UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MÓRROPE – LAMBAYEQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Autores

Bach. Delgado Bayona José Roberto

Bach. Gonzales Díaz José Luis

ASESOR

Mg. SERREPE RANNO MIRIAN MARCELA

LINEA DE INVESTIGACIÓN

INGENIERÍA DE PROCESOS

Pimentel – Perú
2019

TESIS

DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MÓRROPE – LAMBAYEQUE

APROBADO POR:

DR.ING. CORONADO ZULOETA OMAR
PRESIDENTE

ING. RUIZ SAAVEDRA NEPTON
SECRETARIO

M.S.C. ING. BALLENA DEL RIO PEDRO
VOCAL DE JURADO

DEDICATORIA

A Dios

Por habernos permitido lograr cumplir con nuestros objetivos.

A nuestros familiares

Por estar ahí siempre con nosotros apoyándonos y dándonos mucho aliento para poder cumplir con nuestros objetivos planteados, por sus grandes consejos de no dejarnos caer en momentos difíciles y lograr así culminar con éxito nuestra carrera universitaria.

A nuestros docentes

Por fomentar en nosotros el deseo de hacer proyectos de ingeniería, por contribuir en nuestro aprendizaje académico durante los años de estudio, por compartir sus conocimientos, por apoyarnos desinteresadamente para poder desarrollar la presente tesis.

José Luis y José Roberto

AGRADECIMIENTO

Queremos comenzar con un agradecimiento muy especial al Ing. Marco Bayona Nevado por el asesoramiento permanente para la culminación de la presente, sobre todo por brindarnos el tiempo necesario para el desarrollo de nuestra tesis.

Agradecemos al Ing. Omar Coronado Zuloeta, Ing. Nepton Ruiz Saavedra e Ing. Pedro Ballena del Río, por el apoyo constante, por las recomendaciones y asesoramiento para el desarrollo de nuestra tesis.

Agradecemos también al Laboratorio de Suelos de la Universidad Señor de Sipán por el apoyo que nos brindaron desinteresadamente para la orientación de nuestra tesis.

A la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Señor de Sipán, a nuestros docentes por habernos formado con una gran excelencia académica para poder superarnos y llegar a la meta profesional.

A cada uno de nuestros familiares y amigos que apostaron por nuestro proyecto de tesis y que nos motivaron a seguir siempre adelante, sabiendo valorar en todo momento sus consejos y comentarios que permitieron consolidar esta investigación.

Los autores

RESUMEN

Al presente el departamento de Lambayeque cuenta con el único recinto de aeropuerto que es José Aberlado Quiñonez que no se encuentra en buen estado las áreas críticas y no críticas presenta inconvenientes como grietas, hundimientos, fisura, etc. que atenta con la seguridad de operación de las aeronaves y es producto que ya cumplió su vida útil el pavimento. Por esta razón la presente tesis tiene como objetivo diseñar un pavimento acorde a una metodología internacional que es la FAA lo cual se utiliza en la mayoría de países.

Por ello se realizó el diseño del pavimento en el área de movimiento del aeropuerto Mórrope desarrollando la metodología de la Federal Aviation Administration de los Estados Unidos con las circulas AC 150/5320 6D y AC 150/5320 6E en donde se basan en curvas de diseño, se realizó para pavimentos rígidos y flexibles.

Se ha realizó el diseño de pavimentos flexible y rígido. Se ha efectuado un análisis comparativo como ventajas y desventajas de los pavimentos, análisis de costos y presupuesto, sin embargo, para el caso del pavimento de plataforma, se determinó que deben ser rígido a pesar de su costo, esto debido a que en las plataformas se encuentran sometidas a cargar por un tiempo prolongado por lo cual hemos decido por un pavimento flexible para las zonas críticas.

Palabras clave: diseño, pavimento, áreas críticas, áreas no críticas, FAA.

ABSTRACT

At present, the department of Lambayeque has the only airport site that is José Aberlado Quiñonez that is not in good condition. Critical and non-critical areas have drawbacks such as cracks, subsidence, fissures, etc. that attends to the security of operation of the aircraft and is a product that has already fulfilled its useful life the pavement. For this reason this thesis aims to design a pavement according to an international methodology that is the FAA which is used in most countries.

For this reason, the design of the pavement in the movement area of the Mórrope airport was developed by developing the methodology of the Federal Aviation Administration of the United States with circulars AC 150/5320 6D and AC 150/5320 6E where they are based on design curves, it was made for rigid pavements and flexible.

The design of flexible and rigid pavements has been made. A comparative analysis has been made as advantages and disadvantages of the pavements, cost analysis and budget, however, in the case of the platform pavement, it was determined that they should be rigid despite their cost, this because in the platforms they are subject to loading for a long time, which is why we have decided on a flexible pavement for critical areas.Keywords: design, pavement, critical areas, non-critical areas, FAA.

Key words: design, pavement, critical areas, non-critical areas, FAA.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 11
1.1. Realidad Problemática 12
1.2. Antecedentes de estudio 18
1.3. Teorías relacionadas al tema 22
1.4. Formulación del problema 73
1.5. Justificación e importancia del estudio 74
1.6. Hipótesis 75
1.7. Objetivos 75
II. MATERIAL Y MÉTODO 76
2.1. Tipo y diseño de la Investigación 77
2.2. Población y muestra 77
2.3. Variables 78
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. 81
2.5. Procedimientos para la Recolección de datos 84
2.6. Criterios éticos 85
2.7. Criterios de rigor científico 85
III. RESULTADOS 87
3.1. Levantamiento topográfico del lugar 88
3.2. Ensayos de mecánica de suelos 88
3.3. Estudio pluviométrico 96
3.4. Clima de la zona 97
3.5. Viento de la Zona. 98
3.6. Desarrollo de la metodologia 102
3.7. Presupuesto diseño de aeropuerto pavimento flexible. 140
3.8. Presupuesto diseño de aeropuerto pavimento rígido 141
3.9. Cronograma de ejecución. 142
3.10. Discusión 146
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 148
4.1. Conclusiones 149
4.2. Recomendaciones. 150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Ancho de la pista* 32
Tabla 2. *Factores de conversión* 44
Tabla 3. *Espesor mínimo de la capa base.* 54
Tabla 4. *Espaciamiento máximo de juntas de pavimento rígido (base sin estabilizar)* 62
Tabla 5. *Dimensiones y espaciamiento de los dowels.* 68
Tabla 6. *Impacto ambiental* 69
Tabla 7. *Normatividad* 72
Tabla 8. *Operacionalización* 79
Tabla 9. *Instrumentos* 83
Tabla 10. *Resumen de clasificación de suelos por calicata* 90
Tabla 11. *Resumen CBR* 92
Tabla 12. *Consolidado de ensayos* 94
Tabla 13. *Resultados de cantera 3 tomas.* 95
Tabla 14. *Clima de la zona* 98
Tabla 15. *Avión de más pesado* 103
Tabla 16 *Ancho de la pista* 104
Tabla 17. *Tren de aterrizaje de cada aeronave* 105
Tabla 18. *Número de salidas anuales Promedio 2017-2037* 107
Tabla 19. *Características del avión de diseño* 110
Tabla 20. *Determinación de la aeronave de cálculo* 113
Tabla 21. *Salidas anuales promedio afectadas por el factor de conversión* 114
Tabla 22. *Cálculo de las salidas anuales equivalentes del avión de diseño.* 115
Tabla 23. *Espesor mínimo de la capa base.* 119
Tabla 24. *Espesores del pavimento flexible para zonas críticas.* 120
Tabla 25. *Espesor total del margen crítico (bermas de pista de aterrizaje y calle de rodaje).* 120
Tabla 26. *Espesor total del pavimento flexible zona no crítica – salidas rápidas.* 122
Tabla 27. *Espesor total del pavimento margen no crítica (bermas para salidas rápidas)* 122
Tabla 28. *Espesor de las capas del pavimento rígido para una zona crítica.* 128
Tabla 29. *Espesor del margen crítica (Berma pista de aterrizaje y calle de rodaje).* 129
Tabla 30. *Espesor del pavimento estructural no crítica (salidas rápidas).* 130
Tabla 31. *Espesor del margen no crítica (Berma salidas rápidas).* 131
Tabla 32. *Cuadro comparativo entre Pavimento Flexible y Pavimento Rígido.* 137
Tabla 33. *Financiamiento de ejecución de tesis* 145

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Pista del aeropuerto, con parches..... 16
Figura 2. Parchado de la pista del aeropuerto. 16
Figura 3. Estado de la carpeta asfáltica en áreas sin sello..... 17
Figura 4. Centurión 210. 26
***Figura* 5.** Citation X 26
Figura 6. Airbus 380 27
***Figura* 7.** Boeing 747..... 27
***Figura* 8.** Boeing 747..... 28
Figura 9. Condorde 28
Figura 10. Hércules FAP..... 29
Figura 11. KC 10 USA AF..... 29
Figura 12. Mirage 2000N..... 30
Figura 13. Clave de referencia de aeródromo 31
Figura 14. Clases de viento 33
Figura 15. Rosa de viento 34
Figura 16. Distribución de peso bruto de aeronave..... 40
Figura 17. Simple 41
Figura 18. Doble 41
Figura 19. Tándem doble 42
Figura 20. Tipo de tren de aterrizaje. 42
Figura 21.Secciones típicas del pavimento 46
Figura 22. Suelos cohesivos y no cochesivos 48
Figura 23. Cálculo de espesor para el pavimento flexible. 50
Figura 24. Cálculo de espesor para el pavimento flexible. 51
Figura 25. Cálculo de espesor para el pavimento flexible. 52
Figura 26. Espesor de la subbase 58
Figura 27. Para el cálculo de espesor de pavimento rígido. 60
Figura 28. Tipos de juntas para pavimentos de concreto para aeropuertos 63
Figura 29. Juntas pavimentos de concreto para aeropuertos..... 64
Figura 30. Descripción y uso de las juntas de pavimentos rígidos de aeropuertos..... 66
Figura 31. Consolidada curva Granulométrica 89
Figura 32. Curva del Próctor..... 91
Figura 33. 85vo percentil de CBR 93
Figura 34. Ubicación de estaciones pluviométricas. 96
Figura 35. Precipitaciones promedio mensual 2017. 97
Figura 36. Orientación del Viento América del Sur. 99
Figura 37. Orientación del viento en Perú. 99
Figura 38. Orientación del viento en Mórrope. 100
Figura 39. Rosa de viento 101
Figura 40. Tiempo en Mórrope. 102
Figura 41. Clave de referencia de aeródromo 103
Figura 42. Distribución de salidas anuales promedio por aeronave..... 108
Figura 43. Boeing 767..... 109
Figura 44. Curvas de diseño de un pavimento flexible con tren dual tándem 111
Figura 45. Área crítica para un pavimento. 117
Figura 46. Curvas de diseño de un pavimento flexible para tren dual tándem 118
Figura 47. Secciones transversales del pavimento flexible – pista de aterrizaje..... 121
Figura 48. Sección transversal del pavimento flexible - calle de rodaje..... 121
Figura 49. Sección transversal del pavimento flexible-salidas rápidas..... 123
Figura 50. Relación entre CBR – K (módulo de reacción de la subrasante)..... 125
Figura 51. Módulo de reacción del terreno de Fundación. 126

Figura 52. Curvas para el diseño del pavimento rígido, tren dual tándem. 128
Figura 53. Sección transversal del pavimento rígido crítico. 129
Figura 54. Sección transversal del pavimento rígido no crítico – calle de rodaje. 130
Figura 55. Sección transversal del pavimento rígido no crítico 131
Figura 56. Costos y presupuesto de pavimento flexible. 140
Figura 57. Costos y presupuesto de pavimento rígido 141
Figura 58. Cronograma pavimento flexible. 142
Figura 59. Cronograma de pavimento rígido 143

I. INTRODUCCIÓN

El aeropuerto José Abelardo Quiñonez – Chiclayo también es utilizado por la fuerza Aérea del Perú esto ocasiona que el área de maniobras tenga menos vida útil y que requiera mayor mantenimiento permanente.

Por lo cual se realizó esta tesis con una proyección a 20 años teniendo en cuenta el mal estado de las carreteras en los primeros meses del año que impide interconectar con otros puntos del país ya que la ciudad de Chiclayo se encuentra en un lugar estratégico, los nuevos proyectos como el de olmos, turismo, etc. Harán que incremente la demanda de los vuelos nacionales e internacionales.

De esta manera se ha considerado esta tesis con el propósito de cumplir la demanda de esta zona norte del país.

Esta tesis se realizó el diseño de los pavimentos en el área de movimiento cumpliendo los requerimientos mínimos de un aeropuerto internacional.

Se usó la metodología por la Administración federal de aviación de los estados unidos (FAA). Se seguirán las pautas de la FAA indicadas en sus circular AC150/5320 6D, debido que en nuestro país no hay un reglamento para realizar el diseño de pavimentos de aeropuerto.

Se realizó el diseño de pavimentos flexible y rígido con sus respectivos costos y presupuesto y su cronograma de ejecución.

1.1. Realidad Problemática

A Nivel Internacional

El ultimo mantenimiento realizado en la pista de la BAMFS, consistió en la aplicación de una capa de Slurry Seal (Sello Asfaltico), en donde la pista ya había cumplido su vida útil en donde presentaba problemas como en el desprendimiento de parte considerable de este material, especialmente en la cabecera de la pista, generando un desplazamiento de umbral. (Leonardo, 2016)**.**

Realizaron un análisis y encontraron un 30% de irregularidades en las capas asfálticas, como baches y fisuras correspondientes

Los causantes de estos problemas son los agentes climáticos (lluvia, sol, frio), el tiempo hace que este se dañe iniciándose por su parte visible como es la carpeta asfáltica, y de no presentarse atención continuará con la parte que no se ve pero que es de vital importancia como su estructura.

Las muestras de suelo se han realizado por medio de pozos profundos y cortes naturales, constatando los estratos del suelo y determinando las características del mismo.

El espesor de la carpeta asfáltica existente en la pista oscila entre 0.06 y 0.10mts, para resultado de diseño se debe tomar como espesor promedio 0.08mts. El contenido de asfalto está entre 3.4 y 4.03%.

El material seleccionado de gravas con arena limosa que cumple con las normas F.A.A. en lo concerniente a C.B.R. y granulometría, es factible conservar su espesor que varía entre 0.35 y 0.80mts aproximadamente. El otro relleno de arena limosa con gravas, encontrado a continuación, posee espesores variables entre 0.30 y 0.60m

En el aeropuerto de Hayley se ejecutó un proceso constructivo llamado “recuperación de profundidad completa” (FDR) utilizando cemento Portland, el cual se pudo estabilizar y reciclar el pavimento asfaltico viejo, creando una nueva base con fundación excelente para el comportamiento del pavimento a largo plazo, los

pavimentos flexibles requieren mantenimiento constante y se torna complejo a veces precisar el método correcto para hacer reparaciones.(Bórquez Bertrán, 2014)

Los procedimientos a largo plazo radican en la colocación de una nueva capa de asfalto, o si el daño es mayor, remover la base existente y rehacer la capa de asfalto se ha evaluado nuevas opciones reciclando el asfalto por medio de un proceso llamado recuperación de profundidad completa (full-depth reclamation, FDR), que es ambientalmente amigable por el uso que se le da. Este método es apropiado cuando el daño profundo y no puede ser reparado con sellos superficiales. (Bórquez Bertrán, 2014)

Los investigadores concluyeron que con el método de Bailey es recomendado en el diseño de la mezcla porque se puede controlar el porcentaje de vacíos en el agregado mineral y mejorar la resistencia al ahuellamiento.(Bórquez Bertrán, 2014)

El sector de la aviación en Colombia en la última década se ha trasformado en un gran tipo en el que respecta al transporte de pasajeros y carga, tanto a nivel nacional como a nivel internacional. Se estima que en los últimos años el volumen del tráfico aéreo ha aumentado en más de un 19% según la ATAC (Asociación de transporte aéreo de Colombia) (David & Moya, 2015)

A partir de los tratados internacionales en especial con el TLC con EE.UU. según el DANE se estima que entre 2010 y el 2014 las exportaciones aumentaron de 39,713 a 54,795 millones de dólares FOB, pero la topografía es accidentada en donde no permite la conexión fluida.

En consecuencia, a lo anterior el país ha emprendido un plan de construcción, mejoramiento y tecnificación de aeropuertos, que genere un mayor desarrollo económico, turístico y cultural entre las regiones mismas y de ellas con el resto del mundo.

A Nivel Nacional

El problema del aeropuerto Jorge Chávez es la falta de infraestructura. Ya que cuenta con una sola pista de aterrizaje y despeje para vuelos nacionales e

internacionales, y compartida con otras instituciones la cual dificulta mucho. El lugar donde se localiza el aeropuerto hace complejo su acceso y toma más tiempo en llegar. Como el aeropuerto se ubica en una zona urbana se limita la salida de vuelos; En estos tiempos más empresas están interesadas en integrar al mercado lo que significa un incremento de vuelos diarios por lo cual se necesita una infraestructura en óptimas condiciones. (Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012)

En este momento el aeropuerto tiene un tráfico medio mensual de 431,020 pasajeros en total de los cuales casi el 42 % (180,514 pasajeros) son de tráfico nacional; la construcción de una pista de aterrizaje más en el aeropuerto significaría perjudicar más a los pobladores que viven en las inmediaciones.

Para la elaboración del Proyecto llamada "Limitada capacidad del Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete de Cusco", en donde la demanda ha crecido elocuentemente en los últimos años, con un crecimiento medio anual compuesta de 11.6% en el periodo de 2003 a 2012. Se espera que esta tendencia de crecimiento se mantenga en los próximos años, de tal forma que a largo plazo el AICC podría llegar a tener una demanda que triplicaría ampliamente de volumen de tráfico de pasajeros actual. Este incremento de la demanda del tráfico aéreo se producirá como consecuencia de la llegada de nuevos turistas a la Región de Cusco por sus atractivos turísticos, más aún desde que el año 2007 Machu Picchu fuera elegida como de las siete maravillas del mundo moderno por lo cual ellos tratan de solucionar este problema con mejorar la capacidad de infraestructura aeropuertaria en la región de cusco.(Comunicaciones, 2013)

A Nivel Regional

En el proyecto denominado "MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PISTAS Y CERCO PERIMÉTRICO DEL AEROPUERTO JOSÉ ABELARDO QUIÑONES CHICLAYO" Actualmente se puede apreciar que en la pista se presentan problemas como grietas, fisuras, hundimientos, etc. que atentan contra la seguridad en la operación de las aeronaves y son producto de las filtraciones y principalmente del cumplimiento de la vida útil del pavimento, ocasionando el desgaste del recubrimiento de la película del asfalto, haciéndola apto a la inclemencia del tiempo

y el tráfico por lo que en poco tiempo se produce el desprendimiento de los agregados finos y gruesos en algunos sectores de la pista de aterrizaje. (Del, Pistas, Perimetrico, Aeropuerto, & De, 2013)

Estos problemas vienen siendo controlados transitoriamente con trabajos provisionales de parchados y bacheos desde el año 2009, ello origina mayores costos de mantenimiento.

Aunque su estado de conservación es mejor que el de la pista de vuelo, igualmente presenta problemas como fisuras y hundimientos productos de las filtraciones y el desgaste del recubrimiento de la película de asfalto, haciéndola susceptible a la inclemencia del tiempo y tráfico por lo que a mediano plazo se producirá el colapso similar al de la pista de vuelo. Estos problemas vienen siendo controlados temporalmente con trabajos provisionales de parchados y bacheos que no resuelven la situación de manera definitiva.

La plataforma de aeronaves cuenta con una extensión de 270 m de largo por 70 m de ancho. En la plataforma se aprecia problemas como fisuras y hundimientos debido a la estructura tipo “sándwich”, parecida a la de la pista de vuelo, producto de las filtraciones y por el desgaste del recubrimiento de la película de asfalto, haciéndola susceptible a la inclemencia del tiempo y tráfico, que también ha producido el desprendimiento del agregado fino y grueso en algunos sectores. Estos problemas son controlados temporalmente con trabajos provisionales de bacheos bajo un esquema de mantenimiento de urgencia, cada vez más frecuente con costos cada vez crecientes.

En cuanto al cerco perimetral, mayormente está en malas condiciones, existiendo sectores con muros de material rustico (adobes y tapias), broquetas de concreto y de baja altura. Consta de 8753 metros líneas, careciendo de algún tipo de muro en el lado de divisoria con la FAP, donde la seguridad del aeropuerto depende de la seguridad de la base militar.

A continuación, se muestra fotografías del estado situacional en que se encuentra actualmente el aeropuerto de Chiclayo.

Figura 1. Pista del aeropuerto, con parches
Fuente: (Aeropuertos del Perú, 2013)

Figura 2. Parchado de la pista del aeropuerto.
Fuente:.(Aeropuertos del Perú, 2013)

La carpeta asfáltica de la pista presenta fallas del tipo piel de cocodrilo y fisuras longitudinales y transversales. En las franjas correspondientes al tren de aterrizaje principal de las aeronaves usuarias del aeropuerto, se observa numerosos parches realizados como parte del mantenimiento de la pista.

Durante el tiempo que ha estado en servicio la pista ha recibido dos sellos: uno a todo el largo de la misma y en un ancho de 20 metros centrales, el segundo sello se extiende a todo el ancho de la pista a partir de la progresiva Km 0+00 (cabecera) hasta la progresiva Km 1+010. Fuera del área sellada de la carpeta asfáltica se observa oxidada, con fisuras y piel de cocodrilo.

Figura 3. Estado de la carpeta asfáltica en áreas sin sello.
Fuente: (Aeropuertos del Perú, 2013)

Se realizó el análisis del método de índice de condición del pavimento PCI se en la pista de aterrizaje, el valor de 42 donde corresponde a la mayoría de fallas que son denominadas agregado pulido y fisuras y grietas longitudinales y transversales no reflectivas.

En el centro de la pista de aterrizaje (Sección CHPB), registra casi en su totalidad la presencia de caucho quemado. Además de lo señalado, la pista ha cumplido con su vida útil.

1.2. Antecedentes de estudio

A nivel internacional

La construcción de un aeropuerto es signo innegable de avance y relación con el mundo; la parte fundamental es la infraestructura es la calidad de las pistas de aterrizaje cuya prioridad más allá del confort es la seguridad que este debe brindar. La importancia de una pista de aterrizaje bien construida influye en la seguridad del personal, en la conservación de la aeronave y en la economía de operación y mantenimiento del aeropuerto. La vida útil de una pista aérea de despegue y de aterrizaje bien ejecutada puede llegar hasta a los 30 años en buenas condiciones y extenderse hasta por 15 más con una moderada manutención que se le debe dar. (Construcciones et al., 2016)

Para contar con pistas adecuadas según la (OACI) se tiene que realizar una serie de estudios de suelos para saber con qué suelo trabajaremos, analizar y aplicar el método correcto para realizar su mantenimiento.

La metodología se apoyará del análisis de resultados para evaluar el comportamiento de los materiales constitutivos de la estructura (Roca Muerta) de la pista de aeródromo de la ciudad de Cali. (Leonardo, 2016)

Desde el análisis de resultados a través de ensayos CBR de la subrasante se determina el nivel freático presente en el área del aeródromo, el espesor de la capa de concreto asfaltico empleado en toda la pista.

Desde el análisis financiero se determina los costos de la pista de aterrizaje, sus mantenimientos preventivos y correctivos con el fin de determinar el retorno de los costos inversión y la rentabilidad.

Las fuentes información son de carácter interno y externo como las bases de datos científicas, las universidades, los artículos científicos, la bibliografía, con la cual se realizará una descripción documental de todos los componentes que rodean el objeto de estudio.

Se realizó visitas al aeródromo con el fin de levantar información técnica en el objeto de estudio, especialmente en sus materiales constructivos. Así mismo, se ampliará la información sobre el mantenimiento de otras pistas de región particularmente en la ciudad de Tuluá, con el fin de establecer la efectividad alcanzada con esta obra de ingeniería.

En lo que se trata a mezclas asfálticas en caliente, tienen como finalidad principal completar la estructura superior de un pavimento, impermeabilizar las capas de apoyo, otorgar una capa de rodado, así como dar comodidad de apoyo, otorgar una capa de rodado, así como dar bienestar y seguridad al usuario garantizando una transitabilidad permanente y adecuada.

Para mejorar las características superficiales de un pavimento, se tiene que reducir los riegos de desprendimiento de los áridos en pavimentos gastados o deterioros, son principales funciones de las lechadas asfálticas.

Todo parte de la calle de rodaje que viene hacer un aeródromo terrestre, que se usa para el desplazamiento de las aeronaves, con el fin de vincular las diversas zonas del aeródromo. (Golfo & Obras, 2013)

Las diferencias que existen entre los pavimentos de carreteras y los pavimentos de aeropuertos, la principal está en el ancho. La pista de aterrizaje tiene una amplitud mayor, en donde depende de la categorización del aeropuerto y del tipo de las aeronaves que este pueda recibir. La pista tiene comúnmente de 23 a 46m de ancho.

Por tal motivo se debe dar bombeo al pavimento a fin de facilitar el drenaje.

El pavimento de un aeropuerto siempre tiene un mayor espesor al de las carreteras, ya que los mayores pesos brutos comúnmente se encuentran en los aviones comerciales. Debido a esto, las pistas pueden tener un espesor que disminuya gradualmente, ya que la carga se concentra en el tercio inicial, o más, de su longitud. La acción del empuje hacia arriba disminuye la carga en el despegue, mientras que en el aterrizaje el avión no impone carga hasta que realmente hace contacto.

Al momento de diseñar una pista de aterrizaje se debe pensar también, en que soporte las vibraciones del período de calentamiento, el escape de los motores de reacción y los impactos de aterrizaje de este.

A nivel nacional

Según(Ordoñez Lujano, 2016) Las mezclas asfálticas en caliente empleado con cal presentan un buen comportamiento mecánico debido que se observó el mejoramiento de la resistencia y disminución en las deformaciones; los resultados obtenidos en laboratorio se establecieron que se tiene una mejora en las propiedades físico-mecánicas de mezcla asfáltica en caliente empleado cal, tales como la tracción indirecta y el índice de rigidez Marshall, por lo que se puede asegurar una buena trabajabilidad que los daños en pista de aterrizaje disminuyen con la utilización de esta mezclas; estas mezclas asfálticas en caliente están constituida porcentaje óptimo de cal quedo constituida por 1% de cal, 22% de piedra chancada de ½". 15" de piedra chancada de 3/8", 40% de arena zarandeada y 22% de arena chancada (Ordoñez Lujano, 2016)

La técnica de fabricación utilizada para el diseño de mezclas asfálticas en caliente empleado cal es el método de Marshall, este método nos ayuda a determinar el contenido de óptimo de asfalto y también nos permite conocer las propiedades de la mezcla y además es un ensayo de fácil procedimiento de interpretación que no necesita de equipo sofisticado para dicha ejecución.(Ordoñez Lujano, 2016)

Realizar los análisis del tránsito aéreo es tener en cuenta la frecuencia en que lo hacen las aeronaves, carga y tipo de aeronaves que operan y puedan operar en el período de diseño proyectado, debiendo realizar las salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño según la metodología empleada por la FAA, en relación con otros métodos como son los estadísticos tradicionales, los cuales, posteriormente, serán empleados en el diseño de pavimentos y demás elementos de la infraestructura aeroportuaria. (Perú, 2014)

Se deberá revisar la aeronave crítica indicada en el contrato de concesión y todas sus implicancias económicas y operacionales que implica la rehabilitación de los pavimentos del Lado Aire.

La proyección del tráfico (pasajeros, carga y aeronaves) previstas en el plan maestro; sin embargo, el consultor deberá realizar sus propias proyecciones utilizando metodologías adecuadas que le permitan comparar sus resultados y justificar sus proyecciones para el presente proyecto toda vez que las proyecciones del plan maestro son del 2007.

Se realiza el diseño de todos los componentes que conforman el PRMLA como son los pavimentos del Lado Aire para aeronaves y vehículos, los sistemas de drenajes, las señalizaciones que conforman las franjas y zonas de seguridad (paisajismo), la complementación del cerco perimétrico y trocha carrozable y demás elementos que se identifiquen y sean necesarios incorporar como parte de los PRMLA.

Para el diseño de los pavimentos del aeropuerto se empleó el programa FAARFIELD de la FAA que se basa en la metodología de la circular AC N° 150/5320-6E. Se empló para el diseño la información de la última evaluación de pavimentos realizada por AdP el año 2013 y la topografía realizada por AdP a inicios de la concesión

Se deberá tomar en cuenta la identificación de canteras, el transporte de materiales y la logística que demanda el proyecto considerando las particularidades de cada ciudad donde se encuentran los aeropuertos.

A nivel regional

Según (Aeropuertos del Perú, 2013) (Del et al., 2013)“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PISTAS Y CERCO PERIMÉTRICO DEL AEROPUERTO JOSÉ ABELARDO QUIÑONES DE CHICLAYO” este Aeropuerto ha tenido intervenciones para el mejoramiento de los servicios a pasajero, servicios de seguridad y servicio a aeronaves; dichas intervenciones denominadas Obras de Rápido Impacto y Obras de Seguridad, forman parte de las obras comprometidas

dentro del Contrato de Concesión. Dichas obras por su envergadura representaron acciones que requerían un nivel de intervenciones urgentes, las cuales se realizaron a partir del año 2009.(Aeropuertos del Perú, 2013).

Se llegó a estas conclusiones el proyecto debe realizarse para atender los requerimientos de los usuarios nacionales e internacionales y promover mayores oportunidades de desarrollo aeroportuario, lo cual a su vez contribuirá con el mayor nivel de desarrollo socio-económico de la población de dicha región y del país. El proyecto es sostenible, toda vez que cuenta con una adecuada gestión por parte del concesionario lo cual permitirá alcanzar los indicadores de verificación y cubrir los costos operativos y de mantenimiento, a través de los beneficios sociales generados y con el adecuado seguimiento y supervisión por el MTC y el OSITRAN.(Aeropuertos del Perú, 2013).

