

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



**APLICACIÓN DE LA TÉCNICA WHITETOPPING COMO
ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN PARA EXTENDER LA
VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO**

TESIS

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

PRESENTADA POR:

Bach. ARIAS PLASENCIA, DAVID ISRAEL

Bach. LEGUIA ORTIZ, GRECIA ALEJANDRA

ASESOR:

MSc. Ing. NESTOR WILFREDO HUAMÁN GUERRERO

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi familia, a mis padres, a mi abuelita Olga y a todas las personas que me acompañaron en este camino motivándome para lograr la titulación, muchas gracias.

David Israel Arias Plasencia

A mis padres por todo su apoyo, esfuerzo y paciencia, ellos fueron mi impulso para seguir adelante y lograr mis metas. A mis abuelitos Aquilino y Aleja, por sus buenos consejos que nunca olvidaré.

Grecia Alejandra Leguía Ortiz

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos a nuestra alma mater, donde durante estos últimos años hemos pasado experiencias inolvidables, aprendiendo y amando cada día más esta maravillosa carrera, a nuestros docentes que siempre estuvieron dispuestos a compartir sus conocimientos y pasión por la ingeniería, a la ingeniera María Esther Sánchez Llatas quien desde el primer ciclo nos formó como profesionales honestos, a nuestros asesores el Ing. Néstor Huamán Guerrero y al Ing. Joaquín Samuel Tamara Rodríguez que sin sus exigencias, recomendaciones y motivación a lo largo de la investigación, no hubiera sido posible culminar este proyecto. A nuestros familiares, padres, compañeros y amigos quienes nos han brindado su apoyo y ayuda incondicional a lo largo del proyecto.

Israel Arias y Grecia Leguía

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	1
1.1.1 Problema General	1
1.1.2 Problema específico	1
1.2 Objetivos: general y específico	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivo Específico.....	2
1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática	2
1.3.1 Delimitación espacial.....	2
1.3.2 Delimitación temporal	2
1.3.3 Delimitación temática	2
1.4 Importancia y justificación del estudio.....	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes del estudio de investigación	3
2.1.1 Nacionales	3
2.1.2 Internacionales.....	5
2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	8
2.2.1 Normativa de pavimentos aeroportuarios	8
2.2.2 Whitetopping.....	9
2.2.3 Clasificación de Whitetopping según el espesor.....	10
2.2.3.1 Whitetopping Convencional	10
2.2.3.2 Whitetopping delgado	10
2.2.3.3 Whitetopping ultra delgado	10
2.2.4 Condición del pavimento.....	10
2.2.5 Indicadores de funcionalidad	12
2.2.5.1 De acuerdo a su adherencia	12
2.2.5.2 Juntas.....	14

2.2.6	Proceso constructivo.....	15
2.2.6.1	Adherido.....	15
2.2.6.2	No adherido	18
2.2.7	Usos y aplicación	21
2.2.8	Ventajas	21
2.2.9	Metodología de diseño de la sobrecapa.....	22
2.2.9.1	Número de clasificación de aeronaves (ACN)	22
2.2.9.2	Número de clasificación de pavimentos (PCN)	22
2.2.9.3	Método ACN /PCN.....	22
2.3	Definición de términos	23
2.3.1	Términos relacionados a Whitetopping	23
2.3.1.1	Fresado	23
2.3.1.2	Curado.....	24
2.3.1.3	Juntas.....	24
2.3.1.4	Rehabilitación.....	24
2.3.2	Términos relacionados a aeropuertos	24
2.3.2.1	Aeródromo.....	24
2.3.2.2	Área de aterrizaje	24
2.3.2.3	Número de clasificación de aeronaves (ACN)	24
2.3.2.4	Número de clasificación de pavimentos (PCN)	24
2.3.2.5	Lugar crítico	24
2.3.2.6	CBR (California Bearing Ratio).....	25
2.3.3	Términos relacionados a pavimentos flexibles aeroportuarios:	25
2.3.3.1	Pavimento Flexible	25
2.3.3.2	Ahuellamiento	25
2.3.3.3	Bache.....	25
2.3.3.4	Exudación del asfalto	25
2.3.3.5	Agrietamiento en bloque	25
2.3.3.6	Ondulaciones	25
2.3.3.7	Depresiones	26
2.3.3.8	Piel de cocodrilo	26
2.3.3.9	Mantenimiento rutinario.....	26
2.3.3.10	Mantenimiento periódico	27
2.3.3.11	Vida útil.....	27

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	28
3.1 Hipótesis	28
3.1.1 Hipótesis General	28
3.1.2 Hipótesis Específicas.....	28
3.2 Variables	28
3.2.1 Definición conceptual de las variables	28
3.2.2 Operacionalización de las variables.....	29
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
4.1 Tipo y nivel	30
4.1.1 Finalidad de la Investigación	30
4.1.2 Enfoque de la Investigación.....	30
4.1.3 Metodología de comprobación de hipótesis	30
4.2 Diseño de investigación.....	30
4.3 Población y muestra	31
4.3.1 Población del estudio.....	31
4.3.2 Diseño Muestral	31
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
4.4.1 Tipo de técnicas e instrumentos	31
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	31
4.4.3 Procedimiento para recolección de datos	32
4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de información.....	32
CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	33
5.1 Información Básica.....	33
5.1.1 Antecedentes.....	33
5.1.2 Ubicación geográfica.....	33
5.1.3 Climatología.....	34
5.2 Evaluación del pavimento existente	35
5.2.1 Características de pavimento existente.....	35
5.2.2 Método de diseño ACN/PCN.....	35
5.2.2.1 Determinación del ACN.....	36

5.2.2.2 Determinación del PCN	42
5.3 Diseño de Whitetopping	45
5.3.1 Consideraciones técnicas	45
5.3.1.1 Método de adherencia	45
5.3.1.2 Espesor de capa Whitetopping	47
5.3.1.3 Distanciamiento de Juntas	49
5.3.1.4 Aserramiento de juntas.....	51
5.4 Proceso constructivo.....	52
5.4.1 Trabajo previo.....	52
5.4.2 Colocación del concreto hidráulico	53
5.4.3 Ejecución de juntas	54
5.5 Resultados de la investigación.	55
5.6 Análisis e interpretación de los resultados.....	59
5.7 Contrastación de hipótesis	62
5.7.1 Hipótesis específica 1	62
5.7.2 Hipótesis específica 2	64
5.7.3 Hipótesis específica 3	65
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS.....	74
ANEXO N°1 Matriz de consistencia	75
ANEXO N°2 Operacionalización de las variables.....	76
ANEXO N°3 Plano del Aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes	77
ANEXO N°4 Características del Aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes - CORPAC	78
ANEXO N°5 Número de clasificación de aeronave	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Clasificación de Whitetopping según el espesor.....	10
Tabla N°2 Operacionalización de las variables	29
Tabla N°3 Temperatura máxima y mínima en Tarapoto.....	34
Tabla N°4 Aerolíneas y aeronaves del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes.....	37
Tabla N°5 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Boeing737-300.....	38
Tabla N°6 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Beechcraft 1900	39
Tabla N°7 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Bae Jetstream 32	40
Tabla N°8 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Airbus A320 Neo	40
Tabla N°9 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Airbus A320.....	41
Tabla N°10 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Airbus 319	42
Tabla N°11 Código de acuerdo al tipo de pavimento	44
Tabla N°12 Código de acuerdo a la resistencia del pavimento	44
Tabla N°13 Código de acuerdo a la presión admisible del pavimento	44
Tabla N°14 Código de acuerdo al método de análisis.....	45
Tabla N°15 PCN del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes	45
Tabla N°16 Ábaco de conversión del ACN para pavimentos flexibles	48
Tabla N°17 Condiciones del pavimento y reparaciones	52
Tabla N°18 Ventajas y desventajas del Whitetopping	57
Tabla N°19 Tratamientos de rehabilitación para pavimentos flexibles en aeropuertos ..	58
Tabla N°20 Rendimiento del tratamiento de rehabilitación	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1 Refuerzo Whitetopping de acuerdo al pavimento existente.	9
Figura N°2 Comportamiento del esfuerzo de acuerdo a su adherencia	12
Figura N°3 Capa de refuerzo adherido	13
Figura N°4 Capa de refuerzo no adherido	14
Figura N°5 Ubicación geográfica.....	33
Figura N°6 Clima del distrito de Tarapoto	34
Figura N°7 Características del Boeing 737-300	37
Figura N°8 Modelo de aeronave Beechcraft 1900.....	38
Figura N°9 Modelo de aeronave Bae Jetstream 32	39
Figura N°10 Características de la aeronave Airbus A319	41
Figura N°11 Distribución de esfuerzos de acuerdo a su adherencia.....	46
Figura N°12 Trabajabilidad del pavimento de acuerdo a su adherencia	47
Figura N°13 Máximo ACN permisible según tipo de pavimentos	49
Figura N°14 Efecto de las juntas en los pavimentos	50
Figura N°15 Pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes	50
Figura N°16 Distancia recomendada para corte de juntas	54
Figura N°17 Vida útil del pavimento flexible	55
Figura N°18 Vida útil del pavimento rígido	56
Figura N°19 Aeropuerto Jorge Newbery.....	59
Figura N°20 Variación de temperatura en Tarapoto	60
Figura N°21 Whitetopping en el Aeropuerto Spirit of St. Louis (1994).....	63
Figura N°22 Whitetopping en el Aeropuerto Spirit of St. Louis (2016).....	63

RESUMEN

El desarrollo de la presente investigación titulada “APLICACIÓN DE LA TÉCNICA WHITETOPPING COMO ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO”, tiene como objetivo explicar de forma teórica en que consiste esta alternativa de rehabilitación de pavimento, verificando la viabilidad de la técnica para pavimentos aeroportuarios, enfocándose como caso práctico la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes de Tarapoto, debido al pavimento asfáltico de la pista en conjunto a los cambios bruscos de temperatura de la zona, todo esto facilita el desgaste y fallas superficiales por lo que se planteará una solución mediante la técnica Whitetopping, cumpliendo con los criterios de diseño ACN/PCN vigentes en el aeropuerto.

En la actualidad el correcto funcionamiento de los pavimentos representa el punto más importante para las operaciones en los aeropuertos, es por eso que mediante esta tesis buscamos proveer la información necesaria sobre el correcto uso de la técnica Whitetopping y sus criterios de aplicación y viabilidad para los pavimentos aeroportuarios, para así disminuir los costos por mantenimiento y optimizar la vida útil del mismo.

Así como entender el diseño ACN/PCN y tener la suficiente información para hacerla compatible con esta técnica de rehabilitación, de esta manera poder tener un mejor control de mantenimiento, conservando los pavimentos aeroportuarios en buen estado, mejorando la seguridad y optimizando los costos por mantenimiento y vida útil.

Palabras Clave: Cobertura blanca, rehabilitación, pavimento, juntas, fresado.

ABSTRACT

The development of the following piece of research entitled "APPLICATION OF THE WHITETOPPING TECHNIQUE AS A REHABILITATION ALTERNATIVE TO EXTEND THE USEFUL LIFE OF ASPHALTIC PAVEMENT", has the objective of explaining in a theoretical way what this pavement rehabilitation alternative consists of, verifying the feasibility of this technique for airport pavements and focusing on the runway of the Guillermo Del Castillo Paredes airport, in Tarapoto, as a practical case due to the asphalt pavement of the runway which faces the sudden temperature changes of the area. Since these climatological factors facilitate deterioration and surface damage at the airport, a solution will be proposed using the Whitetopping technique, complying with the ACN/PCN design criteria currently applicable at the airport.

Nowadays, the correct functioning of pavements represents the most important point for airport operations. Therefore, we seek to provide the necessary information on the correct use of the Whitetopping technique through this thesis. We will also explain its application criteria and feasibility for airport pavements in order to reduce maintenance costs, optimize its useful life, understand the ACN/PCN design and have enough information to make it compatible. In this way, it will be possible to have a better maintenance control, keeping airport pavements in good conditions, improving safety as well as optimizing maintenance costs and service life.

Key Words: Whitetopping, rehabilitation, pavement, joints, milling.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación tiene como objetivo principal dar a conocer la técnica Whitetopping para rehabilitar pavimentos aeroportuarios ya que en nuestro país no es un tema conocido y utilizado; y es de alta importancia ya que aportará a nuevas soluciones de reparaciones del pavimento, ayudando a los profesionales ingenieros y a empresas del rubro de infraestructura vial a optar por esta técnica de rehabilitación para optimizar costos y mejorar la vida útil del pavimento asfáltico.

En el primer capítulo, describiremos la problemática de la investigación, presentaremos los objetivos para el trabajo de investigación, delimitación de la investigación, importancia y justificación del estudio planteando la aplicación de la técnica Whitetopping para pavimentos aeroportuarios. Dado que actualmente en el país no existen muchos estudios que se enfocan en el diseño y mantenimiento de este tipo de pavimentos, consideramos pertinente plantear este método de rehabilitación de forma teórica para el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes de Tarapoto. En el segundo capítulo, describiremos las bases teóricas para definir las variables de estudios y sus dimensiones considerando investigaciones relacionadas con el tema que nos sirvan de antecedentes para el trabajo de investigación. En el tercer capítulo, se plantearán las hipótesis y las variables a investigar. El cuarto capítulo se enfocará en la metodología de estudio que tendrá la investigación, características, técnicas e instrumentos a utilizar. En el quinto capítulo, se desarrollará el diseño de la capa de refuerzo Whitetopping de acuerdo al CBR y PCN presente en el diseño del pavimento flexible a rehabilitar, así como también las consideraciones técnicas y proceso constructivo. Finalmente, presentaremos los resultados de la investigación y su análisis respectivo para justificar las conclusiones.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

La colocación de capas de concreto hidráulico para rehabilitar la superficie de pavimentos existentes, se puede encontrar desde el año 1901.

Las rehabilitaciones superficiales con concreto hidráulico han experimentado un crecimiento impresionante, que se hace evidente por el número de carreteras en servicio a las que se ha rehabilitado la superficie en las últimas tres décadas. Entre 1980 y 2010, se construyeron cinco veces más proyectos de capas de refuerzo con concreto hidráulico por década, que los construidos en las seis décadas anteriores. (Harrington, 2014)

De acuerdo a la historia, diversos estudios y trabajos de investigación relacionados a la técnica Whitetopping, se sabe que es un método eficiente para la rehabilitación de pavimentos dañados o deteriorados. Sin embargo, para este trabajo de investigación queremos estudiar este método orientándose a pavimentos aeroportuarios, con el fin de optimizar la vida útil del pavimento asfáltico deteriorado por las diversas cargas que soporta, es importante recalcar que este método tiene ciertas limitaciones que a lo largo de la investigación iremos mencionando y teniendo en cuenta, pero lo más importante es evaluar la factibilidad y diferentes formas de adherencia entre la estructura de pavimento existente y la capa superficial Whitetopping con el fin de rehabilitar el pavimento asfáltico aeroportuario y optimizar su vida útil.

1.1.1 Problema General

¿De qué manera la aplicación de la técnica Whitetopping es una alternativa de rehabilitación de pavimento asfáltico en aeropuertos?

1.1.2 Problema específico

a) ¿En qué medida la técnica Whitetopping extiende la vida útil del pavimento en aeropuertos?

b) ¿Cómo determinar el espesor de la capa superficial rígida y separación entre juntas para la aplicación de la técnica Whitetopping?

c) ¿De qué manera se desarrolla el proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto?

1.2 Objetivos: general y específico

1.2.1 Objetivo General

Aplicar la técnica Whitetopping como una alternativa de rehabilitación para extender la vida útil del pavimento asfáltico en el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto - año 2021.

1.2.2 Objetivo Específico

- a) Proponer la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.
- b) Determinar el espesor de la aplicación de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.
- c) Desarrollar el proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temática

1.3.1 Delimitación espacial

Debido a que la tesis es descriptiva, los estudios son trabajos recopilados de diferentes autores y libros relacionados al tema aplicado en diferentes partes del mundo.

1.3.2 Delimitación temporal

Esta investigación se realizará desde el mes de mayo del 2021 hasta quedar concluida el mes de noviembre del 2021.

1.3.3 Delimitación temática

En la presente tesis se dará a conocer el método de refuerzo de pavimentos flexibles mediante la técnica Whitetopping, aplicado para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes, con la finalidad de optimizar la vida útil del pavimento y reducir los costos de mantenimiento debido a las altas temperaturas de la zona.

1.4 Importancia y justificación del estudio

La técnica de rehabilitación Whitetopping es una alternativa viable y efectiva para la reparación de pavimentos con deterioros menores; el pavimento existente provee una base sólida para el recubrimiento lo que le proporciona estabilidad para corregir el desgaste estructural y funcional del pavimento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1 Nacionales

Según Riojas, B. (2019), este Informe de Investigación tuvo como objetivo general usar una técnica de rehabilitación sobre la carpeta de rodadura luego de su evaluación con el uso del Ultra-Thin Whitetopping en el pavimento flexible. El diseño es no experimental transversal, de tipo aplicada, de nivel correlacional-causal y enfoque cuantitativo. La técnica se basa en la recolección documental de datos de dos tesis de tal manera de que una de ellas es sin aditivo y la otra es aplicando aditivos llamadas Sikament -306 y Plastiment TM-12 en los ensayos de asentamiento del concreto, ensayo a su máxima resistencia a la compresión ya que esto nos ayuda a tener un mejor resultado para el diseño de la estructura.

Como resultado se obtuvo que implementado estos aditivos mencionados nos ayuda a dar un mejor asentamiento (Slump) clasificándose como consistencia fluida, así mismo una mayor resistencia a la compresión elevando un 22% de su resistencia requerida y brindando un menor espesor de la sobrecarpeta, dando como 7" (18 cm) llevándolo a ser clasificado como un Thin Whitetopping, lo cual la gran mayoría de expertos aplican la adherencia entre el pavimento dañado y el pavimento nuevo con esta clasificación, ya que ambas estructuras trabajan monolíticamente y comparten sus cargas para así tener un funcionamiento como una sola sección compuesta. Se concluye que adicionando aditivos podemos garantizar una mayor resistencia al diseño de mezcla, da como buen resultado al ensayo de su máxima resistencia a la compresión y sobre todo un buen diseño de estructura, pero esto siempre va depender también el nivel en que se encuentre el pavimento dañado.

Según Arcaya, W. (2018), este trabajo tiene como objetivo diseñar una carpeta hidráulica sobre un pavimento asfáltico como rehabilitación, ya que en la vía se presentan tramos críticos con alta presencia de fallas en el pavimento.

Se usó la técnica Whitetopping para la rehabilitación del pavimento existente, ya que le permitirá mejorar el pavimento estructuralmente, generando un mayor tiempo de vida para soportar las diferentes cargas de tránsito de los

vehículos como a su vez de los diferentes factores externos que pueda ocurrir como es el caso de las lluvias, altas temperaturas en verano y cambios bruscos de temperatura.

Su aplicación es de corto plazo y no genera congestión vehicular.

Almeida, A., & Santur, G. (2019), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo general Aplicar la técnica de Whitetopping en la evaluación del pavimento flexible en el centro poblado Mallares - centro poblado Samán – Sullana – Piura, 2018. La metodología empleada para el espesor de concreto del pavimento fue la de AASHTO 93 y el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, para llegar al diseño de dicho espesor primero se tuvo que saber en qué condiciones se encontraba el pavimento existente por ello se realizó un estudio de deflectometría a través de la viga de Benkelman tomando como población el tramo entre el C.P Mallares y C .P Samán en Sullana y como muestra se tomó la intersección de dichos centros poblados que abarca 1km. El desarrollo de la presente investigación está dividido en dos variables. La primera contempla el estado del pavimento existente, las propiedades físicas y mecánica de suelo con lo cual se determinó un CBR de 11.9% y la segunda variable abarca el estudio de tráfico obteniendo un ESAL de $2,5 \times 10^6$ que en conjunto con el CBR obtenemos como espesor una losa de 7 pulgadas con paños de 3.50 x 3.50 para ello se toma en cuenta un diseño de mezcla de 280 kg/cm².

Albino, K., y Enciso, M. (2020), el proyecto consiste en el diseño de pavimento rígido aplicando la teoría de TCP y ASSHTO-93, mediante whitetopping para rehabilitar el pavimento flexible en la avenida La Unión – Manchay, se tomó como muestra 1.5 km de la avenida. La investigación fue de tipo transversal con un enfoque cuantitativo y no experimental, de tal manera que para la recolección de datos para los diseños se obtuvo del expediente de la avenida Víctor Malásquez que interseca con la avenida La Unión, complementando con los datos obtenidos de los ensayos de deflexión y PCI realizados en campo. Se realizó los diseños de ASSHTO-93 y TCP mediante los softwares WinPas 12 y OptiPave 2.0, los cuales se obtuvo losas de menor área y menor espesor para el TCP en comparación con el ASSHTO-93, para el costo por m² se obtuvo una diferencia de 27 %, también para el tiempo de ejecución se obtuvo 25 % de diferencia y finalmente el consumo

de recursos (concreto premezclado) se obtuvo 32 % de diferencia. Estos resultados obtenidos nos indicaron que si se optimizó al diseñar el pavimento rígido mediante TCP cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos. Ureta, Y. (2018), en su trabajo de investigación denominado “Utilización de Ultra-Thin Whitetopping como Método de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos en la Ciudad de Tacna” se enfocó en proponer el Ultra Thin Whitetopping para el distrito de Tacna como una alternativa eficiente y definitiva. El uso de Ultra-Thin Whitetopping permite una rápida rehabilitación de la vía con daños funcionales y estructurales en la carpeta asfáltica existente, ampliando su vida útil, reduciendo los costos de mantenimiento, corrigiendo las deformaciones longitudinales y transversales, optimizando el nivel de servicio y, por ende, alcanzando una mayor comodidad de los usuarios además de la disminución de los costos de operación. En esta tesis se ha dado principal énfasis al Ultra-Thin Whitetopping, que consta de una capa que va de 5 a 10cm, siendo aplicado a la realidad del distrito de Tacna para elaborar un diseño con la finalidad de dar solución a los daños superficiales. La investigación estará enfocada en realizar el análisis previo, que consiste en la evaluación del pavimento existente, así como la revisión del historial de éste con el fin de conocer su comportamiento a través del tiempo; esto nos será de utilidad llegando a conocer valores de diseño importantes que utilizaremos en la etapa del diseño propiamente dicho de la capa de Ultra-Thin Whitetopping. Cabe resaltar que esta etapa previa también nos permitirá conocer que tratamiento previo se le dará al pavimento existente antes de la colocación de la capa de concreto. Se realizará el diseño del Ultra-Thin Whitetopping mediante las metodologías de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), la ACPA (American Concrete Pavement Association) y la PCA (Portland Cement Association), que toman como principales factores de diseño la adherencia entre pavimento existente y sobrecarpeta Whitetopping, para eso, se debe tener en cuenta el tránsito actual y proyectado ya que será la base para definir el espesor de la nueva capa UTW.

2.1.2 Internacionales

Orell, E. (2009), la presente memoria reúne información acerca de las principales fallas que causan el deterioro de los pavimentos asfálticos,

dificultando el buen transitar, y en virtud de ello da a conocer la técnica Whitetopping, como una nueva alternativa en la rehabilitación de este tipo de pavimentos, que nace como una solución a los constantes mantenimientos que requieren estos pavimentos, señalando las diferentes variables que intervienen en el proceso relativo a la construcción de esta técnica, desde su definición, características, tipo de concreto hidráulico, maquinarias y equipos utilizado hasta la programación de las actividades. Esta tecnología permite entregar luego de su aplicación un pavimento de excelente calidad, que permitirá proyectar la vida en servicio del pavimento existente en buenas condiciones de operación, disminuyendo así las constantes intervenciones de mantenimientos y sus correspondientes costos.

Gil, A. (2016), en su trabajo de Máster de ingeniero de Caminos y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, se dedica a investigar todo lo relacionado a pavimentos aeroportuarios cuyo objetivo principal es difundir un texto específico del tema ante la circunstancia de haber pocos textos sobre pavimentos aeroportuarios en castellano, en su tesis se explica los tipos de superficies aeroportuarias de acuerdo a su desempeño, materiales y técnicas más usadas, además de explicar los diferentes tipos de falla que existen en pavimentos aeroportuarios.

Luna, M., García, R. y Andrés, P. (2019), en su trabajo de investigación desarrollaron la rehabilitación de la vía Circuito Sur – Topes de Collantes en Cuba mediante la aplicación de la técnica Whitetopping, el procedimiento realizado fue la construcción de una capa de concreto hidráulico con cemento portland P-35 sobre el pavimento asfáltico dañado, se realizó el diseño considerando el módulo de elasticidad del pavimento viejo y asegurando la unión entre ambas capas, se utilizó el sistema UTW (Ultra Thin Whitetopping) permitiendo extender la vida útil del pavimento y mejorando la seguridad de circulación de los vehículos.

