokker F70	7,396	Dual	41,730	39,644	19,822	21,804		0	0	0	0.00
BAE 146-200	7,446	Dual	42,184	40,075	20,038	22,042		0	0	0	0.00
BAE 146-300	7,798	Dual	44,225	42,014	21,007	23,108		0	0	0	0.00
Embraer 190 (E90)	7,949	Dual	45,000	42,750	21,375	23,513		0	0	0	0.00
Airbus A319-100	13,333	Dual	75,500	71,725	35,863	39,449		0	0	0	0.00
Airbus A320-Neo	13,987	Dual	79,000	75,050	37,525	41,278		0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind G200 Galaxi	5,232	Dual	16,080	15,276	7,638	8,402		0	0	0	0.00
Israel Aircraft Ind 1125 Astra	3,471	Dual	10,660	10,127	5,064	5,570		0	0	0	0.00
Boeing B737-200	17,106	Dual	52,390	49,771	24,886	27,375		0	0	0	0.00
Boeing B737-500	20,125	Dual	61,600	58,520	29,260	32,186		0	0	0	0.00
Boeing B737-300	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	33,022		0	0	0	0.00
Boeing B733	20,628	Dual	63,200	60,040	30,020	33,022		0	0	0	0.00
Boeing B737-400	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	35,530		38,000	0.94	0.5	11,093.50
Boeing B737-476	22,187	Dual	68,000	64,600	32,300	35,530	38,000	0.94	0.5	11,093.50	
Airbus A320-100	24,049	Dual	73,700	70,015	35,008	38,509	0	0	0	0.00	
Boeing B747-100	604	Doble tandem	333,400	316,730	79,183	87,101	73,000	1.19	8.91	5,381.60	
MOVIMIENTOS EQUIVALENTES TOTALES											27,568.60

Anexo N° 05: Esquema referencial de la losa de concreto hidráulico, juntas y Dowels