1.3. Teorías relacionadas al tema

LOS CINCO PRINCIPIOS.

Las vías públicas son un espacio que todo debemos compartir. Todos los que las usamos debemos ser conscientes de ello y debemos adoptar conductas que nos ayuden a usarlas de una forma segura, cómoda y fluida.

Estas conductas deseables deben estar regidas por una serie de principios fundamentales, los cuales vamos a estudiar a continuación.

Principio de responsabilidad

Todos los usuarios de la vía pública asumen la responsabilidad de cumplir la normativa existente, evitando ser un peligro u obstáculo para los demás usuarios, adoptando un comportamiento adecuado en cada momento y asumiendo las consecuencias de sus actos. Aunque todos los principios que vamos a tratar son importantes, este lo es posiblemente más, ya que si no somos conscientes de la responsabilidad que asumimos cuando usamos las vías públicas y efectivamente la asumimos, la circulación sería un caos y supondría un gran peligro para todos.

Principio de confianza en la normalidad del tráfico

Todos los usuarios de la vía pública que se comporten siguiendo el principio de responsabilidad y por lo tanto cumplan las normas de tráfico, tiene el derecho de esperar que los demás usuarios también las cumplan y por lo tanto hagan uso adecuado de ellas. Por ende este principio nos diría "Ten confianza que, en general todos van a cumplir lo establecido".

No obstante, a pesar de lo establecido por este principio, todos los usuarios deben prever los comportamientos defectuosos de los demás, como veremos en el principio siguiente.

Principio de la seguridad o de la defensa

En determinadas circunstancias, el principio de seguridad o de la defensa, se antepone al de confianza. Nadie debe confiar ilimitadamente en que los demás usuarios cumplan al pie de la letra las normas reglamentarias, en casos excepcionales, algún usuario puede tener un inesperado cambio de actitud y tener un comportamiento contrario a las normas. Este principio, por lo tanto, nos obliga a prever un comportamiento contrario a las normas de circulación para evitar daños y a circular por las vías públicas defensivamente, es decir contando con la eventual imprudencia de los demás participes en el tráfico.

Este principio es por lo tanto el complemento del *"de confianza"* y de él se deriva una de las normas esenciales de la circulación, la prudencia.

Principio de conducción dirigida

Este principio nos dice que los conductores deben ser dueños del movimiento del su vehículo en todo momento. Nos obliga pues, a concentrar toda nuestra atención y nuestra conciencia a la actividad de conducir, sin distracciones que nos haga perder el dominio sobre nuestro vehículo y por lo tanto provocar daños a los demás usuarios.

Principio de señalización

La norma general de circulación indica que se debe circular por la derecha. Este principio dice que si existe un obstáculo que impida el paso o altere o limite esta regla, debe estar convenientemente señalizado.

Como se ve este principio es complementario al de *confianza* ya que si no existe ninguna señal que indique alguna alteración de la normal circulación el conductor circulará con la confianza de que no hay ningún obstáculo y si lo hubiera, estaría señalizado. (Escuela de Educación Vial San Sebastian de los Reyes, 2014)

1.3.1. Variable dependiente

A. Aeropuertos y configuraciones de pistas

La Naturaleza de la infraestructura de un aeropuerto, son las pistas de aterrizaje, las calles de rodaje, apartaderos y hangares, los cuales se puede disponer cualquier tipo de estructura de pavimento.(Quintero Gonzáles, 2009).

- Aeropuertos
- Pistas
- Calles de rodaje
- Apartaderos de estacionamiento
- Apartaderos de espera
- Hangares
- Plataformas

A.1. Aeropuertos.

Es un Terminal para pasajeros de las aerolíneas y para el trans0porte de mercancías, cuentan con pistas de aterrizaje pavimentadas de uno o varios kilómetros de extensión, calles de rodaje, terminales de pasajeros y carga, plataformas de estacionamiento y hangares de mantenimiento.(Quintero Gonzáles, 2009).

A.2. Pistas.

Es la parte esencial en un aeródromo preparada para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves.(Quintero Gonzáles, 2009).

A.3. Calles de rodaje.

Son los que constituyen ángulos rectos con las pistas, con el objetivo que la aeronave desacelere para que logre llegar con una mínima velocidad previamente que pueda voltear.

Está diseñada para lograr altas velocidades de giro reduciendo el período de ocupación de pista para una aeronave de aterrizaje.(Quintero Gonzáles, 2009).

A.4. Plataformas

Es el área destinada a dar cabida a las aeronaves mientras se llevan a cabo las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros o mercancías, así como otras operaciones de atención a la aeronave. Su función es de embarque, carga, descarga, etc. Se realizan cálculos para el diseño para el espesor de la plataforma, así como sobre la operación de aeronaves en la misma.(Quintero Gonzáles, 2009)

A.5. Hangares

Es un lugar utilizado para almacenar aeronaves, generalmente de grandes dimensiones y está situado en los aeródromos.

B. Aeronaves

La aeronave es un vehículo con suficiente capacidad de carga que puede moverse a través del aire, sustentado por su propia fuerza ascensional, o bien por la acción dinámica del aire contra sus superficies

B.1.1. Clases de aeronaves

Existen diferentes tipos de aeronaves, las cuales se pueden clasificar de acuerdo al tipo de actividades de aviación que se realiza cada aeronave en particular, de forma análoga a la clasificación de aeropuerto ya estudiada.

- Aviación General
- Aviación Comercial
- Aviación Militar

Aviación general

Figura 4. Centurión 210.
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Figura 5. Citation X
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Figura 6. Airbus 380
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Aviación comercial

Figura 7. Boeing 747
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales.

Figura 8. Boeing 747
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Figura 9. Condorde
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Aviación militar

Figura 10. Hércules FAP
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Figura 11. KC 10 USA AF
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

Figura 12. Mirage 2000N
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

C. Características físicas

C.1. Clave de referencia del aeródromo.

El objetivo es proporcionar un método simple para relacionar entre sí las numerosas especificaciones concernientes a las características de los aeródromos, a fin de suministrar una serie de instalaciones aeroportuarias que convengan a los aviones destinados a operar en el aeródromo. La clave está compuesta de dos elementos que se relacionan con las características de funcionamiento y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud de campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal.(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a).

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Núm. de clave	Longitud de campo de referencia del avion	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal[a]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

a. Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Figura 13. Clave de referencia de aeródromo
Fuente: Manual de diseño de aeródromos (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a).

C.2. Ancho de la pista

De la siguiente tabla disponen los anchos mínimos de pista consideradas necesarias para garantizar la seguridad operacional.

Los factores que influyen en el ancho de la pista son:

- Desviación de la aeronave fuera del eje al momento de tomar contacto.
- Condición de viento de costado.
- Contaminación de la superficie de la pista (p. ej., lluvia, nieve, nieve fundente o hielo).
- Depósitos de caucho.
- Aproximaciones en vuelo diagonal para aterrizaje con condiciones de viento transversal.
- Velocidades de aproximación empleadas;
- Visibilidad
- Factores humanos.

Tabla 1.
Ancho de la pista

Núm. De clave	LETRAS CLAVE					
	A	B	C	D	E	F
1°	18	18	23	-	-	-
2°	23	23	30	-	-	-
3°	30	30	30	45	-	-
4°	-	-	45	45	45	60

Fuente: OACI.(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a)

Los estudios en simulador de despegues interrumpidos en pistas contaminadas, con falla de un motor y condiciones de viento transversal, así como las observaciones reales efectuadas en muchos aeropuertos, indican que el ancho de pista especificadas para cada clave de referencia de aeródromo son necesarias desde el punto de vista operacional.(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a).

C.3. Viento

La elección de los datos debe basarse en estadísticas confiables de la distribución de los vientos, que abarquen un período tan largo como sea posible, preferiblemente no menor de cinco años. (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006b)

Normalmente, las estadísticas sobre los vientos utilizadas para calcular el coeficiente de utilización vienen clasificadas por grupos según la velocidad y dirección. Se utiliza una distribución uniforme, ya que, respecto a la pista orientada más favorablemente, esto suele traducirse en una cifra ligeramente conservadora del coeficiente de utilización.

La pista principal debe estar orientada en la dirección del viento predominante. Todas las pistas deberían orientarse de modo que las zonas de aproximación y de despegue se encuentren libres de obstáculos y, preferentemente, de manera que las aeronaves no vuelen directamente sobre zonas pobladas(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a)

Cuanto mayor sea el viento de frente que sopla en una pista, más corta será la longitud de pista que requerirá un avión para despegar o aterrizar. Por el contrario, el viento de cola aumenta la longitud de pista requerida.

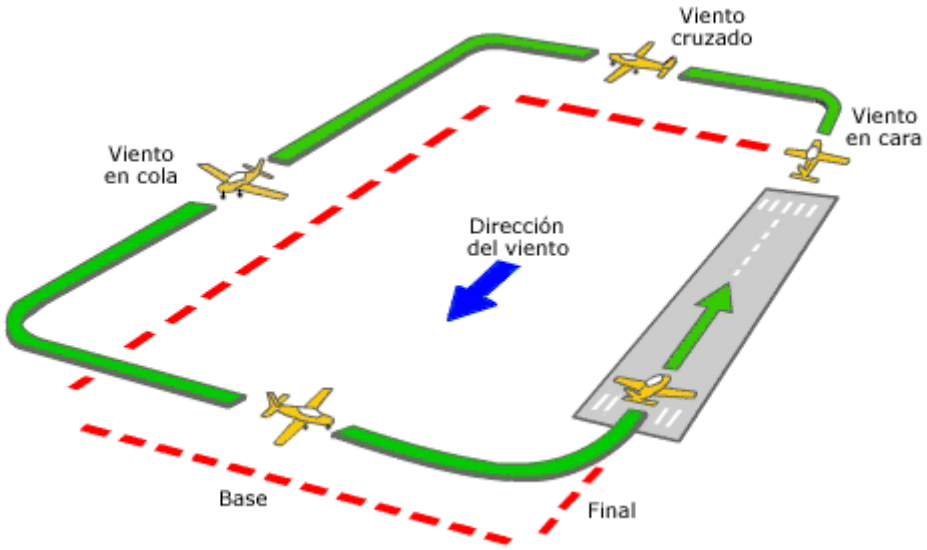


Figura 14. Clases de viento
Fuente. (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006b)

El viento es un factor clave que influye en la orientación de la pista y el número de pistas. Idealmente, una pista debe alinearse con el viento predominante.

Las condiciones del viento afectan a todas las aeronaves en diferentes grados. Generalmente, cuanto más pequeño es el avión, más se ve afectado por el viento, particularmente por los componentes de viento cruzado que a menudo es un factor contribuyente en los accidentes de aviones pequeños.

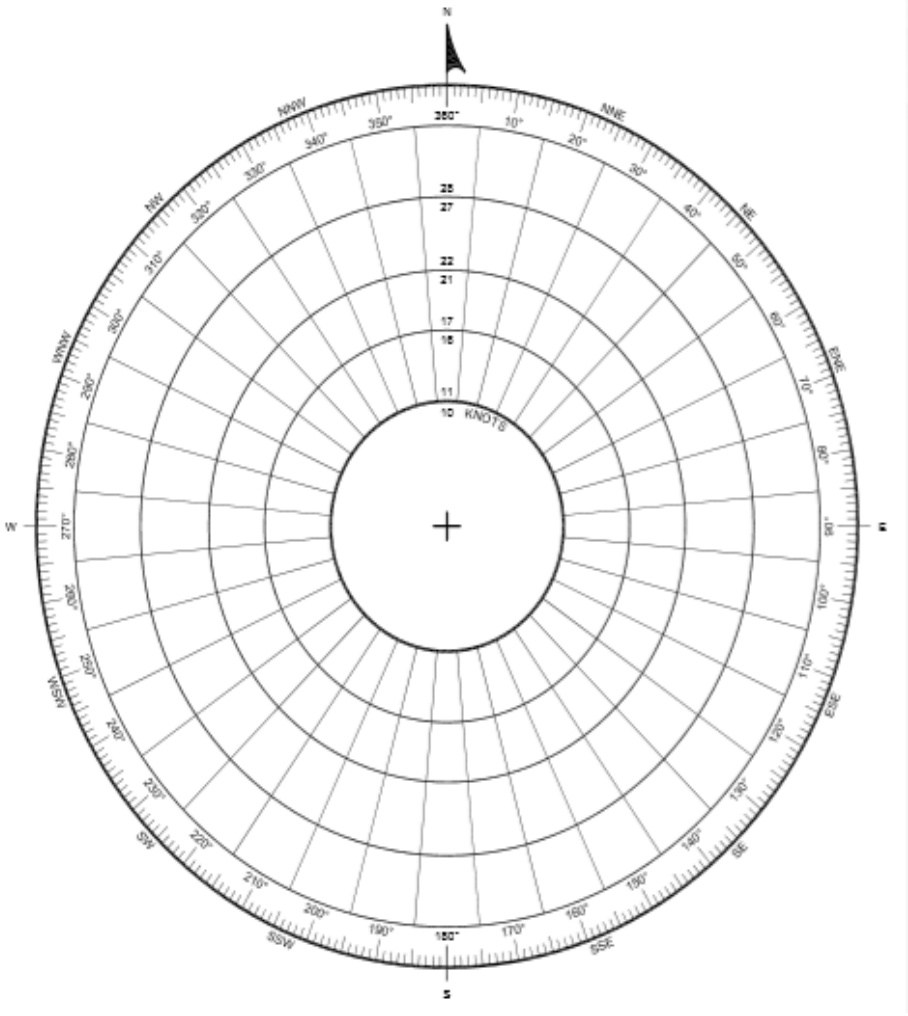


Figura 15. Rosa de viento
Fuente. (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006b)

C.4. Pendiente.

C.4.1. Pendientes longitudinales

La pendiente obtenida al dividir la diferencia entre la elevación máxima y la mínima a lo largo del eje de la pista, por la longitud de ésta

- 1%, cuando el número de clave sea 3 ó 4.
- 2%, cuando el número de clave sea 1 ó 2.

C.4.2. Pendiente transversal

El manual de aeródromos OACI recomienda para facilitar la rápida evacuación del agua, la superficie de la pista, en la medida de lo posible,

debería ser convexa, excepto en los casos en que exista una pendiente transversal única que descienda en la dirección del viento que acompaña a la lluvia con mayor frecuencia, que asegure el rápido drenaje de aquélla. La pendiente transversal ideal debería ser de (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006b).

- 1,5%, cuando la letra de clave sea C, D, E o F.
- 2%, cuando la letra de clave sea A o B;

Pero, en todo caso, no deberá exceder del 1,5 ó 2%, según corresponda, ni ser inferior al 1%, salvo en las intersecciones de pistas o de calles de rodaje en que se requieran pendientes más planas .(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a).

C.5. Factores del medio ambiente.

Para las características topográficas del aeródromo y de sus inmediaciones se deben considerar:

a) El cumplimiento de las disposiciones relativas a las superficies limitadoras de obstáculos.

b) La utilización de los terrenos en la actualidad y en el futuro. Su orientación y trazado deberían elegirse de forma que, en la medida de lo posible, se protejan las zonas especialmente sensibles, tales como las residenciales, escuelas y hospitales contra las molestias causadas por el ruido de las aeronaves.(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006b).

1.3.2. Variable independiente

A. Pavimentos para aeropuertos

La Federal Aviation Administration - FAA es la autoridad nacional de los Estados Unidos su función es para regular todos los aspectos de la aviación civil esto incluye diseño, construcción y operación de aeropuertos. Los Pavimentos de aeropuertos se construyen para proporcionar un soporte

adecuado para las cargas impuestas por las aeronaves.(U.S. Department of Transportation, 1995).

Para cumplir satisfactoriamente con estos requisitos, el pavimento debe tener una calidad y un espesor tal que no fallará bajo la carga impuesta por la aeronave. Además, debe poseer suficiente estabilidad para soportar, sin daños, la acción abrasiva del tráfico, las condiciones climáticas adversas y otras influencias que se deterioran. Para producir tales pavimentos se requiere una coordinación de muchos factores de diseño, construcción e inspección para asegurar la mejor combinación posible de materiales disponibles y un alto nivel de mano de obra. Los pavimentos que utiliza esta metodología son de asfalto flexible, rígido y también puede ser de varias combinaciones de tipos de pavimento y capas estabilizadas.(U.S. Department of Transportation, 1995)

A.1. Composición de pavimentos

A.1.1. Subrasante.

Es aquel suelo que forma la base del pavimento. Es el suelo directamente debajo de la estructura del pavimento.(U.S. Department of Transportation, 1995).

A.1.2. Subbase.

La subbase consisten es un material granular, un material granular estabilizado o Suelo estabilizado.(U.S. Department of Transportation, 1995).

A.1.3. Base.

La base consiste en una variedad de materiales diferentes que generalmente se dividen en dos clases principales, tratadas y no tratadas. Las bases no tratadas consisten en agregados triturados o no triturados. Las bases tratadas normalmente consisten en un agregado triturado o no triturado que se ha mezclado con un estabilizador como cemento, betún, etc.(U.S. Department of Transportation, 1995)

A.1.4. Superficie.

La superficie puede ser de concreto, asfalto de mezcla caliente, mezcla de arena-bituminosa y tratamientos de superficie de asfalto rociado.(U.S. Department of Transportation, 1995)

B.Investigación y estudio de suelos.

Las condiciones del suelo incluyen elementos tales como el alto nivel freático, la presencia de estratos que contienen agua y las propiedades de campo del suelo. Se debe tener en cuenta que suelo de subsuelo es la última instancia que proporciona soporte para el pavimento y las cargas impuestas; el pavimento sirve para distribuir la carga impuesta al subsuelo sobre un área mayor que la del área de contacto del neumático, en cuanto mayor es el espesor del pavimento, mayor es el área sobre la cual se distribuye la carga en la subrasante.; De ello se deduce, que cuanto más inestable es el suelo de subrasante, mayor es el área requerida de distribución de la carga y, por consiguiente, mayor es el espesor requerido del pavimento.(U.S. Department of Transportation, 1995).

B.1. Investigación de suelos

Para proporcionar información esencial sobre los diversos tipos de suelos, se realizó investigaciones para determinar su distribución y propiedades físicas.

Esta información, combinada con los datos sobre la topografía del sitio y los registros climáticos del área, proporciona material básico de planificación esencial para el desarrollo lógico y efectivo del aeropuerto.

B.2. Pruebas de resistencia de suelo.

La resistencia de los materiales destinados al uso en estructuras de pavimento flexibles se mide mediante las pruebas de (CBR).

De acuerdo a la metodología (U.S. Department of Transportation, 1995) un material con un valor CBR de 10 significa que el material en cuestión ofrece el 10% de la resistencia a la penetración que ofrece la piedra triturada estándar.

C. Diseño de pavimento por la metodología FAA

La metodología en su circular AC 150/5320-6D presenta dos procedimientos para el diseño de pavimento para aeropuertos que prestan servicio a aeronaves con un peso bruto de 30,000 libras (13 000 kg) o más y el diseño de pavimentos que sirven a aviones más livianos con pesos brutos de menos de 30,000 libras (13 000 kg).(U.S. Department of Transportation, 1995)

Esta metodología (U.S. Department of Transportation, 1995) se desarrolla a base de curvas de diseño por el método CBR para pavimentos flexibles y en un análisis de tensión de bordes articulados para pavimentos rígidos.

El método de diseño CBR es básicamente empírico; sin embargo, se ha realizado una gran cantidad de investigación con el método y se han desarrollado correlaciones confiables. Las configuraciones de engranajes se relacionan utilizando conceptos teóricos, así como datos desarrollados empíricamente. Las curvas de diseño proporcionan el espesor total requerido del pavimento flexible (superficie, base y subbase) necesario para soportar un peso dado de la aeronave en una rasante particular. Las curvas también muestran el espesor de superficie requerido. (U.S. Department of Transportation, 1995)

Las curvas de diseño de pavimento rígido se basan en el análisis de Westergaard de losas cargadas con bordes; el espesor del pavimento determinado a partir de las curvas es solo para el espesor de la losa. Los espesores de subbase se determinan por separado.(U.S. Department of Transportation, 1995)

C.1. Consideraciones

El pavimento de un aeródromo y la aeronave en operación representan un sistema interactivo que debe abordarse en el proceso de diseño del pavimento. Las consideraciones de diseño asociadas con la aeronave y el pavimento deben reconocerse para producir un diseño satisfactorio.

Los pavimentos están diseñados para proporcionar una vida finita y se anticipan límites de fatiga.

La construcción deficiente y la falta de mantenimiento preventivo generalmente acortan la vida útil incluso del pavimento mejor diseñado.

C.1.1. Variables para el diseño

Los pavimentos están sujetos a una amplia variedad de cargas y efectos climáticos por este motivo, la determinación del espesor del pavimento debe basarse en el análisis teórico de la distribución de la carga a través de los pavimentos y suelos, el análisis de los datos experimentales del pavimento y un estudio del rendimiento de los pavimentos en condiciones reales de servicio..(U.S. Department of Transportation, 1995)

Los pavimentos diseñados de acuerdo con (U.S. Department of Transportation, 1995) como objetivo proporcionar una vida útil estructural de 20 años sin ningún mantenimiento importante si no se encuentran cambios importantes en el tráfico previsto.

C.1.2. Diseño estructural

El diseño estructural de los pavimentos del aeropuerto consiste en determinar tanto el espesor total del pavimento como el espesor de las partes componentes del pavimento.

C.1.3. Consideraciones de las aeronaves

C.1.3.1. Carga

El método (U.S. Department of Transportation, 1995)de diseño del pavimento se basa en el peso bruto de la aeronave. Para propósitos de diseño, el pavimento debe estar diseñado para el peso máximo anticipado de despegue de la aeronave. El procedimiento de diseño asume que el 95 por ciento del peso bruto es transportado por los trenes de aterrizaje principales y el 5 por ciento es llevado por el tren de punta.

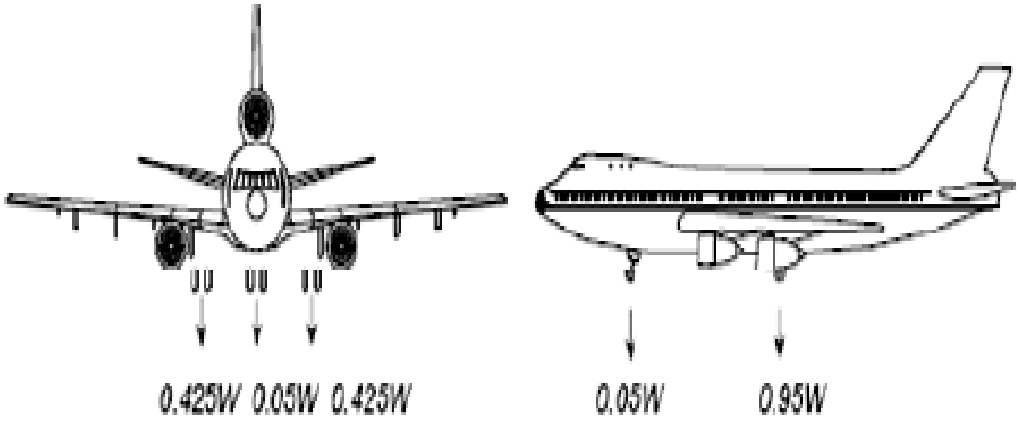


Figura 16. Distribución de peso bruto de aeronave.
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales

-

Se recomienda el uso del peso máximo de despegue previsto para proporcionar cierto grado de conservación en el diseño y se justifica por el hecho de que a menudo pueden ocurrir cambios en el uso operacional y el reconocimiento del hecho de que el tráfico de pronóstico es, en el mejor de los casos, aproximado.

C.1.3.2. Tipo de tren de aterrizaje y geometría.

C.1.4. Tren de aterrizaje.

La repartición de los neumáticos en cada pata del tren principal de un avión comercial se hace de acuerdo a tres clases de apoyo:

- Simple
- Doble
- Tándem doble

Entre los aviones comerciales comunes, que poseen sistema simple el DC3, doble el DC4, DC6, DC9, B717 y B737 y tándem doble el DC8, B707, B720 y B767.

Figura 17. Simple
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales.

Figura 18. Doble
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales.

Figura 19. Tándem doble
Fuente: Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeródromos – Ing. Julián Rodrigo Quintero Gonzales.

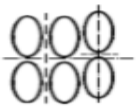
Gear Designation	Gear Designation	Airplane Example
S	Single	Sngl Whl-45
D	Dual	B737-100
2S	2 Singles in Tandem	C-130
2D	2 Duals in Tandem	B767-200
3D	3 Duals in Tandem	B777-200
2T	 Two Triple Wheels in Tandem	C-17A

Figura 20. *Tipo de tren de aterrizaje.*
Fuente: (U.S. Department of Transportation, 2009)

.

C.1.4.1. Volumen de tráfico.

Para (U.S. Department of Transportation, 1995) las previsiones de salidas anuales por tipo de avión son necesarias para el diseño del pavimento. La información sobre las operaciones de la aeronave está disponible en Planes maestros del aeropuerto y entidades encargadas.(U.S. Department of Transportation, 1995).

D. Determinación de la aeronave de diseño

El pronóstico de las salidas anuales por tipo de aeronave dará como resultado una lista de una serie de aeronaves diferentes.

El avión de diseño debe seleccionarse sobre la base del que requiere el mayor espesor de pavimento.

Se debe verificar cada tipo de aeronave en el pronóstico para determinar el espesor del pavimento requerido utilizando la curva de diseño apropiada con el número de previsiones de salidas anuales para ese avión. El tipo de aeronave que produce el mayor espesor de pavimento es el avión de diseño. El avión de diseño no es necesariamente el avión más pesado en el pronóstico.(U.S. Department of Transportation, 1995)

E. Determinación de salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño

Dado que la previsión de tráfico es una mezcla de una variedad de aeronaves que tienen diferentes tipos de trenes de aterrizaje y diferentes pesos, los efectos de todo el tráfico deben considerarse en términos de la aeronave de diseño, todas las aeronaves deben convertirse al mismo tipo de tren de aterrizaje que las aeronaves de diseño.(U.S. Department of Transportation, 1995)

La metodología ha establecido factores para lograr esta conversión. Estos factores son constantes y se aplican tanto a los pavimentos flexibles como a los rígidos.

Tabla 2.
Factores de conversión

To Convert From	to	multiply departures by
single wheel	dual wheel	0.8
single wheel	dual tandem	0.5
dual wheel	dual tandem	0.6
double dual tandem	dual tandem	1
dual tandem	single wheel	2
dual tandem	dual wheel	1.7
dual wheel	single wheel	1.3
double dual tandem	dual wheel	1.7

Fuente. *FAA AC150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Estados Unidos: 1995.*(U.S. Department of Transportation, 1995)

En segundo lugar, una vez que la aeronave se ha agrupado en la misma configuración del tren de aterrizaje, la conversión a salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño debe determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$\log(x) = \log R2\ x \left(\frac{w2}{w1}\right)^{0.5}$$

Donde:

R1: Salidas anuales equivalentes del avión de diseño.

R2: Salidas con el tren de la aeronave de cálculo.

W2: Carga por rueda de los aviones

W1: Carga por rueda del avión de cálculo.

Para este cálculo el método (U.S. Department of Transportation, 1995) supone que el 95 por ciento del peso bruto de la aeronave es transportado por los trenes de aterrizaje principales. Las aeronaves de cuerpo ancho requieren especial atención en este cálculo. El procedimiento descrito anteriormente es una clasificación relativa que compara diferentes aeronaves con una aeronave de diseño común. Como los aviones de fuselaje ancho tienen separaciones de ensambles de trenes de aterrizaje significativamente diferentes a las de otros aviones, se necesitan consideraciones especiales para mantener los efectos relativos. Esto se hace tratando cada cuerpo ancho como un avión doble tándem de 300,000 libras (136 100 kg) al calcular salidas anuales equivalentes. Esto debe hacerse en todos los casos, incluso cuando el avión de diseño es un cuerpo ancho. Después de que se determinen las salidas anuales equivalentes, el diseño debe proceder utilizando la curva de diseño apropiada para el avión de diseño. (U.S. Department of Transportation, 1995).

La (U.S. Department of Transportation, 1995) dice si un avión ancho es el avión de diseño, todas las salidas equivalentes deben calcularse como se describe anteriormente; luego, la curva de diseño para el cuerpo ancho debe usarse con las salidas anuales equivalentes calculadas.

F. Secciones típicas

Los pavimentos del aeropuerto se construyen generalmente en secciones uniformes, de ancho completo. Las pistas pueden construirse con una sección variable transversal, si es práctico. Una sección variable permite una reducción en la cantidad de materiales requeridos para las capas superiores de pavimentación de la pista. (U.S. Department of Transportation, 2009)

Los planos típicos y los planos de sección para pavimentos de pista de sección variable transversal se muestran en la siguiente figura.