Acero, A. (2020), en su trabajo de investigación “Utilización del proceso Whitetopping para la protección de las capas inferiores en la construcción del peaje Pipiral en la vía Bogotá – Villavicencio” para optar por el grado de Tecnólogo en Gestión de Obra Civil y Construcciones utilizó la técnica Whitetopping para la recuperación de una vía generando un periodo de vida útil más largo, optimizando el nivel de servicio y mejorando el flujo vehicular

de la zona.

Lam, N. (2020), nos muestra en su artículo “Diseño de mezcla de grado fino utilizando métodos estadísticos para la aplicación de Ultra-thin Whitetopping” que la técnica Whitetopping es una estructura de capa delgada que cubre un pavimento de asfalto existente para mejorar la resistencia a la formación de surcos y aumentar la durabilidad de la superficie de la carretera. Esta fina capa, generalmente de concreto hidráulico sin áridos gruesos, se utiliza principalmente para reparar la vieja superficie de la carretera de asfalto dañada sin alterar su textura. Debido a la alta longevidad, el uso de este tipo de concreto para el refuerzo y reparación de carreteras en condiciones climáticas desfavorables como en Vietnam, además, aporta técnicas económicas, ambientalmente efectivas y adecuadas a la tendencia del desarrollo sustentable.

Szdly, A. y Macklewicz, P. (2018), en este artículo nos explican la importancia de la temperatura en la resistencia a la fatiga de losas de concreto hidráulico utilizadas para el refuerzo de pavimentos flexibles susceptibles en el país de Polonia. El artículo presenta un análisis de diversas condiciones climáticas que ocurren en dicho país y la distribución de la temperatura en el pavimento de concreto hidráulico. Se demostró la dependencia de las fluctuaciones de temperatura diarias de las temperaturas que aparecen en la losa de concreto hidráulico, además se mostró un análisis de tensiones térmicas en losas de concreto hidráulico en función de sus parámetros y luego se determinó la vida a fatiga.

Garófalo, K. (2019), en su trabajo de investigación “Propuesta de aplicación de la tecnología Whitetopping para la rehabilitación del pavimento asfáltico de la calle Fco.Aguirre Abad desde Tulcán hasta Asisclo Garay, ubicada en la Parroquia Urdaneta, Ciudad de Guayaquil” para optar por el grado de ingeniero civil nos habla del Whitetopping orientado al diseño del pavimento como capa de refuerzo de concreto hidráulico para rehabilitar la carpeta asfáltica, se aplicará en el Asisclo Garay debido a que es una vía de alto tránsito y presentó deterioros superficiales en la estructura de pavimento, el diseño de la capa de refuerzo Whitetopping se realizó mediante el programa Streetpave el cual trabaja con la metodología actualizada de la PCA que ingresa variables como el tránsito, suelo, propiedades del concreto hidráulico,

serviciabilidad y confiabilidad.

De la Cruz, J. (2016), en su tesis de máster “Caracterización de la adherencia en refuerzos de Ultra-Thin Whitetopping (UTW)” habla sobre la clasificación de la técnica Whitetopping según el espesor de la losa además hace énfasis a los tipos de adherencia que se presentan para analizar la capacidad de resistencia, se realiza ensayos a tracción como el ensayo “Pull-out”, ensayos LCB y de Slant Shear. También se evalúa la influencia de la rugosidad en la superficie y se propone realizar análisis de correlación de los ensayos mencionados a fin de determinar si existen ensayos que dependan de otro e identificar el fallo mayor de la adherencia en la interfase.

Lung Wu, C. & Sheehan, M. (2002), en su artículo da a conocer una mejor comprensión del comportamiento del pavimento reforzado con Ultra-Thin Whitetopping (UTW), teniendo en cuenta la carga de tráfico y los efectos ambientales; para esto se construyó, instrumentó y sometió a prueba de carga un pavimento de prueba UTW. La sección de prueba de pavimento de UTW está ubicada en el aeropuerto Spirit of St. Louis, un aeropuerto de aviación general en Chesterfield, Missouri, y está diseñada para transportar una carga de avión ligero de 56 kN. Se describen los resultados de los análisis realizados en este pavimento de prueba.

La sección de prueba constaba de seis losas A, B, C, D, E y F de 1.3-1.3m y un espesor de losa de diseño de 89 mm. En los ensayos realizados se observó que: en la sección (a) hubo muy poco movimiento vertical de la losa a pesar del diferencial de temperatura en las losas, en la sección (b) no hubo cambios aparentes en las deformaciones inducidas por la carga (tensiones) con los cambios de temperatura, en la sección (C) el pavimento exhibió altas eficiencias de transferencia de carga a través de juntas de contracción, y en la sección (D) Se logró una resistencia al cizallamiento.

De los 11 620 m² del pavimento reforzado con Ultra-Thin Whitetopping, solo 18 paneles presentan desgastes.

2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1 Normativa de pavimentos aeroportuarios

- ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL (AOCI). 2004.

La OACI se sostiene económicamente con el aporte de 193 gobiernos nacionales que, en su calidad de Estados signatarios del Convenio de Chicago (1944), dirigen la actividad de la Organización con el objetivo de favorecer entre ellos la vía diplomática y la cooperación en el transporte aéreo.

- DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL (DGAC). 2020. Formulación de normas, reglamentos y demás disposiciones relacionadas con las actividades de aeronáutica civil e infraestructura aeroportuaria.
- ADMINISTRACIÓN FEDERAL DE AVIACIÓN (FAA). Seguridad y avance de tecnología aeronáutica.

2.2.2 Whitetopping

El Whitetopping es una capa de recubrimiento de concreto hidráulico que se puede realizar sobre un pavimento asfáltico, compuesto o de concreto existente. Este recubrimiento tiene la finalidad de rehabilitar aeropistas, carreteras y calles, extendiendo la vida útil del pavimento deteriorado con excelentes resultados al asegurar una solidez y durabilidad mayor que el pavimento flexible y están destinados a corregir el deterioro estructural y funcional en un pavimento. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2009)

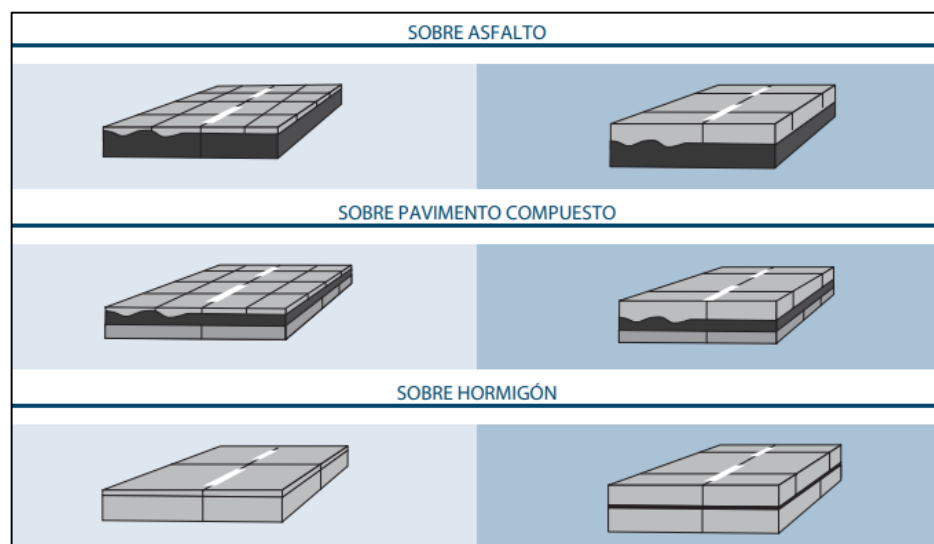


Figura N°1 Refuerzo Whitetopping de acuerdo al pavimento existente.

Fuente: (Harrington & Fick, 2014)

Para que sea viable la rehabilitación de una vía mediante la técnica de Whitetopping, esta debe cumplir con ciertas condiciones:

- El deterioro de la carpeta asfáltica existente sea superficial, esto quiere decir,

que no tenga una afectación evidente en el resto de su estructura

- El espesor del asfalto existente después del fresado sea superior a 7,5 cm.

2.2.3 Clasificación de Whitetopping según el espesor

Clasificación de Whitetopping depende del espesor de la capa de concreto hidráulico de la losa, además de asumir o no, adherencia entre ambas capas. (Luna, García, & Orta, 2019)

A continuación, se presentarán los tres diferentes tipos de clasificación de Whitetopping de acuerdo al diseño del espesor en el pavimento existente.

2.2.3.1 Whitetopping Convencional

Recubrimiento de concreto hidráulico con un espesor de 200 mm (8 pulgadas) o más, diseñada y construida sin consideración a la adherencia entre el concreto hidráulico y el pavimento asfáltico.

2.2.3.2 Whitetopping delgado

Recubrimiento de concreto hidráulico con un espesor de más de 100 mm (4pulg) y menos de 200 mm (8pulg).

2.2.3.3 Whitetopping ultra delgado

Recubrimiento de concreto hidráulico con un espesor igual o inferior a 100 mm (4pulg). Este Whitetopping requiere una adherencia con el asfalto para lograr un buen desempeño.

Este tipo de Whitetopping puede ser utilizado para rehabilitar aeropuertos, carreteras, estacionamientos, entre otros.

Tabla N°1 Clasificación de Whitetopping según el espesor

Whitetopping	Espesor del concreto hidráulico	Adherencia con la capa asfáltica
Convencional	$\geq 20\text{cm}$	No se considera adherencia con la capa asfáltica.
Delgado	Entre 10cm y 20cm	Alternativa de considerar o no la adherencia.
Ultra-delgado	Entre 5cm y 10 cm	Se considera adherencia con la capa asfáltica.

Fuente: (Miguez Passada, González, Violini, Pappalardi, & Zerbino, 2013)

2.2.4 Condición del pavimento

La evaluación del pavimento es fundamental, ya que de ello dependerá tener

un buen diseño de sobrecapa para recopilar a detalle todos los deterioros que pudieran existir en el pavimento.

Esta información será importante para saber si el pavimento será un buen candidato a la rehabilitación, para la evaluación de pavimento se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Se debe revisar el antecedente del pavimento, para tener en cuenta el espesor, los materiales, su dosificación y sus métodos de construcción.
- Se debe realizar un análisis visual de las condiciones del pavimento, para saber si presentan deterioro superficial o estructural.
- Por último, realizar un estudio de la estructura del pavimento mediante el análisis de testigos. esto ayudara a verificar el espesor y los materiales.

Después de haber realizado la evaluación del pavimento, se definirá su condición, ya sea buena, regular, mala o deteriorada, cada una de ellas presenta las siguientes características:

- Pavimento en buenas condiciones, esto significa que se encuentra estructuralmente sano y solo necesita incrementar su capacidad estructural, mejorar o remover sus características superficiales.
- Pavimento en condiciones regulares, el pavimento se encuentra estructuralmente sano, pero presenta deterioro superficial menor como: baches, grietas en bloque, entre otros.
- Pavimento en malas condiciones, presenta deterioros medibles tal como agrietamiento por fatiga, ahuellamiento, ondulaciones, desprendimiento y desgaste superficial.
- Por último, si el pavimento se encuentra en condición deteriorada, este presenta malas condiciones como también deterioro significativo.

Generalmente, los pavimentos existentes que presentan condiciones relativamente buenas o regulares, o pavimentos en malas condiciones que pueden llevarse rentablemente a buenas condiciones son candidatos a ser reforzados con concreto hidráulico adherido. Los pavimentos asfálticos que no tienen buena condición, son candidatos a refuerzos no adheridos.

2.2.5 Indicadores de funcionalidad

2.2.5.1 De acuerdo a su adherencia

Existen dos opciones para las capas de refuerzo con hormigón: adheridas y no adheridas. (Harrington & Fick, 2014)

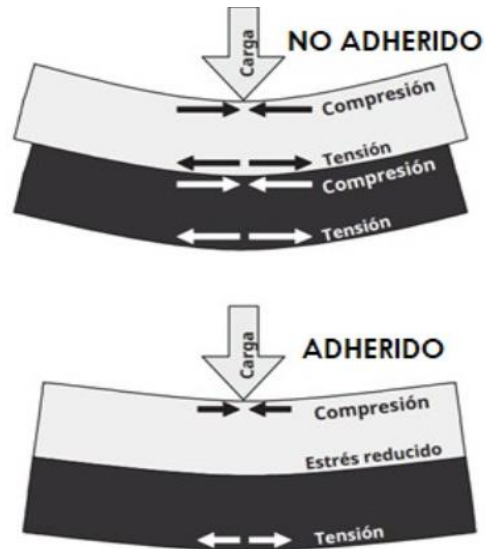


Figura N°2 Comportamiento del esfuerzo de acuerdo a su adherencia

Fuente: (Rasmussen & Rozycky, 2004)

Como se observa en la siguiente imagen la distribución de la tensión en un sistema adherido frente a la de un sistema no adherido puede ser significativamente diferente debido a que en el sistema adherido trabaja todo el paquete estructural incluido el diseño inicial del pavimento asfáltico, en cambio, en el no adherido trabaja la capa de refuerzo independiente del paquete estructural inicial.

- Capa de refuerzo adherida.

El propósito de una capa de refuerzo adherida es agregar capacidad estructural y eliminar deterioros superficiales de pavimentos existentes, que presentan condiciones entre buenas y regulares. Generalmente, corresponden a rehabilitación superficial y que conceptualmente son parte del mantenimiento preventivo o rutinario o también de una rehabilitación menor.

La adherencia entre la capa de refuerzo y el pavimento existente es esencial. La adherencia asegura que el refuerzo y el pavimento existente trabajen como una sola estructura.

Los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos

rehabilitados son la integridad estructural del pavimento subyacente, la efectividad de la adherencia, la capacidad de las dos capas de desplazarse monolíticamente manteniendo la adherencia y la distribución de las juntas y técnicas de curado del refuerzo.

Capas de Refuerzo con Hormigón Adherido Sobre pavimentos asfálticos



Figura N°3 Capa de refuerzo adherido

Fuente: (Harrington & Fick, 2014)

- Capa de refuerzo no adherida

El propósito de la capa de refuerzo no adherida es restaurar la capacidad estructural de un pavimento existente que se encuentra en una condición de deterioro entre moderada y severa. En consecuencia, el refuerzo se comporta como un pavimento nuevo, en tanto que el pavimento existente proporciona una base estable.

Por lo tanto, las capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico o al pavimento compuesto, no se diseñan, ni construyen procurando prevenir la adherencia entre las capas.

Capas de Refuerzo con Hormigón No Adherido Sobre pavimentos asfálticos

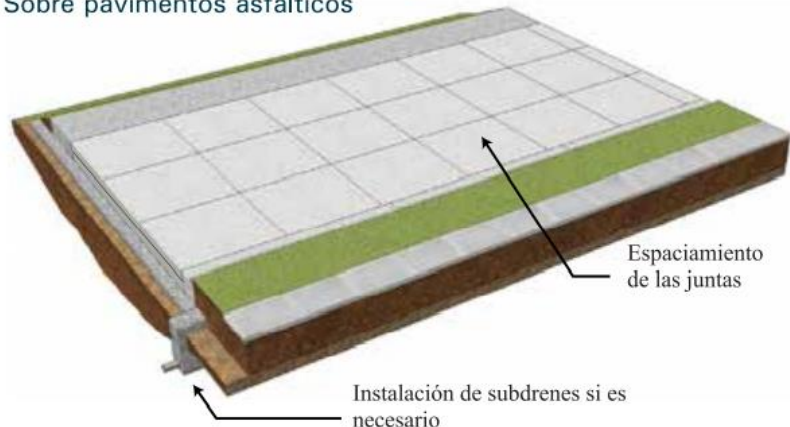


Figura N°4 Capa de refuerzo no adherido

Fuente: (Harrington & Fick, 2014)

2.2.5.2 Juntas

Para todo pavimento compuesto por concreto hidráulico, las juntas desempeñan un rol muy importante debido a que permiten reducir los efectos de alabeo debido a factores climatológicos, además de transferir las cargas al pavimento flexible a través de deflexión antes que flexión. (Orell, 2009)

En función de la posición de la junta con respecto al avance del vaciado de concreto, las juntas en pavimentos de concreto pueden denominarse como juntas longitudinales, que son paralelas al avance, y transversales, que son perpendiculares al mismo. Cada una de ellas se puede clasificar según la función que realice. (Silva, 2020)

Tipos de juntas:

- Juntas de contracción:

Son las que controlan las grietas transversales ocasionadas por los esfuerzos de tracción originados en la retracción del concreto, además de mantener el control de grietas causadas por el alabeo del pavimento. (Silva, 2020)

- Juntas de construcción:

Se utilizan en juntas transversales cuando se debe detener la construcción o en juntas longitudinales como separación de carril. (Silva, 2020)

- Juntas de dilatación o expansión:

Son las que se prevén para absorber las expansiones provocadas por aumentos de temperatura, evitando empujas indeseables que podrían producir rotura en el pavimento. (Silva, 2020)

- Sellado de juntas:

Este procedimiento tiene como objetivos principales minimizar el ingreso del agua que podría producir una reducción de la capacidad estructural global del pavimento o infiltración de agua en la interfase de la losa con el riesgo de pérdida de soporte por erosión. Además de minimizar el ingreso de materiales no deseados que podrían ocasionar

levantamiento de losas o desviación de los labios de las juntas. Los selladores pueden ser de distintos tipos y aplicables tanto en frío como en caliente, autonivelantes o requerir una terminación con herramienta. (Calo, 2012)

2.2.6 Proceso constructivo

Presentan variaciones en el proceso constructivo de acuerdo a la adherencia

2.2.6.1 Adherido

- Reparaciones previas:

Previo al fresado, se deben considerar reparaciones puntuales en todo el espesor o en zonas puntuales con baches, zonas agrietadas ya sea moderado o severo tipo piel de cocodrilo o con pérdida de soporte de la base, con el fin de conseguir una adherencia uniforme, capacidad de soporte deseada y durabilidad a largo plazo.

Debe verificarse la superficie fresada para detectar si existen zonas deterioradas por reparar. Para las áreas que presenten gran cantidad de grietas térmicas transversales, se recomienda hacerles un “puente” mediante esfuerzo adherido o limpiar la zona y sellar grietas. El concreto hidráulico permite hacer un “puente” sobre grietas longitudinales y transversales del asfalto. Se deben sellar las grietas antiguas con arena, un sellante fluido u otro material apropiado, esto se aplica sólo cuando el ancho de las grietas es superior al tamaño máximo del agregado utilizado en el refuerzo.

- Fresado:

Llegado a este punto, el fresado debe ser el mínimo posible debido a que genera pérdida de soporte estructural. En caso el asfalto se encuentre en buenas condiciones no hay necesidad de retirarlo ya que puede contribuir al trabajo conjunto ayudando a soportar las cargas de tránsito.

Generalmente, no es necesario fresar toda la superficie asfáltica para mejorar la adherencia. Los principales objetivos del fresado antes de colocar el refuerzo adherido son:

1. Remover las distorsiones superficiales significativas que contiene asfalto blando y que se traduce en una superficie inadecuada para

la adherencia.

2. Rebajar puntos altos que ayuden a que el espesor del refuerzo sea el mínimo posible y a reducir el volumen de hormigón necesario para rellenar los puntos bajos.
3. Adecuar la rasante a soleras u otras estructuras que sobresalen.

Por último, es importante tener en cuenta al momento de fijar la profundidad del fresado, la necesidad o conveniencia de ajustarse a elementos existentes y minimizar la modificación de la rasante. Para este caso, se debe realizar un análisis integral del espesor y de las condiciones del pavimento asfáltico existente, asegurando de esta forma que el asfalto que quede para ser reforzado se encuentre en buenas condiciones y que tiene un espesor suficiente para proporcionar soporte estructural a las cargas.

Posteriormente al fresado del asfalto, se debe asegurar que permanecerá una capa de asfalto de espesor mínimo adecuado de 75mm en buenas condiciones, que permitan la adherencia.

La mayor parte del deterioro superficial se remueve fresando, esto cuando las distorsiones superficiales tienen 50mm o más. La cantidad de asfalto por remover depende del tipo, severidad del deterioro y de su espesor. Se puede fresar para remover las irregularidades más grandes que implicaría importantes volúmenes de hormigón para la capa Whitetopping; no necesariamente se busca obtener una sección transversal perfecta o remover completamente los ahuellamientos, lo que se busca es conseguir un asfalto en perfectas condiciones para la adherencia sin desprendimientos. El espesor mínimo que se busca en el asfalto sano estructuralmente para la adherencia es de 75mm.

El tránsito durante la construcción, específicamente los camiones cargados con concreto hidráulico, pueden dañar significativamente el pavimento asfáltico que permanece, para prevenir la pérdida de adherencia entre capas se debe contar con una capa adecuada de asfalto, de manera que esta asegure el soporte de parte de las cargas como una sección compuesta (no como una capa separadora o para absorber los esfuerzos de corte, como en las capas de refuerzo no adherido). Sin embargo, algún tránsito de construcción puede

tolerarse sobre la superficie fresada, durante el proceso constructivo se pueden generar levantamientos parciales, asfalto deteriorado, áreas aisladas con desprendimiento, etc. Todas estas áreas deben removerse antes de cualquier otra operación. Por último, es importante inspeccionar la superficie del pavimento mientras la fresadora aún se encuentre en el terreno, para determinar si se requiere fresado adicional.

- Limpieza de la superficie

Terminada las reparaciones, se debe limpiar la superficie de asfalto para asegurar la adherencia entre ésta y la capa de concreto hidráulico. La limpieza es fundamental para esta técnica ya que asegurará una mejor adherencia, puede realizarse primero barriendo la superficie del asfalto y finalmente limpiarlo con aire comprimido.

Además, puede utilizarse limpieza con agua a presión en caso sea necesario controlar el polvo o cuando exista la presencia de barro en la superficie fresada.

- Vaciado de concreto hidráulico

Se pueden realizar ajustes de rasante para asegurar el espesor requerido de concreto hidráulico, para vaciar el concreto hidráulico adherido se utilizan los procedimientos convencionales, no es necesario colocar lechadas sobre la superficie o cubrirlas con epóxicos para mejorar la adherencia.

De acuerdo con el ACPA se debe utilizar un concreto con una resistencia a la compresión de 31MPa (4500psi) a los 28 días a menos que se especifique lo contrario.

- Curado

El curado se realizará 30 minutos después del vaciado del concreto, debido a que al ser una capa de refuerzo delgada es susceptible a una rápida pérdida de humedad. Posterior al curado, debe asegurarse cubrir el total de la superficie y las caras verticales del pavimento.

- Aserrado de juntas

Una vez que el concreto haya desarrollado resistencia suficiente, para el aserrado de juntas se necesita contar con un plan para el corte de

todas las juntas dentro del poco tiempo disponible para ello. Los detalles del plan deben incluir el número de sierras y la tasa de aserrado esperado, así como el tiempo estimado para iniciar y terminar el trabajo. Todo el aserrado debe terminarse dentro de la primera mitad del plazo de la ventana de tiempo

El contratista encargado del aserrado debe tener cuidado al colocar, consolidar y terminar el concreto hidráulico alrededor de las juntas, se recomienda utilizarse aserrado húmedo para controlar el polvo. Para el caso de Whitetopping adherido tenemos la posibilidad de tenerlo adherido a una estructura de pavimento rígido o una estructura de pavimento asfáltico.

1. Adherido al asfalto: El espesor convencional de todas las hojas para aserrar es normalmente de $5\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ y las hojas de las sierras para corte temprano, normalmente se usan de espesor de $3\text{mm} \pm 1.5\text{mm}$ recomendándole una profundidad de corte mínimo de $H/4$ para las juntas transversales y $H/3$ para las juntas longitudinales.
2. Adherido al pavimento rígido: Para este caso se debe identificar la posición exacta de cada junta de contracción y expansión en el pavimento existente, incluyendo las que se crearon por reparaciones de todo el espesor y señalarlas en ambos costados del pavimento, las juntas transversales de la capa Whitetopping deben construirse directamente sobre las juntas transversales existentes, para este caso se debe aserrar las juntas longitudinales hasta $H/2$ de profundidad y para las juntas transversales deberá hacerse con la profundidad total de la capa Whitetopping más 13mm.

- Sellado de juntas

Las juntas de contracción deben rellenarse siguiendo los requerimientos de la entidad con un sellante de vaciado en caliente de bajo módulo.