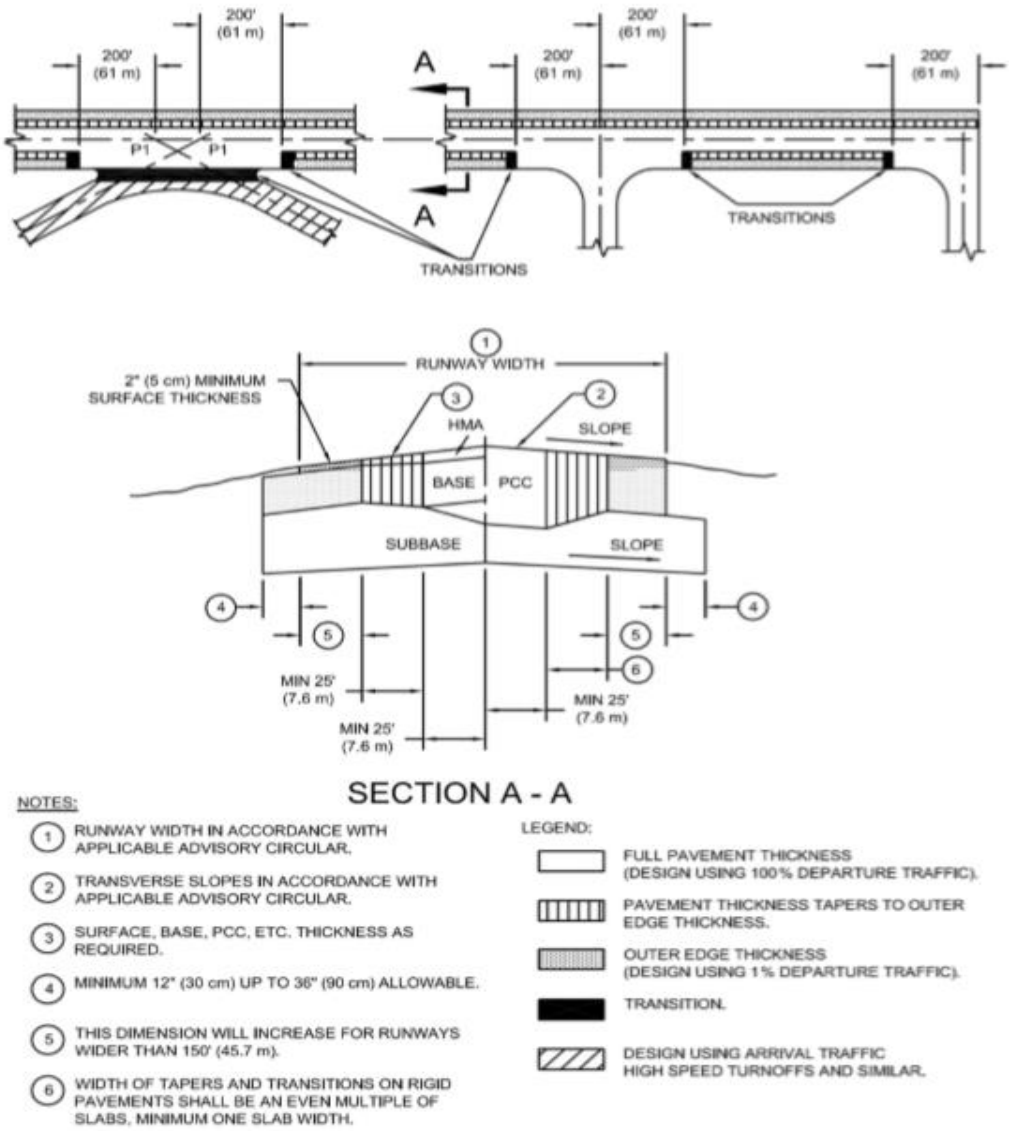


Figura 21.Secciones típicas del pavimento
Fuente: AC 150/53200 – 6D

G. Diseño de pavimento flexible

Los pavimentos flexibles consisten en una superficie de desgaste de asfalto de mezcla caliente colocada en una base y, cuando es requerido por las condiciones de subrasante, una subbase. La estructura del pavimento flexible está soportada en última instancia por la subrasante; Para algunas aeronaves, la base y la subbase deben construirse con materiales estabilizados. (U.S. Department of Transportation, 1995).

G.1. Superficie de asfalto de mezcla caliente.

Las superficies de asfalto de mezcla caliente deben evitar la penetración de agua superficial en la base; proporcionar una superficie lisa y bien adherida, libre de partículas sueltas que puedan poner en peligro a las aeronaves o personas; resistir los esfuerzos cortantes inducidos por las cargas de los aviones; y proporcionar una textura de cualidades antideslizantes, pero no causar desgaste indebido en los neumáticos. Para cumplir con éxito estos requisitos, la superficie debe estar compuesta por mezclas de agregados y aglutinantes bituminosos que producirán una superficie uniforme de textura adecuada que posea la máxima estabilidad y durabilidad.(U.S. Department of Transportation, 2009)

G.2. Base

La base es el principal componente estructural del pavimento flexible. Tiene la función principal de distribuir las cargas de ruedas impuestas a la base del pavimento, la subbase y / o la subrasante, debe ser de tal calidad y espesor para evitar fallas en la subrasante, soportar las tensiones producidas en la propia base, resistir las presiones verticales que tienden a producir consolidación y dar como resultado la distorsión del rumbo superficial y resistir los cambios de volumen causados por las fluctuaciones en su contenido de humedad.(U.S. Department of Transportation, 2009)

G.3. Subbase

Se incluye una subbase como parte integral de la estructura del pavimento flexible en todos los pavimentos, excepto los de subrasante con un valor de CBR de 20 o más (generalmente suelos de tipo GW o GP). La función de la subbase es similar a la base. Sin embargo, dado que se retira más de la superficie y se somete a menores intensidades de carga, los requisitos de los materiales no son tan estrictos como para la base. En el desarrollo de los requisitos de espesor del pavimento, el valor CBR de la subbase es una variable.(U.S. Department of Transportation, 2009)

G.4. Subrasante

Los suelos de subrasante están sometidos a tensiones más bajas que los espesores de superficie, base y subbase. Las tensiones de subrasante se atenúan con la profundidad, y la tensión de subbase controladora está generalmente en la parte superior de la subrasante, a menos que existan condiciones inusuales.(U.S. Department of Transportation, 2009)

GEAR TYPE	GROSS WEIGHT Lb.	NON-COHESIVE SOILS Depth of Compaction, inch				COHESIVE SOILS Depth of Compaction, inch			
		100%	95%	90%	85%	95%	90%	85%	80%
S	30,000	8	8-18	18-32	32-44	6	6-9	9-12	12-17
	50,000	10	10-24	24-36	36-48	6	6-9	9-16	16-20
	75,000	12	12-30	30-40	40-52	6	6-12	12-19	19-25
D (incls. 2S)	50,000	12	12-28	28-38	38-50	6	6-10	10-17	17-22
	100,000	17	17-30	30-42	42-55	6	6-12	12-19	19-25
	150,000	19	19-32	32-46	46-60	7	7-14	14-21	21-28
	200,000	21	21-37	37-53	53-69	9	9-16	16-24	24-32
2D (incls. B757, B767, A-300, DC-10-10, L1011)	100,000	14	14-26	26-38	38-49	5	6-10	10-17	17-22
	200,000	17	17-30	30-43	43-56	5	6-12	12-18	18-26
	300,000	20	20-34	34-48	48-63	7	7-14	14-22	22-29
	400,000 – 600,000	23	23-41	41-59	59-76	9	9-18	18-27	27-36
2D/D1, 2D/2D1 (incls. MD11, A340, DC10-30/40)	500,000 – 800,000	23	23-41	41-59	59-76	9	9-18	18-27	27-36
2D/2D2 (incls. B747 series)	800,000	23	23-41	41-59	59-76	9	9-18	18-27	27-36
	975,000	24	24-44	44-62	62-78	10	10-20	20-28	28-37
3D (incls. B777 series)	550,000	20	20-36	36-52	52-67	6	6-14	14-21	21-29
	650,000	22	22-39	39-56	56-70	7	7-16	16-22	22-30
	750,000	24	24-42	42-57	57-71	8	8-17	17-23	23-30
2D/3D2 (incls. A380 series)	1,250,000	24	24-42	42-61	61-78	9	9-18	18-27	27-36
	1,350,000	25	25-44	44-64	64-81	10	10-20	20-29	29-38

Notes:

Figura 22. Suelos cohesivos y no cochesivos
Fuente: (International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006b)

G.5. Selección de valor CBR diseño.

Los suelos de subrasante suelen ser bastante variables y la selección de un valor CBR de diseño requiere un cierto juicio. Como regla general la metodología (U.S. Department of Transportation, 1995)el valor de CBR de diseño debe ser igual o inferior al 85% de todos los valores de CBR de subrasante.

G.6. Curvas de diseño

Debido a las diferencias en las características de distribución de esfuerzos, se han preparado curvas de diseño de pavimento flexibles separadas para varias configuraciones de engranajes que se presentan en las Figuras.

Inclusive los espesores determinados a partir de estas tablas de diseño son para bases y subbases granulares no tratadas.

Los efectos de las heladas y los materiales estabilizados deben manejarse por separado.

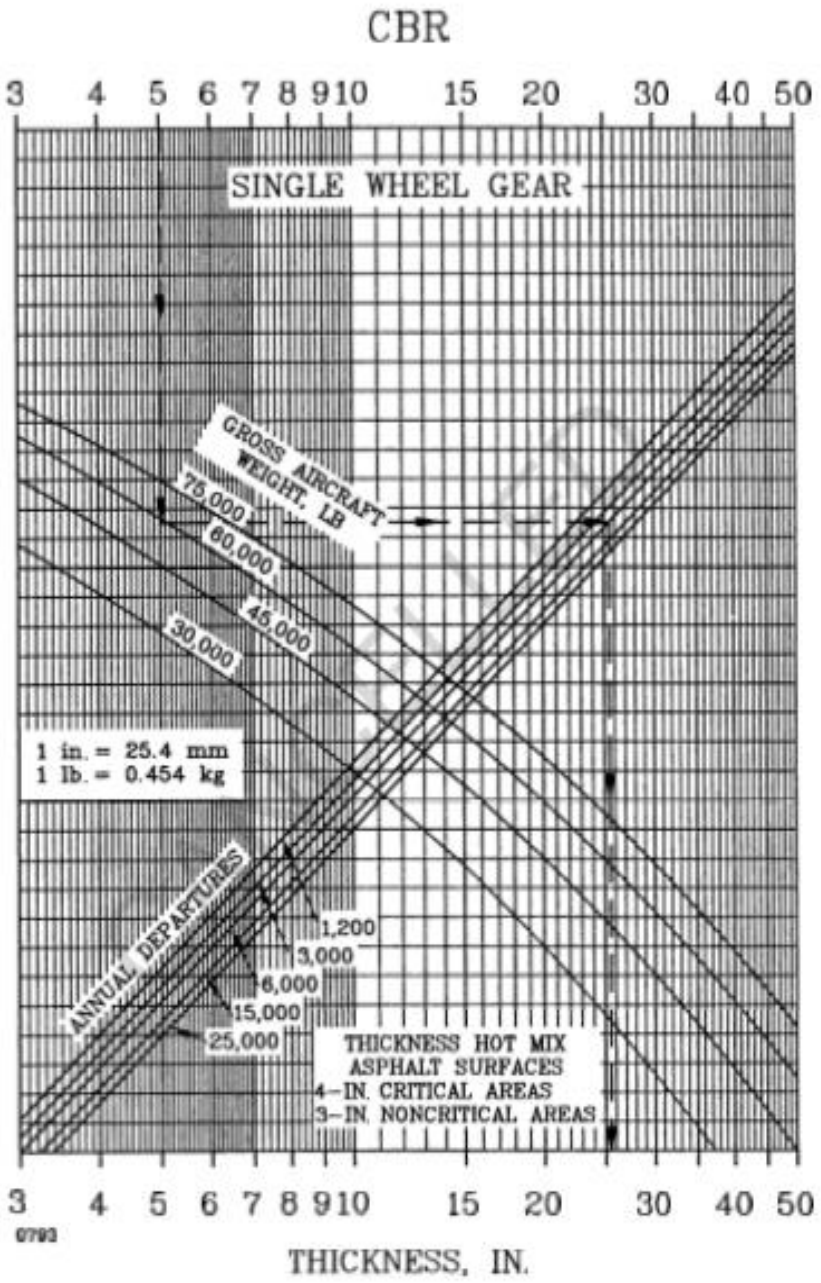


FIGURE 3-2 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, SINGLE WHEEL GEAR

Figura 23. Cálculo de espesor para el pavimento flexible.
Fuente: AC 150/3200 – 6D

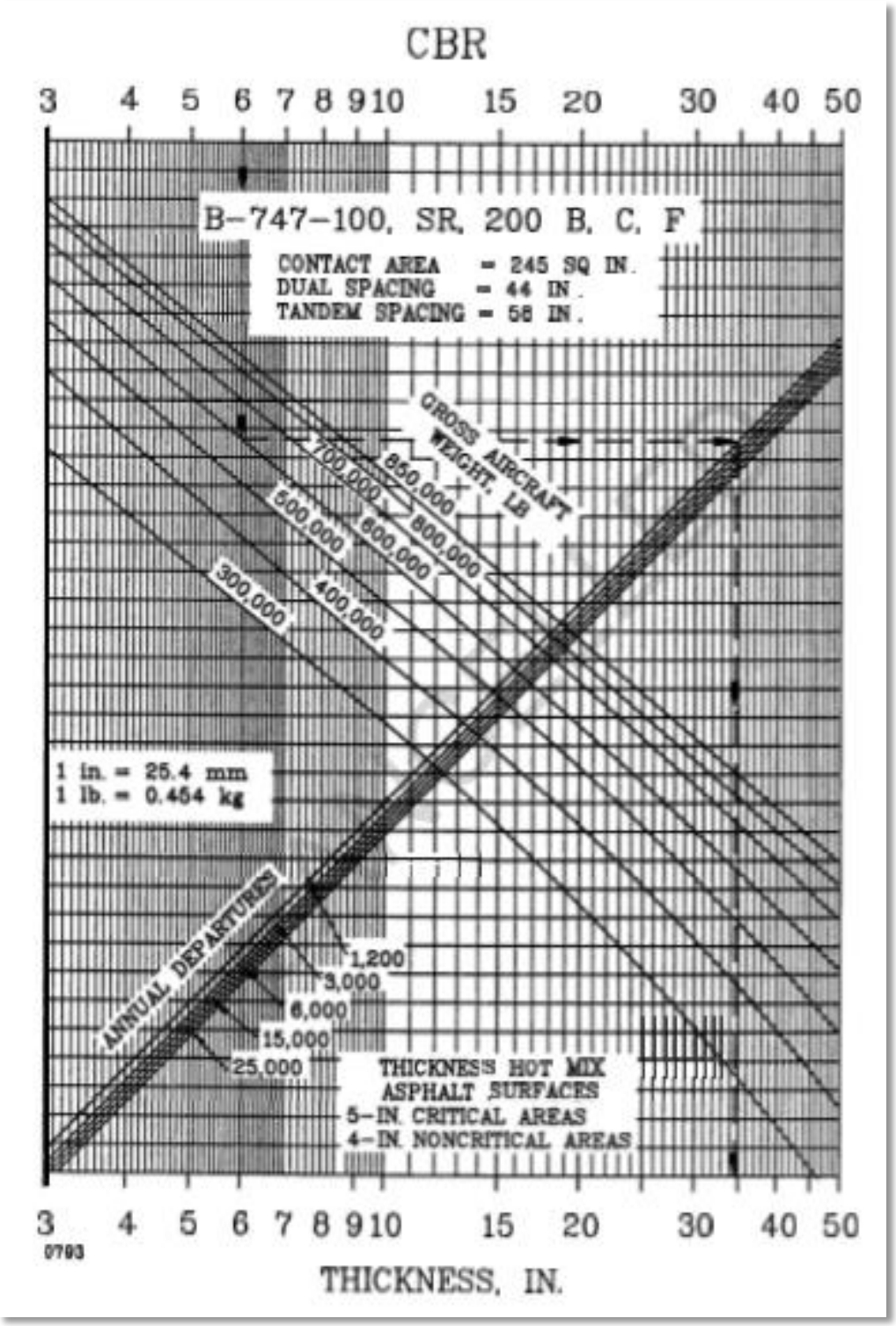


Figura 24. Cálculo de espesor para el pavimento flexible.
Fuente: AC 150/5320 – 6D

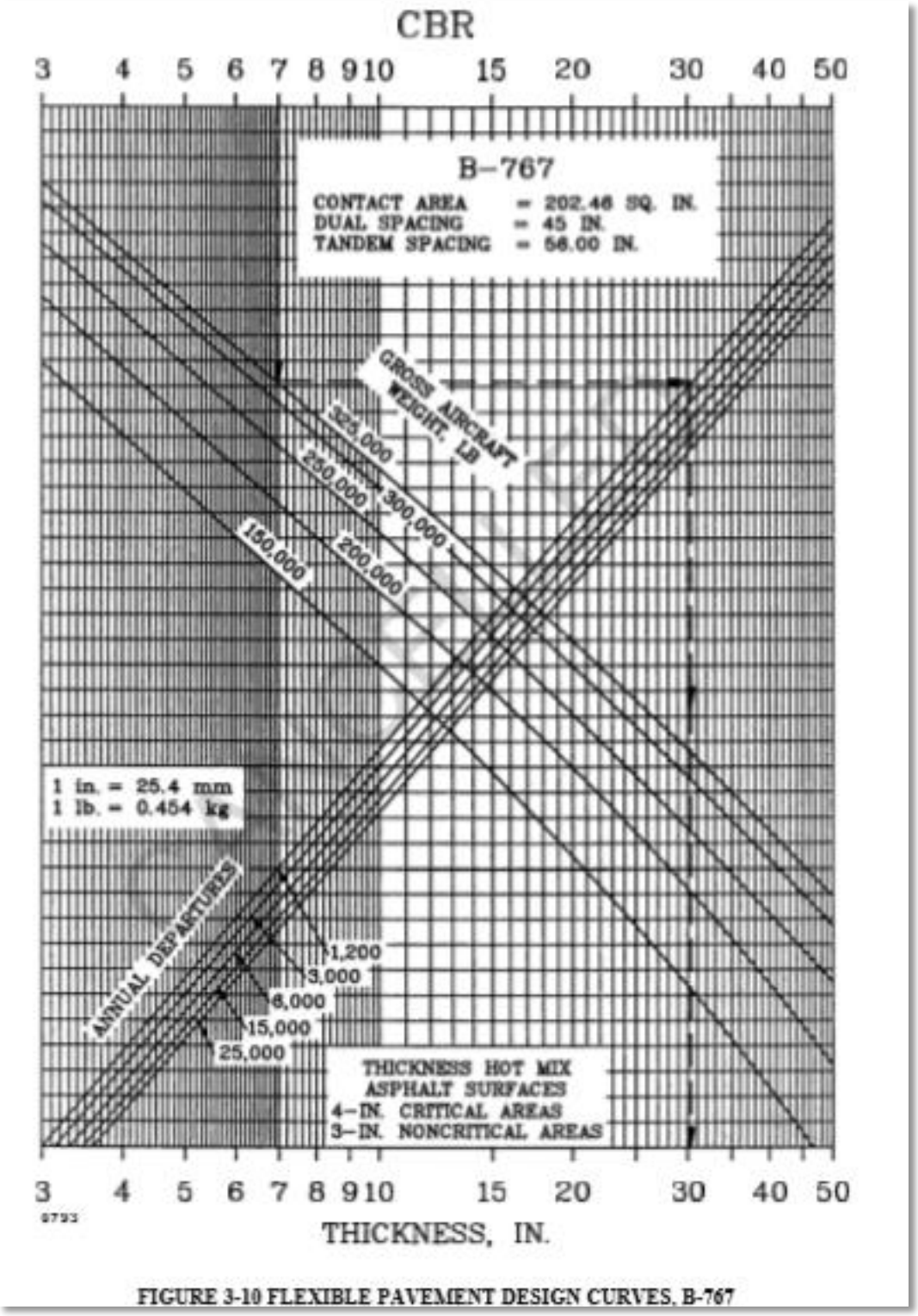


Figura 25. Cálculo de espesor para el pavimento flexible.
Fuente: AC 150/5300 – 6D(U.S. Department of Transportation, 1995)

G.7. Espesor mínimo de base

El uso de las curvas de diseño para pavimentos flexibles requiere un valor CBR para el material de subrasante, un valor CBR para el material de subbase, el peso bruto de la aeronave de diseño y el número de salidas anuales de la aeronave de diseño.

Para salidas anuales superiores a 25,000, el espesor total del pavimento debe aumentarse 1 pulgada (25 mm) del aumento de espesor debe ser una mezcla de asfalto en caliente; el aumento del espesor restante debe ser proporcionado entre la base y la subbase.

Tabla 3.
Espesor mínimo de la capa base.

Clase de aeronave	RANGO DE PESOS LBS			KG			Espesor minimo base in	mm
SINGLE WHEEL	30,000	-	50,000	13,600	-	22,700	4	100
	50,000	-	75,000	22,700	-	34,000	6	150
DUAL WHEEL	50,000	-	100,000	22,700	-	45,000	6	150
	100,000	-	200,000	45,000	-	90,700	8	200
DUAL TANDEM	100,000	-	200,000	45,000	-	90,700	6	150
	250,000	-	400,000	113,400	-	181,000	8	200
747	200,000	-	400,000	90,700	-	181,000	6	150
757					-			
DC-10	400,000	-	600,000	90,700	-	181,000	8	200
L1011					-			
B767	400,000	-	600,000	181,000	-	272,000	6	150
	600,000	-	850,000	272,000	-	385,700	8	200
C-130	75,000	-	125,000	34,000	-	56,700	4	100
	125,000	-	175,000	56,700	-	79,400	6	150

Fuente. *FAA AC 150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Estados Unidos: 199. (U.S. Department of Transportation, 1995).*

G.8. ÁREAS CRÍTICAS Y NO CRÍTICAS.

Las curvas de diseño presentadas en (U.S. Department of Transportation, 1995) se utilizan para determinar el espesor crítico total del pavimento, "T", y los requisitos de espesor de la superficie. El factor 0.9T para el pavimento no crítico se aplica la base y subbase; el espesor del recorrido de la superficie es como se indica en las curvas de diseño.

Para la sección variable de la sección de transición y el borde reducido, la reducción se aplica solo al rumbo base. El espesor de 0.7T para la base será el mínimo permitido. El espesor de la subbase se aumentará o variará para proporcionar un drenaje positivo de la superficie de la subrasante. Para fracciones de una pulgada de 0.5 o más, use el siguiente número entero más alto; por menos de 0.5, use el siguiente número entero más bajo.(U.S. Department of Transportation, 1995).

H. Diseño de pavimento rígido.

Los pavimentos rígidos para aeropuertos están compuestos de cemento portland colocado en una capa de subbase granular o tratado que se apoya en un subsuelo compactado. Bajo ciertas condiciones, no se requiere una subbase.(U.S. Department of Transportation, 1995)

H.1. Pavimento de concreto.

La superficie de concreto debe proporcionar una superficie antideslizante, evitar la infiltración de agua de la superficie y proporcionar soporte estructural.

H.2. Subbase

Según (U.S. Department of Transportation, 2009) la subbase bajo un pavimento rígido es proporcionar un soporte estable y uniforme para las losas del pavimento. Se requiere un espesor mínimo de 4 pulgadas (100 mm) de subbase en todos los pavimentos rígidos, se requiere una subbase estabilizada para todos los nuevos pavimentos rígidos diseñados para acomodar aeronaves que pesen 100,000 libras (45 400 kg) o más.

H.3. Subrasante.

Los materiales del subsuelo debajo de un pavimento rígido deben compactarse para proporcionar una estabilidad adecuada y un soporte uniforme como con el pavimento flexible; sin embargo, los requisitos de compactación para pavimentos rígidos no son tan estrictos como el pavimento flexible debido a la tensión del subsuelo relativamente menor.

Para suelos cohesivos utilizados en secciones de relleno, la caja entera se compactará a una densidad máxima del 90 por ciento.

Para los suelos no cohesivos utilizados en las secciones de relleno, las 6 pulgadas (150 mm) superiores del relleno deben compactarse a una densidad máxima del 100 por ciento, y el resto del relleno debe compactarse a una densidad máxima del 95 por ciento.

H.4. Determinación del módulo de fundación (k valor) para pavimento rígido.

Además del estudio de suelos y el análisis y la clasificación de las condiciones de la rasante, se requiere la determinación del módulo de cimentación para el diseño de pavimento rígido.

H.4.1. Determinación del valor de k para el subbase

El módulo de cimentación (valor k) debe asignarse al material directamente debajo del pavimento de concreto. Sin embargo, la metodología (U.S. Department of Transportation, 1995) recomienda que se establezca un valor de k para la subrasante y luego se corrija para tener en cuenta los efectos de la subbase.

El pavimento rígido no es demasiado sensible al valor de k y un error en la estimación de k no tendrá un gran impacto en el espesor del pavimento rígido.

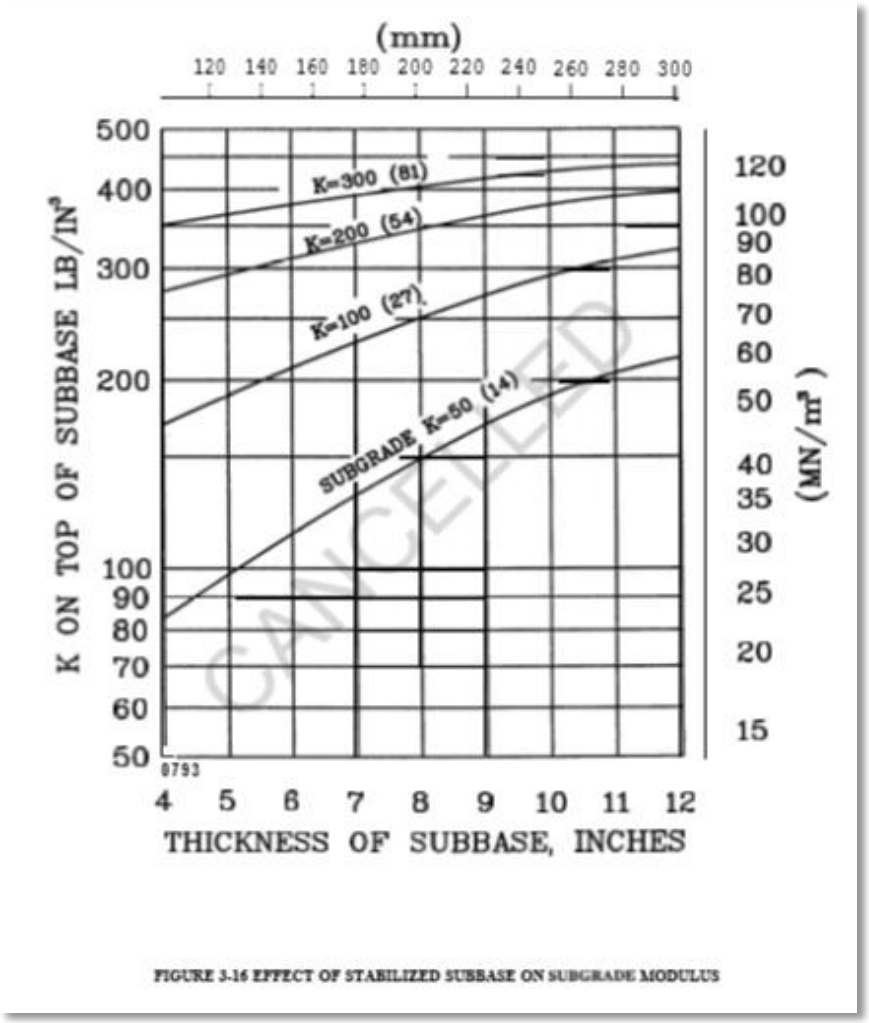


Figura 26. Espesor de la subbase
Fuente: AC 150/5320 6D (U.S. Department of Transportation, 1995)

H.5. Determinación del espesor de concreto

La FAA (U.S. Department of Transportation, 1995) realizaron curvas de diseño para pavimentos rígidos similares a los de pavimentos flexibles; es decir, curvas separadas para una variedad de tipos de trenes de aterrizaje y aeronaves. El uso de las curvas de diseño requiere cuatro parámetros de entrada de diseño: resistencia a la flexión del hormigón, módulo de subrasante, peso bruto de la aeronave de diseño y salida anual de la aeronave de diseño. Las curvas de diseño de pavimento rígido indican solo el espesor del concreto.

H.5.1. Resistencia a flexión de concreto.

El espesor requerido del pavimento de concreto está relacionado con la resistencia del concreto utilizado en el pavimento. La resistencia del concreto se evalúa por la resistencia a la flexión, ya que la acción primaria de una losa de pavimento de concreto es la flexión.

H.5.2. Valor k.

El valor k está en efecto, una constante de resorte para el material que soporta el pavimento rígido y es indicativo de la capacidad de soporte del material de soporte

H.5.3. Peso bruto de los aviones de diseño.

El peso bruto del avión de diseño se muestra en cada curva de diseño. Las curvas de diseño se agrupan de acuerdo con el tipo de conjunto del tren de aterrizaje principal o como curvas separadas para aeronaves individuales.

H.5.4. Salidas anuales del avión de diseño.

Se debe realizar con el método antes explicado.

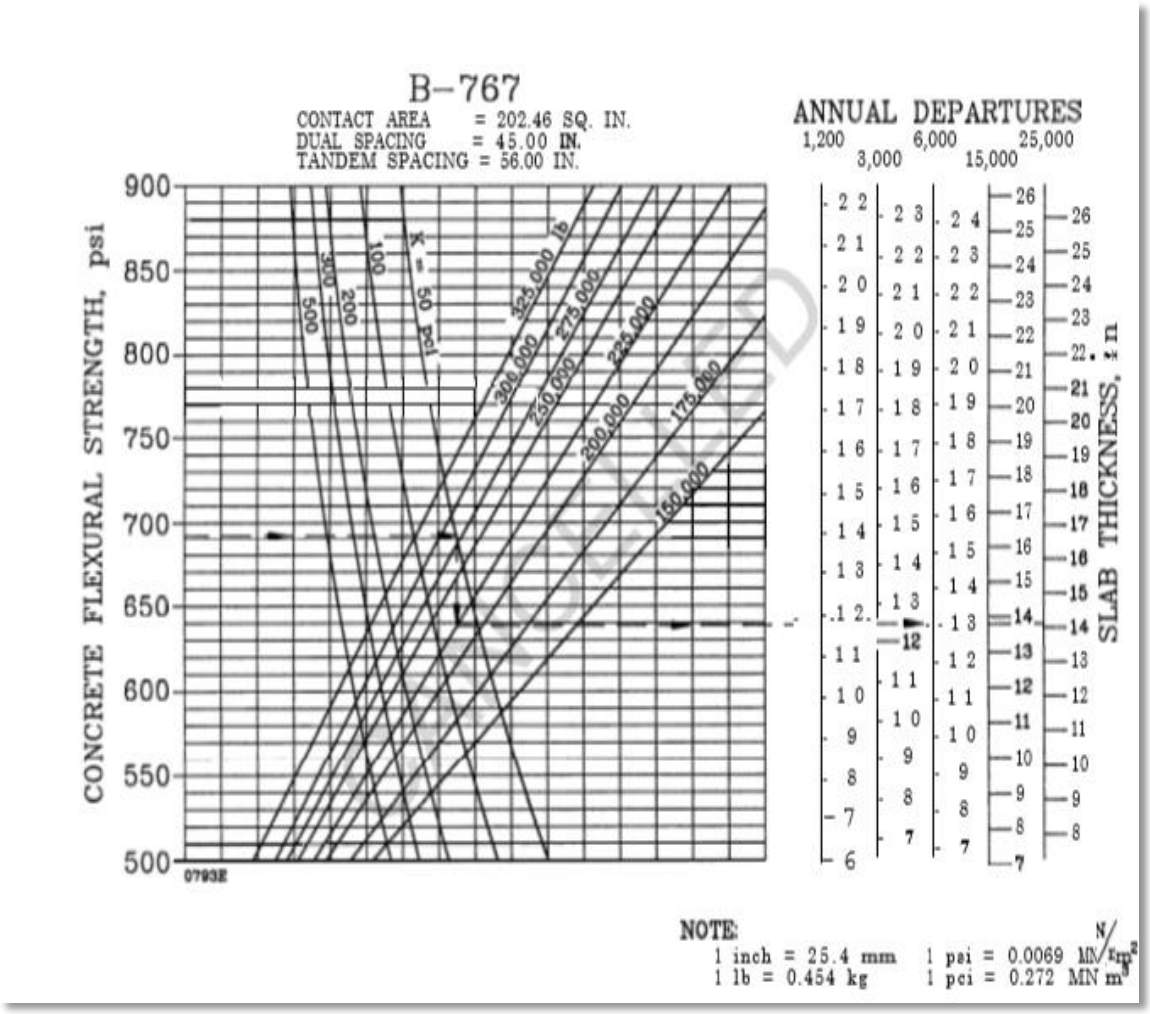


Figura 27. Para el cálculo de espesor de pavimento rígido.
Fuente: (U.S. Department of Transportation, 1995)

H.5.5. Áreas críticas y no críticas

Las curvas de diseño, se utilizan para determinar el espesor de la losa de concreto para las áreas críticas del pavimento que se muestran como "T".

El espesor de 0.9T para áreas no críticas se aplica al espesor de la losa de concreto.

Para la sección de espesor variable del borde adelgazado y la sección de transición, la reducción se aplica al espesor de la losa de concreto.

El cambio en el espesor de las transiciones se debe realizar en toda la longitud o anchura de la losa.

En áreas de espesor variable de la losa, el espesor de la subbase debe ajustarse según sea necesario para proporcionar drenaje a la superficie desde toda la superficie de la subrasante.

Para fracciones de una pulgada de 0.5 o más, use el siguiente número entero más alto; por menos de 0.5, use el siguiente número más bajo.

I. Juntas de expansion:

En la investigación exponen que la función consiste en aislar intersecciones de pavimentos o estructuras contiguas a un pavimento en donde hay el tipo A, está provisto de dowels y es usado cuando se requiere transferir cargas a través de la junta y el tipo B, se utiliza cuando las condiciones no permitan la utilización de dowels. Estas juntas están formadas por el aumento del espesor del pavimento a lo largo del borde de la losa. (Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012)

I.1. Juntas de contracción:

La metodología (U.S. Department of Transportation, 1995) explica la función que es proporcionar control de las grietas del pavimento cuando éste se contrae debido a la disminución del contenido de humedad o al descenso de temperatura. Las juntas de contracción también disminuyen las tensiones causadas por la deformación de la losa. Estas juntas se dividen en tres tipos: F, G y H(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012)

I.2. Juntas de construcción:

Se emplean cuando se colocan dos losas de pavimento en diferentes momentos. Estas juntas se dividen en tres tipos: C, D y E.(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012)

I.3. Espaciado de juntas:

Recomendaciones en el espaciado de juntas cuando se tiene una subbase sin estabilizar.(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012; U.S. Department of Transportation, 1995)

I.3.1. Subase sin estabilizar:

En este caso se recomienda que el espacio de la junta (pies) no exceda de dos veces el espesor de la losa (pulgadas) y que el cociente entre el largo de una losa y el ancho de la misma no exceda de 1,25, en pavimentos no reforzados. En la tabla se muestran las medidas máximas recomendables para el espaciamiento de juntas sobre una base sin estabilizar.(U.S. Department of Transportation, 1995).

Tabla 4.
Espaciamiento máximo de juntas de pavimento rígido (base sin estabilizar)

Espesor de la losa		Transversal		Longitudinal	
Inches	Millimeters	Feet	Meters	Feet	Meters
6	150	12.5	3.8	12.5	3.8
7 - 9	175 – 230	15	4.6	15	4.6
9 - 12	230 – 305	20	6.1	20	6.1
>12	>305	25	7.6	25	7.6

Fuente: *FAA AC 150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Estados Unidos: 1995*(U.S. Department of Transportation, 1995)

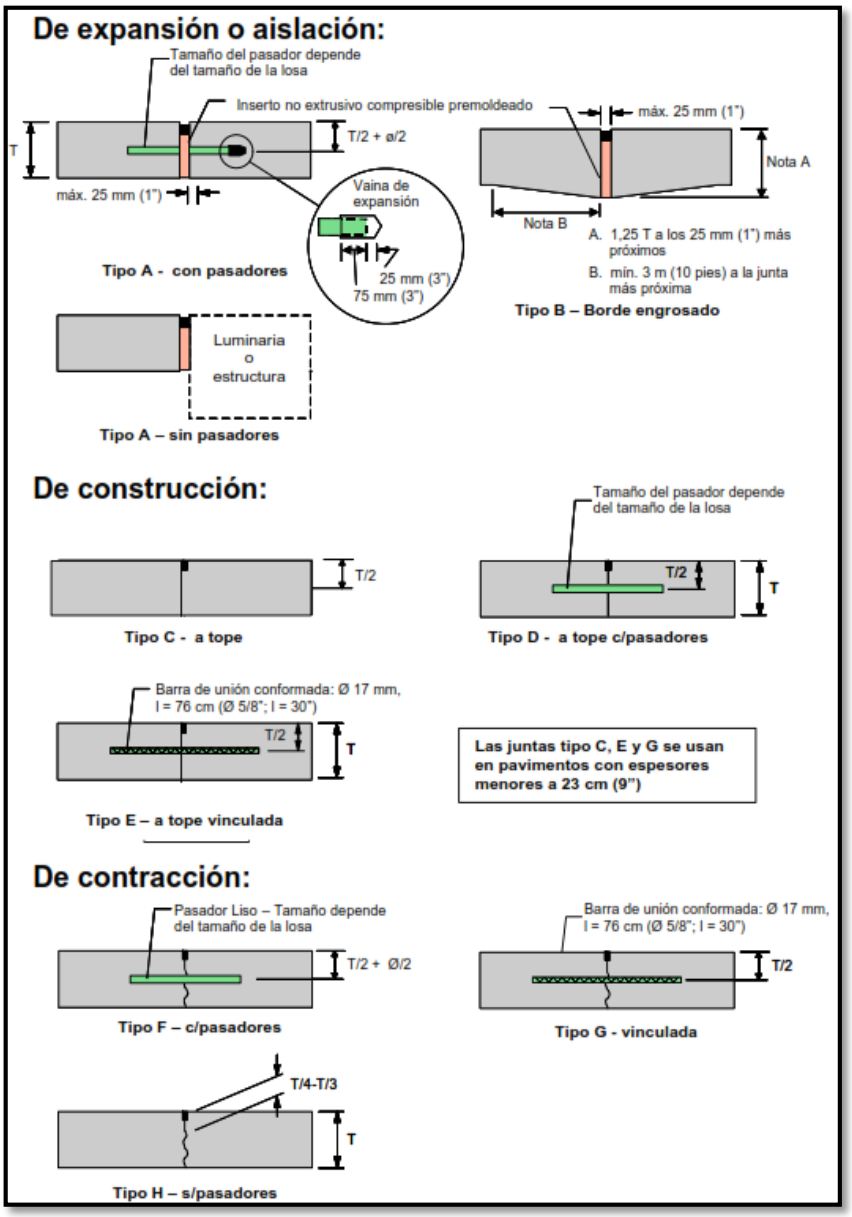


Figura 28. Tipos de juntas para pavimentos de concreto para aeropuertos
Fuente: Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto, ACPA)

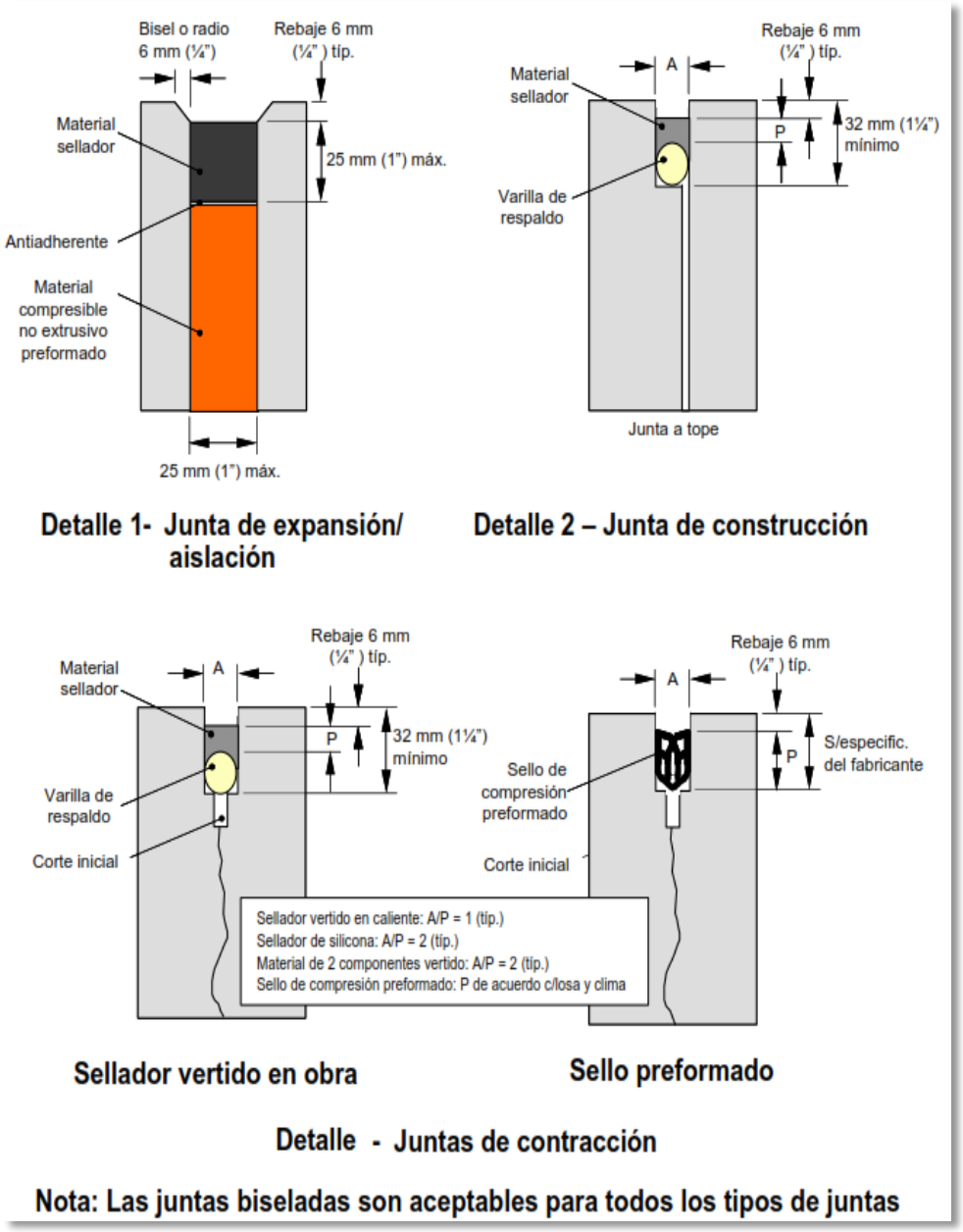


Figura 29. Juntas pavimentos de concreto para aeropuertos

I.3.2. Consideraciones especiales de juntas:

La FAA (U.S. Department of Transportation, 1995)considera lo siguiente, según resultados de experiencias pasadas.

Las juntas Keyed (Tipo C) no deben ser empleadas en losas de menos de 9” (230mm) de espesor. Cuando existan aeronaves de fuselaje ancho que hacen uso de las instalaciones, se deben seguir las siguientes recomendaciones en donde hay fundaciones de baja resistencia (menores a 200PCI o 54MN/m3) se recomienda las juntas tipo D o B, asimismo, se debe evitar emplear juntas tipo Keyed, en fundaciones de resistencia media (200 a 400PCI o de 54 a 109 MN/m3) se recomienda emplear juntas tipo D, E o B y para fundaciones de alta resistencia (mayor a 400 PCI o 109 MN/m3) se pueden emplear juntas tipo C.(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012; U.S. Department of Transportation, 1995).

Tipo	Descripción	Longitudinal	Transversal
A	Junta de expansión con varillas de transferencia de carga		En intersección siempre que puedan colocarse las varillas
B	Junta de expansión con bordes de mayor espesor	En inyecciones donde no es conveniente colocar varillas de transferencia y contra estructuras fijas.	En intersección en las que no sea factible construir las tipo A
C o D	Junta de construcción machihembrada o plana con varillas de transferencia	Se usa para todas las juntas de construcción a excepción de los sitios donde se emplea la tipo E	Emplear la tipo D cuando haya detenciones o demoras en las operaciones de pavimentación
E	Junta machihembrada con varillas de unión	En todas las juntas de construcción de los carreteos y cualquiera otras juntas que se construyan a 7.6m o menos del borde del pavimento	
F	Junta de construcción simulada con varillas de ransferencia		Se emplea al menos para las tres últimas juntas de contracción antes de un borde libre para las primeras dos juntas contiguas a una de expansión
G	Junta de contracción con varillas de unión	En la línea central de carreteos cuando allí no se contempla una junta de construcción longitudinal, salvo cuando haya aviones de cabina ancha en cuyo caso la varilla corrugada se reemplaza por una de transferencia	
H	Junta simulada de contracción sencilla	En todas las juntas de contracción donde no se especifique la tipo G.	En todas las juntas de contracción donde no se especifique la tipo F.

Figura 30. Descripción y uso de las juntas de pavimentos rígidos de aeropuertos.
Fuente: MONTEJO, Alonso. Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño. Colombia: 2006.

J. Acero en las juntas:

La FAA menciona que el acero en juntas puede ser de dos tipos:

J.1. Barras de amarre:

Se emplean para mantener las caras de las losas en contacto cercano, no actúan como dispositivos de transferencia de carga. Es recomendable que estas barras sean de 5/8 pulg (16 mm) de diámetro, tengan 30 pulg (7.5 cm) de longitud y que la separación entre varillas sea de 30 pulg (7.5 cm).(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012; U.S. Department of Transportation, 1995)

K. Doweled:

Se emplean para transferir carga a través de una junta.

Los dowels previenen el desplazamiento vertical en los bordes de las losas adyacentes, sin embargo, si permiten los movimientos longitudinales a lo largo de estas.(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012; U.S. Department of Transportation, 1995)

En la tabla 5, se muestra las dimensiones y los espaciamientos recomendados para el uso de las juntas dowels, para diferentes espesores de pavimento.

Tabla 5.
Dimensiones y espaciamiento de los dowels.

Thickness ofSlab	Diameter	Length	Spacing
6 - 7 in (150 - 180 mm)	3/4 in (20 mm)	18 in (460 mm)	12 in (305 mm)
8 - 12 in (210-305 mm)	1 in (25 mm)	19 in (480 mm)	12 in (305 mm)
13 - 16 in (330 - 405 mm)	1 1/4 in (30 mm)	20 in (510 mm)	15 in (380 mm)
17 - 20 in (430 - 510 mm)	1 1/2 in (40 mm)	20 in (510 mm)	18 in (460 mm)
21 - 24 in (535 - 610 mm)	2 in (50 mm)	24 in (610 mm)	18 in (460 mm)

Fuente: (U.S. Department of Transportation, 1995)

Los dowels indicados pueden ser una varilla sólida o una tubería de alta resistencia. Los dowels de tubo de alta resistencia deben ser anclados en cada extremo.

L. Rellenos y Selladores de juntas:

Los selladores se emplean en todo tipo de juntas y tienen por función evitar que ingrese agua y materiales extraños en estas.

Los rellenos compresibles son empleados en juntas de dilatación para permitir la expansión de las losas y sobre estos rellenos se aplica los selladores de juntas.

1.3.3. Impacto ambiental

Tabla 6.
Impacto ambiental

ACTIVIDAD	ELEMENTOS AMBIENTALES						
	Aire	**Suelo**	**Agua**	**Paisaje**	**Vegetación**	**Fauna**	**Socio economía**
Contratación de Mano de Obra.	---	---	---	---	---	---	Oportunidad de Trabajo Morrope-Lambayeque
Identificación de Canteras y Botaderos	---	---	---	---	---	---	Microrellenos sanitarios
Movilización y Desmovilización de Equipo y Maquinaria	Incremento de Partículas de Polvo, de Ruidos y de Gases de Combustión	Compactación de Suelos	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	Perturbación de la Tranquilidad y Afectación de la Seguridad Pública
Construcción y Operación de Campamento	--- ---	Contaminación de Suelos	--- ---	Alteración de Paisaje, Modificación de Relieve y Deslizamientos/Derrumbes	Reducción de la Cobertura Vegetal	Perturbación de la Fauna	Dinamización del Comercio Local
Movimiento de tierras	Incremento de Partículas de Polvo, de Ruidos y de Gases de Combustión	Erosión y Socavación; Compactación de Suelos	--- ---	Alteración de Paisaje, Modificación de Relieve y Deslizamientos/Derrumbes	Reducción de la Cobertura Vegetal	Perturbación de la Fauna	Interrupción Parcial del Tránsito Vehicular Local, Afectación de Salud de Personal de Obra, de Población y Seguridad Pública
Extracción de material de Cantera	Incremento de Partículas de Polvo, de Ruidos y de Gases de Combustión	Erosión y Socavación; Compactación de Suelos	--- ---	Alteración de Paisaje, Modificación de Relieve y Deslizamientos/Derrumbes	Reducción de la Cobertura Vegetal	Perturbación de la Fauna	Interrupción Parcial del Tránsito Vehicular Local y Afectación de Salu de Personal de Obra
Transporte de material.	Incremento de Partículas de Polvo, de Ruidos y de Gases de Combustión	Erosión y Socavación; Compactación de Suelos	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---	Interrupción Parcial del Tránsito Vehicular Local
			---	---	---	---	

Conformación de pavimentos.	Incremento de Partículas de Polvo, de Ruidos y de Gases de Combustión	Erosión y Socavación; Compactación de Suelos	---	---	---	---	Interrupción Parcial del Tránsito Vehicular Local
Construcción de Obras de Arte y Drenaje	--- ---	Contaminación con residuos (cemento, agregados, etc).	Contaminación con residuos (cemento, agregados, etc).	--- ---	Reducción de la Cobertura Vegetal	Perturbación de la Fauna	Interrupción Parcial del Tránsito Vehicular Local
Operación y Mantenimiento de Maquinaria	--- ---	Contaminación de Suelos (lubricantes, grasas).	Contaminación de Agua (lubricantes, grasas).	--- ---	--- ---	--- ---	--- ---
Remoción de derrumbes.	Incremento de Partículas de Polvo, de Ruidos y de Gases de Combustión	---	---	---	---	---	Afianzamiento Vial, Incremento del Turismo, Dinamización del Comercio Local
Limpieza de Obras de Arte y Drenaje	Incremento de Partículas de Polvo	---	---	---	---	---	Afianzamiento Vial, Incremento del Turismo, Dinamización del Comercio Local
Mantenimiento de Puente Las Pistas	---	---	---	---	---	---	Afianzamiento Vial, Incremento del Turismo, Dinamización del Comercio Local
Mantenimiento de Dispositivos para el Control del Tránsito	---	---	---	---	---	---	Afianzamiento Vial, Incremento del Turismo, Dinamización del Comercio Local
Limpieza General	Incremento de Partículas de Polvo	---	---	---	---	---	Afianzamiento Vial, Incremento del Turismo, Dinamización del Comercio Local

1.3.4. Seguridad y salud ocupacional

A. Seguridad en la construcción RNE G-050

En el reglamento nacional de edificaciones en el capítulo de G-050 las consideraciones mínimas que se debe tener en cuenta durante la ejecución de construcción civil.

1.3.5. Gestión de riesgos y prevención de desastres

Los riesgos que se pueden presentar a la media que vamos cumpliendo con los objetivos que hemos planteado para solucionar el problema no cumplan con la viabilidad de las entidades competentes

1.3.6. Gestión de mantenimiento

1.3.7. Presupuesto

Se realizó un listado de tareas que intervienen para cumplir con los objetivos del proyecto del cual se generara su precio unitario de cada tarea a realizar y se cuantificara para poder sacar el parcial de cada tarea esto lo realizamos a través del software S10 para posteriormente exportarlo en formato de Excel.

1.3.8. Normativa

Tabla 7.
Normatividad

DESCRIPCIÓN	NORMATIVA
CARACTERÍSTICAS DE SUELO SUB- RASANTE	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	NTP 339.128
LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLASTICIDAD DE LOS TERRENOS	NTP 339.129
ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PRÓCTOR MODIFICADO)	NTP 339.141
MÉTODOS DE ENSAYO DE CBR	NTP 339.145
SISTEMA UNIFICADOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	NTP 339.134
PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	
PESO UNITARIO Y VACÍOS DE LOS AGREGADOS	NTP 400.017
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	NTP 400.012
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS	NTP 400.021
ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 MM (1 ½")	NTP 400.019

Fuente: *RNE* (Minam, 2015)

1.3.9. Estado del arte

Implementación del Programa FAARFIELD para el diseño de espesores para pavimentos.

El programa FAARFIELD fue diseñado por la F.A.A. (Federal Aviation Administration) es totalmente gratuito y de uso al público. El programa puede diseñar la estructura y obtener los espesores del pavimento a partir de parámetros definidos por el usuario.

Entre los parámetros esta la composición vehicular, el crecimiento de tránsito y el periodo de diseño y los tipos de materiales; de tal manera que la estructura cumpla con el criterio de tener factor de daño acumulado igual a 1 el cabo de la vida de servicio.

Definición de términos Básicos

Área de maniobras: Parte del aeropuerto que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, excluyendo las plataformas.(DIRECCION GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL, 2017)

Área de movimiento: Parte del aeropuerto que ha de utilizarse para el despegue, aterrizaje y rodaje de aeronaves, integrada por el área de maniobras.

DGAC: Dirección General de Aeronáutica Civil.

FAA: Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos.

Pista de aterrizaje: Parte del área de movimiento destinada a la llegada o partida de aeronaves.

Zona crítica: En un aeropuerto estas zonas son aquellas en las que el avión se desplaza con carga máxima están compuesta por la pista de aterrizaje, calle de rodaje, los apartaderos de aeronaves.(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012).

Zona no crítica: son las zonas en donde se tolera disminuciones del espesor en relación de las áreas críticas.(Delgado Egoávil & Quispe Villaverde, 2012).

1.4. Formulación del problema

¿Cuál será el diseño del pavimento en el área de movimiento del aeropuerto Mórrope - Lambayeque?

Objetivo de estudio y campo de acción:

El objeto de estudio es en el área de la Comunidad Campesina de San Pedro – Mórrope en las inmediaciones de la carretera Panamericana Norte P-1N, km 817.

El campo de acción es Ingeniería de Procesos – Ingeniería Vial de Transportes.

1.5. Justificación e importancia del estudio

A. Justificación Tecnológica

El diseño del pavimento se realizará en las inmediaciones de la carretera Panamericana Norte P-1N km 817 se realizará por el método (FAA), Metodología de la administración federal de aviación de los EE.UU. para el cálculo de espesores las capas del pavimento. Siendo este método el único para aeropuertos de índole internacional, cabe resaltar que el diseño del pavimento de aeropuertos se basa en metodologías que permitirán establecer sin un sistema cumple o no con los objetivos del diseño antes del término de su vida útil.

B. Justificación Económica

Al contar con un buen diseño de pavimento del área de movimiento hará que su mantenimiento no sea constante y esto reducirá costos a largo plazo. Su proyección es de 20 años y duraría 10 años más con su respectivo mantenimiento.

C. Justificación Social

El crecimiento de la agroindustria, el impulso del proyecto Olmos, el desarrollo del nuevo terminal marítimo de Puerto Eten y el turismo en el norte del Perú, crearán las condiciones idóneas para la construcción de un nuevo aeropuerto de categoría internacional en un corto tiempo que éste en condiciones de recibir una mayor frecuencia de vuelos internacionales, tanto de carga como pasajeros.

D. Justificación Ambiental

El diseño planteado en esta investigación tendrá mejores tipologías, como espacio aéreo necesario (libre de obstáculos: Cerros, edificios), alejado del centro urbano, ahorro en la construcción y condición climática.

1.6. Hipótesis

Será posible el diseño del pavimento en el área de movimiento del aeropuerto de Mórrope - Lambayeque, empleando el método FAA

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivos General:

Diseñar el pavimento en el área de movimiento del aeropuerto Mórrope – Lambayeque.

1.7.2. Objetivos Específicos:

Realizar la metodología FAA para el diseño de la estructura del pavimento.

Comparar la mejor alternativa entre el pavimento rígido y flexible.

Efectuar el estudio de costo y presupuesto de la mejor alternativa.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y diseño de la Investigación

2.1.1. Tipo de Investigación

Investigación cuantitativa - cuasi experimental

Investigación cuantitativa

Es una investigación es cuantitativo porque se trabajó en el campo de las ciencias Físico-naturales, empleando el análisis estadístico y método deductivo.

Se tuvo en cuenta la correlación entre las variables que han sido cuantificadas, lo que facilita la interpretación de los resultados.

Investigación cuasi – experimental

(Kirk 1995)

Asevera que los diseños cuasi- experimentales son parecidos a los experimentos excepto en que el sujeto no se asigna aleatoriamente a la variable independiente. Se trata de diseños que se utilizan cuando la asignación aleatoria no es posible o cuando por razones prácticas o éticas se recurre al uso de grupos naturales o preexistentes

2.1.2. Diseño de la Investigación

La presente investigación por sus características descriptiva se empleará el diseño de investigación de una sola casilla, donde se efectuará el diagnóstico de la situación actual, cálculo entre pavimento rígido y flexible en el área de movimiento del aeropuerto Mórrope – Lambayeque.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población estará circunscrita en el área de la comunidad campesina de San Pedro – Mórrope – Lambayeque

2.2.2. Muestra

Estará constituida en las inmediaciones de la carretera panamericana norte P-1N. KM 817 en el área de la comunidad campesina de San Pedro.

2.3. Variables

2.3.1. Variable Dependiente

Área de movimiento del Aeropuerto Mórrope –Lambayeque

2.3.2. Variable Independiente

Diseño del pavimento empleando el método FAA.

2.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 8.
Operacionalización

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Pavimento Flexible y Rígido	ESTRUCTURAL	**Características de suelo sub- rasante**	
		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	NTP 339.128
		LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLASTICIDAD DE LOS TERRENOS	NTP 339.129
		ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PRÓCTOR MODIFICADO)	NTP 339.141
		MÉTODOS DE ENSAYO DE CBR	NTP 339.145
		SISTEMA UNIFICADOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	NTP 339.134
		PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	
		PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS	NTP 400.017
		ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS	NTP 400.012
		PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS	NTP 400.021

	TRÁNSITO	ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS GREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37,5 MM (1 ½")	NTP 400.019
		GEOMETRÍA DEL TREN ATERRIZAJE	
		MAGNITUD DE CARGAS	
		NÚMERO DE OPERACIONES ANUALES	
		VOLUMEN DE TRÁNSITO DE DISEÑO	

VARIABLE INDEPENDIENTE	**DIMENSIONES**	**INDICADORES**	**TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**
ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MORROPE - LAMBAYEQUE	DIAGNÓSTICO ACTUAL	TOPOGRAFÍA	VISITAS
		SUELOS	

Fuente: *Elaboración Propia*

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.4.1. Técnica de recolección de datos documentación.

Se recopiló la información necesaria para llevar a cabo el proyecto.

2.4.2. Observación

Se efectuó visitas para el levantamiento de información, ensayos a realzaren en el sitio, levantamiento de datos topográficos, muestras de suelo y registro fotográfico.

2.4.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

2.4.4. Técnicas de recolección de datos.

A. Para la variable independiente

Para el pavimento flexible, se realizó los ensayos ya mencionados en el punto anterior en el lugar donde se realizará la presente tesis.

Se tomó muestras realizando sus correspondientes calicatas a cierta distancia según norma E. 050 y luego tomar las muestras para luego ser trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos de nuestra universidad Señor de Sipán.

B. Para la variable dependiente

Se realizó un levantamiento topográfico con la ayuda de una estación total, prismas y una libreta de campo para anotar.

2.4.5. Técnicas de Instrumentos.

A. Guías de Observación:

A.1. Recolección de la información disponible

Consistió en recolectar datos estadísticos de la DGAC (Dirección General de Aviación Civil), datos de las aeronaves de carga y pasajeros, cuantas operan, tanto a nivel nacional como internacional, se toma de referencia el aeropuerto internacional Jorge Chávez de Lima durante el año 2017 hasta el mes más actualizado.

A.2. Levantamiento topográfico del lugar

Consiste en el levantamiento topográfico de la zona de estudio en Mórrope Lambayeque terreno perteneciente a la comunidad campesina de San Pedro de Mórrope al margen de la carretera panamericana norte 817 km.

Se realizó el plano del levantamiento topográfico.