2.2.6.2 No adherido

- Colocación directa

Si el ahuellamiento asfáltico no excede los 50mm se recomienda la

colocación directa sin fresado, de esta manera el pavimento existente se considera como una base estable y el refuerzo Whitetopping aplicado se diseña como un pavimento rígido nuevo, el diseño nuevo del pavimento asumirá que no existe dicha adherencia entre el pavimento nuevo con el pavimento asfáltico, existen dos maneras de estimar la contribución del pavimento asfáltico al pavimento nuevo, mediante la ASSHTO 98 donde se considera el módulo de reacción de subrasante (valor K) y el AASHTO 2008 donde se considera fricción y el valor K.

- Reparaciones previas

En este caso solo se necesitan reparaciones mínimas previas en la superficie asfáltica, teniendo en cuenta que la estructura del pavimento se encuentre estable, las reparaciones solo serán en áreas aisladas, donde sea necesario restituir la estabilidad estructural.

- Fresado

Cuando se presentan distorsiones mayores o iguales a 50mm, se debe considerar realizar el fresado antes de colocar el Whitetopping no adherido, esto para reducir los puntos altos, removiendo las irregularidades significativas presentes en el pavimento desgastado, generalmente para el fresado en pavimentos con refuerzo no adherido, solo se hacen fresados a los puntos críticos con mayor distorsión ya que el objetivo del fresado en estos casos no es tener una sección transversal homogénea, ni eliminar completamente el ahuellamiento, sino más que todo es minimizar los cambios en la rasante y permitir la conservación de los elementos existentes.

- Preparación de los parches

En caso existan parches de concreto hidráulica en el pavimento, estos deben aislarse para prevenir que se adhieran al refuerzo Whitetopping ya que, si existe adherencia, en dicho lugar el refuerzo sobre el asfalto tendrá una restricción diferente que el resto del pavimento, para aislar estos parches se pueden colocar después de fresar, una tela geotextil o una lechada asfáltica sobre la superficie del parche.

Lo que se busca evitar es el contacto directo del refuerzo

Whitetopping con los parches existentes en el pavimento.

- Limpieza de la superficie

Antes del vaciado del hormigón, se debe de realizar un barrido y limpieza del pavimento asfáltico existente, en caso queden algunas partículas asfálticas que no se hayan podido barrer esto no causará problemas posteriores a la capa Whitetopping siempre y cuando se haya realizado la limpieza previa.

- Vaciado de concreto hidráulico

Si al momento de realizar el vaciado de concreto hidráulico, la temperatura de la superficie de asfalto presenta 49°C o más, se puede reducir rociando agua con el fin de minimizar el riesgo de agrietamiento temprano en el pavimento, pero es importante tener en cuenta que no debe existir agua sobre la superficie al momento de colocar el refuerzo, este se puede remover con aire comprimido o esperar que se encuentre seco para proceder con el vaciado.

De acuerdo con el ACPA se debe utilizar un concreto con una resistencia a la compresión de 31MPa (4500psi) a los 28 días a menos que se especifique lo contrario.

- Curado

El curado es crítico en un Whitetopping no adherido debido a la alta relación entre el área superficial y el volumen, el curado debe realizarse aplicando un compuesto de curado inmediatamente después de darle textura a la superficie, si este refuerzo presenta 150mm de espesor o menos, se debe colocar el doble de compuesto para realizar el curado, una vez terminado el proceso de curado se debe verificar que toda la superficie como las caras verticales en los bordes hayan sido cubiertas.

- Aserrado de juntas

Se debe aserrar las juntas para prevenir agrietamientos, teniendo en consideración la profundidad del ahuellamiento del asfalto al establecer la profundidad del aserrado, las juntas transversales deben aserrarse hasta la profundidad de H/3 del espesor de la capa de refuerzo.

2.2.7 Usos y aplicación

En general, los pavimentos relativamente en buenas condiciones o que pueden efectivamente llevarse a buenas condiciones, son candidatos a refuerzos con concreto hidráulico adherido.

Un pavimento que está en condiciones entre regulares y malas debido a ahuellamiento y ondulaciones, se le puede colocar una sobre capa consistente en un refuerzo con concreto hidráulico adherido, después de mejorarlo a buenas condiciones mediante reparaciones puntuales o fresar para remover las deficiencias.

2.2.8 Ventajas

- Es aplicable para los pavimentos asfálticos que presenten cualquier condición de deterioro, siempre y cuando este sea superficial, desde los que requieren reparación mínima hasta los que necesitan eliminar la capa de rodadura antes de la construcción de la capa Whitetopping.
- El costo total es menor a la rehabilitación con asfalto, considerando toda la vida útil del pavimento, es decir, la construcción y la conservación, pero su inversión inicial es mayor.
- La vida útil del pavimento mejora considerablemente entre 15 a 20 años sin costos de mantenimiento.
- Al mejorarse la capa superficial con concreto, este ofrece una superficie más fuerte y duradera, además de evitar peligrosos deslizamientos que pudieran producir accidentes.
- Mejora la visibilidad nocturna del pavimento, ya que el Whitetopping es conocido por formarse una cobertura blanca en el pavimento debido al concreto endurecido
- La losa de concreto es capaz de soportar mejor y con alto margen de seguridad las cargas de diseño del pavimento existente.
- La alta rigidez de estos pavimentos los hace confiables para mantener la superficie de rodadura en correctas condiciones durante todo el tiempo de explotación o vida útil del pavimento.
- Esta técnica nos permite una ejecución más rápida que los pavimentos rígidos convencionales.
- Es una solución recomendada para zonas de intersecciones semaforizadas, aeropistas, zonas de carga en los puertos, lugares donde se soportan cargas

pesadas o se estacionan vehículos muy pesados por muchas horas, de esta forma se evita ondulaciones y otras deformaciones indeseables.

2.2.9 Metodología de diseño de la sobrecapa

No hay restricción en cuanto al diseño de la capa de refuerzo UTW, por lo que, de acuerdo a la metodología de diseño previo (en este caso trabajamos con el método ACN/PCN presente en el pavimento flexible del aeropuerto) es posible determinar las características de diseño apoyándonos en los reglamentos vigentes en la OACI y FAA.

2.2.9.1 Número de clasificación de aeronaves (ACN)

Cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada categoría normalizada del terreno de fundación. (OACI A. 1., 2016)

2.2.9.2 Número de clasificación de pavimentos (PCN)

Cifra que indica la resistencia de un pavimento para utilizarlo sin restricciones. (OACI A. 1., 2016)

2.2.9.3 Método ACN /PCN

Para este método se debe iniciar con la determinación del valor ACN de la aeronave más crítica, para luego asignar un código de cinco partes explicados a continuación:

- Valor numérico del PCN:

El número de clasificación del pavimento (PCN) es una cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones, en caso necesario, los PCN pueden publicarse con una aproximación de una décima de número entero. (OACI, 2016)

- Tipo de Pavimento:

Este valor hace referencia al tipo de pavimento que se presenta, se deberá usar la nomenclatura R para referirse al pavimento rígido o F para pavimentos flexibles.

- Categoría de la subrasante:

Consta de cuatro resistencias estándares de la subrasante teniendo en cuenta el CBR del pavimento, para resistencias altas se usará el código A, para resistencia media el código B, para resistencia baja el código C y para una resistencia muy baja el código D.

- Presión de llantas permisible:

Existen cuatro categorías para la presión de neumáticos permisibles:

Alto, No hay límite de presión, esta categoría usará el código W

Medio, Tiene una presión limitada a 1.75Mpa, para esta categoría usará el código X.

Bajo, Tiene una presión limitada a 1.25Mpa, para esta categoría usará el código Y.

Muy alto, Tiene una presión limitada a 0.5Mpa, para esta categoría usara el código Z.

- Método utilizado para obtener el PCN:

Este se puede realizar por medio de una evaluación técnica (T) o empírica (U). Según la OACI (Anexo 14, 2016), las autoridades aeroportuarias pueden utilizar el método que deseen para determinar la carga de los pavimentos, si, a falta de una evaluación técnica (T) que consta en realizar estudios de suelos y cálculos de CBR (para pavimentos flexibles) o valor K (para los pavimentos rígidos) en el terreno, si optan por continuar basándose en la experiencia adquirida en las aeronaves, se deberá calcular el ACN de la aeronave más crítica, convertir esta cifra en un PCN equivalente y publicarla como la clasificación por carga de su pavimento, a este último método se le conoce como el método empírico (U) y deberá incluirse al final de la codificación con su respectiva clave (T o U)

2.3 Definición de términos

2.3.1 Términos relacionados a Whitetopping

2.3.1.1 Fresado

Proceso utilizado para la restauración de pavimentos, este puede ser de dos tipos de equipos y procesos específicos para ello: "frío fresadora", que realiza el desgaste de la estructura mediante abrasivo simple; y proceso en caliente, que utiliza el precalentamiento de la estructura para facilitar el "adelgazamiento" de la misma. De esta forma, el fresado del pavimento se puede realizar en dos formas en cuanto a la temperatura de ocurrencia, es decir, fría o caliente. (Bonfim, 2007)

2.3.1.2 Curado

Proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor. (ACI Committee308, 2016)

2.3.1.3 Juntas

Separación establecida entre dos partes contiguas de una infraestructura, que sirve para permitir su expansión o retracción por causa de gradientes de temperatura, sismos u otras acciones. (MTC, 2018)

2.3.1.4 Rehabilitación

Ejecución de las obras necesarias para devolver a la infraestructura vial sus características originales y adecuarla a su nuevo periodo de servicio; las cuales están referidas principalmente a reparación y/o ejecución de pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, de ser el caso movimiento de tierras en zonas puntuales y otros. (MTC, 2018)

2.3.2 Términos relacionados a aeropuertos

2.3.2.1 Aeródromo

Área definida de tierra o de agua (que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos) destinado total o parcialmente a la llegada, salida y movimiento en superficie de aeronaves. (OACI A. 1., 2016)

2.3.2.2 Área de aterrizaje

Parte del área de movimiento destinada al aterrizaje o despegue de aeronaves. (OACI A. 1., 2016)

2.3.2.3 Número de clasificación de aeronaves (ACN)

Cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada categoría normalizada del terreno de fundación. (OACI A. 1., 2016)

2.3.2.4 Número de clasificación de pavimentos (PCN)

Cifra que indica la resistencia de un pavimento para utilizarlo sin restricciones. (OACI A. 1., 2016)

2.3.2.5 Lugar crítico

Sitio del área de movimiento del aeródromo donde ya han ocurrido

colisiones o incursiones en la pista o donde hay más riesgo de que ocurran, y donde se requiere mayor atención de los pilotos/conductores. (OACI A. 1., 2016)

2.3.2.6 CBR (California Bearing Ratio)

Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo. (MTC, 2018)

2.3.3 Términos relacionados a pavimentos flexibles aeroportuarios:

2.3.3.1 Pavimento Flexible

Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. (MTC, 2018)

2.3.3.2 Ahuellamiento

Surcos o huellas que se producen en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito. (MTC, 2018)

2.3.3.3 Bache

Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada (MTC, 2018)

2.3.3.4 Exudación del asfalto

Flujo de asfalto hacia arriba en un pavimento asfáltico, resultando en una película de asfalto sobre la superficie. (MTC, 2018)

2.3.3.5 Agrietamiento en bloque

Los agrietamientos en bloques son causados principalmente por contracción del asfalto y variaciones de temperatura durante el día, su aparición indica que el asfalto se ha rigidizado significativamente. Los agrietamientos en bloque ocurren normalmente en grandes áreas, pero algunas veces sólo aparecerán en áreas sin tráfico. (Gil, 2016)

2.3.3.6 Ondulaciones

La ondulación está conformada por una serie crestas con poca separación entre sí que ocurren a lo largo del pavimento en intervalos regulares, generalmente menos de 5 pies (1,5 m). Los picos o crestas son perpendiculares a la dirección del tráfico. La acción del tráfico

combinada con una superficie o base inestable, puede causar este tipo de fallas. (Gil, 2016)

2.3.3.7 Depresiones

Las depresiones están localizadas en áreas de superficies pavimentadas que tienen elevaciones ligeramente menores que aquellas del pavimento que las rodea.

Las depresiones pueden ser causadas por asentamientos de una cimentación o se pueden producir durante la etapa de construcción.

Las depresiones causan desniveles y, cuando se llenan de agua de suficiente profundidad, pueden causar el hidroplaneo de la aeronave. (Gil, 2016)

2.3.3.8 Piel de cocodrilo

Es una falla que está compuesta por un conjunto de fisuras interconectadas, comienza debajo de la superficie (o base estabilizada) donde se producen altas tensiones y deformaciones por efecto de las cargas transmitidas por las ruedas de la aeronave. La fisura se propaga inicialmente a la superficie como una serie de fisuras paralela.

La piel de cocodrilo ocurre solo en áreas que están sujetas a la repetición de cargas por tráfico como son las secciones por donde circula el tren de la aeronave. Por lo tanto, no ocurrirá sobre un área a menos que toda la superficie esté solicitada a cargas por tráfico (Las patologías de este tipo de fisuras fuera de las áreas sometidas a tráfico, se revelan como fisuras en bloque que no están asociadas a fallas por fatiga) (Gil, 2016)

La piel de cocodrilo es considerada como un deterioro estructural mayor.

2.3.3.9 Mantenimiento rutinario

Es el conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo y perfilado de la plataforma, roce y limpieza del derecho de vía, limpieza general del sistema de drenaje, mantenimiento de la señalización y elementos de seguridad vial,

limpieza de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura, etc. (MTC, 2018)

2.3.3.10 Mantenimiento periódico

Es el conjunto de actividades, programables cada cierto período, que se realizan en las vías para recuperar sus condiciones de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas, principalmente, a recapeo o colocación de capas nivelantes, tratamientos superficiales, aplicación de soluciones básicas aprobadas técnicamente, reparaciones puntuales de capas inferiores del pavimento. (MTC, 2018)

2.3.3.11 Vida útil

Tiempo previsto de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas. (MTC, 2018)

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

Aplicando la técnica Whitetopping se rehabilita el pavimento asfáltico en el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto - año 2021.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- a) Propuesta de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.
- b) Determinación del espesor de la aplicación de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.
- c) Desarrollo del proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Las variables que se desarrollaron para este proyecto son las siguientes

Variable independiente:

-Técnica Whitetopping

Variable dependiente:

-Vida útil del pavimento asfáltico.

3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla N°2 Operacionalización de las variables

Aplicación de la técnica Whitetopping como alternativa de rehabilitación para extender la vida útil del pavimento asfáltico.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO	
VI: Técnica Whitetopping	Es una técnica que aprovecha la capacidad resistente de la capa existente mejorando la capa superficial a fin de optimizar la vida útil del pavimento.	Recopilación de información de tesis internacionales, guías y normas que hayan aplicado esta técnica para el mejoramiento del pavimento asfáltico relacionándolo a un tipo de clima similar al existente en Tarapoto.	Característica de la estructura de pavimento	Tipo de falla	Adimensional	Datos meteorológicos, datos estadísticos, manuales, estudios.	
				Pavimento flexible (asfáltico en caliente)	cm		
VARIABLE DEPENDIENTE	Existen diferentes formas de adherencia entre la carpeta asfáltica dañada y la nueva carpeta de Whitetopping, buscamos proponer una guía que permita la optimización de la vida útil y disminución de fallas en la superficie de rodadura.	Explicar las diferentes formas de adherencia entre la carpeta asfáltica dañada y la nueva carpeta de Whitetopping.	Tipos de adherencia	Tipo de mantenimiento	Adimensional	Observación visual (Ahuellamiento, fricción superficial, baches superficiales), manuales, tablas, datos, trabajos de investigación referentes al Whitetopping y pavimentos aeroportuarios.	
				Temperatura	°C		
VD: vida útil del pavimento asfáltico.		De acuerdo a los datos del PCN del aeropuerto de Tarapoto, proponer el espesor óptimo de la capa y la separación entre juntas para la capa superficial Whitetopping.	Clima	Precipitación	mm	Observación visual (Ahuellamiento, fricción superficial, baches superficiales), manuales, tablas, datos, trabajos de investigación referentes al Whitetopping y pavimentos aeroportuarios.	
				Método utilizado en el pavimento existente	Colocación directa		Adimensional
					Fresado		Adimensional
					Construcción de capa nivelante		Adimensional
Reglamentos nacionales e internacionales para aeropuertos.		Conocer y respetar los reglamentos nacionales e internacionales para pavimentos aeroportuarios.	Reglamentos nacionales e internacionales para aeropuertos.	Método ACN/PCN	Número de clasificación de pavimento		
				OACI	Adimensional		
				IATA	Adimensional		
				Regulaciones aeronáuticas del Perú (RAP)	Adimensional		
				Dirección general de aeronáutica civil (DGAC)	Adimensional		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel

Es una investigación descriptiva debido a que está orientada a describir el nivel de optimización de la vida útil del pavimento a partir de la aplicación de la técnica Whitetopping.

El nivel de la investigación es descriptivo ya que su finalidad es describir parámetros del PCN, con el fin de obtener un resultado positivo con relación al diseño de la capa superficial Whitetopping para la rehabilitación del pavimento asfáltico

4.1.1 Finalidad de la Investigación

La finalidad de la investigación es dar a conocer la técnica de rehabilitación Whitetopping orientada al mejoramiento de la vida útil del pavimento asfáltico para aeropuertos de acuerdo a los parámetros de diseño, teniendo en cuenta sus características técnicas y de aplicación, proponiendo una guía que se base en el diseño inicial del pavimento asfáltico y permita calcular el espesor de la capa Whitetopping, explicar sus características y proceso constructivo.

4.1.2 Enfoque de la Investigación

El enfoque de investigación es cualitativo ya que se realizará una guía para la utilización de la Técnica Whitetopping como rehabilitación de pavimentos asfálticos.

4.1.3 Metodología de comprobación de hipótesis

El método de estudio es deductivo, ya que partirá de una caracterización general de la aplicación de la técnica Whitetopping de acuerdo a las características de la estructura del pavimento existente, orientándola a un diseño que cumpla con los parámetros aeroportuarios vigentes.

Las hipótesis se comprobarán mediante el análisis de los indicadores que tendrán las dimensiones de cada variable para encontrar la relación que las une.

4.2 Diseño de investigación

Según el propósito del estudio es no experimental u observacional ya que no se realizarán ensayos in situ ni se aplicará el diseño al tramo de la pista de aterrizaje, sino nos basaremos en estudios similares de acuerdo al clima y diseño de la

estructura de pavimento que presenta.

Según la cronología de las observaciones es retrospectivo ya que se cuenta con información recolectada con anterioridad para realizar esta investigación.

Según el número de mediciones es longitudinal porque las variables son independientes en tiempo y mantienen relación causa - efecto ya que a partir de la rehabilitación del pavimento asfáltico mediante la técnica Whitetopping (causa) presentará una mejora en la vida útil del pavimento existente (efecto).

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población del estudio

La población de esta investigación son todos los aeropuertos aptos para la aplicación de la técnica Whitetopping.

4.3.2 Diseño Muestral

La muestra es la aplicación de la técnica Whitetopping como rehabilitación de pavimentos asfálticos en el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Tipo de técnicas e instrumentos

La técnica de observación es la más antigua y la que aún se mantiene vigente tanto para cuantificar y calificar un fenómeno siendo su objeto un hecho de la realidad, para los proyectos de ingeniería se deben presentar los formatos usados. (Borja, 2016)

Para la recolección de datos se utilizarán fuentes primarias como la utilización de normas técnicas aeroportuarias para validar los procedimientos utilizados en el desarrollo de la investigación, tal es el caso de la OACI y FAA.

También se utilizó fuentes secundarias, es decir, registros anteriores como tesis nacionales e internacionales, artículos y libros, que permitan lograr los objetivos de la investigación.

4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

La validez de los instrumentos que miden nuestros indicadores usando la observación en base de resultados obtenidos de cálculos matemáticos son válidos pues las tablas, gráficos y criterios son aplicadas y autorizadas por la OACI y se han utilizado en muchos proyectos, la técnica Whitetopping actualmente es conocida a nivel mundial y si bien es cierto en un inicio no se

tenían resultados respecto a la vida útil y al comportamiento de la capa de refuerzo, hoy en día las pruebas estandarizadas a usar como instrumentos de medición han sido validadas por resultados obtenidos en investigaciones de todo el mundo.

Los instrumentos usados tienen una alta confiabilidad debido a que responden a estudios previos de suelos de carácter técnico, además responden a modelos matemáticos que cumplen leyes universales y de resultado exacto.

4.4.3 Procedimiento para recolección de datos

Para indagar información sobre el tema de investigación, seguimos una metodología de búsqueda basada en el google académico, lecturas de artículos, publicaciones en inglés, libros y tesis de grado que nos brinden un panorama más amplio del tema y todo tipo de conocimientos relacionados a pavimentos aeroportuarios a fin de analizar y aplicar la técnica Whitetopping para la optimización de la vida útil de la capa superficial del pavimento. Los documentos seleccionados son tantos nacionales como internacionales, la mayoría aplicadas a carreteras sin embargo también resulta factible su aplicación en pavimentos aeroportuarios.

4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de información

Terminada la etapa de recolección de información, se realizó el procesamiento y organización de datos que sean más relevantes para nuestro trabajo de investigación y así depurar la información que esté incompleta, duplicada o que presenten errores, para finalmente realizar un análisis descriptivo en base a las experiencias previas de pavimentos cuya rehabilitación se hizo mediante la técnica Whitetopping.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Información Básica

5.1.1 Antecedentes

El Aeropuerto “Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes – Tarapoto” se encuentra operativo desde 1960, cuenta con una pista de aterrizaje asfaltada de 2600m de largo por 45m de ancho, una Torre de control de cinco pisos con 15m de altura; Actualmente, se encuentra bajo la administración de la empresa Aeropuertos del Perú , empresa privada que logró la concesión del Primer Grupo de Aeropuerto de Provincias el 11 de Diciembre del 2006 y es la principal puerta de entrada a la Región San Martín, que cuenta innumerables recursos turísticos como: La Laguna Azul en el Distrito Saucé, Cataratas del Ahuashiyacu en la Provincia de San Martín, La cataratas de Huacamaillo en el Distrito de San Roque de Cumbaza, El mirador de la Cruz en la provincia de Lamas, Catarata de Chapawanca, el Barrio de los Nativos, El castillo de Lamas (Corpac, 2016)

5.1.2 Ubicación geográfica

El aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes se ubica en el Jr. Jorge Chávez 1899 – distrito de Tarapoto, departamento de San Martín.

Coordenadas Geográficas:

06°30'31" S

076°22'24" W



Figura N°5 Ubicación geográfica

Fuente: (Google Earth Pro)

5.1.3 Climatología

Mediante el programa power.larc de la NASA, obtuvimos los climas y precipitaciones alrededor del aeropuerto durante los últimos años.

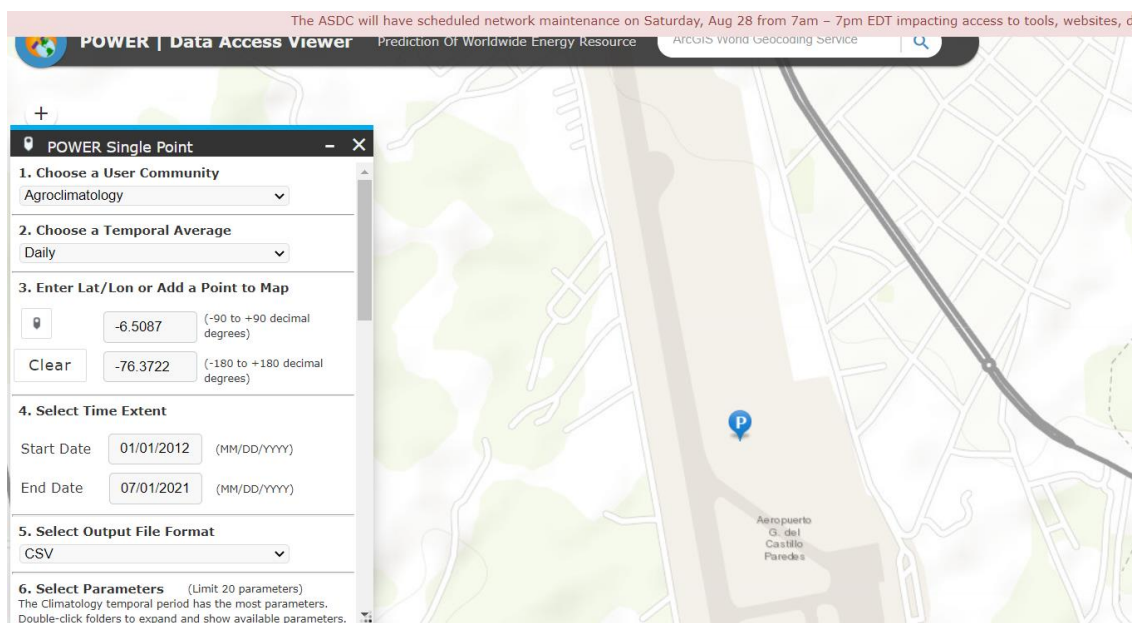


Figura N°6 Clima del distrito de Tarapoto

Fuente: (NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources) (Palma & Soto, 2014)

Como se observa en la figura N°3, colocamos las coordenadas geográficas para solicitar la información climatológica requerida.