Se realizó el plano de croquis donde se haría las calicatas.

Se realizó el plano del área de movimiento del aeropuerto.

A.3. Toma de muestras realizando calicatas

Se tomó las muestras de las calicatas echas en campo. Las calicatas ejecutadas fueron 06, por cada calicata se encontraron 02 estratos, de los cuales se tomó muestras en bolsas de 4 kg por estrato, se tomó muestra del fondo de la calicata a la profundidad de 3m. Se tomó 50 kg.

A.4. Ensayos de laboratorio

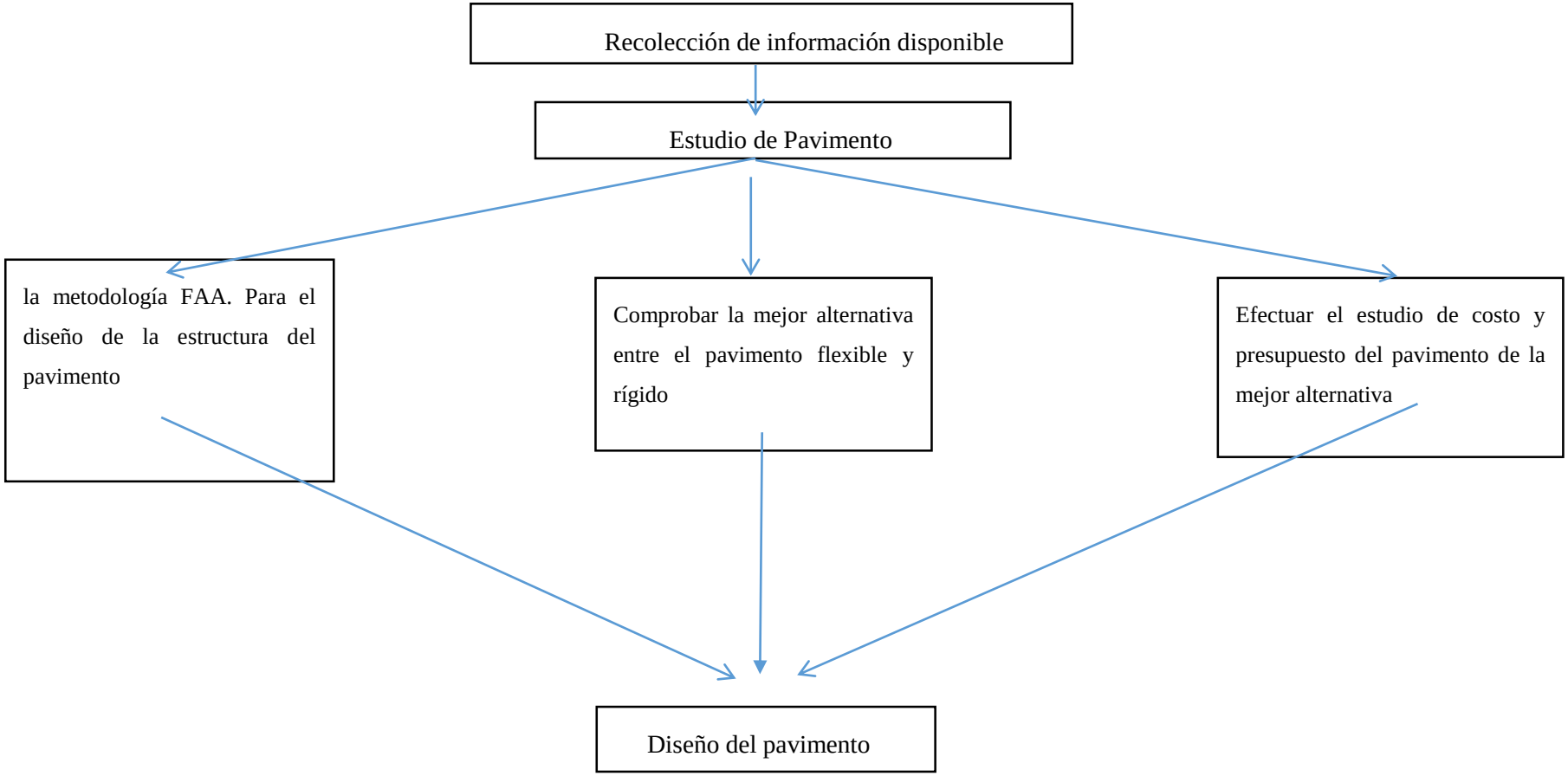
Una vez obtenidas las muestras se llevó al campus de la universidad para hacer el respectivo tendido de las muestras para su secado para posteriormente se realizó los primeros ensayos de granulométrica, Limites líquidos, limites plásticos, proctor y CBR.

Tabla 9.
Instrumentos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	INSTRUMENTOS
	GUIA DE OBSERVACIÓN
REALIZAR LA METODOLOGÍA FAA	1.- FORMATO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128. LIMITE LÍQUIDO, LIMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLASTICIDAD DE LOS TERRENOS NTP 339.129, CONTENIDO DE HUMEDAD NTP. 339.127 Y SISTEMA UNIFICADOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS NTP 339.134.
	2.- FORMATO: ENSAYO DE COMPACTACIÓN (PRÓCTOR MODIFICADO) NTP 339.141. ENSAYO DE CBR NTP 339.145
	3.- NÚMERO DE OPERACIONES ANUALES. DGAC.
COMPROBAR LA MEJOR OPCIÓN ENTRE EL PAVIMENTO RÍGIDO Y FLEXIBLE.	**GUÍA DE OBSERVACIÓN**
	1.- PAVIMENTO RÍGIDO VS PAVIMENTO FLEXIBLE
EFECTUAR EL ESTUDIO DE COSTOS Y PRESUPUESTOS PARA LA OPCIÓN MÁS CONVENIENTE.	**GUÍA DE OBSERVACIÓN**
	1.- PRESUPUESTO PAVIMENTO RÍGIDO.
	2.- PRESUPUESTO PAVIMENTO FLEXIBLE.

Fuente: (Minam, 2015)

2.5. Procedimientos para la Recolección de datos



2.5.1. Plan de análisis estadísticos de datos

Los datos que se obtuvieron en laboratorio, se analizó en gabinete, se utilizó el programa Excel

En el programa Excel se registró los datos obtenidos en laboratorio y se procesó mediante gráficos y tabulaciones.

2.6. Criterios éticos

La ética profesional es el conjunto de normas y valores que hacen y mejoran al desarrollo de las actividades profesionales, además marcan las pautas éticas del desarrollo laboral mediante valores universales en donde los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña (CIP,2017).

Esta tesis se realizó de manera, ordenada de acuerdo al esquema manifestado por la universidad mediante la asesora de tesis. Recogiendo diversos datos de libros, artículos y tesis realizadas nivel nacional e internacional.

En esta investigación se indica la pertenencia del autor en las teorías usadas.

2.7. Criterios de rigor científico

Esta tesis, tiene un seguimiento de un especialista en aeropuertos Ing. Marco S. Bayona Nevado que siempre se ha preguntado para poder elaborar este proyecto. Los datos que se tomaron en cuenta, como teorías, procedimientos guardan relación con la ingeniería civil, siendo en muchos casos información de datos comprobados que anteriormente han sido realizados y presentados.

Los criterios que se consideró:

El valor de verdad se basa en la recolección de datos reales lo cual tiene una validez interna. (Guba,1984)

Aplicabilidad implica que se puede tomar como referencia para futuras investigaciones. (Guba,1984)

Consistencia que los resultados obtenido se pueden realizar otras investigaciones con los mismos sujetos e igual contexto neutralidad. (Guba,1984)

Neutralidad que los resultados de una investigación no están sesgados por motivaciones, intereses, y perspectivas del investigador. (Guba,1984)

III.**RESULTADOS**

3.1. Levantamiento topográfico del lugar

Consiste en el levantamiento topográfico de la zona de estudio en Mórrope Lambayeque terreno perteneciente a la comunidad campesina de San Pedro de Mórrope al margen de la carretera panamericana norte km 817.

El levantamiento se realizó con estación total y GPS donde se tomaron los puntos, donde se va contemplar el área del movimiento del aeropuerto de esta manera obtuvo un área de 549,000 m², 54.9 ha, perímetro 6,366 ml, para donde se está proponiendo el área para el tema de la tesis, se realizó las coordenadas de cada punto y se trazó la zona donde estará ubicada el aeropuerto. PLANO LT-01.

Se realizó el plano de ubicación de calicatas respectivas de acuerdo al RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones) E-0.50 Suelos y cimentaciones lo cual nos resultó 06 calicatas una cada 500 m. ya que no hay cambios de niveles significativos. PLANO UC-01

3.2. Ensayos de mecánica de suelos

A.1.1. Granulometría:

El total de las calicatas que se realizó fueron 06, se tomó las muestras de las calicatas echas en campo, por cada calicata se encontraron 02 estratos. Las cuales fueron llevadas al campus de la universidad Señor de Sipán para su respectivo tendido y secado para el procedimiento establecido en la NTP 339.128.

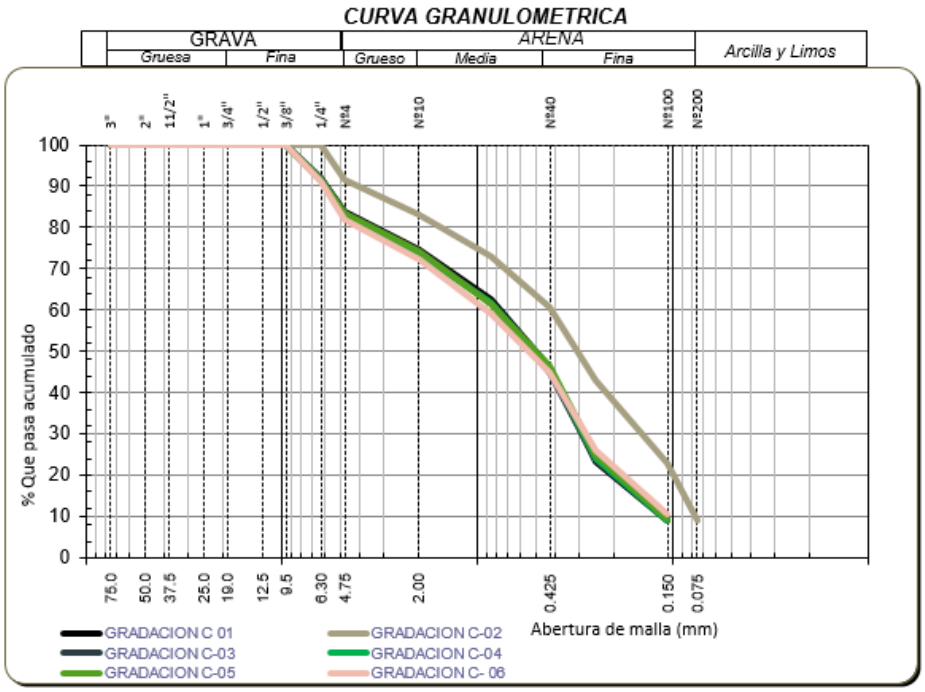


Figura 31. Consolidada curva Granulométrica
Fuente: Propia

En esta figura 31 se aprecia el consolidado de las curvas granulométricas realizadas en laboratorio de mecánica de suelos.

Límites Líquidos, límites Plásticos e índice de plasticidad:

De acuerdo a lo encontrado en nuestras muestras no se pudo determinar los límites debido a que en su clasificación de suelos es un SP-SM que viene hacer una arena pobremente graduada con limo la cual no presenta plasticidad, se realizó el procedimiento establecido en la NTP 339.129 por lo cual se obtuvo un resultado de NP (No presentó).

A.1.2. Clasificación de suelos:

La presente tabla es el resumen de la clasificación de los suelos tanto clasificación SUCS como clasificación AASHTO obtenidos del ensayo correspondiente.

Tabla 10.
Resumen de clasificación de suelos por calicata

CUADRO RESUMEN DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS			
CALICATA	**SUCS**	**AASHTO**	
C1	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente graduada con limo
C2	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente graduada con limo
C3	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente graduada con limo
C4	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente graduada con limo
C5	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente graduada con limo
C6	SP-SM	A-3 (0)	Arena pobremente graduada con limo

Fuente: *Propia.*

Para clasificación SUCS se realizó con los datos de granulometría obtenidos, que pasa en las mallas N° 04, N° 200, coeficiente de uniformidad, límite líquido y límite plástico. Para Clasificación AASHTO se calcula con los datos de granulometría lo que pasa en las mallas N° 10, N° 40, N° 200, límite líquido, límite plástico. Una vez realizado dicho procedimiento establecido en la NTP 339.134 se obtuvo la tabla de clasificación de suelo antes mostrada.

La intersección de (D10) que viene a ser el 10% se obtuvo un 0.076%, de la intersección (D30) que viene a ser el 30% se obtuvo 0.136%, la intersección (D60) que viene a ser el 60% se obtuvo 0.45%. Con estos datos obtenemos el coeficiente de curvatura se calcula, con la siguiente fórmula Cc = (D30) ^2/ (D60 x D10) y el coeficiente de uniformidad con la siguiente fórmula Cu = (D60) /(D10) para su clasificación del suelo.

A.1.3. Próctor:

En esta gráfica se aprecia los resultados obtenidos del ensayo correspondiente al promedio de las muestras de las calicatas.

La curva del próctor se realizó el procedimiento establecido en la NTP 339.141

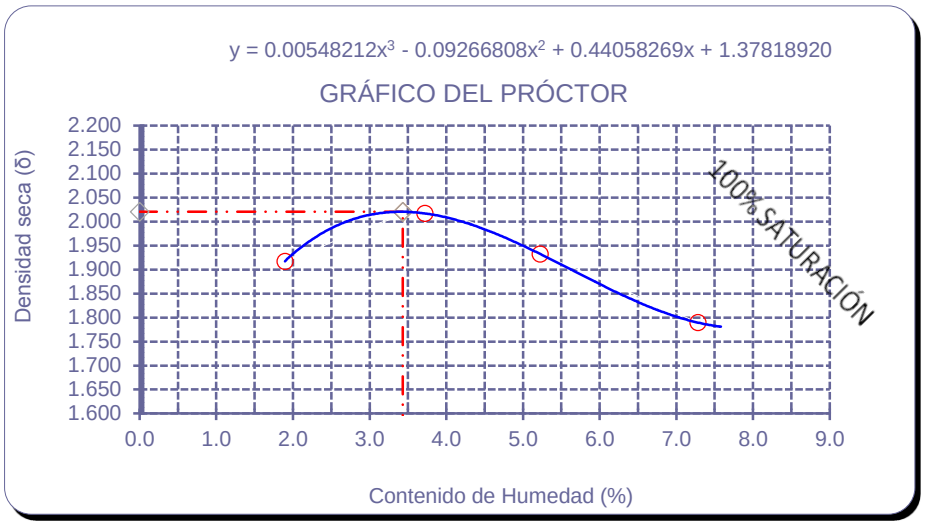


Figura 32. Curva del Próctor
Fuente: Propia

La curva representa las muestras obtenidas alteradas con porcentaje de saturación donde el punto máximo en la gráfica nos determina el siguiente resultado:

- Máxima Densidad Seca MDS: 2.02%
- Óptimo Contenido de Humedad OCH: 3.43%

A.1.4. CBR:

De acuerdo a lo establecido por la metodología FAA en su manual Advisory Circular AC Nº 150/5320-6D, la selección del valor del CBR de diseño se debe efectuar por el Método del 85º avo percentil, el procedimiento de selección se muestra a continuación.

Tabla 11.
Resumen CBR

N° CALICATA	CBR (%)	ORDEN DESCENDENTE	VALORES MAYORES E IGUALES	%
CALICATA- 01	15.59	15.59	1	16.67
CALICATA- 02	14.42	14.42	2	33.33
CALICATA- 03	14.35	14.36	3	50.00
CALICATA- 04	14.25	14.35	4	66.67
CALICATA- 05	14.36	14.25	5	83.33
CALICATA- 06	14.06	14.06	6	100.00

Fuente: *Propia*

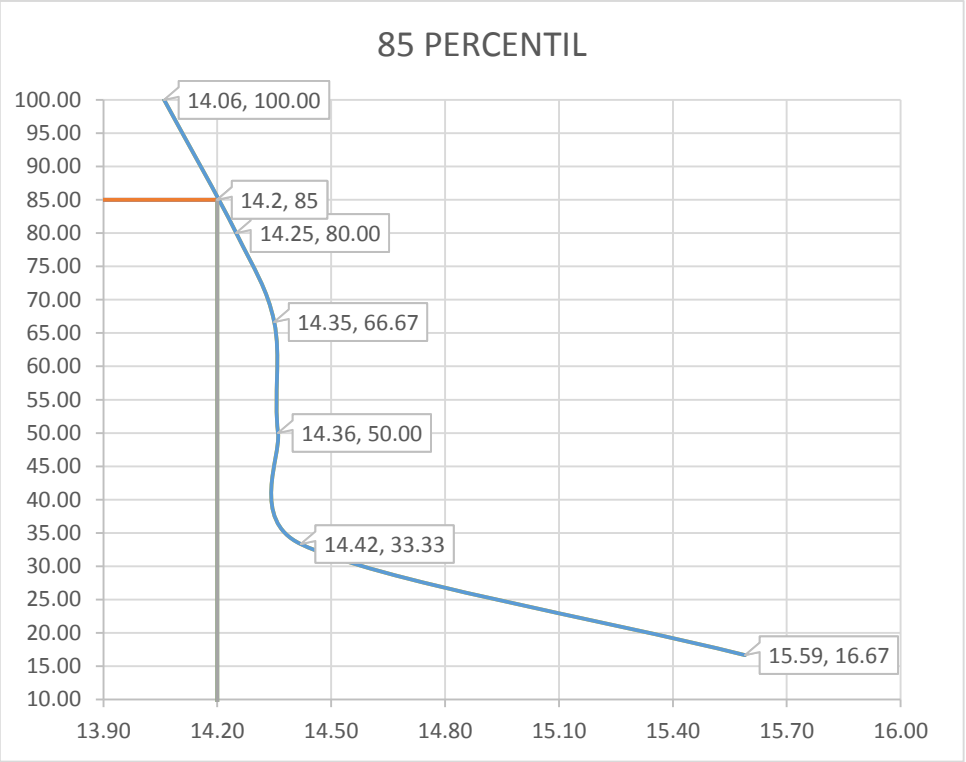


Figura 33. 85vo percentil de CBR
Fuente: Propia

De la figura 33 se observa la curva de los CBR correspondiente a 6 calicatas donde localizamos el 85% en el eje vertical y trazamos una línea horizontal hasta su intersección, luego se hace la proyección en vertical hacia los CBR y se obtiene el CBR 14.20%de diseño.

A.1.5. Consolidado de ensayos realizados.

Tabla 12.
Consolidado de ensayos

N° CALICATA	N° ESTRATO	LÍMITES DE ATERBERG			CLASIFICACIÓN DE SUELOS			PRÓCTOR MODIFICADO		CBR (%)
		LL	LP	IP		SUCS	AASHTO	MDS	OCH	
CALICATA- 01	E-1	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)	2.020	3.43	14.59
	E-2	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)			
CALICATA- 02	E-1	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)	2.121	3.83	14.42
	E-2	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)			
CALICATA- 03	E-1	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)	2.102	3.80	14.35
	E-2	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)			
CALICATA- 04	E-1	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)	2.016	3.83	14.25
	E-2	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)			
CALICATA- 05	E-1	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)	2.093	3.96	14.36
	E-2	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)			
CALICATA- 06	E-1	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)	2.076	4.18	14.06
	E-2	NP	NP	NP	SP-SM	ARENA PROBABLEMNTE GRADUADA CON LIMO	A-3 (0)			

Fuente: *Propia*

La tabla 12 es el resumen de los ensayos de mecánicas de suelos realizados en el laboratorio de la Universidad Señor Sipán que corresponde a 6 calicatas, donde se aprecia los limites, clasificación de suelos, PROCTOR y su CBR.

A.1.6. Consolidado de ensayos Cantera tres tomas.

Tabla 13.
Resultados de cantera 3 tomas.

CANTERA TRES TOMAS									
PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS		**RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MAYORES DE 19 mm (3/4")**		**EQUIVALENTE DE ARENA (%)**	**CONTENIDO DE SALES**		**PRÓCTOR MODIFICADO**		**CBR (%)**
CHATAS (%)	**ALARGADAS (%)**	**% de desgaste por abrasión**	**% de uniformidad**		**Sales solubles totales (ppm)**	**Sales solubles totales en peso seco (%)**	**MDS**	**OCH**	
2.42	1.53	26.82	0.46	25.00	4000	0.40	2.235	5.90	50.4

Fuente. *Propia.*

De la tabla 13 es el resumen de los ensayos realizados en la universidad señor de Sipán en el laboratorio de la cantera tres tomas ubicadas en el distrito de Mesones Muro en la Provincia de Ferreñafe.

3.3. Estudio pluviométrico

SENAMHI es la entidad encargada del registro de las condiciones climáticas que ocurren en nuestro país, estos datos se recogen de las múltiples estaciones situadas en nuestro país.

Los datos para la presente investigación se realizó con la estación pluviométrica de Lambayeque que es la más cercana al área de estudio ya que la estación de Mórrope no se encuentra funcionando actualmente.

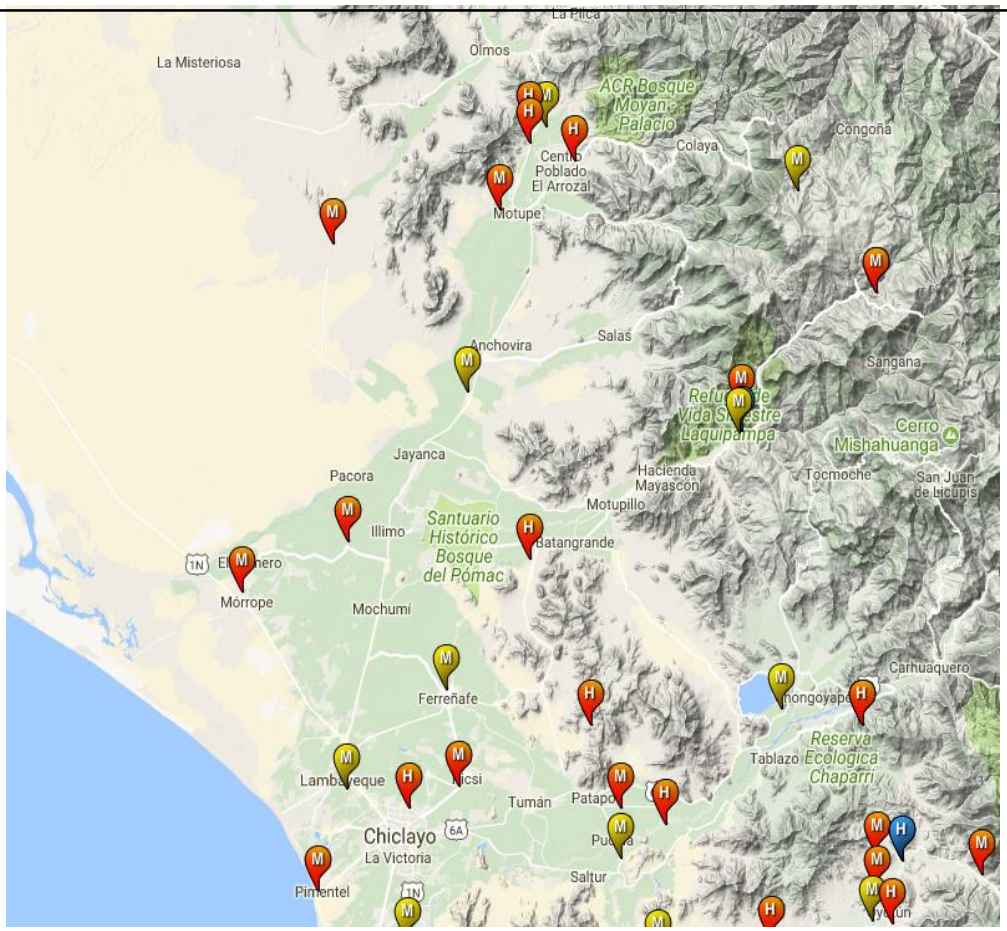


Figura 34. Ubicación de estaciones pluviométricas.
Fuente: SENAMHI

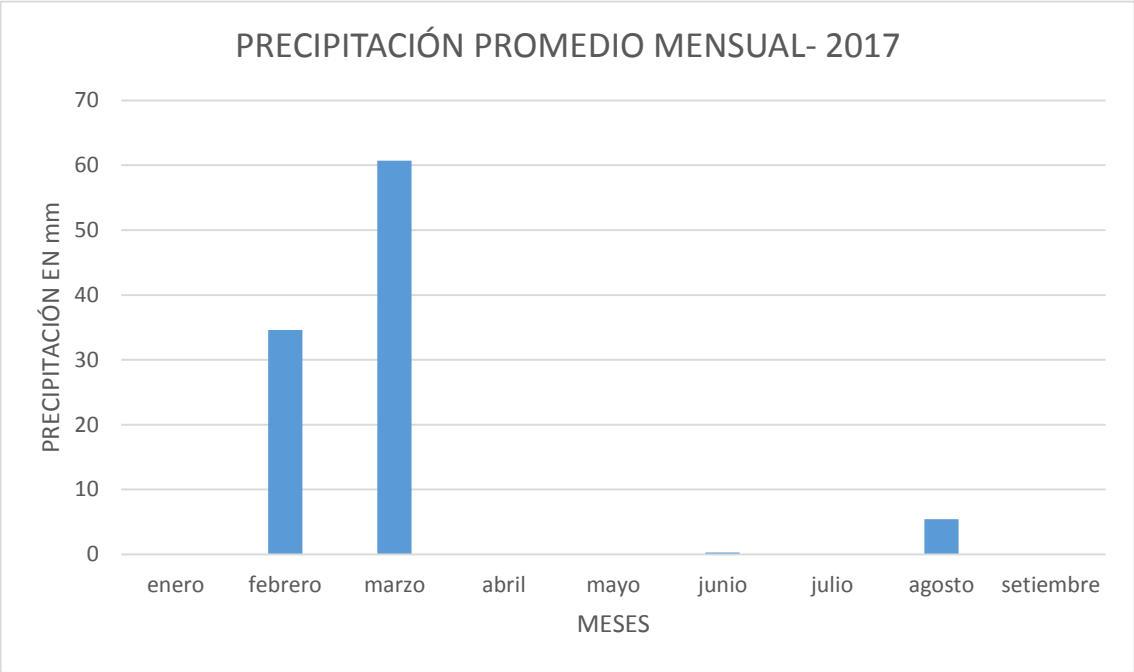


Figura 35. Precipitaciones promedio mensual 2017.
Fuente: Propia

De la figura 35 se observa las precipitaciones ocurridas de los meses del año 2017 siendo los meses de febrero y marzo donde se obtuvo las mayores precipitaciones durante el año con un 35 mm correspondiente al mes de febrero y 61 mm en el mes de marzo.

3.4. Clima de la zona

La temperatura promedio anual es 22.6 ° C en Distrito de Mórrope a lo largo del año, las temperaturas varían en 6.4 ° C. A una temperatura media de 26.1 ° C, siendo febrero el mes más caluroso del año. Agosto es el mes más frío, con temperaturas promediando 19.7 ° C.

Tabla 14.
Clima de la zona

Parámetros climáticos promedio de Mórrope													
Mes	**Ene.**	**Feb.**	**Mar.**	**Abr.**	**May.**	**Jun.**	**Jul.**	**Ago.**	**Sep.**	**Oct.**	**Nov.**	**Dic.**	**Anual**
Temp. media (°C)	25.1	26.1	26.1	24.7	23	21.1	20.1	19.7	19.8	20.5	21.4	23.8	22.6
Temp. mín. media (°C)	20	20.8	20.7	19.5	18.3	16.6	15.6	15.1	15.5	15.7	16.3	17.9	17.7

Fuente: *Propia.*

3.5. Viento de la Zona.

Se realizó la orientación del viento a través del servicio meteorológico Meteoblue.

A.1. Meteoblue

Es una prestación meteorológica que desarrollado por la Universidad de Basilea, Suiza, en cooperación con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos y los Centros Nacionales de Predicción Ambiental. Esta empresa está principalmente en el área de la agricultura, así como la energía solar y eólica.(Universidad de Basilea Suiza/, 2006).

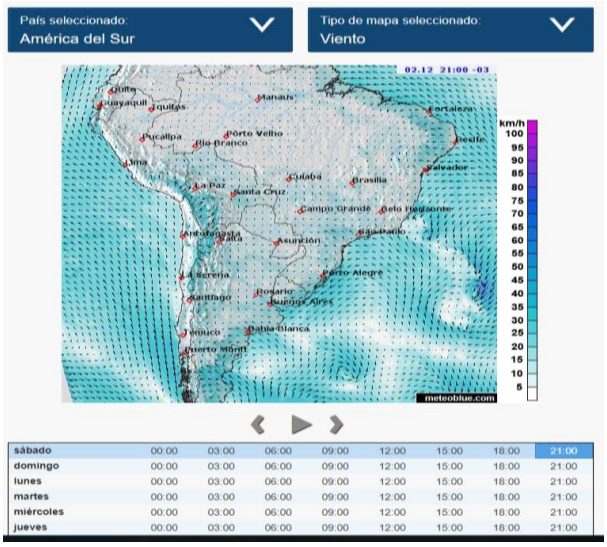


Figura 36. Orientación del Viento América del Sur.
Fuente: Meteoblue

De la Figura 36. Se aprecia los vientos en América del Sur.

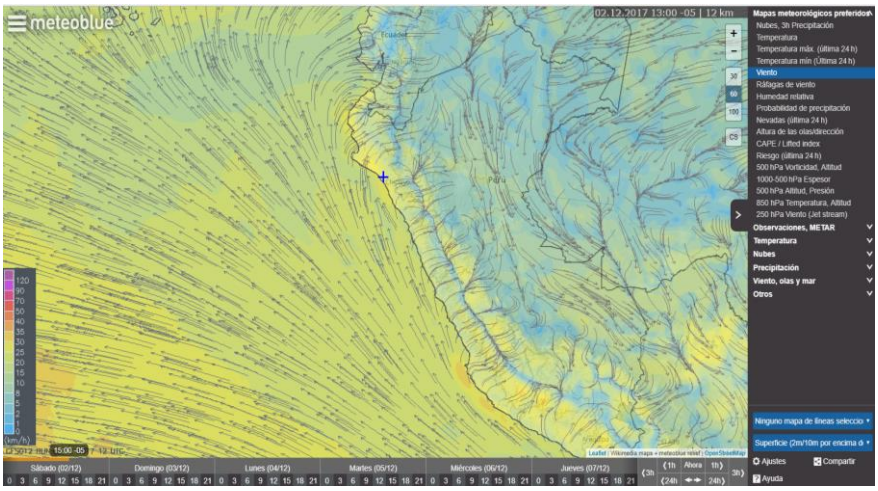


Figura 37. Orientación del viento en Perú.
Fuente: Meteoblue

De la Figura 37. Se aprecia la orientación del viento en el Perú a través de la dirección de las flechas.

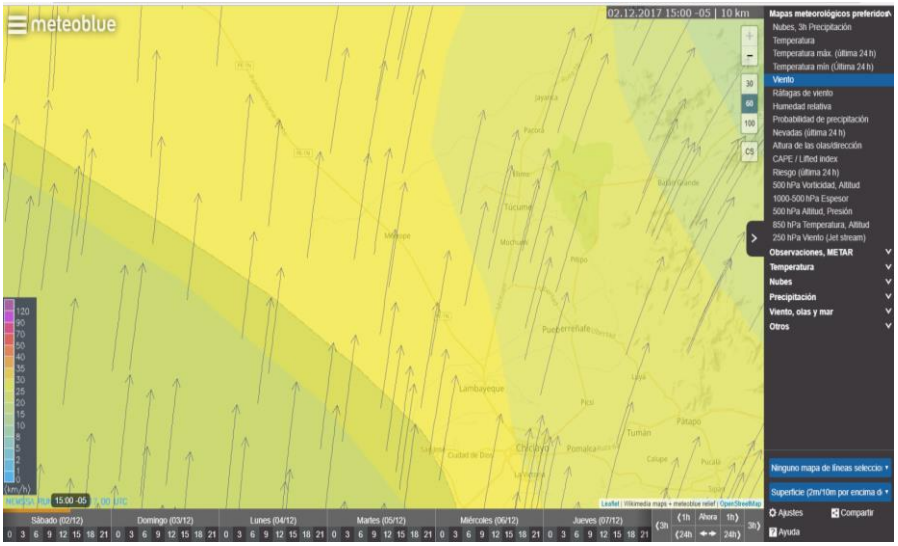


Figura 38. Orientación del viento en Mórrope.
Fuente: Meteoblue

De la Figura 38 se aprecia la orientación del viento en Mórrope a través de la dirección de las flechas, en el área propuesta para el aeropuerto lo cual permite plantear la dirección de la pista de aterrizaje lo cual se anexa en el plano LT-01.

A.2. ROSA DE VIENTO

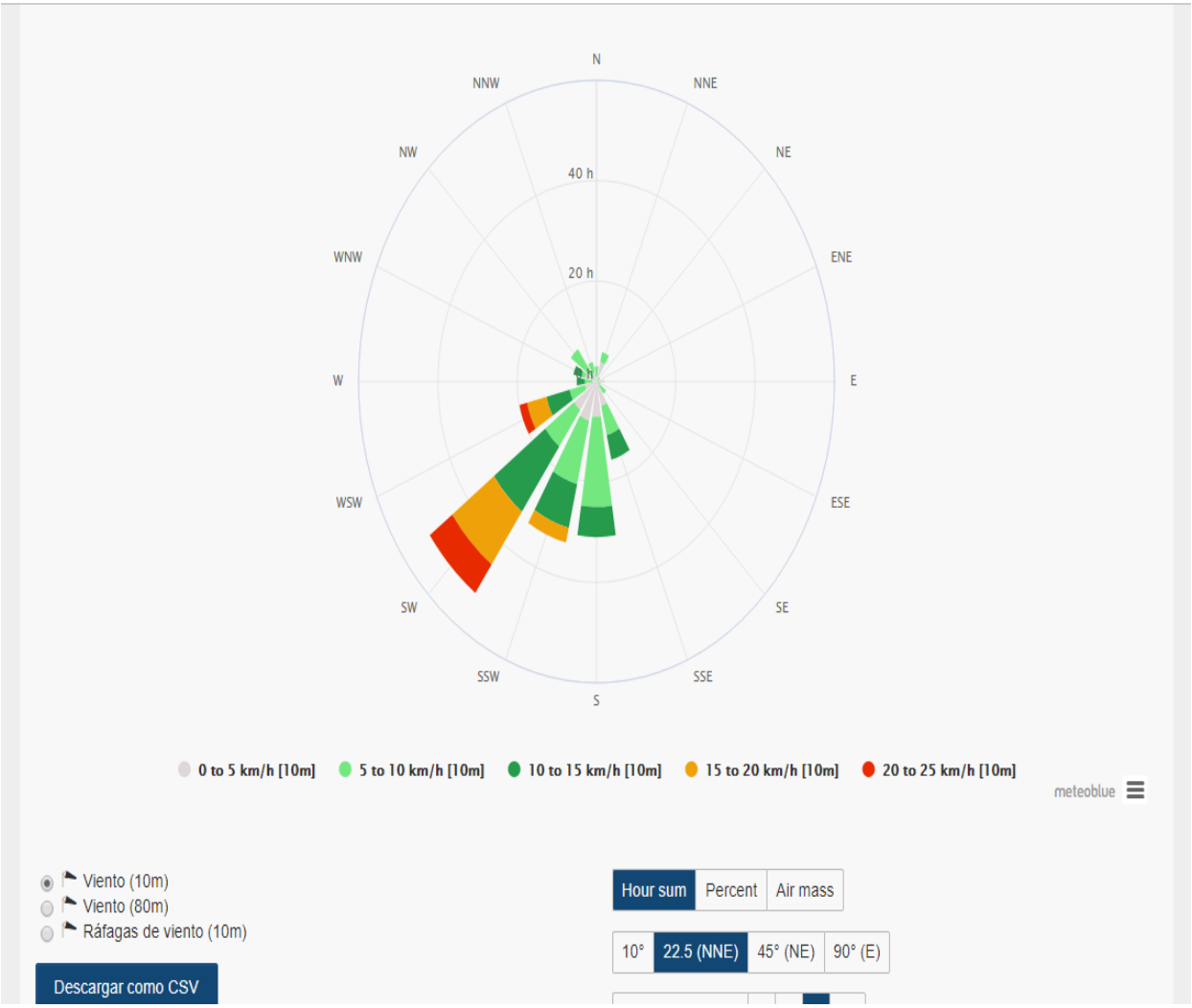


Figura 39. Rosa de viento
Fuente: Meteoblue

De la Figura 39 se aprecia la orientación del viento en Mórrope a través de la rosa de viento en el área propuesta para el aeropuerto lo cual permite plantear la dirección de la pista de aterrizaje lo cual se anexa en el plano LT-01.

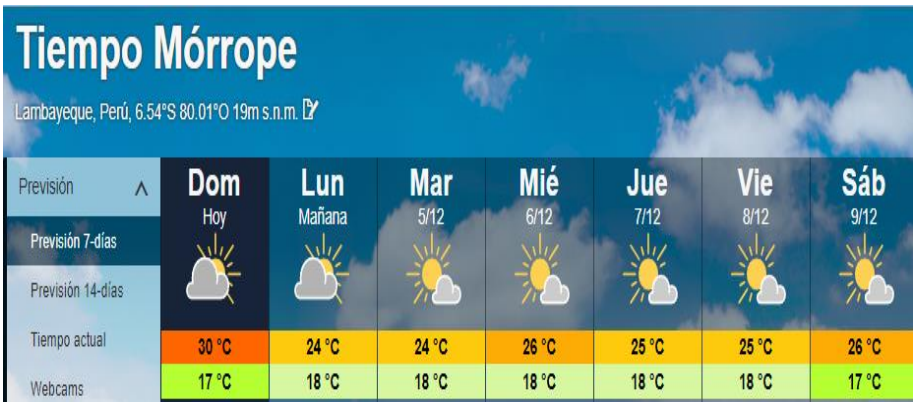


Figura 40. Tiempo en Mórrope.
Fuente: Meteoblue

De la Figura 40 el promedio del viento en Mórrope Lambayeque – Perú es de 25 km/h con sentido de oeste a este, lo cual determinó la orientación de la pista de aterrizaje propuesta ya que el viento tiene que estar en dirección al despegue de las aeronaves.

3.6. Desarrollo de la metodologia

A.1. Estudio de tráfico

Se realizó mediante la información estadística de la Dirección General de Aeronáutico Civil (DGAC).

Los datos obtenidos de las aeronaves de carga, de pasajeros, tanto a nivel nacional como nivel internacional, en donde se clasifico la aeronave de mayor peso de despegue para poder definir nuestra pista de aterrizaje.

Tabla 15.
Avión de más pesado

EMPRESAS	AERONAVE	PESO MÁXIMO DE DESPEGUE kg
AIR FRANCE KLM LAN PERU	BOEING B747-400	397,000.00

Fuente: *Propia.*

A.2. Clave de referencia de la pista de aterrizaje.

La clave está compuesta de dos elementos que se relacionan con las características de funcionamiento y dimensiones del avión. El elemento 1 es un número basado en la longitud de campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura exterior entre las ruedas del tren de aterrizaje principal".(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a).

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Núm. de clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal[a]
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4,5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1 200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4,5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1 200 m hasta 1 800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1 800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		F	Desde 65 m hasta 80 m (exclusive)	Desde 14 m hasta 16 m (exclusive)

a. Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Figura 41. Clave de referencia de aeródromo
Fuente: Manual de diseño de aeródromos – OACI

ELEMENTO 2 DE LA CLAVE

BOEING B747-400.

Envergadura: 64.9 m

Distancia entre ejes: 11 m

Letra de Clave: E

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE: 4

Longitud: 3000 m.

A.3. Ancho de la pista de aterrizaje.

Tabla 16
Ancho de la pista

Núm. De clave	LETRAS CLAVE					
	A	B	C	D	E	F
1°	18	18	23	-	-	-
2°	23	23	30	-	-	-
3°	30	30	30	45	-	-
4°	-	-	45	45	45	60

Fuente: OACI.(International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006a)

De acuerdo a nuestro avión tenemos nuestro ancho de pista de 45m.

A.4. Tipo de tren aterrizaje de las aeronaves

Tabla 17.
Tren de aterrizaje de cada aeronave

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL
	Kg	Lb	
AIRBUS A319	75,500.00	166,448.81	DUAL
AIRBUS A320	77,000.00	169,755.74	DUAL TANDEM
AIRBUS A321-100	93,500.00	206,131.97	DUAL
AIRBUS A330-200	230,000.00	507,062.60	DUAL TANDEM
ANTONOV AN-26-100	25,000.00	55,115.50	DUAL
ANTONOV AN-32B	27,000.00	59,524.74	DUAL
BOEING B727-200	95,000.00	209,438.90	DUAL
BOEING B737-200	49,000.00	108,026.38	DUAL
BOEING B747-200	378,000.00	833,346.36	WIDE BODY
BOEING B747-400	397,000.00	875,234.14	WIDE BODY
BOEING B757-200	116,000.00	255,735.92	DUAL TANDEM
BOEING B767-200	179,000.00	394,626.98	DUAL TANDEM
BOEING B767-300	187,000.00	412,263.94	DUAL TANDEM
BOEING B767-400	204,000.00	449,742.48	DUAL TANDEM
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273,000.00	601,861.26	WIDE BODY
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286,000.00	630,522.00	WIDE BODY
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.32	580.52	WIDE BODY

Fuente. *Propia.*

A.5. Número de salidas anuales Promedio 2017-2037.

La metodología (U.S. Department of Transportation, 1995) establece en su manual AC 150/5320-6D que los pavimentos de los aeropuertos se diseñan para un periodo de 20 años.

Por ende, se determinó el tráfico anual promedio de diseño (2017-2037) empleando la siguiente fórmula.

Donde:

$$t_{prom} = \frac{t_{i * [(1+r)^y - 1]}}{y * r}$$

Ti = Trafico inicial.

Tprom = Trafico promedio durante el periodo de diseño.

Y = Periodo de diseño en años. (20)

r = Razón de crecimiento anual del tráfico (6.30%)

Tabla 18.
Número de salidas anuales Promedio 2017-2037

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE LB	KG	SALIDAS ANUALES 2016 *(Ti)*	SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2017-2037 *(Tprom)*
AIRBUS A319	75,500.00	166,448.81	21,850	41,509
AIRBUS A320	77,000.00	169,755.74	13,265	25,200
AIRBUS A321-100	93,500.00	206,131.97	11,355	21,571
AIRBUS A330-200	230,000.00	507,062.60	9,875	18,760
ANTONOV AN-26-100	25,000.00	55,115.50	5,701	10,830
ANTONOV AN-32B	27,000.00	59,524.74	8,535	16,214
BOEING B727-200	95,000.00	209,438.90	12,303	23,372
BOEING B737-200	49,000.00	108,026.38	13,035	24,763
BOEING B747-200	378,000.00	833,346.36	9,851	18,714
BOEING B747-400	397,000.00	875,234.14	1,210	2,299
BOEING B757-200	116,000.00	255,735.92	4,017	7,631
BOEING B767-200	179,000.00	394,626.98	10,236	19,445
BOEING B767-300	187,000.00	412,263.94	9,652	18,336
BOEING B767-400	204,000.00	449,742.48	13,228	25,129
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273,000.00	601,861.26	8,751	16,624
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286,000.00	630,522.00	4,761	9,045
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.32	580.52	7,532	14,309

Fuente: *Propia*

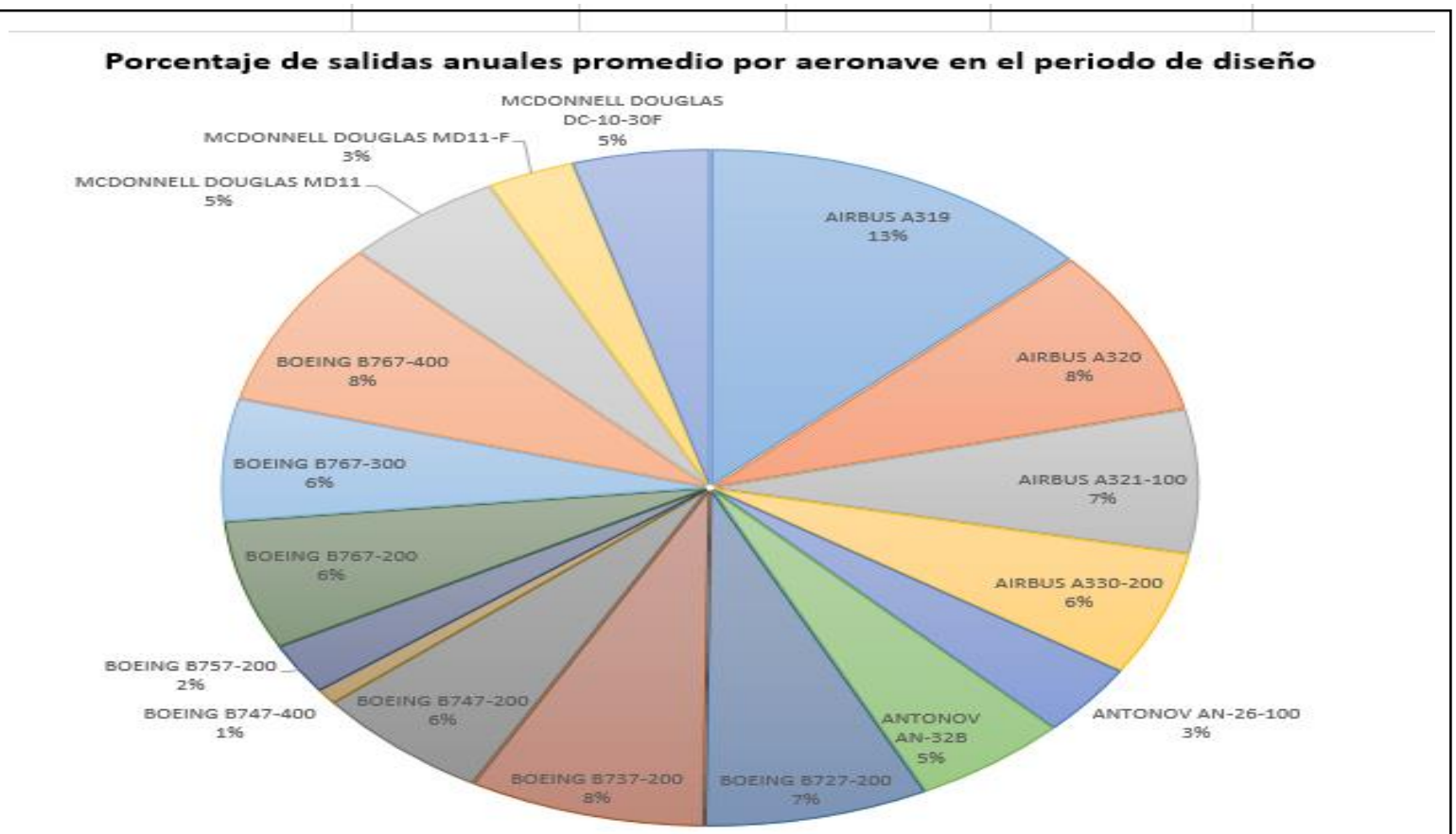


Figura 42. Distribución de salidas anuales promedio por aeronave
Fuente: Propia

En la figura 42. Se aprecia que el mayor porcentaje de salidas anuales es de un 13% que corresponde a la aeronave AIRBUS A319, y el menor porcentaje de salidas anuales es de 1% corresponde a la aeronave BOEING B747-200.

La proyección a 20 años es un total de 317,751 salidas del aeropuerto propuesto de Mórrope – Lambayeque.

A.6. Determinación de aeronaves de diseño

De acuerdo a la metodología descrita para la aeronave de cálculo de espesor se realizó con la ayuda de los gráficos para cada aeronave.

El avión de diseño que se seleccionó el que requiere el mayor espesor de pavimento **BOEING 767-400** de acuerdo a la tabla 19.

Obtenido el espesor se aplica un factor de corrección para las aeronaves que realizan mayor de 25,000 salidas y así se tomara el mayor valor de espesor del pavimento que requiere la aeronave.

Figura 43. Boeing 767
Fuente:(Quintero Gonzáles, 2009)

Tabla 19.
Características del avión de diseño

AVIÓN	767-400
Pasajeros	245 (3 clases) 304 (2 clases) 375 (1 clase)
Volumen de carga	129,6 m³
Longitud	61,4 m
Envergadura	51,9 m
Área o superficie alar	290,7 m²
Altura del fuselaje	5.41
Ancho del fuselaje	5.03
Ancho de la cabina	4.72
Autonomía máxima con peso máximo	5.625 mn (10.415 km) Transpacífico
Máxima velocidad	913 km/h a una altitud de 35.000 pies
Carrera de despegue con peso máximo	2.895 m
Motores (x2)	P&W PW4000-94

A.7. Cálculo de los espesores del pavimento flexible

Para el cálculo del espesor de la estructura del pavimento se requieren ciertos parámetros como:

- Aeronave de cálculo B767-400 DUAL TANDEM
- CBR de la subrasante: 14.20%

La metodología determina si el peso de la aeronave de cálculo es mayor a 100,000 lb (45,350 Kg), será necesario estabilizar las capas de base y subbase. Por lo consiguiente, la estabilización de las capas se puede obviar si los materiales son de buena calidad y si están dentro del límite del CBR permitidos por la metodología

FAA (CBR=100% mín. para la base y CBR=40% mín. para la subbase). (U.S. Department of Transportation, 1995)

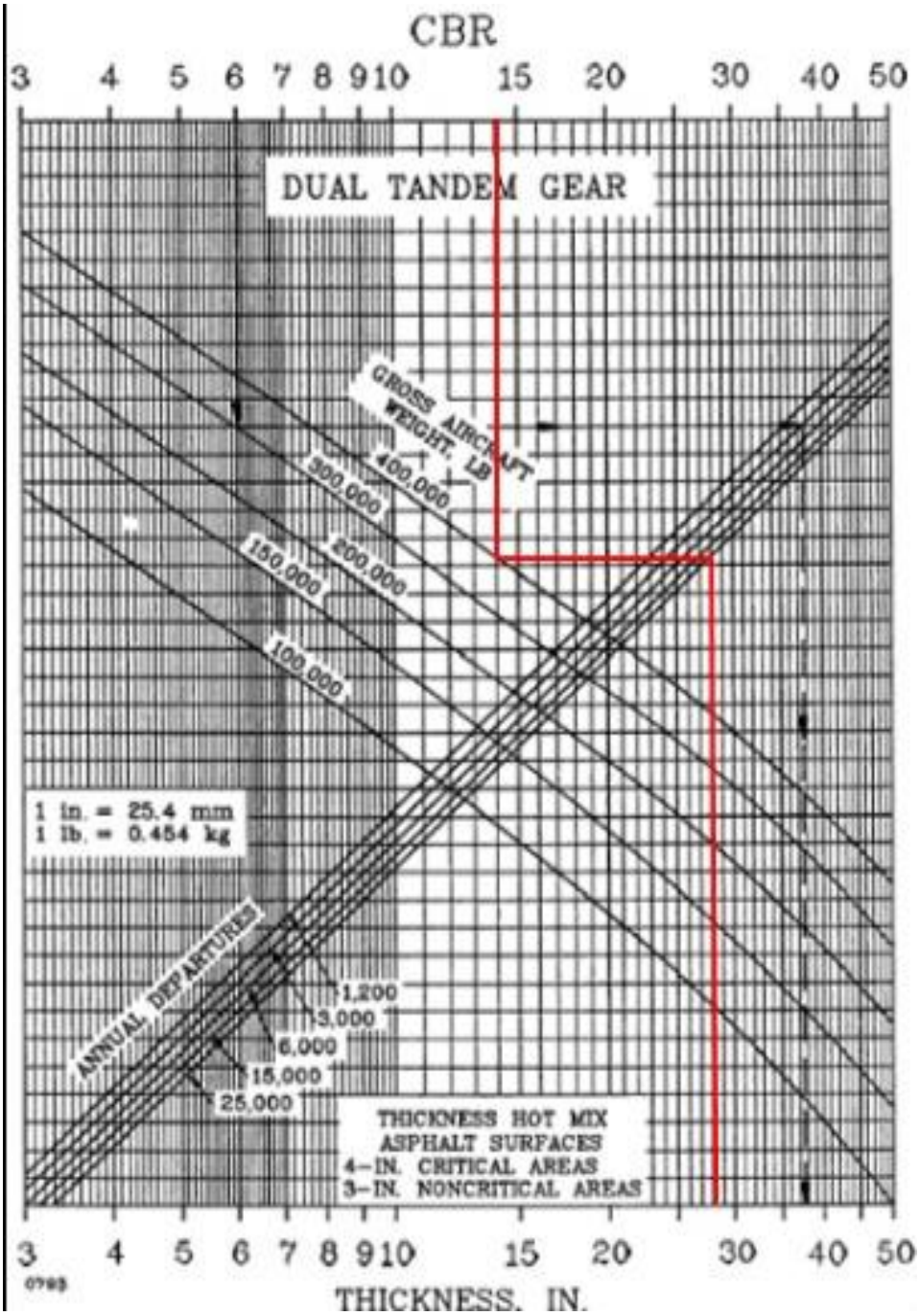


Figura 44. Curvas de diseño de un pavimento flexible con tren dual tándem
Fuente: FAA AC 150/5320-6D.

El espesor total del pavimento es 28”. con la corrección vendría hacer 28” x 102.92% = 28.82” (73.20cm). Incremento de 0.82” (2cm).

Tabla 20.
Determinación de la aeronave de cálculo

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2017-2037 (T_{prom})	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL	ESPESOR PLG	PORCENTAJE DE CORRECIÓN	ESPESOR CORREGIDO PLG
	Kg	Lb					
AIRBUS A319	75,500.0	166,448.81	41,509	DUAL	16	103.32	16.53
AIRBUS A320	77,000.0	169,755.74	25,200	DUAL	13.5	102.01	13.50
AIRBUS A321-100	93,500.0	206,131.97	21,571	DUAL	19	-	19.00
AIRBUS A330-200	230,000.0	507,062.60	18,760	DUAL TANDEM	21	-	21.00
ANTONOV AN-26-100	25,000.0	55,115.50	10,830	DUAL	7.5	-	7.50
ANTONOV AN-32B	27,000.0	59,524.74	16,214	DUAL	7	-	7.00
BOEING B727-200	95,000.0	209,438.90	23,372	DUAL	15.5	-	15.50
BOEING B737-200	49,000.0	108,026.38	24,763	DUAL	13	-	13.00
BOEING B747-200	378,000.0	833,346.36	18,714	WIDE BODY	18.5	-	18.50
BOEING B747-400	397,000.0	875,234.14	2,299	WIDE BODY	20	-	20.00
BOEING B757-200	116,000.0	255,735.92	7,631	DUAL TANDEM	14.5	-	14.50
BOEING B767-200	179,000.0	394,626.98	19,445	DUAL TANDEM	14.5	-	14.50
BOEING B767-300	187,000.0	412,263.94	18,336	DUAL TANDEM	18.5	-	18.50
BOEING B767-400	**204,000.0**	**449,742.48**	**25,129**	**DUAL TANDEM**	**28**	**102.01**	**28.82**
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273,000.0	601,861.26	16,624	WIDE BODY	17.5	-	17.50
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286,000.0	630,522.00	9,045	WIDE BODY	18.5	-	18.50
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.3	580.52	14,309	WIDE BODY	17	-	17.00

Fuente. *Propia*

De la tabla 20 se puede apreciar que la aeronave B767-400 requiere mayor espesor que es **(28.82 plg).**

A.8. Determinación de salidas anuales equivalentes de la aeronave de diseño.

Dado que la operación del tráfico es una variedad de aeronaves que tienen diferentes trenes de aterrizaje y diferentes pesos, los efectos de todo el tráfico deben considerarse en términos de la aeronave de diseño B767-400, Se han establecido factores para esta conversión, se aplican tanto para pavimentos rígidos y flexibles.

Tabla 21.
Salidas anuales promedio afectadas por el factor de conversión

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2017-2037 (T_{prom})	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL	FACTOR DE CONVERSION	SALIDAS CON EL TREN DE LA AERONAVE DE CALCULO (R2)
AIRBUS A319	41,509	DUAL	0.6	24905
AIRBUS A320	25,200	DUAL	0.6	15120
AIRBUS A321-100	21,571	DUAL	0.6	12943
AIRBUS A330-200	18,760	DUAL TANDEM	1	18760
ANTONOV AN-26-100	10,830	DUAL	0.6	6498
ANTONOV AN-32B	16,214	DUAL	0.6	9728
BOEING B727-200	23,372	DUAL	0.6	14023
BOEING B737-200	24,763	DUAL	0.6	14858
BOEING B747-200	18,714	WIDE BODY	1	18714
BOEING B747-400	2,299	WIDE BODY	1	2299
BOEING B757-200	7,631	DUAL TANDEM	1	7631
BOEING B767-200	19,445	DUAL TANDEM	1	19445
BOEING B767-300	18,336	DUAL TANDEM	1	18336
BOEING B767-400	**25,129**	**DUAL TANDEM**	1	25129
MCDONNELL DOUGLAS MD11	16,624	WIDE BODY	1	16624
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	9,045	WIDE BODY	2	18089
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	14,309	WIDE BODY	3	42926

Fuente. *Propia.*

Tabla 22.

Cálculo de las salidas anuales equivalentes del avión de diseño.

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS CON EL TREN DE LA AERONAVE DE CALCULO (R2)	CARGA POR LLANTA		CARGA POR RUEDA W1	W2	SALIDAS ANUALES EQUIVALENTES DEL AVION DE DISEÑO (R1)
	Kg	Lb		KG	LB			
AIRBUS A319	75,500.0	166,448.81	24905	18,875.00	41,612.20	53,407	39,532	9,637
AIRBUS A320	77,000.0	169,755.74	15120	9,625.00	42,438.94	53,407	40,317	9,646
AIRBUS A321-100	93,500.0	206,131.97	12943	23,375.00	51,532.99	53,407	48,956	14,472
AIRBUS A330-200	230,000.0	507,062.60	18760	28,750.00	126,765.65	53,407	60,214	11,275
ANTONOV AN-26-100	25,000.0	55,115.50	6498	6,250.00	13,778.88	53,407	13,090	101
ANTONOV AN-32B	27,000.0	59,524.74	9728	6,750.00	14,881.19	53,407	14,137	141
BOEING B727-200	95,000.0	209,438.90	14023	23,750.00	52,359.73	53,407	49,742	17,283
BOEING B737-200	49,000.0	108,026.38	14858	12,250.00	27,006.60	53,407	25,656	1,076
BOEING B747-200	378,000.0	833,346.36	18714	47,250.00	208,336.59	53,407	35,625	3,186
BOEING B747-400	397,000.0	875,234.14	2299	49,625.00	218,808.54	53,407	35,625	571
BOEING B757-200	116,000.0	255,735.92	7631	14,500.00	63,933.98	53,407	35,625	1,527
BOEING B767-200	179,000.0	394,626.98	19445	22,375.00	98,656.75	53,407	46,862	10,751
BOEING B767-300	187,000.0	412,263.94	18336	23,375.00	103,065.99	53,407	48,956	12,392
BOEING B767-400	**204,000.0**	**449,742.48**	**25129**	**25,500.00**	**112,435.62**	**53,407**	**53,407**	**25,129**
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273,000.0	601,861.26	16624	34,125.00	150,465.32	53,407	35,625	2,890
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286,000.0	630,522.00	18089	35,750.00	157,630.50	53,407	35,625	1,752
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.3	580.52	42926	32.92	145.13	53,407	35,625	2,556

Fuente. *Propia.*

(*) Para el cálculo de las salidas anuales equivalentes, las aeronaves de fuselaje ancho son consideradas según el AC 150/5320-6D como aeronaves con tren dual tándem (8 ruedas) y con un peso bruto de 300,000lb (136,100kg), resultando así una carga de 35,625lb (16,162kg) para cada llanta de tren principal.(U.S. Department of Transportation, 1995)

A.9. Espesor de la superficie asfáltica:

Se determina directamente del gráfico de la aeronave de mayor peso de despegue, en nuestro caso el B 747-400; lo cual la metodología recomienda que para zonas críticas debe ser de 5.0” (12.7 cm). A este valor se le añade 0.82” producto del espesor corregido, obteniendo un espesor de superficie asfáltica de 5.82” (14.78cm).