Tabla N°3 Temperatura máxima y mínima en Tarapoto

Datos (mes/día/año):01/01/2012 hasta 07/01/2021

Lugar: Latitud: -6.5087 Longitud: -76.3722

Parámetros:

T2M_MAX Temperatura máxima (°C)

T2M_MIN Temperatura mínima (°C)

PRECTOTCORR Precipitación corregida (mm)

YEAR	T2M_MAX	T2M_MIN	PRECTOTCORR
2012	34.75	16.55	3.803306011
2013	35.52	16.58	3.409232877
2014	35.42	18.69	2.845863014
2015	36.24	17.96	3.048054795
2016	36.3	17.31	2.751530055
2017	35.35	16.68	3.38030137
2018	35.12	17.8	3.351671233
2019	35.35	16.94	3.611479452
2020	36.33	17.88	2.607404372
2021	33.62	15.23	5.012032967

Fuente: NASA prediction of worldwide energy resources

En la tabla se observa que la temperatura ha ido aumentando en los últimos 10 años donde la máxima fue de 36,33 °C en el año 2020, donde se han registrado datos desde primero de enero del 2012 hasta el siete de julio del 2021.

5.2 Evaluación del pavimento existente

5.2.1 Características de pavimento existente

Se cuenta con una pista de aterrizaje asfáltica de 2600m de largo por 45m de ancho, inicialmente perteneciente al CORPAC fue concedido a la empresa ADP el 11 de diciembre de 2006, esta pista de aterrizaje realiza 971 operaciones mensuales, lleva alrededor de 793.539 pasajeros al año y en el año 2018 se aprobó el expediente de la última rehabilitación de la pista de aterrizaje, las calles de rodaje y los márgenes de la calle de rodaje, en el trabajo de investigación solo nos enfocaremos en la pista de aterrizaje.

5.2.2 Método de diseño ACN/PCN

Es el método vigente establecido por la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) para la evaluación de pistas en aeropuertos, después de aplicado el mismo sobre un pavimento, es muy fácil determinar la aeronave crítica que afecta el pavimento de la pista, el mismo constituye una

herramienta indispensable para la adecuada administración de los bienes que ellos representan.

El método ACN/PCN es el único oficial y aprobado por la OACI para reportar la capacidad estructural de un pavimento aeroportuario. (Bardasano, 2014)

La determinación de una calificación de pavimento en términos de PCN es un proceso de determinar el ACN para cada aeronave considerada significativa para la mezcla de tráfico que opera en el pavimento en cuestión e informar el valor de ACN como el PCN para la estructura del pavimento. En estas condiciones, cualquier aeronave con un ACN igual o menor que el valor de PCN informado puede operar de manera segura en el pavimento sujeto a cualquier limitación en presión de llanta. (FAA, 2014)

5.2.2.1 Determinación del ACN

El ACN (número de clasificación de aeronaves) es el número que expresa el efecto relativo de una aeronave de peso dado sobre un pavimento con una categoría del terreno de cimentación específica (García & Quevedo, 2008).

Normalmente, para calcular el ACN, se emplea la posición más retrasada del centro de gravedad correspondiente a la masa bruta máxima

El ACN para el diseño de un pavimento se puede obtener mediante la siguiente fórmula (García & Quevedo, 2008):

$$ACN = \frac{2}{1000} * (CRSE) \quad (1)$$

Donde:

CRSE: Carga por rueda simple equivalente de la aeronave analizada en kg (depende de la distribución de las ruedas)

2/1000: Coeficiente que se introdujo a la fórmula con el fin de que el ACN de la mayoría de aeronaves estén entre 0 y 100.

El aeropuerto “Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes – Tarapoto” cuenta con solo vuelos nacionales siendo las empresas y tipos aeronaves que operan las siguientes:

Tabla N°4 Aerolíneas y aeronaves del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes

Aerolínea	Ciudades	Aeronave	ACN
Star Perú	Iquitos, Lima, Pucallpa	Boeing 737	40.2
Movil Air	Chachapoyas, Chiclayo, Tarapoto	Beechcraft 1900	38.8
Saeta	Chachapoyas	BAe Jetstream 32	5
Sky Airlines	Iquitos, Lima	Airbus A320 Neo	47
Viva Air Perú	Lima	Airbus A320	45
Latam Perú	Lima	Airbus A319	40

Fuente: (Corpac, 2016)

- Boeing 737

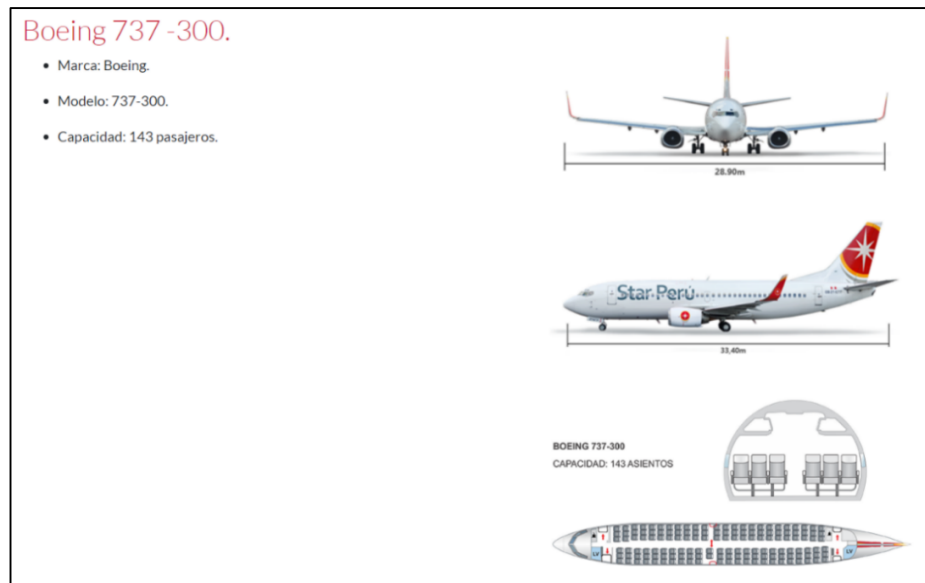


Figura N°7 Características del Boeing 737-300

Fuente: (Aerolinea Star Perú, 2020)

Tabla N°5 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Boeing 737-300

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_T}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
B727-200	770 450	46.2	1.15	42 23	44 23	50 25	55 30	47 25	50 26	52 28	54 29	
B727-200 (Advanced)	934 450	46.7	1.19	53 23	57 23	64 26	69 30	60 25	63 26	66 28	69 30	
B727-200F (Advanced)	907 450		1.15	52 23	54 23	61 25	66 30	57 25	60 26	63 28	66 29	
B737-100	445 260	46.2	1.02	23 12	23 12	26 14	30 16	25 13	26 14	28 15	29 16	77 -
B737-200, 200C, Advanced	572 300	46.4	1.26	31 15	32 15	37 16	41 19	35 17	37 18	39 19	41 20	77 -
B737-300	623 325	45.9	1.40	35 16	37 17	41 18	45 21	40 19	42 20	44 21	46 22	
B737-400	670 350		1.28	38 18	40 18	45 20	49 23	43 20	45 21	47 22	49 23	
B737-500	596 320		1.34	33 16	35 16	39 18	43 21	38 18	40 19	42 20	43 21	

Fuente: (Canadian Airport Pavement Bearing Strengths, 2003)

De acuerdo a la tabla, para el Boeing 737 -300 el número de clasificación de aeronaves (ACN) es 41 para un CBR de 6%.

- Beechcraft 1900



Figura N° 8 Modelo de aeronave Beechcraft 1900

Fuente: (Avia, 2014)

Tabla N°6 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Beechcraft

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_T}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
B Ae-146-200	416 235		0.97	22 11	23 12	26 13	29 15	24 12	26 13	27 14	29 15	
B Ae-146-300	436 245		1.10	24 12	25 12	28 14	31 16	27 13	28 14	30 15	31 16	
B Ae-ATP	232 140		0.85	12 6	13 7	14 8	16 9	13 7	14 8	15 8	16 9	
Beech 1900C, 1900D	76 56		0.67	3 2	4 3	4 3	5 4	4 3	5 3	5 3	5 4	
Beech 2000 Starship	65 56		0.54	2 2	3 2	4 3	4 4	3 3	4 3	4 3	4 3	
Beech 35, 36 Series (Bonanza)	16 10		0.28	---	---	---	---	---	---	---	---	
Beech 55, 56, 58 Series (Baron)	25 16		0.39	---	---	---	---	---	---	---	---	
Beech Jet 400, 400A	73 56		0.86	6 5	7 5	7 5	7 5	6 5	6 5	6 5	7 5	

Fuente: (Canadian Airport Pavement Bearing Strengths, 2003)

De acuerdo a la tabla, para el Beechcraft 1900 el número de clasificación de aeronaves (ACN) es 4 para un CBR de 6%.

- Bae Jetstream 32



Figura N° 9 Modelo de aeronave Bae Jetstream 32

Fuente: (Tores, 2018)

Tabla N°7 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Bae Jetstream

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_T}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A 15	B 10	C 6	D 3	A 150	B 80	C 40	D 20	
Ilyushin IL-76TD	1775 920		0.66	27 11	30 12	37 14	49 19	32 13	35 15	32 18	37 16	
Ilyushin IL-86	2054 1089	31.2	0.88	34 15	36 16	43 18	61 23	26 13	31 14	38 16	46 19	
Jetstream 31, 32 (BAe)	69 56		0.39	3 3	4 3	5 4	6 5	4 4	5 4	5 4	5 4	
Jetstream 41 (BAe)	107 63		0.83	5 3	5 3	6 3	7 4	6 3	6 3	7 4	7 4	
KC-10 (McDonnell Douglas)	2593 1800		1.22	59 38	65 40	79 46	107 64	50 32	59 36	72 43	84 51	
KC-135 Stratotanker (Boeing)	1342 800		1.38	38 20	41 21	49 24	64 31	35 19	41 21	48 24	55 28	
L-1011-1 Tristar	1913 1070	47.4	1.35	52 26	56 27	66 30	90 38	45 24	52 25	62 29	72 33	132 178
L-1011-100, 200 Tristar	2073 1090	46.8	1.35	57 26	63 28	75 31	101 39	49 24	58 26	69 29	81 34	132 178

Fuente: (Canadian Airport Pavement Bearing Strengths, 2003)

De acuerdo a la tabla, para el Bae Jetstream 32 el número de clasificación de aeronaves (ACN) es 5 para un CBR de 6%.

- Airbus A320 Neo

Tabla N°8 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Airbus A320

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_T}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A 15	B 10	C 6	D 3	A 150	B 80	C 40	D 20	
A320-100	667 390		1.21	35 19	36 19	40 21	46 24	38 30	41 22	43 25	45 25	
A320-200	725 402		1.03	37 19	39 19	44 21	50 25	40 20	43 21	45 23	48 24	
A320-200	744 422		1.14	39 20	40 21	45 22	51 26	42 22	45 23	48 25	50 26	
A320-200	759 441		1.44	41 22	42 22	47 24	53 28	46 24	49 26	51 27	53 29	
A300-200 (Optional Bogie)	725 402		1.22	20 10	22 10	26 11	35 15	19 9	23 10	27 12	31 14	
A320-212 (optional 4-Wheel Bogie)	764 490		1.22	21 12	23 13	28 15	38 20	21 11	24 13	29 16	33 18	

Fuente: (Canadian Airport Pavement Bearing Strengths, 2003)

De acuerdo a la tabla, para el Airbus A320 Neo el número de clasificación de aeronaves (ACN) que utilizaremos será el más crítico siendo 47 para un CBR de 6%.

- Airbus A320

Tabla N°9 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Airbus A320

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
A320-100	667 390		1.21	35 19	36 19	40 21	46 24	38 30	41 22	43 25	45 25	
A320-200	725 402		1.03	37 19	39 19	44 21	50 25	40 20	43 21	45 23	48 24	
A320-200	744 422		1.14	39 20	40 21	45 22	51 26	42 22	45 23	48 25	50 26	
A320-200	759 441		1.44	41 22	42 22	47 24	53 28	46 24	49 26	51 27	53 29	
A300-200 (Optional Bogie)	725 402		1.22	20 10	22 10	26 11	35 15	19 9	23 10	27 12	31 14	
A320-212 (optional 4-Wheel Bogie)	764 490		1.22	21 12	23 13	28 15	38 20	21 11	24 13	29 16	33 18	
A321-100	769 461		1.28	42 23	44 24	49 26	55 30	47 26	50 27	52 29	54 30	
A321-100	818 461		1.36	45 23	48 24	53 26	59 30	51 26	54 28	57 29	59 31	

Fuente: (Canadian Airport Pavement Bearing Strengths, 2003)

De acuerdo a la tabla, para el Airbus A320 el número de clasificación de aeronaves (ACN) que utilizaremos será el más crítico siendo 45 para un CBR de 6%.

- Airbus A319

A319

Fly-By-Wire

El A319 es un avión de pasillo único, de corto-mediano alcance y con fly-by-wire: sistema de navegación que utiliza interfaz electrónica (cables) en vez de controles de vuelo manuales.

Unidades

Cada dos segundos, un avión de la familia de los A320 (A318, A319, A320 y A321) aterriza o despegue en el mundo. A junio de 2017, se han entregado un total de 1.458 A319 y hay 27 órdenes a la espera.

Ficha Técnica

Fabricante – Airbus
 Capacidad – 144 pasajeros
 Longitud – 33.84m
 Envergadura – 34.1m
 Altura – 11.76m
 Peso máximo en el despegue – 70 toneladas
 Motores – V2500-A5IAE
 Unidades LATAM – 46



Figura N° 10 Características de la aeronave Airbus A319

Fuente : (Latam, 2020)

Tabla N°10 Número de clasificación de aeronave (ACN) del Airbus 319

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_T}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
A318-100	607 382		0.89	29 17	31 18	35 20	41 23	31 18	34 19	36 21	38 22	
A319-100	632 382		0.89	30 17	32 18	36 19	42 23	31 17	34 19	37 20	39 22	
A319-100	690 382		1.07	35 18	36 18	40 20	46 23	37 18	40 20	42 21	45 23	
A319-100	744 382		1.38	39 18	40 18	45 20	50 23	44 20	46 21	49 22	51 24	

Fuente: (Canadian Airport Pavement Bearing Strengths, 2003)

De acuerdo a la tabla, para el Airbus A319 el número de clasificación de aeronaves (ACN) que utilizaremos será el más crítico siendo 45 para un CBR de 6%.

5.2.2.2 Determinación del PCN

El PCN (número de clasificación de pavimentos) es el número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para un número limitado de aeronaves, este número indica que cualquier aeronave cuyo ACN se encuentre igual o menor al PCN determinado, podrá utilizarse en el pavimento sujeta a restricciones relativas a la presión de neumáticos (García Pérez & Quevedo Sotolongo, 2008).

Este se define como la cifra que indica la resistencia de un pavimento para utilizarlo sin restricciones. (OACI, 1983)

En nuestro trabajo de investigación estamos analizando a un pavimento flexible cuyo PCN se puede calcular mediante la siguiente fórmula (Garcia & Quevedo, 2008)

$$PCN = \left(\frac{1}{500}\right) * \frac{e^2}{\frac{1}{0.57 * CBR} - 0.025} \quad (2)$$

Donde:

e: Espesor equivalente expresado en cm, a partir de convertir el pavimento en un material homogéneo equivalente de $E = 500\text{MPa}$

CBR: CBR de la cimentación en %

Al momento de encontrar el espesor equivalente y el CBR promedio

de la cimentación se utilizaron las fórmulas con las modificaciones hechas, teniendo en cuenta las tensiones y diferentes CBR en los suelos de cimentación (García & Quevedo, 2008)

$$e = \sum hi \left(\frac{Ei}{500} * \frac{\sigma zpi}{\sigma zp} \right) \quad (3)$$

Donde:

e: Espesor equivalente expresado en cm

hi: Espesor de las diferentes capas

σzpi : Tensión media de cada capa

σzp : Promedio de las tensiones medias de cada capa.

$$CBR = \sum \left\{ \frac{hi * \sigma zpi}{\sum (hi * \sigma zpi) / CBRi} \right\} \quad (4)$$

Donde:

CBR: CBR promedio para los suelos de cimentación

hi: Espesor de la capa de cada suelo

σzpi : Tensión media en cada suelo

CBRi: CBR de cada suelo

Con lo descrito anteriormente, el código PCN a reportar se expresa como un código de cinco partes, separadas por barra que describen el tipo de pavimento como tenemos para nuestro caso particular en el aeropuerto “Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes – Tarapoto” que presenta un PCN de 51/F/C/X/T

- El primer valor es un número que se obtiene mediante las fórmulas e indica la resistencia calculada del pavimento y, por tanto, el “Número de Clasificación de Aeronave” (ACN) admisible, estas fórmulas varían dependiendo si se está analizando un pavimento rígido o flexible.
- El segundo valor es una letra, que puede ser “R” o “F”, que indica si el pavimento se trata de un pavimento rígido “R” o un pavimento flexible “F”

Tabla N°11 Código de acuerdo al tipo de pavimento

Tipo	Código
Pavimento flexible	F
Pavimento rígido	R

Fuente: Elaboración propia

- El tercer valor es una letra: de “A” a “D” en función de la resistencia de la sub rasante

Tabla N°12 Código de acuerdo a la resistencia del pavimento

Resistencia	CBR	Código
Alta	15 (>13)	A
Media	10 (entre 8 y 10)	B
Baja	6 (entre 4 y 8)	C
Muy Baja	3 (<4)	D

Fuente: Elaboración propia

- El cuarto valor es otra letra que indica la presión máxima de los neumáticos que puede soportar el pavimento.

Tabla N°13 Código de acuerdo a la presión admisible del pavimento

Presión admisible	Presión máxima en MPa (psi)	Código
Ilimitado	Sin límite (cualquier presión)	W
Alta	1.75 MPa (254 psi)	X
Media	1.25 MPa (181 psi)	Y
Baja	0.5 MPa (73 psi)	Z

Fuente: Elaboración propia

- El quinto valor describe el método de cálculo del primer valor del PCN, según si se hizo una evaluación de forma técnica (T) o empírica (U).

Evaluación empírica: Se basa en la experiencia de las aeronaves que operan usualmente en el pavimento, este consiste en determinar el ACN de las aeronaves en operación en el aeropuerto y asignar como PCN el mayor valor, el método de evaluación debe ser codificado con la letra U.

Evaluación técnica: Cuando la evaluación es el resultado de un estudio específico de las características del pavimento con la aplicación de una tecnología del comportamiento de los pavimentos, la codificación de la evaluación es la letra T.

Tabla N°14 Código de acuerdo al método de análisis

Método	Código
Análisis técnico	T
Análisis práctico	U

Fuente: Elaboración propia

Para el caso particular del aeropuerto “Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes – Tarapoto” tenemos:

Tabla N°15 PCN del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes

51	F	C	X	T
ACN máximo aceptado	Pavimento flexible	Resistencia baja	Presión alta	Análisis técnico

Fuente: Elaboración propia

5.3 Diseño de Whitetopping

5.3.1 Consideraciones técnicas

5.3.1.1 Método de adherencia

Para el diseño de la capa Whitetopping de la pista de aterrizaje del aeropuerto utilizaremos un Ultra Thin Whitetopping ya que estamos trabajando con pavimentos aeroportuarios donde es importante mantener el diseño del paquete estructural, además de presentarse solo fallas superficiales con mantenimientos periódicos que actualmente consisten en bacheos superficiales de la carpeta asfáltica, para lo que sí es factible aplicar el refuerzo de hormigón Ultra Thin Whitetopping. La necesidad de contar con una adecuada adherencia y mantenerla en servicio es un factor crítico y condiciona fuertemente el diseño y ejecución de este tipo de recubrimiento. Es fundamental para un adecuado funcionamiento, lograr una buena adherencia entre la capa de concreto hidráulico y la del asfalto existente, de tal modo que el pavimento se comporte como una estructura compuesta. El método

más eficaz para garantizar una adherencia adecuada entre el concreto y el asfalto parece ser el fresado de unos pocos centímetros de este último, hasta obtener una superficie rugosa y sana. Esto causa que las capas actúen monolíticamente y compartan las cargas, lo que disminuye significativamente las tensiones de tracción que se generan en la parte inferior de la losa, incrementando la capacidad estructural del pavimento.

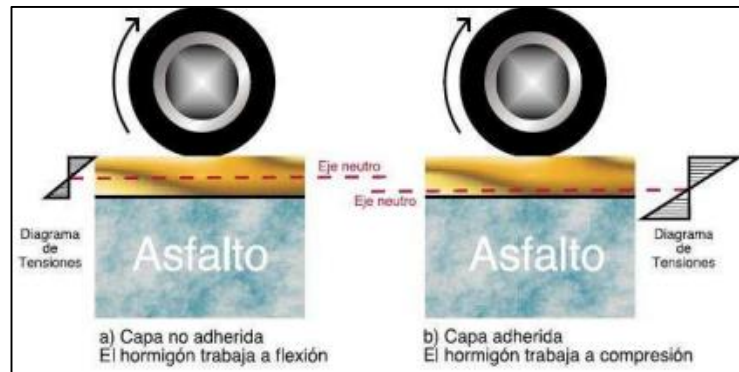


Figura N°11 Distribución de esfuerzos de acuerdo a su adherencia

Fuente: (Orell, 2009)

Al presentar una importante adherencia entre ambos materiales, el eje neutro en el hormigón cambia desde la mitad de la losa de hormigón hasta el fondo de la misma. Este descenso del eje neutro disminuye los esfuerzos llevándolos a valores que el hormigón puede soportar. Con la adherencia, el hormigón toma mayoritariamente las tensiones de compresión logrando un mejor comportamiento del material combinado, y la posibilidad de tomar tensiones mayores lo que permite utilizar espesores proporcionalmente menores.

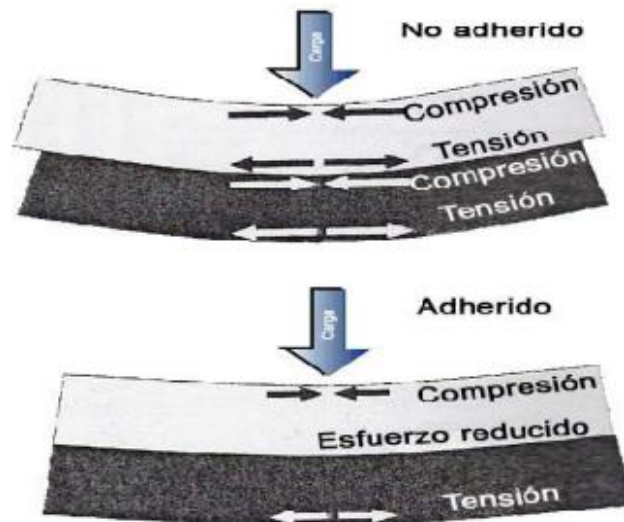


Figura N°12 Trabajabilidad del pavimento de acuerdo a su adherencia

Fuente: (Orell, 2009)

El método de adherencia para esta técnica será adherido ya que inicialmente los recubrimientos se hacían con hormigón no adherido y espesores convencionales, pero según la experiencia recogida además del buen comportamiento de los recubrimientos rígidos se empezaron a construir recubrimientos de hormigón totalmente adherido al pavimento asfáltico, logrando que ambos materiales trabajen como estructura compuesta y mejorando la resistencia gracias al aporte estructural del asfalto.

5.3.1.2 Espesor de capa Whitetopping

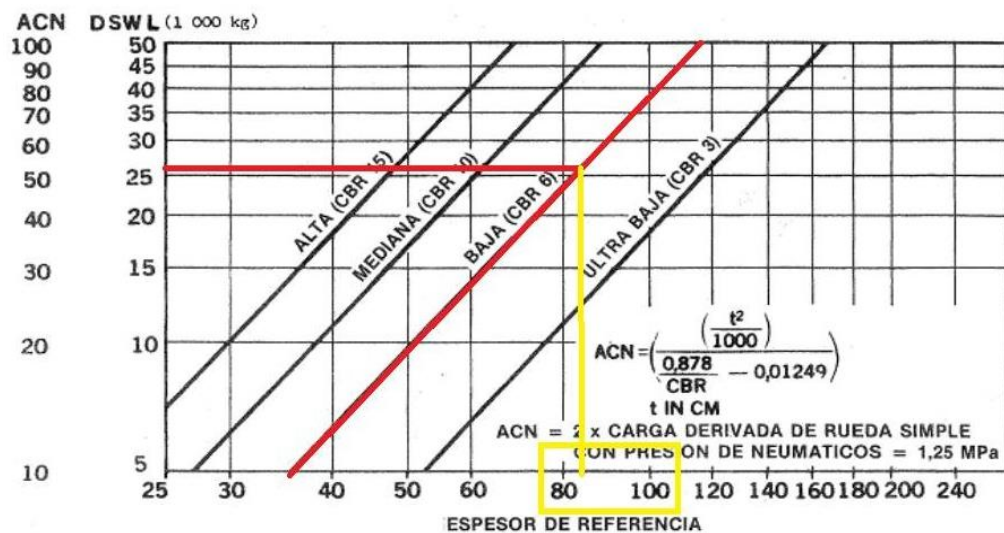
En el U.T.W (Ultra Thin Whitetopping) la unión entre la capa de rodadura del pavimento flexible o asfáltico y la losa de hormigón hidráulico de refuerzo se considera como un sistema compuesto por una capa delgada de concreto hidráulico reforzada con una malla de acero, la que se coloca sobre la superficie del pavimento deteriorado. Es importante destacar que ambas capas forman una estructura integral; no se comportan como capas independientes. De esta forma se reducen las tensiones críticas, bajando el eje neutro al centro de la nueva estructura del pavimento, ocurriendo la tensión crítica máxima en el asfalto y no en el fondo de la losa de hormigón. El espaciamiento corto de las juntas hace que el U.T.W. actúe como un pavimento en bloque, reduciendo de esta forma la tensión de pandeo en la losa de

hormigón, según estudios realizados.

Las losas que se logran con U.T.W deben tener un espesor adecuado que oscile entre 7-10 cm. Los fallos por fatiga pueden ser comunes en las losas de los pavimentos hechos con U.T.W, por lo que deben tomarse las medidas correspondientes para su tratamiento, para el diseño de un Ultra Thin Whitetopping el pavimento asfáltico del aeropuerto cumple con ser mayor a 7.5cm como indican los requerimientos para este diseño.

Para nuestro caso en particular tenemos un diseño para un ACN máximo de 51 y un CBR de 6% (resistencia baja) por lo que tomaremos este valor como referencia para proponer el espesor de la capa UTW que se aplicará a la pista de aterrizaje.

Tabla N°16 Ábaco de conversión del ACN para pavimentos flexibles



Fuente: (OACI, 2018)

Basándonos en el diseño PCN del aeropuerto que indica la resistencia del pavimento asfáltico y del terreno de fundación, podemos proponer un espesor de diseño para el Ultra Thin Whitetopping según la tabla N°16, propuesta por la OACI para determinar espesores de referencia según el número de ACN y CBR que se aplicará sobre el pavimento nos da un espesor de capa de refuerzo de 8.5cm que se encuentra dentro del rango de UTW a pesar de tener un CRB bajo.

Para el diseño de PCN del pavimento existe una tolerancia de

sobrecarga de hasta un 10% del valor máximo de ACN, es decir, en el aeropuerto puede aterrizar un avión con ACN máximo de 56.1 de tolerancia sin afectar estructuralmente al refuerzo de hormigón adherido,

Operaciones de sobrecarga



Figura N°13 Máximo ACN permisible según tipo de pavimentos

Fuente: (OACI A. 1., 2016)

5.3.1.3 Distanciamiento de Juntas

El espaciamiento de las juntas juega un papel importante en el comportamiento del pavimento, estas juntas se hacen a poca distancia para formar un sistema de pavimento de bloque, el cual transfiere la carga al pavimento flexible a través de deflexión antes que la flexión.

Las colocaciones de juntas permiten reducir los efectos de alabeo debido a cambios bruscos de temperatura o humedad, por lo que disminuye la posibilidad de una fisura y facilita la transferencia de carga entre las losas, con esto buscamos que el pavimento actúe como mecanismo y no como estructura. (Orell, 2009)

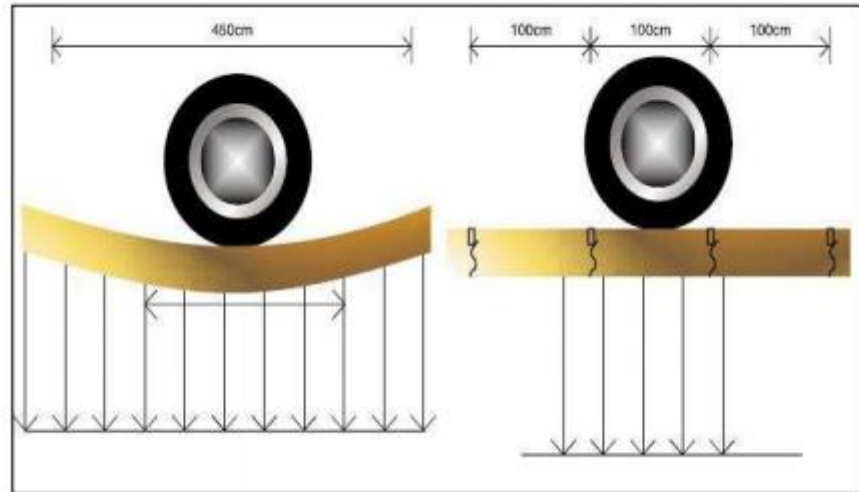


Figura N°14 Efecto de las juntas en los pavimentos

Fuente: (Orell, 2009)

La regla más común para capas de Thin Whitetopping y Ultra Thin Whitetopping es seleccionar un espaciado de juntas que sea 12 a 18 veces el espesor seleccionado. Se suele utilizar 12 para el Whitetopping delgado y 18 para el Ultra Thin Whitetopping. (Rasmussen & Rozycky, 2004)

Se recomienda para disposición de las juntas en capas de refuerzo adherido a pavimentos asfálticos, losas cuadradas de pequeñas dimensiones que se encuentren en el rango de 0.9m a 2.4m. (Harrington & Fick, 2014)

Para nuestro caso estamos proponiendo un espesor de 8.5cm de capa Ultra Thin Whitetopping para la pista de aterrizaje de 45m de ancho x 2600m de largo.



Figura N°15 Pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes

Fuente: (Google Earth Pro)

Para el diseño de juntas del aeropuerto, vamos a seguir las recomendaciones para refuerzo adherido a pavimentos asfálticos en conjunto a las consideraciones de diseño para un Ultra Thin Whitetopping considerando 18 veces el espesor de la capa de refuerzo propuesta de 8.5cm, haciendo los cálculos y redondeando obtendríamos losas de 1.6m x 1.6m, acercándonos más a la teoría de Rasmussen y Rozycky, para el diseño de juntas longitudinales en el eje transversal de la pista de aterrizaje, debemos hacer el cálculo de la cantidad de paños de 1.6m x 1.6m considerando un espesor de corte de 5mm, resultando 21 paños de 1.6m x 1.6m, 20 juntas de 5mm de espesor y 7mm libre en cada extremo transversal de la pista.

$$0.7 \times 2 + 1.6 \times 21 + 0.5 \times 20 = 45\text{m de pista.}$$

Para el diseño de las juntas transversales, analizaremos el eje longitudinal de la pista de 2600m, para paños de 1.6m x 1.6m, obtendríamos 1237 paños, 1236 juntas de 5mm de espesor y 14mm libre en cada extremo longitudinal de la pista.

$$1.4 \times 2 + 1.6 \times 1237 + 0.5 \times 1236 = 2600\text{m de pista.}$$

5.3.1.4 Aserramiento de juntas

Por tratarse de una capa de refuerzo adherido al asfalto, el espesor convencional de todas las hojas para aserrar es normalmente de 5mm +- 1.5mm y las hojas de las sierras para corte temprano, normalmente se usan de espesor de 3mm +- 1.5mm.

Para el diseño del aeropuerto tenemos un espesor de UTW de 8.5cm por lo que se recomienda una profundidad de corte mínimo de 2.15cm para las juntas transversales y 2.85cm para las juntas longitudinales.

Para casos prácticos de corte se podría recomendar como profundidad final de 1" para las juntas transversales y 1 ¼" para las juntas longitudinales.

Para el caso del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes utilizaremos espesor de corte de 5mm.

5.4 Proceso constructivo

5.4.1 Trabajo previo

Por tratarse de un Ultra Thin Whitetopping se recomienda un trabajo previo de fresado para garantizar la adherencia y retirar las partes dañadas superficialmente del pavimento asfáltico, no es necesario realizar el fresado en toda la pista, solo en los sectores críticos y donde exista mucho desnivel de asfalto.

Las directrices (ACPA, 1998) para reparaciones antes de las aplicaciones del delgado y ultra delgado Whitetopping se dan en la tabla N°17. Donde las técnicas de reparación de pre-recubrimiento son las mismas que las técnicas de reparación para un pavimento de asfalto en Caliente. (Han , 2005)

Tabla N°17 Condiciones del pavimento y reparaciones

Condiciones del pavimento	REPARACIONES	
	Whitetopping Delgado Fresado opcional y limpieza requerida	Ultra-Thin Whitetopping Fresado y limpieza requerida
Ahuellamiento <5cm	Ninguna	Ninguna
Ahuellamiento >5cm	Fresado o nivelación	Ninguna
Baches	Rellenar	Parche
Falla de subrasante	Remoción y preparación	Remoción y preparación
Agrietamiento piel de cocodrilo	Ninguna	Parche completo de espesor
Fisura en bloque	Ninguna	Llenado de grietas
Fisuras longitudinales y transversales	Ninguna	Llenado de grietas
Desmoronamiento superficial	Ninguna	Ninguna
Exudación	Ninguna	Ninguna

Fuente: (Harrington & Fick, 2014)

Como se observa en la tabla, si las distorsiones de la superficie en el pavimento de asfalto existente son excesivas (más de 5 cm), el fresado o la nivelación podrían ser necesarios para proporcionar la clasificación adecuada. Antes de colocar el Whitetopping, la temperatura del asfalto preparado de la superficie debe ser considerada. (Han , 2005)

La colocación de pavimento rígido sobre una superficie de asfalto en caliente puede conducir a la formación de grietas debido a la contracción, así como las excesivas tensiones por restricción térmica resultando de la gran diferencia de temperatura entre el pavimento rígido en estado de endurecimiento y las bajas temperaturas durante la noche. (Han , 2005)

El Agua Nebulizada y el blanqueo son dos métodos utilizados por separado para reducir la temperatura del asfalto. Utilizar el agua nebulizada es una buena práctica si el calor de la superficie del asfalto hace que sea incómodo para tocar con la palma de la mano abierta. El agua nebulizada es adecuada para superficies de asfalto viejo y fresado. El Blanqueo puede reducir la adherencia entre el pavimento rígido (PCC) y la unión de capas de asfalto de mezcla en caliente (HMA). (Han , 2005)

5.4.2 Colocación del concreto hidráulico

Para la construcción del Whitetopping, existen varias opciones con respecto a los equipos y la técnica de colocación del hormigón. Muchas veces el Whitetopping es diseñado bajo la colocación de un hormigón convencional, donde el trabajo es más denso y menos costoso. (Rasmussen & Rozycky, 2004)

La colocación del hormigón se lleva a cabo normalmente por dos métodos, encofrados fijos y de encofrado deslizante. Existen casos que la construcción del hormigón se ha realizado de manera manual, pero a continuación se analizarán solo los dos primeros métodos.

- Encofrados Fijos:

En el método fijo los encofrados deben estar asegurados de una manera rígida para soportar el hormigón, con el fin de evitar algún tipo de asentamiento u otro movimiento. Los encofrados también deben soportar la presión lateral del hormigón, ya que se colocan camiones de concreto pre-mezclado, bombas y otros medios.

Cada formaleta se debe limpiar y aplicar algún tipo de desencofrante antes de cada uso, y posteriormente limpiarse después de cada uso. Se deberán retirar cuidadosamente después de que el concreto hidráulico haya adquirido la resistencia necesaria. Se debe tener cuidado para evitar los daños en los bordes y en las esquinas del hormigón. (Rasmussen & Rozycky, 2004)

El hormigón debe ser colocado en el pavimento de asfalto existente lo más

uniformemente posible, para evitar segregación y para minimizar la fuerza lateral extendida a medida en que avanza la obra. Se utilizan esparcidores o enrasados de regla mecánica que se montan en los encofrados. Los vibradores también deben ser utilizados para asegurar una consolidación adecuada. (Rasmussen & Rozycky, 2004)

- Encofrado deslizante:

Se conocen como maquinarias de última tecnología en la etapa de hormigonado. Se moviliza a través de orugas ubicadas a los costados. En su interior, un sinfín de distribución o una cuchilla de distribución extiende uniformemente el material depositado previamente en la extendedora mediante una cinta transportadora, un sinfín alimentador, una bomba o delante de la extendedora, todo dependiendo del tipo de modelo. (Committee, 2008)

Durante su transcurso, el encofrado deslizante le proporciona la forma adecuada a la capa de hormigón. Posee vibradores eléctricos que se hacen cargo, a la vez, de la compactación adecuada del material. (Palma & Soto, 2014)

5.4.3 Ejecución de juntas

En las losas de hormigón, el tiempo oportuno para el corte de juntas es vital para evitar el agrietamiento en el Whitetopping. Las operaciones de los cortes de la losa deben comenzar inmediatamente después que el hormigón haya cobrado fuerzas suficientes para evitar la degradación o desprendimiento en la junta.

La profundidad de la sierra de corte es de mucha importancia para el Whitetopping porque las distorsiones presentes en el pavimento asfáltico pueden lograr afectarlo como se muestra en la figura N°16.

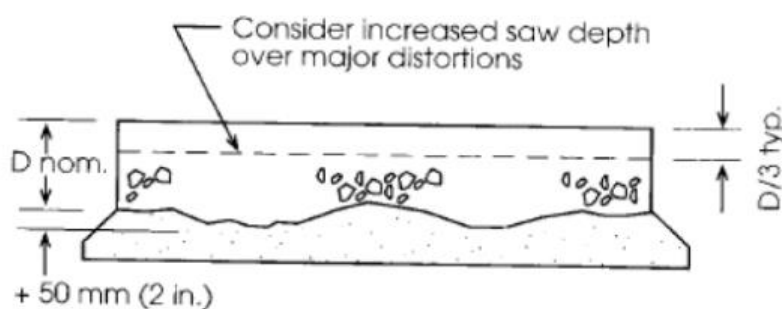


Figura N°16 Distancia recomendada para corte de juntas

Fuente: (De la Cruz, 2016)

Para evitar este tipo de daño se recomienda una profundidad mínima de sierra de corte de un tercio del espesor de la losa de hormigón.

Un corte más profundo podría hacerse donde el espesor de la losa varié más de los 50 mm del espesor nominal. Con técnicas de corte a edades tempranas y un corte más superficial podría ser permisible.

Para nuestro caso particular tenemos profundidad de juntas de 1" y 1 ¼ " transversales y longitudinales respectivamente, y dichas juntas estarán colocadas en paños de 1.6m x 1.6m como propuesta inicial.

En cuanto a los selladores de juntas su objetivo es minimizar el ingreso de agua ya que podría reducir la capacidad global del pavimento, además minimizar el ingreso de materiales incompresibles (así como la arena), ya que podría ocasionar problemas de levantamiento de la losa y despostillamientos de los labios de las juntas. (Calo, 2012)

5.5 Resultados de la investigación.

El pavimento flexible, aunque tiene un menor costo inicial, sus mantenimientos son más frecuentes, como se observa en la figura N°17 cada 5 años se debería colocar una sobre carpeta a la vía, garantizar la condición inicial y a su vez iniciar nuevamente el proceso de deterioro.

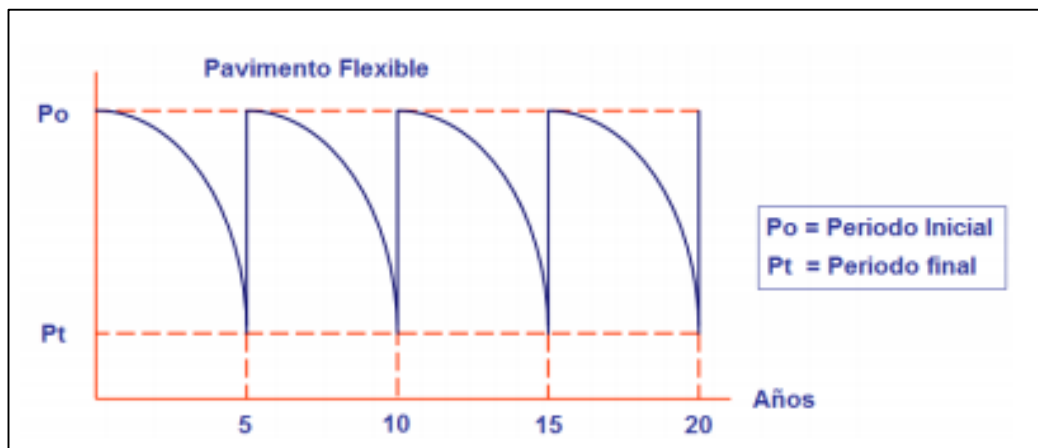


Figura N°17 Vida útil del pavimento flexible

Fuente: (Gutiérrez , 2012)

En cambio, el deterioro de un pavimento rígido es más lento, ya que cada 15 años se reparan las losas que hayan sufrido daños, obteniendo con esto una condición casi igual a la inicial. A pesar que el costo inicial para el pavimento rígido es más alto, esto se podría ver compensado en el ahorro por mantenimiento y el aumento

de la seguridad para los usuarios, y por consiguiente disminución en la accidentalidad, costos de operación y deterioro.

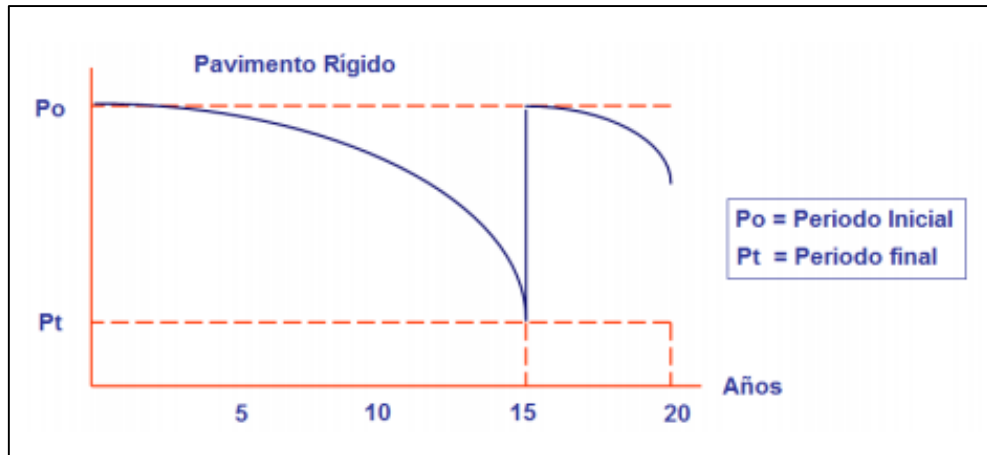


Figura N°18 Vida útil del pavimento rígido

Fuente: (Gutiérrez , 2012)

Además, utilizar pavimentos asfálticos en la selva peruana puede causar problemas debido a los cambios bruscos de temperaturas, salvo que se construyan con algún tipo de polímero o aditivo especial que trabajen en contra de estos cambios, se producen fallas como la exudación y hundimientos con facilidad, haciendo que se tenga que reparar constantemente.

Según Han (2005), utilizar el Whitetopping puede presentar diferentes ventajas y desventajas según el tipo a utilizarse.

Tabla N°18 Ventajas y desventajas del Whitetopping

Tipo	Ventajas	Desventajas
Whitetopping Convencional	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere una preparación mínima de la superficie debido a la capacidad del concreto hidráulico para unir deterioro. -Reacciona estructuralmente como si tuviera una base fuerte en curso. -El asfalto existente trabaja excelente como base estabilizada, evitando fallas y pérdida de apoyo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los espesores mínimos de superposición tienden a estar por encima de los 20 cm, que es bastante grueso y posiblemente inadecuado en muchos casos como debajo de puentes o en áreas con delimitaciones de espacio específicas.
Thin Whitetopping	<ul style="list-style-type: none"> -Más delgado que el Whitetopping convencional debido a un compuesto de adherencia de capas. 	<ul style="list-style-type: none"> -El tamaño de la losa y la ubicación de la junta pueden complicar su uso. -La necesidad de asegurar una unión adecuada también puede complicar su uso. -Si la unión es eficaz, se pueden presentar reflejos de grietas en el pavimento asfáltico subyacente.
Ultra-thin Whitetopping	<ul style="list-style-type: none"> -Facilidad para adaptarse al espacio sobre la estructura de pavimento existente -Facilidad en la construcción por etapas -Amplia gama de aplicaciones, incluyendo pavimentos aeroportuarios -Requiere mantenimiento mínimo. -Es una opción rentable durante toda su vida útil. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mayor costo incurrido por cortar con sierra y de fibras que se añaden a la mezcla según los requerimientos del expediente. -No debe usarse en las carreteras principales y vías de tráfico pesado. -Requiere un espesor de asfalto superior a 7.5cm y que se presenten fallas superficiales. -Tener cuidado con el curado del concreto hidráulico para evitar roturas y grietas tempranas. -Preocupación por la durabilidad de la unión del concreto hidráulico con el asfalto en ciclos de congelación y descongelación..

Fuente: Adaptado y traducido de (Han , 2005)

La aplicación de una capa de refuerzo Ultra-Thin Whitetopping puede durar de dos a tres veces más que las superposiciones de asfalto con una vida útil de más de 20 años, esta capa mantendrá su capacidad de servicio y requiere un mantenimiento mucho menor durante su vida útil. (Han, 2005)

Según encuestas realizadas por el M&R (technology of pavement preservation treatments) que contiene información sobre el uso y desempeño de diferentes métodos de rehabilitación, según lo informado, se encuestaron a 50 representantes de agencias aeroportuarias en Estados Unidos. Donde hubo 44 aeropuertos que aplicaron 19 tratamientos solo para pavimentos asfálticos y 12 tratamientos adicionales como alternativas de rehabilitación preventiva.

Tabla N°19 Tratamientos de rehabilitación para pavimentos flexibles en aeropuertos

Tipo de tratamiento para pavimento flexible aeroportuario	Resultado de la encuesta (%)						
	Uso		Total	Rendimiento			
	Frecuente	Se a probado		Muy bueno	Bueno	Malo	
Sellado de grietas con	Sellador aplicado en caliente	84	11	95	19	71	10
	Sellador aplicado en frio	9	7	16	17	66	17
Pequeña área (bache) usando parcheado	mezcla en caliente	52	16	68	42	58	0
	mezcla en frio	43	18	61	13	50	37
	mezcla patentada	9	11	20	25	50	25
	Parche en aerosol	5	7	11	0	100	0
Máquina de parchado con asfalto	27	14	41	39	55	6	
Máquina de fresado y parcheado con asfalto	34	18	52	39	61	0	
Texturización usando	Fresado fino	7	5	11	20	80	0
	granallado controlado	0	16	16	0	71	29
Rejuvenecedores, sellos antiniebla, etc.	30	23	52	23	59	18	
Tratamiento superficial	15	18	43	6	81	13	
Slurry seal	23	25	48	10	75	15	
Micropavimentos	2	9	11	25	75	0	
Superposición de mezcla en caliente	45	23	68	48	48	4	
Superposición de fresado y mezcla en caliente	45	18	64	58	42	0	
Pavimento reciclado en caliente	5	2	7	N/A	N/A	N/A	
Pavimento reciclado en frio	2	0	2	N/A	N/A	N/A	
Ultra Thin Whitetopping	7	7	14	60	20	20	

Fuente: Adaptado de (Hajek, Hall, & Hein, 2011)

De acuerdo a la tabla N°19, podemos observar los siguientes resultados solo para pavimentos flexibles, comparando aeropuertos que solo aplicaron la técnica Ultra-Thin Whitetopping como método de rehabilitación.

Tabla N°20 Rendimiento del tratamiento de rehabilitación

Tipo de pavimento	Número de aeropuertos	Número de tratamientos	Rendimiento del tratamiento (%)		
			Muy bueno	Bueno	Malo
Pavimento flexible	44	19	30.2	59.1	10.7
	7	1 (Ultra Thin Whittepping)	60	20	20

Fuente: Adaptado de (Hajek, Hall, & Hein, 2011)

El rendimiento del tratamiento también puede depender de la zona ambiental (por ejemplo, humedad y zonas de altas y bajas temperaturas) y de la zona de instalación del aeropuerto (pista de aterrizaje, plataforma, calle de rodaje) y se podría inclusive aumentar la muestra para obtener una calificación más objetiva del desempeño del tratamiento Whitetopping, esto requeriría el desarrollo de pautas de evaluación de desempeño para el tratamiento y su adherencia.