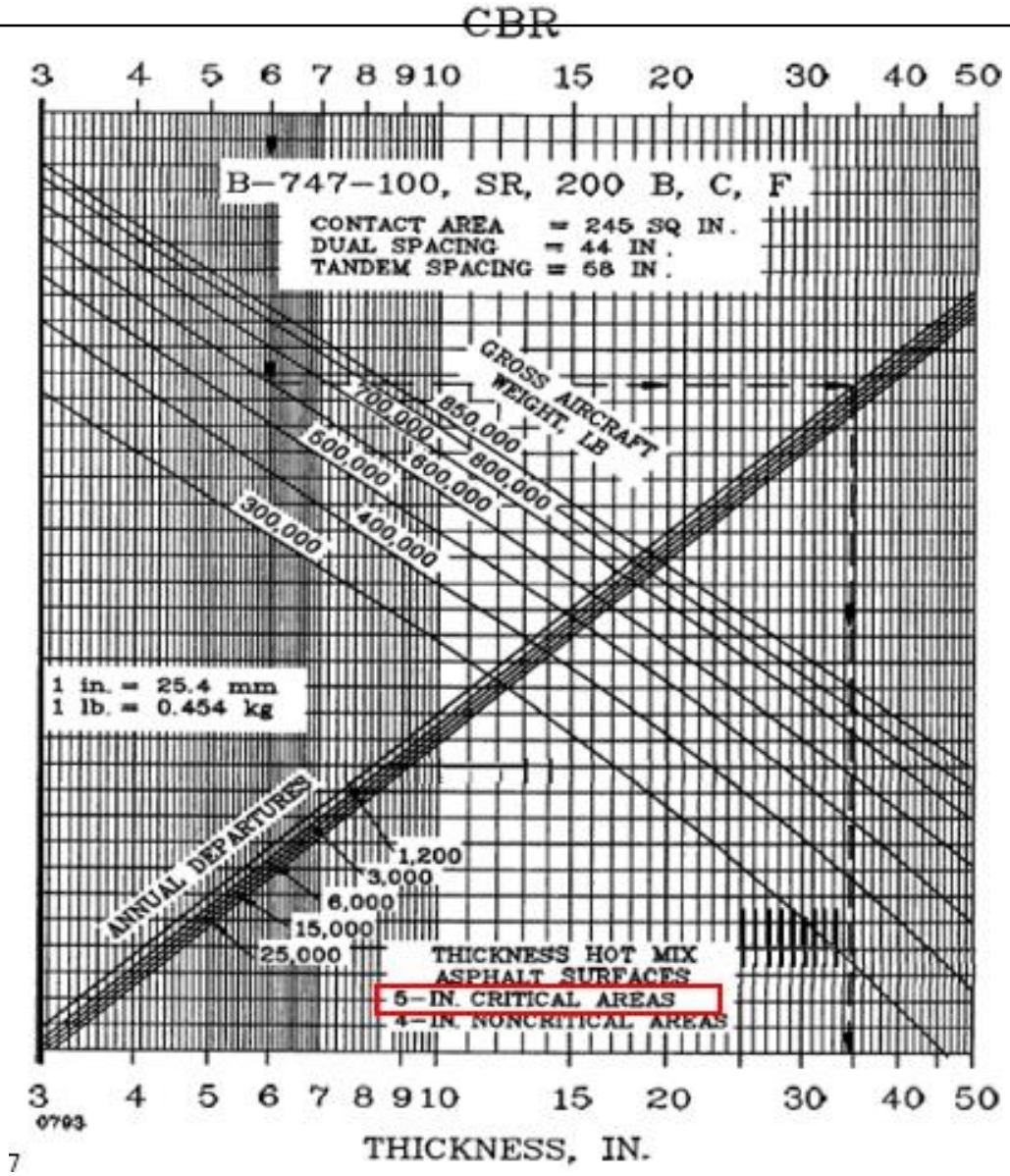


Figura 45.Área crítica para un pavimento.
Fuente: *FAA AC 150/5320-6D*

.

A.10. Espesor de la capa subbase:

Se toma el mínimo valor de CBR dado la FAA que es 40%, con este valor obtenemos un espesor de 12” (30.48 cm), No obstante, se debe corregir este valor lo cual resulta 12.35” (31.37 cm).

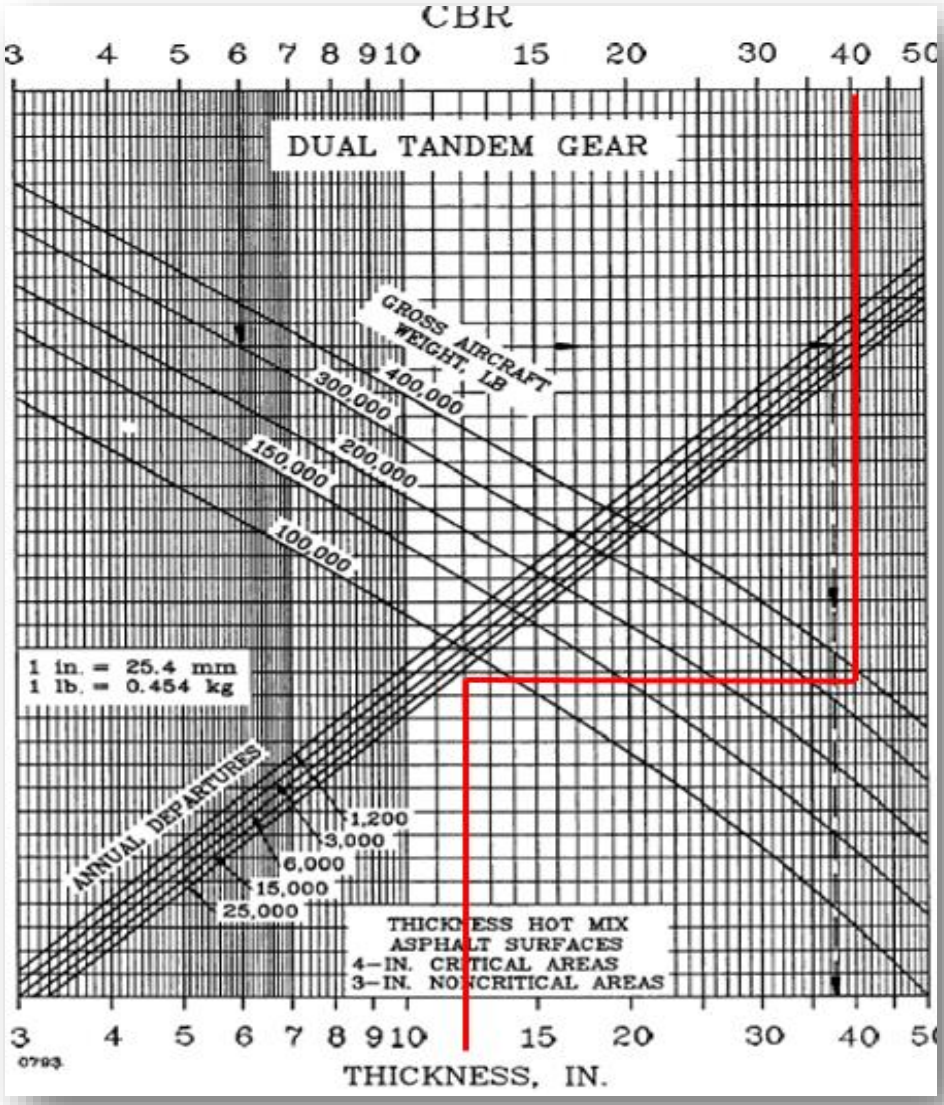


Figura 46. Curvas de diseño de un pavimento flexible para tren dual tándem
Fuente: FAA AC 150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Estados Unidos: 1995.

A.11. Espesor de la capa base:

Los valores obtenidos de carpeta asfáltica y base **(12.35")** además se conoce el espesor de la superficie asfáltica **5.82",** por ende, por diferencia de estos valores se tiene el espesor de la capa base, cuyo valor resulta **6.53**" **(16.58cm).**

Se debe verificar los valores con lo siguiente tabla que nos proporciona la metodología.

Tabla 23.
Espesor mínimo de la capa base.

DESIGN ARICAFT	DESIGN LOAD RANGE						Minimun Base Course Thickness	
	LBS			KG			in	mm
SINGLE WHEEL	30,000	-	50,000	13,600	-	22,700	4	100
	50,000	-	75,000	22,700	-	34,000	6	150
DUAL WHEEL	50,000	-	100,000	22,700	-	45,000	6	150
	100,000	-	200,000	45,000	-	90,700	8	200
DUAL TANDEM	100,000	-	200,000	45,000	-	90,700	6	150
	250,000	-	400,000	113,400	-	181,000	8	200
747	200,000	-	400,000	90,700	-	181,000	6	150
757					-			
DC-10	400,000	-	600,000	90,700	-	181,000	8	200
L1011					-			
B767	400,000	-	600,000	181,000	-	272,000	6	150
	600,000	-	850,000	272,000	-	385,700	8	200
C-130	75,000	-	125,000	34,000	-	56,700	4	100
	125,000	-	175,000	56,700	-	79,400	6	150

Fuente. *FAA AC 150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Estados Unidos: 1995.* (U.S. Department of Transportation, 1995)

A.12. Resumen de los espesores de las capas del pavimento flexible para zonas críticas. (Pista de aterrizaje y calle de rodaje)

Tabla 24.
Espesores del pavimento flexible para zonas críticas.

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR		CONSTRUCCIÓN	
	Plg.	**Cm**	**Plg.**	**Cm**
CAPA RODADURA	5.82	14.78	6	15
CAPA BASE	6.53	16.58	8	20
CAPA SUBBASE	16.47	41.83	16	40
TOTAL	**28.82**	**73.19**	**30**	**75**

Fuente. *Propia.*

A.13. Resumen del espesor del pavimento margen crítica (bermas de pista de aterrizaje y calle de rodaje)

Tabla 25.
Espesor total del margen crítico (bermas de pista de aterrizaje y calle de rodaje).

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR		CONSTRUCCIÓN	
	Plg.	**Cm.**	**Plg.**	**Cm.**
CAPA RODADURA	2	5	2	5
CAPA BASE	4.57	11.60	6	15
CAPA SUBBASE	22.25	56.52	22	55
TOTAL	**28.82**	**73.19**	**30**	**75**

Fuente. *Propia.*

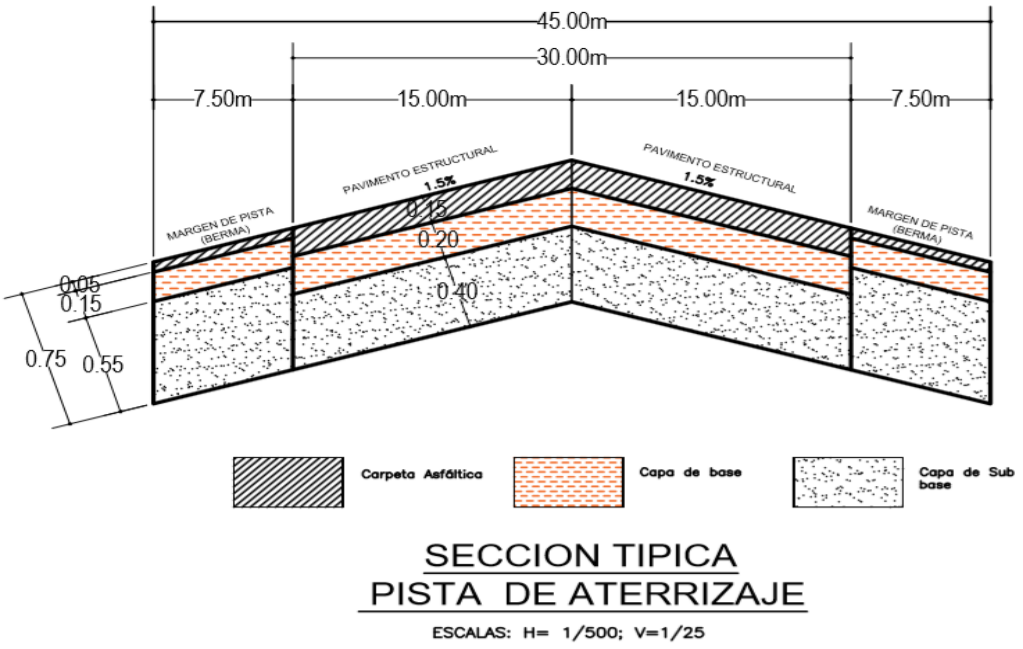


Figura 47. Secciones transversales del pavimento flexible – pista de aterrizaje
Fuente: Propia.

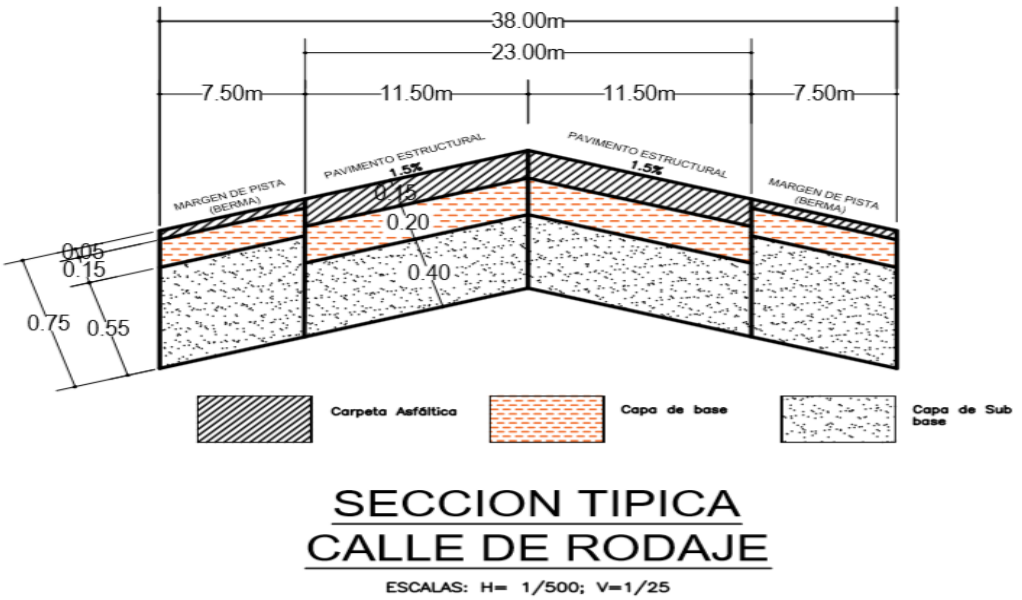


Figura 48.Sección transversal del pavimento flexible - calle de rodaje
Fuente: Propia.

A.14. Resumen del espesor del pavimento flexible estructural no crítica (salidas rápidas)

Tabla 26.
Espesor total del pavimento flexible zona no crítica – salidas rápidas.

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR		CONSTRUCCIÓN	
	Plg	**Cm**	**Plg**	**Cm**
CAPA RODADURA	4.82	12.24	4	10
CAPA BASE	5.88	14.94	6	15
CAPA SUBBASE	18.12	46.02	20	50
TOTAL	**28.82**	**73.20**	**30**	**75**

Fuente. *Propia.*

A.15. Resumen del espesor del pavimento margen no crítica (bermas salidas rápidas)

Tabla 27.
Espesor total del pavimento margen no crítica (bermas para salidas rápidas)

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR		BORDE ADELGAZADO	
	Plg	**Cm**	**Plg**	**Cm**
CAPA RODADURA	2	5.08	2	5
CAPA BASE	4.12	10.46	6	15
CAPA SUBBASE	22.70	57.66	22	55
TOTAL	**28.82**	**73.20**	**30**	**75**

Fuente. *Propia.*

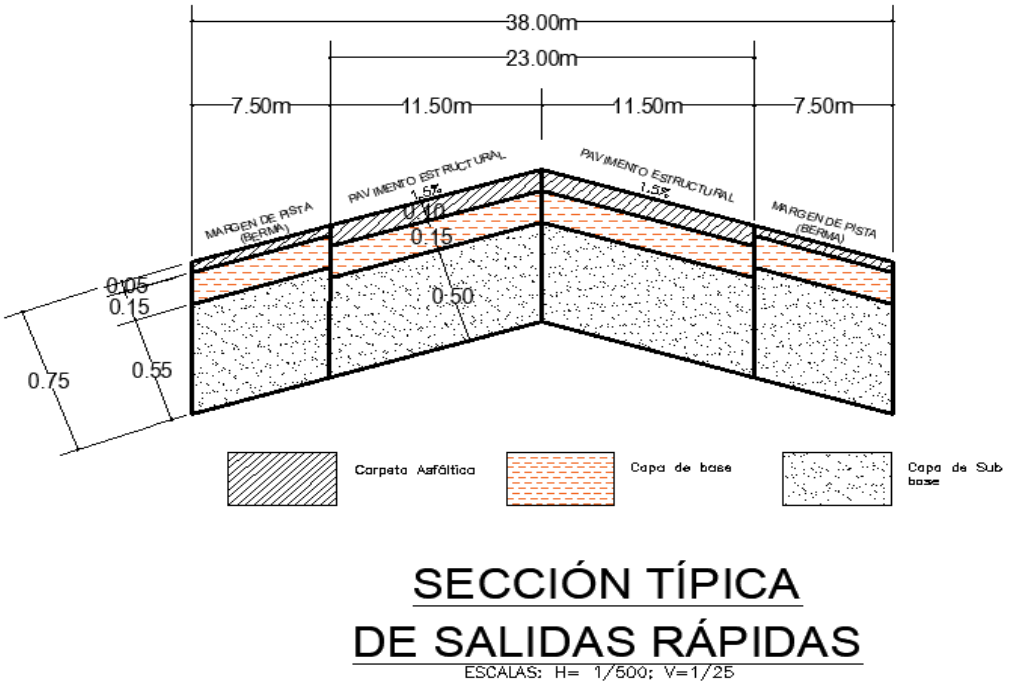


Figura 49. Sección transversal del pavimento flexible-salidas rápidas.
Fuente: Propia.

A.16. Diseño del pavimento rígido según el método de la FAA

Para el espesor de la estructura del pavimento rígido hemos asignado espesor de 10” para la capa base, de acuerdo a la metodología.

A.17. Resumen de los datos recolectados

Los valores obtenidos del (CBR), para:

- Capa Subrasante: **14.20%**

El espesor requerido del pavimento de concreto está relacionado con la resistencia del concreto utilizado en el pavimento. La resistencia del concreto se evaluó por el método de resistencia a la flexión - MR, debido a que el trabajo principal de una losa de concreto es a la flexión.

De acuerdo a las especificaciones técnicas, la resistencia mínima de la flexión de las losas de concreto es de 600 PSI (libras/pulgada cuadrada), lo cual quiere decir

que no se debe diseñar losas de concreto de cemento Portland con resistencia de menores a la indicada.

A.18. Determinación de la aeronave de cálculo para distintos espesores de capa subbase.

La aeronave de cálculo se determinó usando los gráficos de la metodología, por lo cual se necesita conocer lo siguiente: resistencia del concreto a la flexión, módulo de reacción de la subbase, el peso bruto y las salidas anuales de las aeronaves. El módulo de reacción de la base se determinó para el espesor de base determinado (10”).

Empleando la figura 46 se determina el módulo de reacción de la subrasante (K), el cual está en función a su valor de CBR (14.20%). En este caso obtenemos que el módulo de reacción de la subrasante es 7 Kg/cm (263 PCI) (263lb/pulg3).

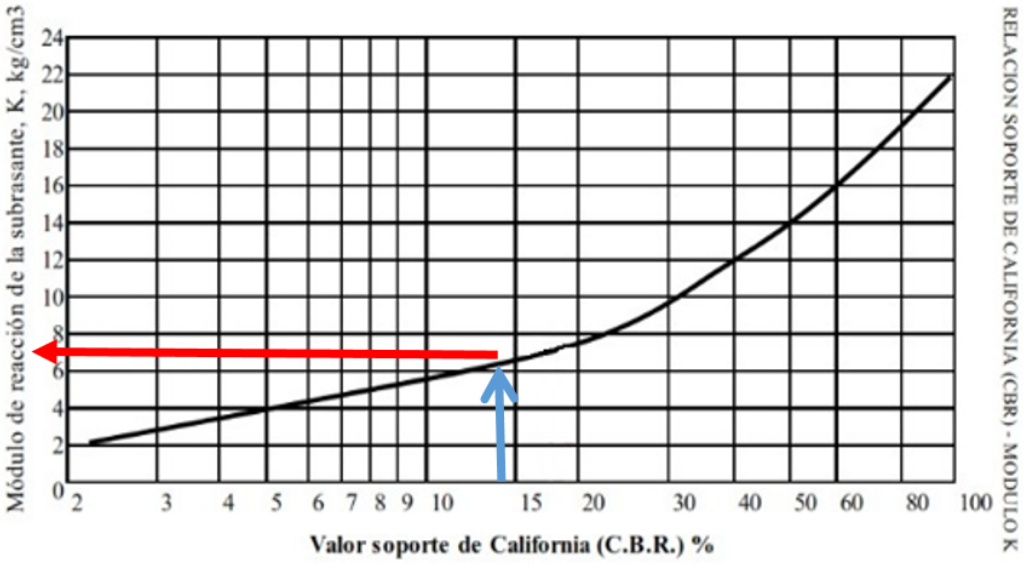


Figura 50. Relación entre CBR – K (módulo de reacción de la subrasante).
Fuente: Fuente: OLCESE FRANZERO, Manuel. Pavimentos – Apuntes del Curo, PUCP. Lima: 2009.

A.19. Espesor de la base es igual a 10”.

Obtenido el módulo de reacción de la subrasante (K), procedemos a calcular el módulo de reacción de la base (k), el cual se obtiene empleando la figura 50 que está en función del espesor de la capa subbase 10” (25 cm) y del módulo de reacción de la subrasante 7 Kg/cm3 (263 PCI) (263lb/pul3).

El valor K de la capa de cimentación se determinó con la utilización del ábaco siguiente, para lo cual se consideró un espesor de capa de cimentación de 10” (25 cm), obteniendo un valor del Módulo de Reacción Combinada por efecto de la cimentación Kc = 285 Lb/pulg^3

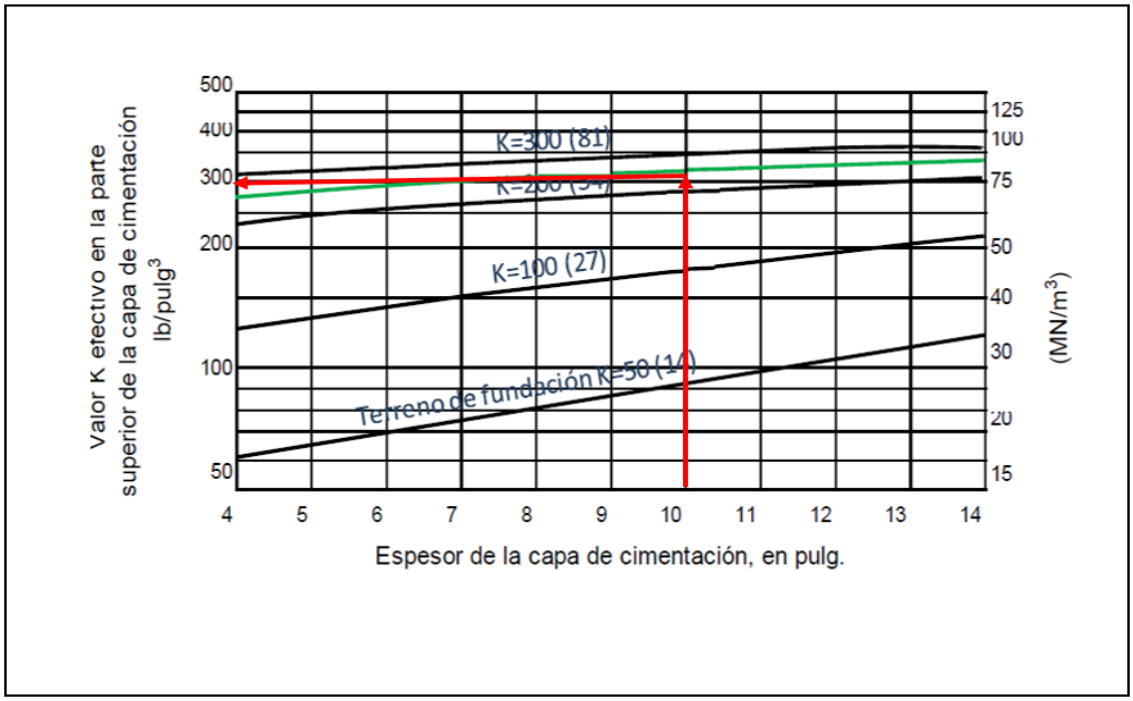


Figura 51.Módulo de reacción del terreno de Fundación.
Fuente: OACI. Manual de Diseño de aeródromos - Parte III, Pavimentos. Canadá: 1983.

A.20. Aeronave de diseño y salidas anuales de la aeronave de diseño

Las variables aeronave de diseño y salidas anuales equivalentes de diseño son las mismas calculadas anteriormente para el diseño del pavimento flexible, éstas corresponden a la BOEING 767-400.

Los datos de entrada que se requieren para el cálculo del espesor de la losa de concreto del pavimento estructural son los siguientes:

- Avión de cálculo: B 767–400 (Dual Tándem)
- Peso bruto del avión de cálculo: 450,008 lb (204,120 Kg)
- Número total de salidas anuales equivalentes: 165,157.
- Resistencia del concreto a la flexión: 42 kg/cm2 (600 psi)
- Módulo de reacción de la cimentación : 285lb/pulg3 (285 pci).

A.21. Espesor del pavimento.

Mediante intersecciones se obtuvo el espesor total del pavimento requerido con el ábaco de la figura 48, cuyo procedimiento de utilización es el siguiente:

Ubicar en la ordenada lateral izquierda el valor de la resistencia a la flexión del concreto MR = 600 PSI. Trácese horizontalmente una línea hasta la intersección con el valor del módulo de reacción combinado Kc = 285 Lb/pulg^2/pulg, trácese una proyección vertical hasta el peso bruto de la aeronave de diseño es 450,008lb (204,120kg)

Por lo tanto el pavimento rígido calculado es de una capa de cimiento base estabilizada de 20”.

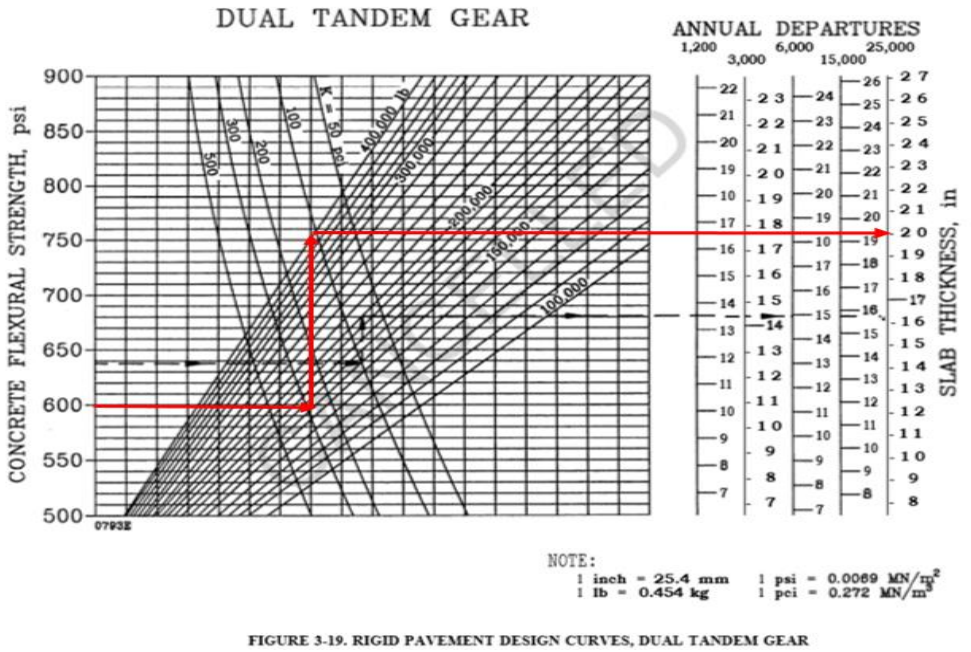


Figura 52.Curvas para el diseño del pavimento rígido, tren dual tándem.
Fuente: FAA. AC150/5320-6D.

A.22. Espesor de las capas del pavimento rígido para una zona crítica. (Pista de aterrizaje y calle de rodaje)

Tabla 28.
Espesor de las capas del pavimento rígido para una zona crítica.

ESPESOR PAVIMENTO RÍGIDO – ÁREA CRÍTICA				
PAVIMENTO RÍGIDO	**ESPESOR**		**CONSTRUCCIÓN**	
	Pulg.	**Cm.**	**Pulg.**	**Cm.**
LOSA DE CONCRETO	20.00	50.80	22.00	55.00
CAPA BASE	10.00	25.40	8.00	20.00
TOTAL	**30.00**	**76.20**	**30.00**	**75.00**

Fuente: *Propia.*

A.23. Espesor de la margen crítica (Berma pista de aterrizaje y calle de rodaje).