Para aeropuertos en Sudamérica donde se haya aplicado Whitetopping, podemos tomar de ejemplo el aeropuerto Jorge Newbery ubicado en Buenos Aires, Argentina, que posee una longitud de 2100 metros y un ancho de 40 metros, fecha donde se ejecutó la técnica de rehabilitación Whitetopping sobre la pista original de asfalto, teniendo una vida útil de 37 años hasta su próxima rehabilitación en el año 2010, donde se realizó la rehabilitación en un ancho de 14 metros ejecutándose la demolición y reconstrucción del concreto hidráulico.



Figura N°19 Aeropuerto Jorge Newbery

Fuente: (Minorini, Bacaro, & Fernández, 2018)

5.6 Análisis e interpretación de los resultados

- La capa de refuerzo Whitetopping es una solución que garantiza tanto extender la vida útil, a mayor costo inicial, pero con resultados a largo plazo. (Han, 2005)
- Debido a los cambios de temperatura en la Selva, como se pudo apreciar en el programa power.larc, Tarapoto presenta incremento de temperatura en los últimos 10 años, siendo las temperaturas picos de 34.75° en el 2012 y de 36.33° en el año 2020, pudiendo esto afectar superficialmente a las carpetas asfálticas antiguas

como es el caso de la pista de aterrizaje, ya que la mayoría de estas fallas acelera el deterioro y la presentación de fallas superficiales como ahuellamiento debido a la reacción del asfalto en altas temperaturas.

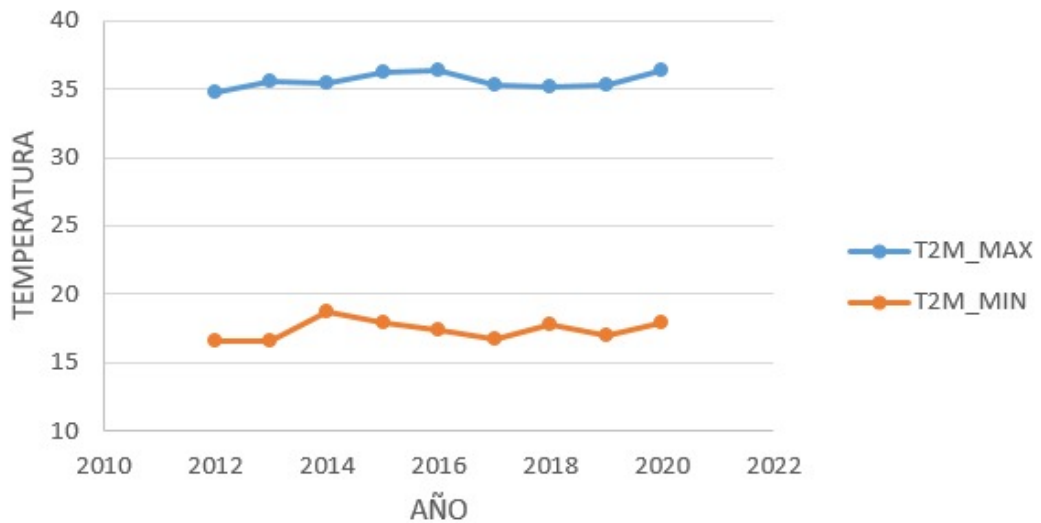


Figura N°20 Variación de temperatura en Tarapoto

Fuente: Elaboración propia

- Las condiciones climáticas pueden afectar el comportamiento y rendimiento del Ultra Thin Whitetopping durante el proceso constructivo, los efectos más perjudiciales ocurren en condiciones de temperatura extrema, donde la temperatura del aire es superior a 32°C o inferiores a 4°C, la construcción debe considerar posibles efectos de una temperatura de curada más baja de lo normal y más alta de lo normal en las propiedades del concreto, por lo que resulta importante desarrollar especificaciones que consideren las condiciones ambientales durante la construcción. (Rasmussen & Rozycky, 2004)
- Según información sobre el uso de tratamientos M&R (technology of pavement preservation treatments) obtenida de la encuesta proporciona una buena indicación de qué tipos de tratamientos se utilizan en Estados Unidos, donde se ha empleado el Ultra Thin Whitetopping en el 14% de los aeropuertos encuestados, teniendo un rendimiento del 60% para muy bueno, por encima de los demás tratamientos, y 20% para bueno y malo. (Hajek, Hall, & Hein, 2011)
- Debido a que el estudio ACN-PCN vigente en el aeropuerto es de carácter técnico, a pesar de presentar un CBR considerado bajo (6%), se puede realizar una cobertura Ultra Thin Whitetopping ya que los ábacos proporcionados por la OACI nos brindan un espesor de 8.5cm aplicable para esta técnica, de ser empírico se

tendría que realizar un estudio de CBR.

- Para el proceso constructivo es importante mantener un plan de contingencia en caso de inclemencias del tiempo, de esperarse u ocurrir una lluvia ligera, la construcción debe detenerse y el concreto fresco colocado debe cubrirse para su protección, de no hacerlo podría ocasionar que se pierda una resistencia significativa y se astille o desgaste prematuramente, además si se presenta el caso donde el concreto fresco tiene agua superficial estancada, se deben detener las operaciones de acabado hasta que el agua se haya evaporado o eliminado de la superficie, ya que esto afectaría la relación agua-cemento superficial, afectando la durabilidad y provocando defectos superficiales. (Rasmussen & Rozycky, 2004)
- Para el aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes se propone realizar una reparación previa al recubrimiento, al tratarse de un Ultra Thin Whitetopping se deberá realizar un fresado superficial y limpieza total de la pista de aterrizaje para poder garantizar la adherencia entre el pavimento asfáltico y la capa de refuerzo, una vez realizado este procedimiento se procederá a empezar la colocación del concreto hidráulico, programando las actividades teniendo en cuenta el clima y la estación del año que se inicie el proceso constructivo a fin de evitar inconvenientes durante la colocación del concreto, se utilizará alrededor de 40m³ de concreto en total considerando desperdicios en toda la pista de aterrizaje, con paños de losas cuadradas de 1.6m x 1.6m y espesor 8.5cm, siendo un total de 25977 paños, 21 paños en el eje transversal y 1237 paños en el eje longitudinal, para el proceso constructivo se propuso cortes de 5mm para las juntas longitudinales y transversales, que ingresarán a una profundidad de 1” para las juntas transversales y 1¼” para las juntas longitudinales, para la colocación del concreto hidráulico se recomienda hacerse mediante un encofrado deslizante para reducir el tiempo de ejecución ya que será 45m x 2600m de pista de aterrizaje y 25977 paños a ejecutar.
- El acabado se puede lograr con máquinas convencionales de acabado de pavimentos rígidos, o por máquinas vibratorias o la regla de rodillo. Esta operación de acabado consolida y elimina cualquier exceso de concreto. Para zonas de altas temperaturas como la selva se recomienda realizar las actividades de forma nocturna o en todo caso si se realiza durante un día caluroso, utilizar un aditivo retardante evaporativo en el concreto ya que según Rasmussen y Rozycky, la rápida evaporación del agua en las losas provocaría grietas de contracción.
- Según Lenke y Gordon, la texturación del concreto toma un rol fundamental

durante el proceso constructivo, ya que de realizarse demasiado pronto o demasiado tarde, no se obtendrá la resistencia a la fricción de la superficie del pavimento, después de colocar el concreto hidráulico se debe realizar el curado del concreto, para un Ultra Thin Whitetopping se recomienda utilizar el doble de agua que normalmente se usaría para un curado convencional, debido a que la capa delgada tiende a perder agua rápidamente debido a la evaporación y absorción por el asfalto adherido.

- Las juntas de contracción deben realizarse antes que las tensiones internas de hidratación del cemento empiecen a desarrollarse, es decir, lo más pronto posible apenas se tengan las condiciones del concreto suficientemente firmes para pararse y evitar el desprendimiento excesivo del agregado en las juntas aserradas, para ello se debe instalar un equipo de regla adecuado para verificar la conformidad de las especificaciones técnicas del aserrado.

5.7 Contratación de hipótesis

5.7.1 Hipótesis específica 1

Propuesta de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.

H0: Aplicación de la técnica Whitetopping no mejora la vida útil del pavimento en aeropuertos.

H1: Aplicación de la técnica Whitetopping mejora la vida útil del pavimento en aeropuertos.

Observación:

Si bien la técnica es conocida y aplicada con éxito para carreteras, pudimos recopilar información de la técnica Whitetopping aplicada para aeropuertos como es el caso del aeropuerto Spirit of St. Louis, aeropuerto de aviación general ubicado en Chesterfield, Missouri donde Chung Wu y Mathew Sheehan en conjunto con el American concrete pavement association (ACPA) desarrollaron ensayos a los paneles aplicados con cobertura Ultra Thin Whitetopping (UTW), los resultados tomados en el año 2001 muestran al pavimento en excelente condición después de más de 6 años de funcionamiento, encontrándose todas las juntas y selladores en buenas condiciones y de los más de 7200 paneles UTW, solo 18 presentaron desgaste.

Según el trabajo de investigación de Rasmussen y Rozycky en el 2004 indicaron que a esa fecha la ACPA continuaba monitoreando la cobertura blanca en el aeropuerto Spirit of St. Louis y en el año 2016, habiendo cumplido ya los 20 años de vida útil, Robert Heine, actual ingeniero aeroportuario señala que desde 1994 la plataforma UTW se a desempeñado por encima de las expectativas con un mantenimiento mínimo requerido, donde se espera que con el mantenimiento de rutina por parte del personal del aeropuerto pueda llegar a los 30 años de vida útil en el 2025.



Figura N°21 Whitetopping en el Aeropuerto Spirit of St. Louis (1994)

Fuente : (GOMACO, 2016)



Figura N°22 Whitetopping en el Aeropuerto Spirit of St. Louis (2016)

Fuente : (GOMACO, 2016)

En Sudamérica también se aplicó esta técnica para el aeropuerto Jorge Newbery ubicado en Buenos Aires, Argentina donde los ingenieros Agustín Minorini, Sebastián Bacaro y Gustavo Fernández nos hablan de la rehabilitación realizada en el aeropuerto en el año 2010, luego de ejecutarse un Whitetopping a lo largo de la pista original de asfalto en el año 1974, teniendo un total de vida útil de 37 años.

Además, según Hajek, Hall y Hein en el año 2011 se menciona que alrededor de 7 pavimentos asfálticos en aeropuertos han sido rehabilitados mediante la técnica Ultra Thin Whitetopping en los Estados Unidos donde obtuvieron buenos resultados respecto al rendimiento del tratamiento.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones, que la aplicación de la técnica Whitetopping mejora la vida útil del pavimento asfáltico.

5.7.2 Hipótesis específica 2

Determinación del espesor de la aplicación de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.

H_0 : No se puede determinar el espesor de la aplicación de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.

H_1 : Si es posible determinar el espesor de la aplicación de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.

Observación:

Mediante las tablas obtenidas por la Federal Aviation Administration (FAA) donde se indican los diferentes números ACN según la aeronave operativa y el CBR que presenta el aeropuerto, pudimos observar que todas estas cumplen con estar debajo del PCN de diseño, por lo que a través de los ábacos otorgados por la OACI se propuso un espesor para la capa de refuerzo de acuerdo al ACN y CBR de diseño, siendo esta de 8.5cm encontrándose dentro del rango de Ultra Thin Whitetopping.

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_1) ya que se demuestra según las observaciones de tablas aprobadas por la normativa internacional de aeropuertos, que si es posible determinar el espesor de la capa de refuerzo Whitetopping en función al CBR y número de PCN del

aeropuerto.

5.7.3 Hipótesis específica 3

Desarrollo del proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto.

H0: No se ha realizado el desarrollo del proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto.

H1: Se realizó el desarrollo del proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto.

Observación:

Hemos tomado de referencia varios trabajos de investigación para poder profundizar en el tema de proceso constructivo para la técnica Whitetopping, dejando en claro todos los puntos a tener en cuenta previa aplicación del concreto hidráulico, la ejecución de esta técnica en aeropuertos se viene utilizando desde hace 50 años, como es el caso del aeropuerto de Storm Lake (Iowa, EEUU) siendo el primer aeropuerto donde se aplicó Whitetopping en el año 1971 donde el único mantenimiento requerido fue un resellado de juntas en 1991 y actualmente sigue operativo con excelentes resultados (CODEPA, 2019)

Para el proceso constructivo de la capa de refuerzo Whitetopping en el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes se ha propuesto el espesor de diseño de 8.5cm, losas cuadradas de 1.6m x 1.6m, juntas de 5mm de espesor y profundidad de aserramiento de 1” para las juntas transversales y 1¼” para las juntas longitudinales, siguiendo las consideraciones técnicas para el proceso constructivo según Rasmussen y Rozycky primero deberá realizarse un fresado y limpieza total de la superficie para empezar con la colocación del concreto hidráulico, de acuerdo a la guía de especificaciones constructivas para el Ultra Thin Whitetopping realizado por la American Concrete Pavement Association (ACPA), se recomienda utilizar un concreto con resistencia a la compresión de 320kg/cm² (4500psi) a los 28 días de curado, además de tenerse en cuenta y pudiendo hacer las modificaciones o mejoras

correspondientes de acuerdo a las características climatológicas presentes en la etapa de vaciado del concreto.

Según Lenke y Gordon, la texturación deberá realizarse apenas desaparezca el brillo del agua superficial, antes que el concreto hidráulico se vuelva no plástico y las juntas de contracción cortarse antes que las tensiones internas de hidratación del cemento empiecen a desarrollarse.

Finalmente, según Sarmiento, el corte de las juntas deberá realizarse en un tiempo que evite el despostillamiento del concreto y evitar el agrietamiento no controlado de las losas.

Se acepta la hipótesis alterna (H1) y se rechaza la hipótesis nula (H0) debido a que se ha desarrollado el proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes – Tarapoto.

CONCLUSIONES

1. Se viene aplicando la técnica Whitetopping en Estados Unidos para rehabilitar pavimentos asfálticos en aeropuertos desde el año 1971, obteniendo excelentes resultados y encontrándose operativa a la fecha, por lo que vemos viable aplicar esta técnica de rehabilitación en el aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes para optimizar la vida útil del pavimento.
2. Al proponer la técnica Whitetopping para pavimentos aeroportuarios, con la finalidad de extender la vida útil y minimizar las fallas superficiales, se estima que la vida del pavimento UTW será mayor de 20 años ya que la losa de concreto es capaz de soportar mejor y con alto margen de seguridad las cargas de diseño del pavimento existente, además permite reducir la distancia entre juntas transversales en función directa con el espesor de la losa.
3. Se obtuvo un espesor de 8.5cm de capa Ultra-Thin Whitetopping de acuerdo al PCN de diseño, cumpliendo con los parámetros establecidos para este tipo de Whitetopping que es entre los 5cm y 10 cm de espesor.
4. Para tener un mejor desempeño es necesario saber el proceso constructivo ya que la mayoría de fallas se produce por una mala adherencia entre capas o por fallas en la resistencia por no realizar el curado y vibración del concreto hidráulico correctamente.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio a fondo sobre el pavimento existente, peritaje al pavimento asfáltico a fin de estar seguros que las fallas presentes al pavimento son superficiales ya que de no ser así y aplicarse un sistema Whitetopping adherido, no mejoraría la vida útil del pavimento.
2. Tener en cuenta todos los aspectos antes mencionados previos a la propuesta de un diseño de cobertura Whitetopping, ya que como hemos podido visualizar son de tres tipos de acuerdo a los requerimientos de diseño donde se utiliza diferente espesor y tipo de adherencia para cada uno.
3. Para el proceso constructivo, se recomienda utilizar un concreto hidráulico que sea resistente a las características climatológicas de la zona, así como también tomar todas las precauciones ante un posible cambio climático o lluvia que pueda interferir con la colocación de la capa de concreto hidráulico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acero, A. (2020). *Utilización del proceso Whitetopping para la protección de las capas inferiores de la construcción del peaje pipiral en la vía Bogotá – Villavicencio.*(Tesis de pregrado). Universidad abierta y a distancia , Villavicencio,Bogotá. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38641/aacerom.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ACI Committee308. (2016). Guide to Curing Concrete. Obtenido de http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20308R-01%20R08%20Guide%20to%20Curing%20Concrete_MyCivil.ir.pdf
- Aerolinea Star Perú. (2020). FLOTA DE AERONAVES. Obtenido de <https://www.starperu.com/es/flota>
- Albino, K., & Enciso, M. (2020). *Rehabilitación de pavimentos flexibles mediante sistema whitetopping con Losas de Geometría Optimizada en la Av. La Unión-Manchay.*(Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo , Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60428/Albino_MKF_Enciso_HME-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Almeida, A., & Santur, G. (2019). *APLICACIÓN DE LA TÉCNICA WHITETOPPING EN LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL C. P MALLARESC. P SAMAN-SULLANA- PIURA.*(Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo , Perú. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32036>
- Arcaya, W. (2018). *DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE LA TÉCNICA WHITETOPPING EN EL TRAMO LÍMITE DISTRITAL TRUJILLO – ÓVALO HUANCHACO.* Obtenido de https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14965/Arcaya%20Buendia%20Willian_Parcial.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Avia. (2014). Beechcraft1900. Obtenido de <https://avia-es.com/blog/beechcraft-1900>
- Bardasano, R. (2014). Método ACN/PCN (I): algunas cuestiones sobre el PCN de un pavimento. Obtenido de <http://paveing.blogspot.com/2014/06/ACN-PCN-I-cuestiones-sobre-PCN.html>
- Bonfim, V. (2007). *Fresagem de pavimentos asfálticos* (3rd ed.). São Paulo: Eventos. Obtenido de <https://docplayer.com.br/14566212-Valmir-bonfim-3a-edicao.html>
- Borja, M. (2016). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Obtenido de https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil

- Calo, D. (2012). DISEÑO Y CONSTRUCCION DE JUNTAS. Obtenido de <https://docplayer.es/9735172-Diseno-y-construccion-de-juntas-ing-diego-h-calo.html>
- Canadian Airport Pavement Bearing Strengths. (2003). AIRCRAFT CLASSIFICATION NUMBERS (ACN's). Obtenido de https://www.faa.gov/air_traffic/flight_info/aeronav/acf/media/Presentations/04-01-RD119-Transport-Canada-Arpt-Pvmnt-Bearing-Strngth.pdf
- CODEPA. (2019). VENTAJAS COMPARATIVAS ENTRE PAVIMENTOS DE CONCRETO Y PAVIMENTOS DE ASFALTO . Obtenido de <https://codepa.com.pe/ventajas-comparativas-entre-pavimentos-de-concreto-y-pavimentos-de-asfalto/>
- Committee, 3. A. (2008). Guide to Curing Concrete. Obtenido de http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20308R-01%20R08%20Guide%20to%20Curing%20Concrete_MyCivil.ir.pdf
- Corpac. (2016). AEROPUERTO “CAD. FAP GUILLERMO DEL CASTILLO PARADES TARAPOTO”. Obtenido de <http://www.corpac.gob.pe/docs/aeropuertos/concesionados/tarapoto.pdf>
- De la Cruz, J. (2016). *Caracterización de la adherencia en refuerzos de Ultra-Thin (Tesis de maestría)*. Universidad Politecnica de Catalunya, España. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83867/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20la%20adherencia%20en%20refuerzos%20de%20Ultra-Thin%20Whitetopping%20\(UTW\).pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/83867/Caracterizaci%C3%B3n%20de%20la%20adherencia%20en%20refuerzos%20de%20Ultra-Thin%20Whitetopping%20(UTW).pdf)
- DGAC. (2018). *Diseño y operaciones de aeródromos. 7th ed.* Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390298/1._RAP_314_completa_Vol_I.pdf
- FAA. (2014). Subject: Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength - PCN. Obtenido de https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150-5335-5c.pdf
- Garcia, L., & Quevedo, G. (06 de mayo de 2008). Interpretación Geotécnica del Método ACN - PCN. *Revista de la construccion*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127612580008.pdf>
- Garófalo, K. (2019). *PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WHITETOPPING PARA LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA CALLE FCO. AGUIRRE ABAD DESDE TULCÁN HASTA ASISCLO GARAY, UBICADA EN LA PARROQUIA URDANETA. CIUDAD DE GUAYAQUIL(Tesis de pregrado)*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil,Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/50941/1/BMAT-V%20117-2019-Ing.%20CIVIL%20-%20GAR%20c3%93FALO%20GUEVARA%20KATHERINE%20SAMANTA.pdf>

- Gil, A. (2016). *Conservacion de pavimentos aeroportuarios, aplicacion caso practico: reparacion de la calle de rodaje (Taxiway) en la base aerea de getafe (Madrid)*. Tesis de maestria. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, España. Obtenido de https://oa.upm.es/44317/1/Tesis_master_Alejandro_Gil_Helvar.pdf
- GOMACO. (2016). Spirit of St. Louis Airport Variable Thickness Concrete Overlay Proven A Success. Obtenido de https://www.gomaco.com/resources/worldstories/world44_1/stlouis.html
- Google Earth Pro. (s.f.).
- Gutiérrez, E. (2012). *WHITETOPPING – UNA ALTERNATIVA DE REHABILITACIÓN*. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Obtenido de <http://apuntesdeinvestigacion.bucaramanga.upb.edu.co/wp-content/uploads/2016/03/7.WHITETOPPING-%E2%80%93-UNA-ALTERNATIVA-DE-REHABILITACION.pdf>
- Hajek, J., Hall, J., & Hein, D. (2011). *Common Airport Pavement Maintenance Practices*. Washington DC, USA. Obtenido de <https://www.nap.edu/catalog/14500/common-airport-pavement-maintenance-practices>
- Han, C. (2005). *Synthesis of Current Minnesota Practices Of Thin and Ultra-Thin Whitetopping*. Obtenido de <https://www.lrrb.org/media/reports/200527.pdf>
- Harrington, D., & Fick, G. (2014). *Capas de refuerzo con hormigón* (Tercera Edición ed.). Obtenido de https://issuu.com/ich_mkt/docs/overlays_3rd_edition_spanish
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2009). Pavimentos. *Construcción y Tecnología en concreto*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/feb11/pavimentos.htm>
- Lam, N. (2020). *Fine-grained Concrete Mix Design using Statistical Methods for Ultra-thin Whitetopping Overlay Application*. Hanoi University of Civil Engineering, Hanoi, Vietnam. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Nguyen_Lam38/publication/345913705_Fine-grained_Concrete_Mix_Design_using_Statistical_Methods_for_Ultra-thin_Whitetopping_Overlay_Application/links/5fc88db8a6fdcc697bd7a698/Fine-grained-Concrete-Mix-Design-using-Statistical-Methods-for-Ultra-thin-Whitetopping-Overlay-Application.pdf
- Latam. (2020). FLOTA DE AERONAVES . Obtenido de https://www.latam.com/vamos/es_mx/articulos/en-ruta/conoce-flota-aviones-LATAM/
- Lenke, L., & McKeen, G. (2002). ULTRA-THIN WHITETOPPING FOR GENERAL AVIATION AIRPORTS IN NEW MEXICO. Obtenido de <https://dot.state.nm.us/content/dam/nmdot/Research/NM01MSC03UltrathinWhitetoppingGeneralAviationAirports2002.pdf>

- Leticia, G., & Quevedo, G. (06 de mayo de 2008). Interpretación Geotécnica del Método ACN - PCN. *Revista de la construcción*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127612580008.pdf>
- Luna, M., García, R., & Orta, P. (2019). *Aplicación de la tecnología whitetopping en un tramo de la carretera: circuito sur - topes de collantes*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/1939/193961007003/html/>
- Lung Wu, C., & Sheehan, M. (2002). Testing and Performance Evaluation of Ultrathin Whitetopping Pavements at Spirit of St. Louis Airport. Obtenido de <https://ur.booksc.eu/book/60544520/a50e00>
- Mallick, R., & El-korchi, T. (2018). *Pavement Engineering Principles and Practice*. Estados Unidos : CRC Press. Obtenido de [file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Pavement%20Engineering%20Principles%20and%20Practice,%20Third%20Edition%20by%20El-Korchi,%20Tahar%20Mallick,%20Rajib%20Basu%20\(z-lib.org\).pdf](file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Pavement%20Engineering%20Principles%20and%20Practice,%20Third%20Edition%20by%20El-Korchi,%20Tahar%20Mallick,%20Rajib%20Basu%20(z-lib.org).pdf)
- Miguez Passada, D., González, A., Violini, D., Pappalardi, M., & Zerbino, R. (2013). Desarrollo e implementación de un hormigón reforzado con fibras sintéticas para la repavimentación de la Ruta 24 de Uruguay. *Revista Técnica Cemento Hormigon*. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/23869/CONICET_Digital_Nro.0a3d50f4-7c87-4e93-b604-d1c84b82febc_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Minorini, A., Bacaro, S., & Fernández, G. (2018). *Aeropuerto Jorge Newbery, evolución de la textura superficial de pista*. Obtenido de <https://www.alacpa.org/AEP-Evolucion-Textura-Sup-RWY-ALACPA2018.pdf>
- MTC. (2018). GLOSARIO DE TÉRMINOS DE USO FRECUENTE EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4032.pdf
- MTC. (2020). *Dirección General de Aeronáutica Civil*. Obtenido de <https://www.gob.pe/8032>
- NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. (s.f.). Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Ngoc, N. (15 de Septiembre de 2020). Fine-grained Concrete Mix Design using Statistical Methods for Ultra-thin Whitetopping Overlay Application. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Nguyen_Lam38/publication/345913705_Fine-grained_Concrete_Mix_Design_using_Statistical_Methods_for_Ultra-thin_Whitetopping_Overlay_Application/links/5fc88db8a6fdcc697bd7a698/Fine-grained-Concrete-Mix-Design-using-Statistical-Methods-for-Ultra-thin-Whitetopping-Overlay-Application
- OACI. (2018). DATOS SOBRE LOS AERODROMOS CAPITULO II. Obtenido de <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2014/ANEX14SJ/D2-1.pdf>

- OACI, A. 1. (2016). Aeródromos. *Diseño y operaciones de aeródromos*. Obtenido de <https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- Orell, E. (2009). *REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CON CAPAS DELGADAS DE HORMIGÓN “WHITETOPPING*. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile , Valdivia, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcio.66r/doc/bmfcio.66r.pdf>
- Palma, Á., & Soto, S. (2014). MAQUINARIA PESADA Y FUNCIONALIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN.
- Rasmussen, R., & Rozycky, D. (2004). *NCHRP SYNTHESIS 338 Thin and Ultra-Thin Whitetopping*. (N. C. Program, Ed.) Austin , Texas. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=0DkPhUxezmEC&printsec=frontcover&dq=Rasmussen+A+Synthesis+of+Highway+Practice.&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=Rasmussen%20A%20Synthesis%20of%20Highway%20Practice.&f=false
- Riojas, B. (2020). *Evaluación de la carpeta de rodadura y la optimización aplicando el ultra-thin whitetopping como método de rehabilitación en la Av. Gerardo Unger, Comas – Lima*. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48756/Riojas_RBJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, J. (2006). *Aplicacion en Chile de pavimentos delgados de hormigon*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ruz_j/sources/ruz_j.pdf
- Sarmiento , J. (2015). PROCESO WHITETOPPING . Obtenido de <https://es.scribd.com/document/265339230/Proceso-Whitetopping>
- Silva, O. (2020). JUNTAS EN PAVIMENTOS DE CONCRETO: mayor durabilidad y vida de servicio. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/juntas-en-pavimentos-de-concreto>
- Szydło, A., & Mackiewicz, P. (2018). *Influence of temperature on fatigue life or reinforced pavement by whitetopping*. Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/356/1/012015/pdf>
- Tores, R. (27 de febrero de 2018). SAETA incrementa flota con nave de 19 pasajeros y llegará a Iquitos y Pucallpa. *Diario Voces*. Obtenido de <https://www.diariovoces.com.pe/100811/saeta-incrementa-flota-nave-19-pasajeros-llegara-iquitos-pucallpa>
- Ureta, Y. (2018). *Utilización de Ultra-Thin Whitetopping como Método de Rehabilitación de Pavimentos Asfálticos en la Ciudad de Tacna*. (Tesis de pregrado). UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA, Tacna, Perú. Obtenido de [file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Ureta-Espinoza-Young%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Ureta-Espinoza-Young%20(4).pdf)

ANEXOS

ANEXO N°1 Matriz de consistencia	75
ANEXO N°2 Operacionalización de las variables.....	76
ANEXO N°3 Croquis de la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes.....	77
ANEXO N°4 Características del Aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes -CORPAC	78
ANEXO N°5 Número de clasificación de aeronave	82

ANEXO N°1 Matriz de consistencia

Aplicación de la técnica Whitetopping como alternativa de rehabilitación para extender la vida útil del pavimento asfáltico.

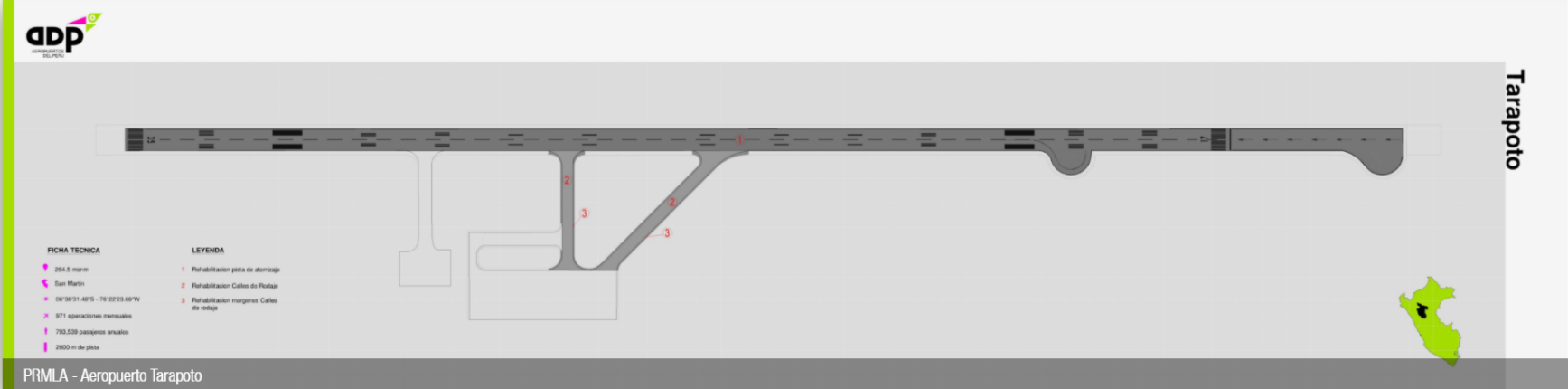
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	MÉTODO
¿De qué manera la aplicación de la técnica Whitetopping es una alternativa de rehabilitación de pavimento asfáltico en aeropuertos?	Aplicar la técnica Whitetopping como una alternativa de rehabilitación para extender la vida útil del pavimento asfáltico en el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto - año 2021.	Aplicando la técnica Whitetopping se rehabilita el pavimento asfáltico en el aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto - año 2021.	VI: Técnica Whitetopping	Tipo de falla Pavimento flexible (asfáltico en caliente) Tipo de mantenimiento Temperatura	Método de la investigación: Deductivo Tipo de la investigación: Descriptivo Nivel de la investigación: Descriptivo
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	Precipitación	Diseño de la investigación: No experimental, Retrospectiva y Longitudinal
1. ¿En qué medida la técnica Whitetopping extiende la vida útil del pavimento en aeropuertos?	1. Proponer la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.	1. Propuesta de la técnica Whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.	VD: vida útil del pavimento asfáltico.	Colocación directa Fresado Construcción de capa nivelante Método ACN/PCN	Población: Aeropuertos aptos para la aplicación de la técnica Whitetopping.
2. ¿Cómo determinar el espesor de la capa superficial rígida y separación entre juntas para la aplicación de la técnica Whitetopping?	2. Determinar el espesor de la aplicación de la técnica whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.	2. Determinación del espesor de la aplicación de la técnica whitetopping para extender la vida útil del pavimento en aeropuertos.		OACI	
3. ¿De qué manera se desarrolla el proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto?	3. Desarrollar el proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto	3. Desarrollo del proceso constructivo de la técnica Whitetopping para la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo Del Castillo Paredes - Tarapoto		IATA Regulaciones aeronáuticas del Perú (RAP) Dirección general de aeronáutica civil (DGAC)	

ANEXO N°2 Operacionalización de las variables

Aplicación de la técnica Whitetopping como alternativa de rehabilitación para extender la vida útil del pavimento asfáltico.

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO
VI: Técnica Whitetopping	Es una técnica que aprovecha la capacidad resistente de la capa existente mejorando la capa superficial a fin de optimizar la vida útil del pavimento.	Recopilación de información de tesis internacionales, guías y normas que hayan aplicado esta técnica para el mejoramiento del pavimento asfáltico relacionándolo a un tipo de clima similar al existente en Tarapoto.	Característica de la estructura de pavimento	Tipo de falla	Adimencional	Datos meteorológicos, datos estadísticos, manuales, estudios.
				Pavimento flexible (asfáltico en caliente)	cm	
VARIABLE DEPENDIENTE	Existen diferentes formas de adherencia entre la carpeta asfáltica dañada y la nueva carpeta de Whitetopping, buscamos proponer una guía que permita la optimización de la vida útil y disminución de fallas en la superficie de rodadura.	Explicar las diferentes formas de adherencia entre la carpeta asfáltica dañada y la nueva carpeta de Whitetopping.	Tipos de adherencia	Tipo de mantenimiento	Adimencional	Observación visual (Ahuellamiento, fricción superficial, baches superficiales), manuales, tablas, datos, trabajos de investigación referentes al Whitetopping y pavimentos aeroportuarios.
				Temperatura	°C	
VD: vida útil del pavimento asfáltico.	De acuerdo a los datos del PCN del aeropuerto de tarapoto, proponer el espesor óptimo de la capa y la separación entre juntas para la capa superficial Whitetopping.	Conocer y respetar los reglamentos nacionales e internacionales para pavimentos aeroportuarios.	Método utilizado en el pavimento existente	Precipitación	mm	Observación visual (Ahuellamiento, fricción superficial, baches superficiales), manuales, tablas, datos, trabajos de investigación referentes al Whitetopping y pavimentos aeroportuarios.
				Colocación directa	Adimencional	
VD: vida útil del pavimento asfáltico.	De acuerdo a los datos del PCN del aeropuerto de tarapoto, proponer el espesor óptimo de la capa y la separación entre juntas para la capa superficial Whitetopping.	Conocer y respetar los reglamentos nacionales e internacionales para pavimentos aeroportuarios.	Método utilizado en el pavimento existente	Fresado	Adimencional	Observación visual (Ahuellamiento, fricción superficial, baches superficiales), manuales, tablas, datos, trabajos de investigación referentes al Whitetopping y pavimentos aeroportuarios.
				Construcción de capa nivelante	Adimencional	
				Método ACN/PCN	Número de clasificación de pavimento	
				OACI	Adimencional	
VD: vida útil del pavimento asfáltico.	De acuerdo a los datos del PCN del aeropuerto de tarapoto, proponer el espesor óptimo de la capa y la separación entre juntas para la capa superficial Whitetopping.	Conocer y respetar los reglamentos nacionales e internacionales para pavimentos aeroportuarios.	Reglamentos nacionales e internacionales para aeropuertos.	IATA	Adimencional	Observación visual (Ahuellamiento, fricción superficial, baches superficiales), manuales, tablas, datos, trabajos de investigación referentes al Whitetopping y pavimentos aeroportuarios.
				Regulaciones aeronáuticas del Perú (RAP)	Adimencional	
				Dirección general de aeronáutica civil (DGAC)	Adimencional	

ANEXO N°3 Croquis de la pista de aterrizaje del aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes



ANEXO N°4 Características del Aeropuerto Guillermo del Castillo Paredes - CORPAC



CORPAC S.A.
GERENCIA DE AEROPUERTOS

AEROPUERTO “CAD. FAP GUILLERMO DEL CASTILLO PARADES TARAPOTO”



El Aeropuerto de Tarapoto está ubicado en la Región San Martín, Departamento y Provincia de San Martín, Distrito de Tarapoto a 2km de la Plaza de Armas de Tarapoto. Sus coordenadas geográficas son 06°30'31"S-076°22'24"W.

El Aeropuerto de Tarapoto “Guillermo del Castillo Paredes” inició sus operaciones, en el año de 1,960, cuenta con una pista asfaltada de 2600m de largo por 45m de ancho, una Torre de control de cinco pisos con 15m de altura; Actualmente, se encuentra bajo la administración de la empresa Aeropuertos del Perú (AdP), empresa privada que logró la concesión del Primer Grupo de Aeropuerto de Provincias el 11 de Diciembre del 2006 y es la principal puerta de entrada a la Región San Martín, que cuenta innumerables recursos turísticos como: La Laguna Azul en el Distrito Sauce, Cataratas del Ahuashiyacu en la Provincia de San Martín, La cataratas de Huacamaillo en el Distrito de San Roque de Cumbaza, El mirador de la Cruz en la provincia de Lamas, Catarata de Chapawanca, el Barrio de los Nativos, El castillo de Lamas y otros.

Tarapoto es una ciudad comercial más importante de la Región San Martín y del Oriente Peruano, parte de Selva Alta en las estribaciones de la Cordillera Azul

1. INFORMACION AEROPORTUARIA

Horario de Operaciones	:	12:00UTC-00:00UTC
Explotador del Aeropuerto	:	Aeropuertos del Perú S.A. (AdP)
Administración CORPAC SA	:	Wilmar Ramirez Flores
Teléfono	:	978470459
Correo Electrónico	:	wramirez@corpac.gob.pe
Temperatura de referencia	:	33°C
Elevación	:	869ft
Coordenada geográfica	:	06°30'31"S-076°22'24"W

2. CARACTERISTICA FISICA AREA DE MANIOBRAS

Pista	:	2,600 x 45 metros
Pavimento	:	Asfalto

Designador de Pista	:	17 -35
PCN	:	51 F/C/X/T
Franja de Pista	:	2,600 x 90 al Oeste / 75 metros al Este.
Calle de Rodaje	:	Twy B 283m x 23m
		Twy C 300m x 23m
		Twy A 283m x 23m
Plataforma Superficie de Viraje	:	02 Rwy 35 lado derecho 1900 y2600

3. CARACTERITICA FISICA DE LA PLATAFORMA

Plataforma	:	30,000m ²
Pavimento	:	Concreto
PCN	:	52R/C/X/T
Dimensiones	:	300x100m
Aeronave máxima permisible	:	Air Bus 320

4. SEÑALIZACION

Umbral de pista	:	Si
Borde de Pista	:	Si
Toma de Contacto	:	Si
Eje de Pista	:	Si
Calle de Rodaje	:	Si
Puestos de estacionamiento	:	11 03grandes, 03medianas, 05helicópteros.

5. AYUDAS VISUALES (ILUMINACION)

Luces De Umbral De Pista
Luces De Extremo De Pista
Luces De Borde De Pista Y Calle De Rodaje
Sistema De Iluminación De Aproximación
Sistema Visual Indicador De Pendiente De Aproximación
Iluminación De Plataforma
Faro Aeródromo (Abn)

INFRAESTRUCTURA / EDIFICACIONES

6. TERMINAL DE PASAJEROS

Niveles de Piso	:	A cargo de AdP
Área Total del Terminal	:	A cargo de AdP
Área Hall Principal	:	A cargo de AdP
Número de Counters	:	A cargo de AdP
Área Zona de embarques	:	A cargo de AdP
Butacas	:	A cargo de AdP

7. TORRE DE CONTROL

Niveles de Pisos	:	05 pisos
Altura	:	15m

8. INSTALACIONES EN EL TERMINAL

Sala VIP	:	A cargo de AdP
Oficinas Administrativas	:	A cargo de AdP
Oficinas de Aerolíneas	:	A cargo de AdP
Restaurantes	:	A cargo de AdP
Almacenes de carga	:	A cargo de AdP

9. PLAYA ESTACIONAMIENTO VEHICULAR

Dimensiones	:	A cargo de AdP
Puestos de estacionamiento	:	A cargo de AdP
Peaje	:	A cargo de AdP

10. OTRAS EDIFICACIONES

Caseta Grupos Electrógeno	:	Si
---------------------------	---	----

Caseta Equipos Transmisores	:	Si
Caseta Equipos de Recepción	:	Si
Caseta Estación Radioayuda (VOR / NDB)	:	Si
Estación S.E.I.	:	A cargo de AdP
Casetas	:	A cargo de AdP

EQUIPAMIENTO DE AERONAVEGACION

11. RADIO AYUDAS

VOR TX1 TX2
 DME TP1 TP2

12. COMUNICACIONES

APP/TWR 118.4mhz/126.9mhz/121.5mhz
 88965khz/7918khz

13. GRUPOS ELECTROGENOS

Grupo Principales : 02 KOHLER 150 y KUMINS 150 KWTS
 Grupo Auxiliar : CATARPILAR 135 KWTS

14. TELEFONOS DEPENDENCIAS AERONAUTICAS

Torre de Control : 042-527042

15. METEOROLOGIAS

16. SERVICIOS

EQUIPOS SERVICIOS AERONAUTICOS

17. ESTACION S.E.I

Número de Vehículos : A cargo de AdP
 Tipo de Vehiculo : A cargo de AdP

18. EQUIPOS DE APOYO EN PLATAFORMA

Equipo Traslado De Equipaje : A cargo de AdP
 Número de fajas circular : A cargo de AdP
 Carretas porta carga : A cargo de AdP
 Escaleras de Embarque : A cargo de AdP
 Carretas porta equipaje : A cargo de AdP

19. EQUIPOS DE SEGURIDAD

A cargo de AdP

RECURSOS HUMANOS

20. PERSONAL DE CORPAC S.A.

Funcionarios : 01
 Administrativos : 02
 Especialistas Aeronáuticos : 02
 Técnicos : 03
 Operadores COMMET : 03
 Controladores Tránsito Aéreo : 03
 Jefe Equipo Operaciones : 01

21. PERSONAL SERVICIOS TERCERIZADOS

Agentes de Seguridad : 06 puestos h24
 Oficiales Aeroportuarios : A cargo de AdP
 Operadores de Limpieza : 02
 Bomberos Aeronáuticos : A cargo de AdP
 Chofer : 01 Transporte personal CORPAC S.A.

INFORMACION ADICIONAL

22. AEROLINEAS QUE OPERAN

Lan Perú
Peruvian Airlines
Avianca
ATSA
Star Perú
Particulares
Militares

23. PROMEDIO OPERACIONES AEREAS DIARIAS

40 Operaciones.

ANEXO N°5 Número de clasificación de aeronaves

**Transport Canada
Technical Evaluation Engineering**

Aircraft
Classification Numbers
(ACN's)

AIRCRAFT CLASSIFICATION NUMBERS (ACN's)

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
A300B, B2	1353 840	46.5	1.16	39 21	44 23	54 27	69 36	35 19	43 22	51 26	58 31	89 140
A300B4-200	1627 1236	46.5	1.28	50 35	57 38	69 46	86 60	46 32	56 38	66 45	75 51	89 140
A300B4-200 (Optional Bogie)	1627 1236		1.16	47 33	52 36	64 42	82 56	41 28	49 33	59 40	68 47	
A300B4-600R	1693 1275		1.35	54 37	61 41	74 49	92 64	51 34	61 41	71 48	80 55	
A300B4-600R (Optional Bogie)	1693 1275		1.21	50 35	56 38	69 45	88 60	44 30	54 36	64 43	74 50	
A300C4	1627 1216		1.24	48 33	55 36	67 43	85 57	44 30	53 35	63 42	72 48	
A310-200, 200C	1509 800		1.46	45 20	50 21	61 24	77 32	43 19	51 21	59 25	67 29	
A310-300	1480 1108		1.19	44 30	50 33	61 39	77 52	40 27	48 32	57 38	65 44	
A310-300	1549 1118		1.48	48 31	54 34	65 40	82 53	46 30	55 35	64 41	72 47	
A310-300	1617 1118		1.29	50 31	57 34	69 40	86 53	47 28	56 33	66 39	75 45	
A310-322 SR, BB	1500 1064		1.45	44 29	49 31	60 36	77 48	42 27	50 31	59 37	67 42	
A310-324	1540 800		1.24	44 19	49 20	60 23	77 31	41 18	50 20	59 24	67 28	
A310-325	1608 1100		1.38	48 30	54 32	66 38	84 50	46 27	55 32	64 38	73 44	
A318-100	607 382		0.89	29 17	31 18	35 20	41 23	31 18	34 19	36 21	38 22	
A319-100	632 382		0.89	30 17	32 18	36 19	42 23	31 17	34 19	37 20	39 22	
A319-100	690 382		1.07	35 18	36 18	40 20	46 23	37 18	40 20	42 21	45 23	
A319-100	744 382		1.38	39 18	40 18	45 20	50 23	44 20	46 21	49 22	51 24	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
A320-100	667 390		1.21	35 19	36 19	40 21	46 24	38 30	41 22	43 25	45 25	
A320-200	725 402		1.03	37 19	39 19	44 21	50 25	40 20	43 21	45 23	48 24	
A320-200	744 422		1.14	39 20	40 21	45 22	51 26	42 22	45 23	48 25	50 26	
A320-200	759 441		1.44	41 22	42 22	47 24	53 28	46 24	49 26	51 27	53 29	
A300-200 (Optional Bogie)	725 402		1.22	20 10	22 10	26 11	35 15	19 9	23 10	27 12	31 14	
A320-212 (optional 4-Wheel Bogie)	764 490		1.22	21 12	23 13	28 15	38 20	21 11	24 13	29 16	33 18	
A321-100	769 461		1.28	42 23	44 24	49 26	55 30	47 26	50 27	52 29	54 30	
A321-100	818 461		1.36	45 23	48 24	53 26	59 30	51 26	54 28	57 29	59 31	
A321-200	877 461		1.46	49 23	52 24	58 26	63 30	56 26	59 28	62 29	64 31	
A330-200	2137 1650		1.34	57 42	62 44	72 50	98 67	48 37	56 40	66 47	78 55	
A330-200	2264 1650		1.42	62 42	67 45	78 50	106 67	53 37	61 41	73 48	85 55	
A330-300	2088 1638		1.31	55 41	60 44	70 50	94 66	46 36	54 39	64 46	75 54	
A330-300	2137 1657		1.33	57 41	61 44	71 50	96 66	47 37	55 40	65 46	77 54	
A330-300	2264 1697		1.42	62 44	68 47	79 53	107 70	54 39	62 43	74 50	86 58	
A340-200	2559 1657		1.32	56 33	61 35	71 39	96 50	47 31	55 32	65 36	76 42	
A340-200	2706 1697		1.42	62 35	67 37	78 41	106 53	53 33	62 34	73 39	85 45	
A340-300	2559 1706		1.32	56 34	61 36	70 40	96 52	47 32	54 33	65 38	76 44	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
A340-300	2706 1765		1.42	62 37	68 39	79 44	107 57	54 34	62 36	74 42	86 48	
A340-500, 600	3590 1750		1.42	70 29	76 31	90 34	121 42	60 29	70 28	83 32	97 37	
A380-800 (6 Wheel Main Gear)	5514 2758		1.47	71 29	79 31	99 35	136 48	53 25	61 26	76 29	94 34	
A380-800 (4 Wheel Wing Gear)	5514 2758		1.47	62 27	68 28	80 31	108 39	55 25	64 26	76 30	88 35	
Antonov AN- 24	207 130		0.42	6 4	8 5	11 6	13 7	8 5	9 5	11 6	11 7	
Antonov AN-124-100	3844 2000		1.03	51 20	60 23	77 27	107 40	35 17	48 18	73 23	100 32	
Antonov AN-225	5884 4500		1.13	63 41	75 48	95 62	132 88	45 30	61 39	89 55	125 75	
ATR 42 (Aerospatiale)	182 110		0.72	9 5	10 5	11 6	13 7	10 6	11 6	12 7	12 7	
ATR 72 (Aerospatiale)	211 125		0.79	11 6	12 6	14 7	15 8	13 7	14 7	14 8	15 8	
Aurora (CP-140) (P-3 Orion)	600 275		1.31	35 14	38 14	42 16	45 18	41 16	43 17	45 18	46 19	
B-52 (Bomber)	2170 1500		1.65	80 49	86 53	97 60	116 72	103 62	114 70	126 77	136 85	
B1-B Bomber (Rockwell)	2123 1400		1.65	77 43	87 47	102 57	121 72	77 43	90 50	102 58	113 65	
B707-120, 120B	1150 700	46.7	1.17	32 17	35 18	42 21	55 27	28 16	34 17	40 20	47 24	86 142
B707-320, 320B, 320C, 420	1484 800	46.7	1.24	45 20	51 22	62 25	78 33	42 19	50 21	59 25	67 29	88 142
B717-100, 200, 300	543 310		1.10	32 16	34 17	38 19	40 22	36 18	38 20	40 21	41 21	
B720, 720B	1045 700	46.4	1.01	28 17	30 18	37 21	49 28	24 15	29 17	35 20	41 24	
B727-100, 100C	756 450	45.2	1.14	41 23	43 23	49 25	54 30	45 24	48 26	51 28	53 29	86 -

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
B727-200	770 450	46.2	1.15	42 23	44 23	50 25	55 30	47 25	50 26	52 28	54 29	
B727-200 (Advanced)	934 450	46.7	1.19	53 23	57 23	64 26	69 30	60 25	63 26	66 28	69 30	
B727-200F (Advanced)	907 450		1.15	52 23	54 23	61 25	66 30	57 25	60 26	63 28	66 29	
B737-100	445 260	46.2	1.02	23 12	23 12	26 14	30 16	25 13	26 14	28 15	29 16	77 -
B737-200, 200C, Advanced	572 300	46.4	1.26	31 15	32 15	37 16	41 19	35 17	37 18	39 19	41 20	77 -
B737-300	623 325	45.9	1.40	35 16	37 17	41 18	45 21	40 19	42 20	44 21	46 22	
B737-400	670 350		1.28	38 18	40 18	45 20	49 23	43 20	45 21	47 22	49 23	
B737-500	596 320		1.34	33 16	35 16	39 18	43 21	38 18	40 19	42 20	43 21	
B737-600	645 357		1.30	35 18	36 18	40 19	45 22	39 20	41 21	44 22	45 23	
B737-700	690 370		1.39	38 18	40 19	44 20	49 23	43 21	46 22	48 23	50 24	
B737-800	777 406		1.47	44 21	46 21	51 23	56 26	51 24	53 25	56 26	57 27	
B737-900	777 420		1.47	44 21	46 22	51 24	56 28	51 24	53 26	56 27	57 28	
B747-100, 100B, 100SF	3350 1700	23.4	1.55	49 21	54 22	65 25	86 32	46 20	54 22	64 25	73 29	112 147
B747-100SR	2690 1600	24.1	1.04	36 19	38 20	46 22	64 29	29 16	35 18	43 21	50 25	
B747-200B, 200C 200F, 200M	3720 1750	23.1	1.38	55 22	62 23	76 26	98 34	51 20	61 22	72 26	82 30	112 147
B747-300, 300M, 300SR	3720 1760	22.7	1.31	55 22	62 23	76 26	98 34	50 19	60 22	71 25	82 30	
B747-400, 400F, 400M	3905 1800		1.38	59 23	66 24	82 27	105 35	54 20	65 23	77 27	88 31	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexibile Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
B747-400D (Domestic)	2729 1782		1.04	36 22	39 23	47 26	65 34	30 18	36 20	43 24	51 29	112 147
B747-SP	3127 1500	22.9	1.26	45 18	50 19	61 21	81 28	40 16	48 18	58 21	67 25	110 137
B757-200 Series	1134 570	45.2	1.24	34 14	38 15	47 17	60 23	32 13	39 15	45 18	52 20	86 114
B757-300	1200 640		1.24	36 16	41 17	51 20	64 27	35 15	42 17	49 21	56 24	
B767-200	1410 800	46.3	1.31	39 19	42 20	50 23	68 29	34 18	41 19	48 22	56 26	
B767-200 ER	1726 830	46.3	1.31	50 20	56 21	68 24	90 31	45 18	54 20	64 24	74 27	
B767-300	1566 860	46.3	1.38	44 21	49 22	59 25	79 33	40 19	48 22	57 25	65 29	
B767-300 ER	1784 890		1.38	53 22	59 23	72 26	94 35	48 20	57 23	68 26	78 31	
B777-200	2433 1400		1.38	51 25	58 27	71 31	99 43	40 23	50 23	65 28	81 35	
B777-200 ER	2822 1425		1.38	63 25	71 27	90 32	121 44	53 23	69 25	89 31	108 39	
B777-200 X	3278 1600		1.38	78 29	90 32	114 38	148 53	61 27	80 27	104 34	126 43	
B777-300	2945 1600		1.48	68 30	76 32	97 38	129 53	54 27	69 28	89 35	109 43	
B777-300 X	3190 1600		1.48	76 30	86 32	110 38	143 53	61 27	79 28	101 35	122 43	
BAC-111 Series 400	390 220		0.97	23 11	24 12	27 13	29 15	26 13	27 14	28 14	29 15	
BAC-111 Series 475	440 230	45.0	0.57	23 9	28 11	29 13	32 16	26 11	28 13	29 14	31 14	
BAC-111 Series 500	467 250	45.0	1.10	29 13	31 14	33 16	35 18	33 15	34 16	35 17	36 18	dvostruki kotač
BAe-146-100	376 230		0.84	18 10	20 11	23 12	26 15	21 11	22 12	24 13	25 14	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexibile Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
Canadair CL-215, 415	196 130		0.55	12 8	15 10	17 11	18 12	14 9	14 10	15 10	15 10	
Canadair CL-41A (CT-114 Tutor)	49 24		0.37	---	---	---	---	---	---	---	---	
Canadair Regional Jet - 100, 200 Srs	236 135		1.12	13 7	14 7	16 8	17 9	16 8	16 9	17 9	18 9	
Canadair Regional Jet - 700 Series	335 195		1.24	18 10	19 10	21 11	24 13	21 11	22 12	23 12	24 13	
Canadair Regional Jet - 900, ER Srs	367 215		1.24	20 11	21 11	24 12	26 14	23 12	25 13	26 14	27 14	
Cessna 114B (Commander)	15 10		0.35	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 152	8 5		0.20	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 172 (Skyhawk)	11 7		0.19	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 180 (Skywagon)	13 8		0.21	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 182 (Skylane)	14 9		0.25	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 185 (Skywagon)	15 8		0.25	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 208 (Caravan)	36 18		0.60	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 210 (Centurion)	18 11		0.38	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 310	25 16		0.42	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 337 (Skymaster)	21 14		0.38	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 401	28 20		0.45	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 402C, 414A (Chancellor)	31 19		0.48	---	---	---	---	---	---	---	---	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A 15	B 10	C 6	D 3	A 150	B 80	C 40	D 20	
BAe-146-200	416 235		0.97	22 11	23 12	26 13	29 15	24 12	26 13	27 14	29 15	
BAe-146-300	436 245		1.10	24 12	25 12	28 14	31 16	27 13	28 14	30 15	31 16	
BAe-ATP	232 140		0.85	12 6	13 7	14 8	16 9	13 7	14 8	15 8	16 9	
Beech 1900C, 1900D	76 56		0.67	3 2	4 3	4 3	5 4	4 3	5 3	5 3	5 4	
Beech 2000 Starship	65 56		0.54	2 2	3 2	4 3	4 4	3 3	4 3	4 3	4 3	
Beech 35, 36 Series (Bonanza)	16 10		0.28	---	---	---	---	---	---	---	---	
Beech 55, 56, 58 Series (Baron)	25 16		0.39	---	---	---	---	---	---	---	---	
Beech Jet 400, 400A	73 56		0.86	6 5	7 5	7 5	7 5	6 5	6 5	6 5	7 5	
Beech King Air 100, 200 Series	56 56		0.73	2 2	3 3	3 3	4 4	3 3	3 3	4 4	4 4	
Beech King Air 300, 300C, 350, 350C	67 56		0.73	3 2	3 3	4 3	4 4	4 3	4 3	4 3	4 4	
Beech King Air 90 Series	49 27		0.38	---	---	---	---	---	---	---	---	
Beech Queen Air, 65, 70, 80 Series	40 25		0.33	---	---	---	---	---	---	---	---	
Bombardier BD-700 (Global Express)	432 220		1.21	26 11	28 12	30 13	32 15	30 13	31 14	32 15	33 15	
C-141B Starlifter (Lockheed)	1553 600		1.31	52 15	60 16	73 18	88 24	51 14	61 16	70 19	78 22	
C-17A (Globemaster III)	2602 2000		0.95	54 38	61 42	73 50	94 65	54 41	49 38	57 40	71 48	
C-5A Galaxy (Lockheed)	3421 1500		0.73	27 10	30 11	35 12	46 15	25 10	28 11	33 12	39 13	
C123K Provider (Fairchild/Republic)	267 180		0.69	20 13	22 15	24 16	25 17	21 14	21 14	22 15	22 15	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
Cessna 421 (Golden Eagle)	34 22		0.55	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 441 (Conquest II)	44 26		0.66	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 501 (Citation I - Eagle)	56 56		0.69	4	5	5	5	5	5	5	5	
Cessna 525 (Citation Jet)	47 29		0.68	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna 550 (Citation II)	64 56		0.69	5	5	6	6	5	5	5	5	
Cessna 550 (Citation Bravo)	67 56		0.69	5	6	6	6	5	6	6	6	
Cessna 560 (Citation V)	72 56		0.69	5	6	6	7	6	6	6	6	
Cessna 561 XL (Citation Excel)	90 56		1.05	8	8	8	9	8	8	8	8	
Cessna 650 (Citation III, VI)	99 56		1.02	6	6	7	7	7	7	7	7	
Cessna 650 (Citation VII)	104 62		1.16	6	7	7	8	7	8	8	8	
Cessna 750 (Citation X)	160 96		1.16	10	11	12	12	12	12	13	13	
Cessna Conquest	45 26		0.59	---	---	---	---	---	---	---	---	
Cessna T303 (Crusader)	23 15		0.40	---	---	---	---	---	---	---	---	
CF-18	249 110		1.38	21	20	20	20	21	21	21	21	
Challenger CL 600, 601	192 131		0.90	10	11	13	14	12	13	13	14	
Challenger CL 600, 601	192 131		1.50	11	12	13	14	14	14	14	15	
Challenger CL 601-3R	201 131		1.42	12	12	14	14	14	15	15	15	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
Challenger CL 604	212 140		1.42	12 7	13 8	14 9	15 10	15 9	15 10	16 10	16 10	
Concorde	1824 1000	48.0	1.29	65 28	72 31	81 37	97 44	60 27	71 30	81 35	91 41	68 167
Convair 240	190 125		0.64	7 5	9 5	10 6	12 7	9 5	10 6	10 6	11 7	
Convair 340, 440, 540	222 140		0.47	7 4	9 5	11 6	14 8	9 5	10 6	11 7	12 7	
Convair 580	280 150		0.59	11 5	13 6	15 7	19 9	13 6	14 7	16 8	17 8	
Convair 600	210 140		0.73	9 5	10 6	11 7	14 8	10 6	11 7	12 8	13 8	
Convair 640	245 140		0.52	8 4	11 5	12 6	15 8	10 5	12 6	13 7	14 7	
Convair 880	860 400		1.03	27 10	31 10	36 12	44 16	26 9	31 11	36 13	40 14	
Convair 990	1135 600	48.5	1.28	40 17	46 18	53 22	64 28	41 17	47 19	54 23	60 26	
Dassault Falcon 10	84 56		0.93	5 3	5 3	6 4	6 4	6 4	6 4	6 4	6 4	
Dassault Falcon 20	128 75		0.92	8 4	9 4	9 5	10 5	10 5	10 5	10 6	10 6	
Dassault Falcon 50	173 90		0.93	9 4	10 5	12 5	13 6	11 5	12 5	12 6	13 6	
Dassault Falcon 900	202 103		1.30	11 5	12 5	14 6	15 7	14 6	14 7	15 7	15 7	
DC-10-10, 10CF, 15	2037 1035	46.85	1.34	57 25	62 26	74 29	101 37	49 23	58 24	69 28	81 32	137 162
DC-10-20, 20CF, 30CF, 40CF	2485 1640	37.7	1.14	60 36	67 38	81 44	110 61	49 30	59 34	72 41	85 48	137 162
DC-10-30, 30 ER, 40	2593 1220	37.9	1.22	59 24	65 25	79 27	107 35	50 21	59 23	72 26	84 30	137 162
DC-3	147 80	46.8	0.31	7 4	7 4	10 5	12 7	8 4	8 5	9 5	9 5	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
DC-4	335 200	46.75	0.53	12 6	15 8	17 9	21 11	14 7	16 8	17 9	19 10	
DC-6, 6B	480 300		0.73	20 11	23 13	25 14	30 17	22 12	24 14	26 15	28 16	
DC-7 (All Models)	640 400		0.89	34 19	36 20	42 23	46 27	37 21	40 23	42 24	44 26	
DC-8-10, 20 Series	1226 600		1.01	36 15	41 15	49 18	62 23	32 14	39 15	46 17	53 20	
DC-8-43, 55, 61, 71	1470 800	46.5	1.30	47 21	54 23	64 27	79 35	45 20	54 23	63 27	71 31	
DC-8-61F, 63F	1557 1001		1.32	51 28	59 31	69 37	85 47	50 27	59 31	68 37	77 42	
DC-8-62, 62F, 63, 72, 73	1593 800	46.5	1.35	52 21	59 23	70 26	87 34	50 20	59 23	69 27	77 31	81 140
DC-9-10, 15	404 300	46.2	0.93	22 15	23 16	26 18	29 21	24 17	26 18	27 19	28 20	
DC-9-21	445 300	47.15	1.02	25 15	26 16	30 18	32 21	28 17	29 18	31 20	32 20	
DC-9-30, 32	485 300	46.2	1.05	27 15	29 16	33 18	35 21	31 17	32 18	34 19	35 20	dvostruki kotač
DC-9-41, 50, 51	543 300	46.65	1.17	31 15	33 16	37 18	40 20	35 17	37 18	39 19	40 20	
DHC1 Chipmunk	10 7		0.21	---	---	---	---	---	---	---	---	
DHC2 Beaver	24 14		0.17	---	---	---	---	---	---	---	---	
DHC3 Otter	36 20		0.20	---	---	---	---	---	---	---	---	
DHC4 Caribou	130 90		0.28	3 2	3 2	5 3	7 4	4 2	4 3	5 3	6 4	
DHC5 Buffalo	187 115		0.41	6 3	8 4	10 5	12 7	8 4	9 5	10 6	11 6	
DHC6 Twin Otter Series 300	56 56		0.26	3 3	3 3	3 3	5 5	3 3	3 3	3 3	4 4	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
DHC7 Dash 7	209 120		0.74	10 5	12 6	13 7	15 8	12 6	13 7	14 7	14 8	
DHC8 Dash 8	147 90		0.44	5 3	6 3	8 4	9 5	6 3	7 4	8 4	8 5	
DHC8 Dash 8 Series 100	154 98		0.90	8 5	8 5	9 5	11 6	9 5	10 6	10 6	11 6	
DHC8 Dash 8 Series 300	183 110		0.80	9 5	9 5	11 6	12 7	10 5	11 6	11 6	12 7	
DHC8 Dash 8 Series 400	279 150		0.90	15 7	16 8	18 8	20 10	17 8	18 9	19 9	20 10	
DHC8 Dash 8 Series 400	279 150		1.42	15 8	16 8	18 8	20 10	18 9	19 9	20 10	21 10	
DHS-2 Conair Firecat	116 80		0.62	8 6	10 7	10 7	11 8	9 6	9 6	10 7	10 7	
Dornier 228 Series	63 56		0.90	5 5	6 5	6 5	6 5	6 5	6 5	6 5	6 5	
Dornier 328 Jet	155 93		1.13	8 4	8 5	10 5	11 6	10 5	10 6	11 6	11 6	
Dornier 328-110 (Turboprop)	138 90		0.80	7 4	7 4	8 5	10 6	8 5	8 5	9 5	9 6	
Dornier SA227, Metro Merlin, Expediter	74 56		0.73	3 2	4 3	4 3	5 4	4 3	5 3	5 4	5 4	
Douglas A-26 Invader	120 90		0.48	7 5	8 6	10 7	11 8	8 6	9 6	9 7	9 7	
Douglas B-26 Invader	156 105		0.48	9 6	11 7	13 9	14 9	10 7	11 7	11 8	12 8	
Embraer EMB-110 (Bandeirante)	59 56		0.62	4 4	5 5	5 5	5 5	5 4	5 4	5 5	5 5	
Embraer EMB-120 (Brasilia)	119 71		0.76	5 3	6 3	7 4	8 4	7 4	7 4	7 4	8 4	
Embraer ERJ-145	217 110		0.90	12 5	13 6	15 6	16 7	14 6	15 7	15 7	16 7	
Fokker 100	452 243		0.94	25 12	27 13	31 14	33 16	28 13	30 14	32 15	33 16	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
Fokker 50	205 125		0.59	9 5	11 6	13 7	14 8	11 6	12 7	13 7	13 8	
Fokker 60	226 131		0.62	10 5	13 6	14 7	16 9	13 6	14 7	14 8	15 8	
Fokker 70	410 225		0.81	22 10	24 11	27 13	30 15	24 12	26 13	27 13	29 14	
Fokker F27 Friendship	205 120		0.57	9 5	11 5	13 6	14 8	11 6	12 6	13 7	13 7	
Fokker F28 Fellowship	325 175		0.53	14 6	17 8	20 9	23 11	17 8	18 9	20 9	21 10	
Gulfstream II	294 163		1.04	17 8	18 9	20 10	22 11	20 10	21 10	21 11	22 11	
Gulfstream III	312 170		1.21	19 9	20 9	22 10	23 12	22 11	23 11	24 12	24 12	
Gulfstream IV	334 189		1.21	20 10	22 11	24 12	25 13	24 12	25 13	25 13	26 14	
Gulfstream V	405 215		1.37	26 12	28 13	30 14	31 15	31 14	32 15	33 16	33 16	
Hercules C-130, 082, 182, 282, 382	778 360		0.67	29 12	34 14	37 16	43 17	33 14	36 15	39 16	42 18	
Hercules L-100 (Commercial)	693 340		0.74	27 12	30 14	33 15	38 16	30 14	33 15	35 16	38 17	
HS/BAe 125 (All Series to 600)	112 61		0.83	6 3	6 3	7 3	8 4	7 3	7 4	8 4	8 4	
HS/BAe 700	114 62		0.88	6 3	7 3	7 3	8 4	7 4	8 4	8 4	8 4	
HS/BAe 748	227 120		0.51	9 4	11 5	14 6	16 7	11 5	13 6	14 6	14 7	
Ilyushin IL-18	625 350		0.80	16 7	17 8	21 9	29 12	13 6	16 7	20 9	23 11	
Ilyushin IL-62, 62M	1648 651	47.0	1.65	52 16	58 17	68 19	83 24	51 18	59 18	68 20	77 22	
Ilyushin IL-76T	1677 822	23.5	0.64	24 9	27 10	34 12	45 16	29 11	33 13	30 15	34 14	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
Ilyushin IL-76TD	1775 920		0.66	27 11	30 12	37 14	49 19	32 13	35 15	32 18	37 16	
Ilyushin IL-86	2054 1089	31.2	0.88	34 15	36 16	43 18	61 23	26 13	31 14	38 16	46 19	
Jetstream 31, 32 (BAe)	69 56		0.39	3 3	4 3	5 4	6 5	4 4	5 4	5 4	5 4	
Jetstream 41 (BAe)	107 63		0.83	5 3	5 3	6 3	7 4	6 3	6 3	7 4	7 4	
KC-10 (McDonnell Douglas)	2593 1800		1.22	59 38	65 40	79 46	107 64	50 32	59 36	72 43	84 51	
KC-135 Stratotanker (Boeing)	1342 800		1.38	38 20	41 21	49 24	64 31	35 19	41 21	48 24	55 28	
L-1011-1 Tristar	1913 1070	47.4	1.35	52 26	56 27	66 30	90 38	45 24	52 25	62 29	72 33	132 178
L-1011-100, 200 Tristar	2073 1090	46.8	1.35	57 26	63 28	75 31	101 39	49 24	58 26	69 29	81 34	132 178
L-1011-250 Tristar	2269 1108		1.35	64 27	71 28	86 31	114 40	56 25	66 26	79 30	91 35	
L-1011-500 Tristar	2295 1070	46.2	1.35	65 26	72 27	87 30	116 38	56 24	67 25	80 29	93 33	132 178
Learjet 24F	62 56		0.79	3 3	3 3	4 4	4 4	4 3	4 4	4 4	4 4	
Learjet 25D, 25F	69 56		0.79	3 3	4 3	4 3	5 4	4 3	5 4	5 4	5 4	
Learjet 25G	75 56		0.79	4 3	4 3	5 3	5 4	5 3	5 4	5 4	5 4	
Learjet 28, 29 (Longhorn)	69 56		0.79	3 3	4 3	4 3	5 4	4 3	5 4	5 4	5 4	
Learjet 31A, 35A, 36A	83 56		0.79	4 3	5 3	5 3	6 4	5 3	5 3	6 4	6 4	
Learjet 45	91 59		0.79	5 3	5 3	6 3	7 4	6 3	6 4	6 4	7 4	
Learjet 55B, 55C	97 58		1.24	6 3	6 3	7 3	7 4	7 4	7 4	7 4	8 4	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
Learjet 60	106 62		1.24	6 3	7 3	7 4	8 4	8 4	8 4	8 4	8 5	
Lockheed 188 Electra	503 255		0.95	27 12	29 13	33 14	36 17	30 13	32 14	34 15	36 16	
MD-11	2805 1200		1.38	67 24	74 25	90 27	119 34	58 22	69 23	83 26	96 30	
MD-81	628 350	47.75	1.14	36 18	38 19	43 21	46 24	41 20	43 21	45 23	47 24	
MD-82	670 350	47.55	1.14	39 18	41 18	46 20	49 24	43 20	46 21	48 22	50 24	
MD-83	716 355	47.4	1.14	42 18	45 19	50 21	53 24	47 20	50 22	52 23	54 24	
MD-87	628 335	47.9	1.14	36 17	38 18	43 20	46 23	41 19	43 20	45 22	47 23	
MD-88	670 350		1.14	39 18	41 19	46 21	50 24	44 20	46 21	48 23	50 24	
MD-90-30	699 392		1.14	41 20	43 21	48 24	52 27	46 23	48 24	50 26	52 27	
MD-90-30ER	739 392		1.14	44 20	47 21	52 24	55 27	49 23	52 24	54 26	56 27	
MD-90-50, 55	772 410		1.14	46 22	50 22	54 25	57 29	52 24	54 26	57 27	58 28	
Mitsubishi MU-2 Srs	52 32		0.48	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Aerostar	29 20		0.48	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Apache	21 13		0.29	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Archer II, III	12 7		0.17	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Arrow III, IV	14 8		0.21	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Aztec	30 18		0.42	---	---	---	---	---	---	---	---	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexibile Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
Piper Cheyenne I, II	41 23		0.55	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Cheyenne III	50 31		0.69	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Commanche	21 13		0.29	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Cub (& Super Cub)	8 5		0.13	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Dakota	14 8		0.17	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Malibu, Mirage, Meridian	21 14		0.35	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Mojave	33 23		0.42	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Navajo	29 18		0.42	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Saratoga	16 10		0.38	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Saratoga II	16 11		0.27	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Seminole	17 11		0.25	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Seneca III, V	22 14		0.38	---	---	---	---	---	---	---	---	
Piper Warrior II, III	11 7		0.17	---	---	---	---	---	---	---	---	
Saab 2000	226 136		0.69	11 6	13 7	14 7	16 9	13 7	14 8	15 8	15 9	
Saab 340 A, B	131 81		0.82	6 4	7 4	8 4	9 5	7 4	8 5	8 5	9 5	
Shorts 330	102 66		0.55	6 4	8 5	9 6	9 6	7 5	8 5	8 5	8 5	
Shorts 360	121 77		0.54	7 5	9 6	10 7	11 7	9 6	9 6	9 6	9 6	

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexibile Pavement Subgrades				Rigid Pavement Subgrades				$\frac{S_r}{S_B}$ [cm]
				CBR [%]				k [MPa/m]				
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low	
				A	B	C	D	A	B	C	D	
				15	10	6	3	150	80	40	20	
Shorts Sherpa	114 80		0.54	7 5	8 6	10 7	10 7	8 6	8 6	9 6	9 6	
Shorts Skyvan	67 56		0.28	3 3	3 3	4 4	6 5	4 3	4 3	4 4	4 4	
Swearingen SJ 30-2	60 56		1.07	3 3	3 3	3 3	4 4	4 3	4 4	4 4	4 4	
T-33 Trainer (CT-133)(Lockheed)	54 38		0.42	---	---	---	---	---	---	---	---	
Transall C-160	500 285		0.38	8 4	10 5	13 6	18 8	10 5	10 6	10 6	13 6	
Trident 3	670 383	45.5	1.14	26 13	28 14	31 15	36 18	37 18	40 19	42 21	44 22	125 65
Tupolev TU-134	463 285	45.6	0.59	10 5	12 6	15 7	20 10	9 5	11 6	14 7	17 8	
Tupolev TU-154	961 525	45.1	0.93	19 9	22 9	28 11	37 16	18 7	24 9	30 12	36 15	
Tupolev TU-204, 214, 224, 234	1096 560		1.38	31 14	33 14	40 16	53 20	29 13	34 14	40 16	46 19	
VC10 Series	1590 785		1.01	48 19	54 21	66 24	83 31	41 18	50 19	60 22	69 26	