Tabla 29.
Espesor del margen crítica (Berma pista de aterrizaje y calle de rodaje).

ESPESOR PAVIMENTO RÍGIDO ÁREA CRÍTICA (BERMA PISTA DE ATERRIZAJE Y CALLE DE RODAJE)				
PAVIMENTO RÍGIDO	**BORDE ADELGAZADO**		**CONSTRUCCION**	
	Pulg.	**Cm.**	**Pulg.**	**Cm.**
LOSA DE CONCRETO	14.00	35.56	12.00	30.00
CAPA BASE	16.00	40.46	18.00	45.00
TOTAL	**30.00**	**76.20**	**30.00**	**75.00**

Fuente: *Propia.*

A.24. Sección transversal del pavimento rígido.

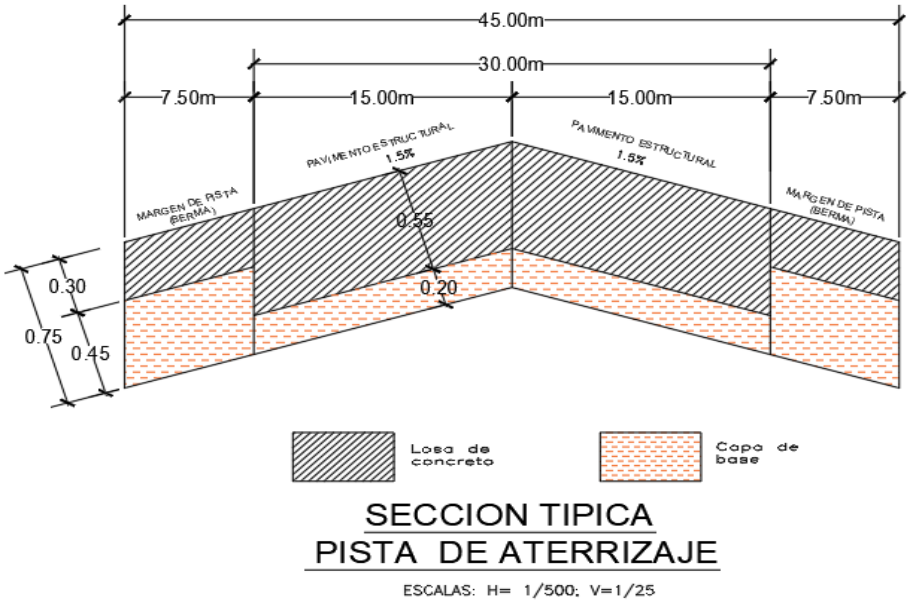


Figura 53. Sección transversal del pavimento rígido crítico.
Fuente: Propia

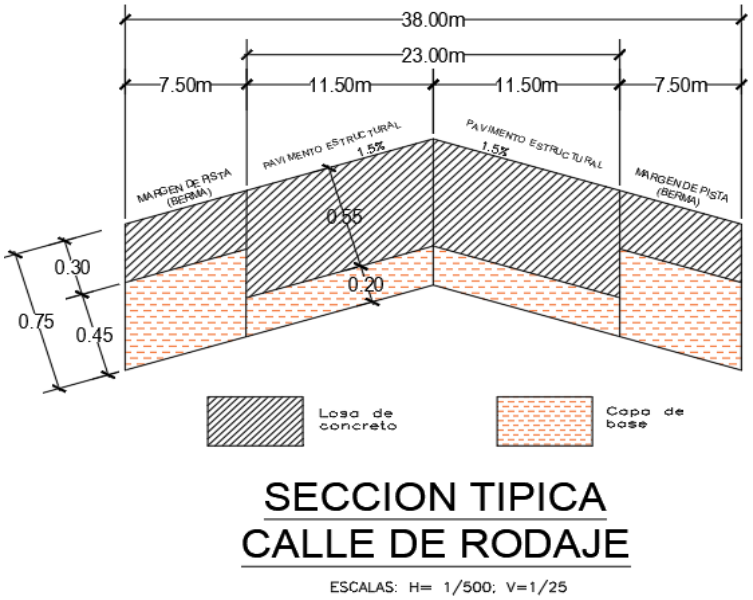


Figura 54. Sección transversal del pavimento rígido no crítico – calle de rodaje.
Fuente: Propia.

A.25. Espesor de la margen no crítica (salidas rápidas).

Tabla 30.
Espesor del pavimento estructural no crítica (salidas rápidas).

ESPESOR PAVIMENTO RÍGIDO - ÁREA CRÍTICA				
PAVIMENTO RÍGIDO	**ESPESOR**		**CONSTRUCCIÓN**	
	Pulg.	**Cm.**	**Pulg.**	**Cm.**
LOSA DE CONCRETO	18.00	45.72	18.00	45.00
CAPA BASE	12.00	30.48	12.00	30.00
TOTAL	**30.00**	**76.20**	**30.00**	**75.00**

Fuente: *Propia.*

A.26. Espesor de la margen no crítica (Berma salidas rápidas).

Tabla 31.
Espesor del margen no crítica (Berma salidas rápidas).

ESPESOR PAVIMENTO RÍGIDO ÁREA NO CRÍTICA (SALIDAS RÁPIDAS)				
	BORDE ADELGAZADO		CONSTRUCCION	
PAVIMENTO RÍGIDO	Pulg.	Cm.	Pulg.	Cm.
LOSA DE CONCRETO	12.60	32.00	12.00	30.00
CAPA BASE	17.40	44.20	18.00	45.00
TOTAL	**30.00**	**76.20**	**30.00**	**75.00**

Fuente: *Propia*

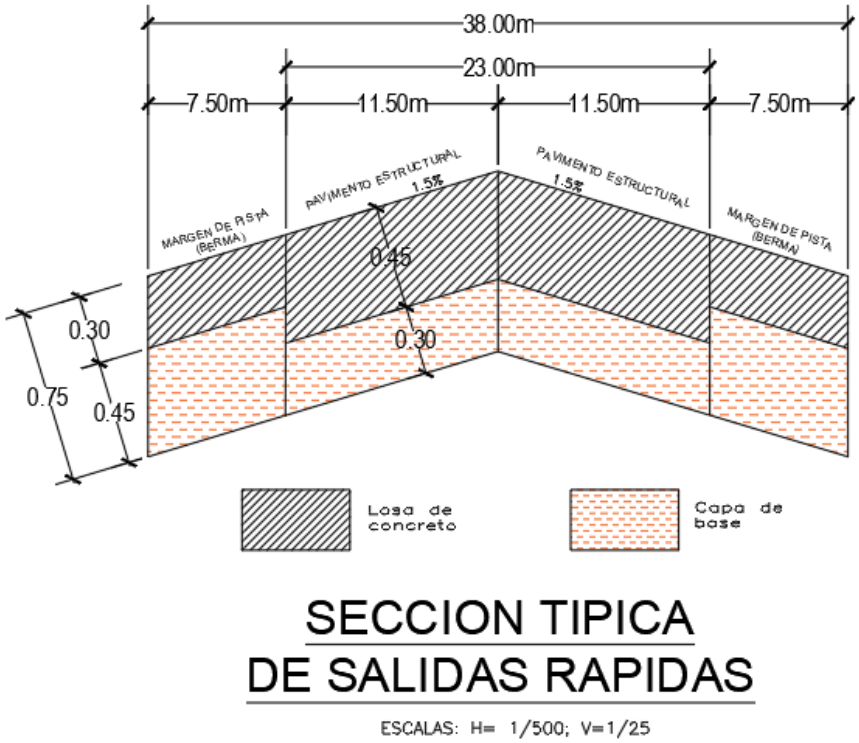


Figura 55. Sección transversal del pavimento rígido no crítico
Fuente: Propia.

A.27. Diseño y construcción de juntas

Todas las consideraciones que se han tomado en cuenta para el diseño de juntas, son recomendaciones dadas por la FAA en el marco teórico de esta tesis.

A.28. TIPOS DE JUNTAS A EMPLEAR

A.28.1. Juntas de expansión.

Se emplearán las juntas de expansión tipo A, provistas de dowels, en las intersecciones de pavimentos, a fin de transferir cargas.

A.28.2. Juntas de construcción

Se emplearán las juntas longitudinales de construcción tipo E, provista de barras de amarre, en la pista de aterrizaje y en las calles de rodaje.

Asimismo, se emplearán las juntas longitudinales de construcción tipo D, provisto de dowels, en la plataforma.

A.28.3. Juntas de contracción

Se emplearán las juntas transversales de contracción tipo F, provistas de dowels, en todas las juntas transversales.

A.28.4. Espaciado de juntas

Los paños del pavimento serán cuadrados, ya que en el pavimento rígido no se usará refuerzo de acero en el concreto.

Además, el espaciado no debe exceder de dos veces el espesor de la losa.

Asimismo, en la sección anterior se muestra los espaciamientos sobre una base sin estabilizar, donde el espaciamiento para juntas transversales y longitudinales debe ser como máximo 7.6 m, para losas de espesor mayor a 12 pulgadas como es el caso de esta presente tesis.

A.29. Dowels

Las dimensiones y espaciamientos de los dowels se obtienen de 4rt, y conociendo que el espesor de la losa de concreto es 17.2 pulg, obtenemos lo siguiente:

- Diámetro: 2 pulg (5.08 cm).
- Longitud: 24 pulg (60 cm).
- Separación entre barras: 18 pulg (45 cm).

Se anexa un plano en planta la distribución de la ubicación.

A.30. Rellenos y selladores de juntas

Se inicia con el corte después de aproximadamente 4 a 6 horas de vaciado el concreto (dependiendo del clima), cuando el concreto tiene cierto grado de endurecimiento y las contracciones son menores a las que causan el agrietamiento, este corte inicial generará un plano de debilidad donde se iniciará el agrietamiento.

Posteriormente, se procederá a sellar todo tipo de juntas para evitar el ingreso del agua u otro agente externo. En las juntas de expansión se usarán rellenos compresibles y sobre estos se aplican los selladores.

3.6.2. Comparación de pavimentos rígidos y flexibles

Período de Diseño y Durabilidad: Tradicionalmente los períodos de diseño para los pavimentos flexibles son menores que para los pavimentos rígidos. Por ejemplo, el Manual Peruano 2014 de Carreteras, Suelos, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos, recomienda períodos de diseño de 10 a 20 años para pavimentos flexibles y de un mínimo de 20 años para pavimentos de concreto.

Desempeño Estructural y Transmisión de Esfuerzos: Los pavimentos flexibles están compuestos por múltiples capas en donde los esfuerzos transmitidos por las cargas actuantes son distribuidos en forma gradual a través de la estructura del pavimento. Todas las capas que componen la estructura del pavimento flexible cumplen una función estructural.

En el caso de los pavimentos rígidos, es la losa de concreto la que trabaja estructuralmente y absorbe los esfuerzos producidos por las cargas actuantes. La losa puede inclusive colocarse directamente sobre la subrasante si ésta está compuesta por un suelo de buena calidad, sino se coloca una base granular que brinde una superficie uniforme sobre la cual apoyar la losa.

Es una realidad que los pavimentos flexibles y los rígidos tienen un comportamiento estructural distinto debido a las propiedades de los materiales que los componen.

Tipos de Falla: Los pavimentos flexibles presentan fallas por fatiga o por deformación de la subrasante u otra de las capas que la componen. Las fallas por fatiga se observan como fisuras longitudinales en la huella del neumático y con el tiempo de no ser debidamente tratadas se convierten en fallas tipo piel de cocodrilo. La deformación causada por deformaciones plásticas acumuladas no recuperables durante la acción cíclica de las cargas se manifiesta como ahuellamiento.

En el caso de los pavimentos rígidos las fallas típicas son por fatiga cuando los esfuerzos actuantes superan la resistencia de la losa de concreto y se presentan fisuras, o por bombeo de finos de la capa inferior donde se apoya la losa que con el tiempo se manifiesta como desniveles.

Es una realidad que los pavimentos flexibles y los rígidos tienen mecanismos de falla distintos puesto que su respuesta ante la acción de las cargas actuantes es distinta.

Efectos medio ambientales: Ambos pavimentos flexibles y rígidos están sometidos y son afectados por el medio ambiente. En el caso de los pavimentos flexibles, el asfalto es un material termo-plástico que cambia sus propiedades de viscosidad y resistencia de acuerdo a las temperaturas y está sujeto al fenómeno de oxidación durante su vida útil. Con el paso del tiempo, el pavimento flexible es más sensible al fisuramiento, así mismo en climas fríos tiende a “rigidizarse” y pueden aparecer fisuras transversales debido a cambios en el gradiente térmico, mientras

que en climas cálidos es más blando con tendencia a ahuellarse ante la acción del tráfico.

El pavimento rígido es también afectado por el medio ambiente y cambios de temperatura generan problemas de alabeo y esfuerzos de contracción, que de superar la resistencia del concreto se manifiesta en fisuras y problemas de transferencia de carga entre losas. Sin embargo, la percepción es que en términos generales, el pavimento rígido de concreto es menos sensible a los cambios medio ambientales.

En la actualidad hay una gran preocupación por el empleo de materiales y técnicas constructivas que mitiguen el impacto medio ambiental. En este sentido, los pavimentos de concreto son considerados como "pavimentos sostenibles" que reaccionan mejor ante los cambios climáticos y contribuyen a mitigar el calentamiento global al tener un albedo más alto o capacidad mayor para reflejar la luz, reducen la contaminación ambiental por una emisión de gases CO2 menor durante la producción y colocación y ahorran energía

Es una realidad que el pavimento rígido, en términos generales, es menos sensible a los efectos medio ambientales y se consideran más ecológicos.

Seguridad: El pavimento debe proveer una superficie de rodadura con la suficiente fricción al contacto con los neumáticos que evite la pérdida de control de la aeronave por deslizamiento, especialmente cuando la superficie está húmeda. En situación similar a la serviciabilidad, hay la percepción que un tipo de pavimento brinda mayor seguridad que otro. Este es un mito, la realidad es que la seguridad depende del tipo de textura de la superficie de rodadura del pavimento y que con una técnica constructiva adecuada ambos pavimentos pueden satisfacer las exigencias de seguridad.

Análisis económico: Los costos son muy importantes al momento de seleccionar el tipo de pavimento. Considerando un enfoque integral, el análisis debe incluir todos los costos de inversión durante el ciclo de vida del pavimento: costos de construcción, costos de mantenimiento, costo de rehabilitación. Estos costos se

utilizan en el análisis económico para estimar: Relaciones costo / beneficio, en análisis complementarios se incluyen también los costos de operación, costos de tiempo de transporte, y costos de accidentes.

Tabla 32.
Cuadro comparativo entre Pavimento Flexible y Pavimento Rígido.

CARACTERÍSTICAS	FLEXIBLE	RÍGIDO
PERIODO DE DISEÑO Y DURABILIDAD	MENOR	MAYOR
IMPACTO AMBIENTAL	MAYOR	MENOR
COSTO INICIAL DEL PAVIMENTO	MENOR	MAYOR
RESISTENCIA A CARGAS ABRASIVAS	MENOR	MAYOR
RESISTENCIA A CARGAS PUNTUALES	MENOR	MAYOR
RESISTENCIA A IMPACTOS	MENOR	MAYOR
IMPERMEABLE	MENOR	MAYOR
RESISTENCIA A QUÍMICOS Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO	MENOR	MAYOR
TIEMPO DE COLACIÓN	MENOR	MAYOR
PUESTA EN SERVICIO	IGUAL	IGUAL
DURABILIDAD	MENOR	MAYOR
COSTO REPARACIÓN DURANTE LA VIDA UTIL	MENOR	MAYOR

Fuente: *Propia.*

El análisis económico del pavimento rígido, el cual, a pesar de su alto costo de construcción, fue elegido ya que presenta diversas ventajas frente a un pavimento flexible tal como se detalla a continuación:

Construcción

El pavimento de concreto requiere aproximadamente 50% menos de material granular.

El avance de construcción del pavimento rígido por día es de aproximadamente un carril de 1 Km; por otro lado, en pavimentos flexibles se tienen avances diarios menores o iguales.

El pavimento rígido tiene un mejor drenaje superficial que el pavimento flexible.

Mantenimiento

El pavimento asfáltico requiere un mantenimiento desde los 2 a 5 años, mientras que el pavimento de concreto lo requiere a partir de los 10 años.

El mantenimiento de 1 Km de pavimento rígido se realiza en 3 días, mientras que en un pavimento flexible se realiza en 4 días más.

Los costos de mantenimiento del pavimento rígido son hasta 45% menores que el de un pavimento asfáltico.

Resistencia

La capa de rodadura en un pavimento rígido aumenta su resistencia en el tiempo y resiste derrame de gasolina y diesel.

Rehabilitación

Un pavimento flexible requiere un mantenimiento constante, mientras que un pavimento rígido lo requiere después de su vida útil.

Además, el pavimento rígido posee los siguientes beneficios:

- Debido a su textura rugosa, la capa de rodadura de un pavimento rígido presenta una mejor adherencia entre el neumático y el pavimento.
- Conserva la textura superficial por un mayor tiempo.
- Se reducen las emisiones de dióxido de carbono y otras.
- Requiere de 3 a 5 veces menos energía en su construcción, mantenimiento y rehabilitación.
- Es 100% reciclable.

3.7. Presupuesto diseño de aeropuerto pavimento flexible.

Presupuesto

Presupu	0203001	DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MÓRROPE - LAMBAYEQUE			
Subpres	001	PAVIMENTO FLEXIBLE			
Cliente	MORROPE			Costo al	2019
Lugar	LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE - MORROPE				
Item	**Descripción**	**Und.**	**Metrado**	**Precio S/.**	**Parcial S/.**
01	**TRABAJOS PRELIMINARES**				**35,420.11**
01.01	MOVILIZACION Y DEMOVILIZACION DE EQUIPO Y MAQUINARIA	glb	1.00	30,000.00	30,000.00
01.02	TRAZO Y REPLANTEO	km	6.60	821.23	5,420.11
02	**MOVIMIENTO DE TIERRAS**				**6,290,694.93**
02.01	CORTE	m3	139,236.90	6.00	834,905.44
02.02	RELLENO COMPENSADO	m3	8,666.50	4.01	34,737.95
02.03	RELLENO CON MATERIAL DE CANTERA	m3	119,550.71	10.25	1,225,932.06
02.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON VOLQUETES	m3	130,570.40	8.42	1,098,940.84
02.05	PERFILADO COMPACTADO Y CONFORMACION DE SUBRASANTE	m2	271,800.00	11.39	3,096,178.64
03	**PAVIMENTOS**				**50,873,255.70**
03.01	**SUB BASE**				
03.01.1	CAPA DE SUB BASE e = 0.40M (02 CAPAS DE 0.20M)	m2	159,000.00	20.80	3,307,015.94
03.01.2	CAPA DE SUB BASE e = 0.50M (02 CAPAS 0.15M + 01 CAPA DE 0.20M)	m2	6,900.00	26.79	184,842.90
03.01.3	CAPA DE SUB BASE e = 0.55M (03 CAPAS DE 0.15M + 01 CAPA DE 0.20M)	m2	99,000.00	34.98	3,463,369.36
3.02	**BASE**				
3.02.1	CAPA DE BASE e = 0.15M (01 CAPAS DE 0.15M)	m2	112,800.00	11.28	1,272,496.56
3.02.2	CAPA DE BASE e = 0.20M (01 CAPA DE 0.20M)	m2	159,000.00	12.70	2,018,744.26
3.03	**IMPRIMACION**				
3.03.1	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	271,800.00	2.44	664,421.13
3.03.2	RIEGO DE LIGA	m2	172,800.00	2.44	422,413.44
03.04	**PAVIMENTO ASFÁLTICO EN CALIENTE**				
03.04.1	CARPETA ASFALTICA DE E=2"	m3	6,330.00	731.81	4,632,387.50
03.04.2	CARPETA ASFALTICA DE E=3"	m3	23,850.00	1,463.63	34,907,564.60
	Costo Directo				**57,199,370.74**
SON:	**Cincuenta y Siete Millones Ciento Noventa y Nueve Mil Trescientos Setenta Soles Con 74/100**				

Figura 56. Costos y presupuesto de pavimento flexible.
Fuente: Propia.

De la figura 56 se observa el presupuesto del diseño del pavimento flexible con un monto de S/. 57,199,370.74 (CINCUENTA Y SIETE MILLONES CIENTO NOVENTA Y NUEVE MIL TRESCIENTOS SETENTA SOLES CON 74/100)

3.8. Presupuesto diseño de aeropuerto pavimento rígido

Presupuesto

Presupue	0203001	DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MÓRROPE - LAMBAYEQUE			
Subpresu	001	PAVIMENTO RÍGIDO			
Cliente	MORROPE			Costo al	2019
Lugar	LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE - MORROPE				
Item	**Descripción**	**Und.**	**Metrado**	**Precio S/.**	**Parcial S/.**
01	**TRABAJOS PRELIMINARES**				**35,420.11**
01.01	MOVILIZACION Y DEMOVILIZACION DE EQUIPO Y	glb	1.00	30,000.00	30,000.00
01.02	TRAZO Y REPLANTEO	km	6.60	821.23	5,420.11
02	**MOVIMIENTO DE TIERRAS**				**6,440,828.77**
02.01	CORTE	m3	147,699.90	6.01	887,065.53
02.02	RELLENO COMPENSADO	m3	13,784.20	4.06	55,947.97
02.03	RELLENO CON MATERIAL DE CANTERA	m3	118,898.22	10.71	1,273,153.50
02.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON VOLQUETES	m3	129,305.70	8.69	1,123,150.06
02.05	PERFILADO COMPACTADO Y CONFORMACION DE	m2	271,800.00	11.41	3,101,511.70
03	**PAVIMENTOS**				**61,313,400.13**
3.01	**BASE**				
3.01.01	CAPA DE BASE e = 0.20M (01 CAPAS DE 0.20M)	m2	159,000.00	12.69	2,017,233.46
3.01.02	CAPA DE BASE e = 0.30M (02 CAPAS DE 0.15M)	m2	13,800.00	22.54	311,093.29
3.01.03	CAPA DE BASE e = 0.45M (03 CAPA DE 0.15M)	m2	54,000.00	33.81	1,825,982.35
3.02	**LOSA DE CONCRETO MR=42KG/CM2**				
03.02.01	CONCRETO MR = 42	m3	123,360.00	360.52	44,474,325.76
03.02.02	DOWELS Ø 2" x 0.60 m @ 0.45 m	kg	1,208,943.44	3.53	4,263,527.64
03.02.03	BARRAS DE AMARRE ø 5/8 x 75m @ 0.75m	kg	51,368.47	6.04	310,218.83
03.02.04	CORTE DE JUNTAS	ml	263,640.00	2.42	638,879.02
03.02.05	SELLADO DE JUNTAS	ml	263,640.00	25.98	6,848,209.29
03.02.06	CURADO DE LOSA DE CONCRETO	m2	271,800.00	2.30	623,930.49
	Costo Directo				**67,789,649.01**
SON	**Sesenta y Siete Millones Setecientos Ochenta y Nueve Mil Seiscientos Cuarenta y Nueve Soles Con 01/100**				

Figura 57. Costos y presupuesto de pavimento rígido
Fuente: Propia.

De la figura 57 se observa el presupuesto del diseño del pavimento rígido del área crítica y área no critica dando un monto S/. 67´789,649.01 (SESENTA Y SIETE MILLONES SETECIENTOS OCHENTA Y NUEVE MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y NUEVE SOLES CON 01/100)

3.9. Cronograma de ejecución.

Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
	DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MÓRROPE - LAMBAYEQUE	**890 días**	**mar 30/10/18**	**jue 02/09/21**
	PAVIMENTO FLEXIBLE	**890 días**	**mar 30/10/18**	**jue 02/09/21**
	TRABAJOS PRELIMINARES	**10 días**	**mar 30/10/18**	**sáb 10/11/18**
	MOVILIZACION Y DEMOVILIZACION DE EQUIPO	4 días	mar 30/10/18	sáb 03/11/18
	TRAZO Y REPLANTEO	6 días	sáb 03/11/18	sáb 10/11/18
	MOVIMIENTO DE TIERRAS	**486 días**	**sáb 10/11/18**	**sáb 30/05/20**
	CORTE	139 días	sáb 10/11/18	lun 22/04/19
	RELLENO COMPENSADO	12 días	lun 22/04/19	lun 06/05/19
	RELLENO CON MATERIAL DE CANTERA	132 días	lun 06/05/19	lun 07/10/19
	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON	48 días	lun 07/10/19	lun 02/12/19
	PERFILADO COMPACTADO Y CONFORMACION DE SUBRASANTE	155 días	lun 02/12/19	sáb 30/05/20
	PAVIMENTOS	**394 días**	**sáb 30/05/20**	**jue 02/09/21**
	SUB BASE	**143 días**	**sáb 30/05/20**	**vie 13/11/20**
	CAPA DE SUBA BASE e = 0.40M (02 CAPAS DE 0.20M)	70 días	sáb 30/05/20	jue 20/08/20
	CAPA DE SUBA BASE e = 0.50M (02 CAPAS 0.15M + 01 CAPA DE 0.20M)	6 días	jue 20/08/20	jue 27/08/20
	CAPA DE SUBA BASE e = 0.55M (03 CAPAS DE 0.15M + 01 CAPA DE 0.20M)	67 días	jue 27/08/20	vie 13/11/20
	BASE	**107 días**	**vie 13/11/20**	**jue 18/03/21**
	CAPA DE BASE e = 0.15M (01 CAPAS DE 0.15M)	59 días	vie 13/11/20	jue 21/01/21
	CAPA DE BASE e = 0.20M (01 CAPA DE 0.20M)	48 días	jue 21/01/21	jue 18/03/21
	IMPRIMACION	**85 días**	**jue 18/03/21**	**vie 25/06/21**
	IMPRIMACION ASFALTICA	50 días	jue 18/03/21	sáb 15/05/21
	RIEGO DE LIGA	35 días	sáb 15/05/21	vie 25/06/21
	PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE	**59 días**	**vie 25/06/21**	**jue 02/09/21**
	CARPETA ASFALTICA DE E	23 días	vie 25/06/21	jue 22/07/21
	CARPETA ASFALTICA DE E	36 días	jue 22/07/21	jue 02/09/21

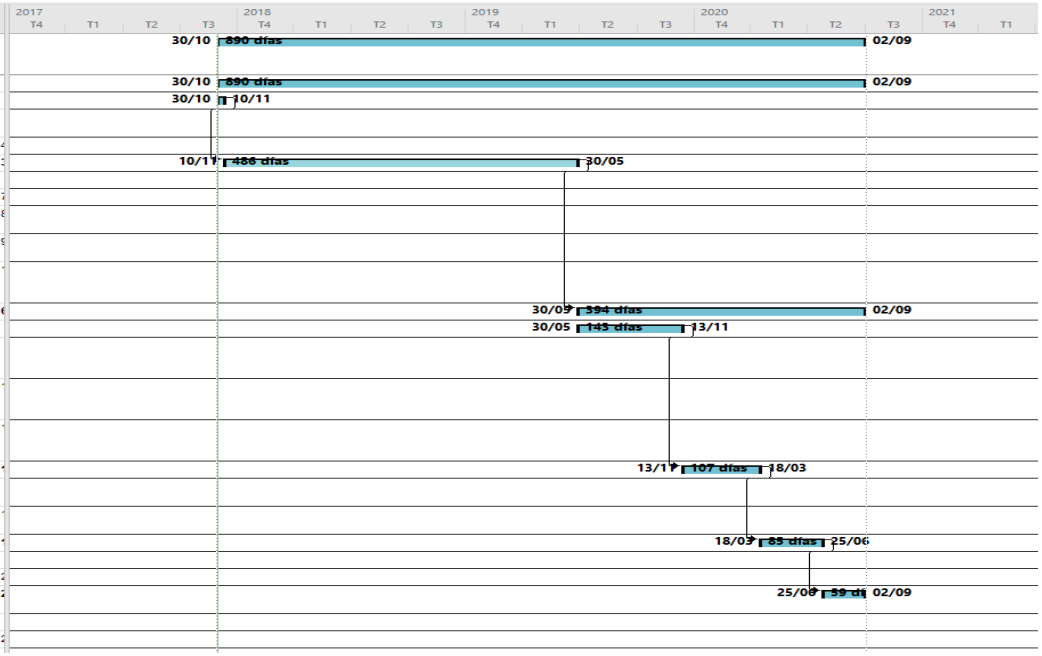


Figura 58. Cronograma pavimento flexible.
Fuente *:Propia*

	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predec
1		**DISEÑO DEL PAVIMENTO EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DEL AEROPUERTO MÓRROPE - LAMBAYEQUE**	**988 días**	**mar 30/10/18**	**sáb 25/12/21**	
2		**PAVIMENTO RIGIDO**	988 días	mar 30/10/18	sáb 25/12/21	
3		**TRABAJOS PRELIMINARES**	**10 días**	**mar 30/10/18**	**sáb 10/11/18**	
4		MOVILIZACION Y DEMOVILIZACION DE EQUIPO Y MAQUINARIA	4 días	mar 30/10/18	sáb 03/11/18	
5		TRAZO Y REPLANTEO	6 días	sáb 03/11/18	sáb 10/11/18	4
6		**MOVIMIENTO DE TIERRAS**	**486 días**	**sáb 10/11/18**	**sáb 30/05/20**	3
7		CORTE	139 días	sáb 10/11/18	lun 22/04/19	
8		RELLENO COMPENSADO	12 días	lun 22/04/19	lun 06/05/19	7
9		RELLENO CON MATERIAL DE CANTERA	132 días	lun 06/05/19	lun 07/10/19	8
10		ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE CON VOLQUETES	48 días	lun 07/10/19	lun 02/12/19	9
11		PERFILADO COMPACTADO Y CONFORMACION DE SUBRASANTE	155 días	lun 02/12/19	sáb 30/05/20	10
12		**PAVIMENTOS**	**492 días**	**sáb 30/05/20**	**sáb 25/12/21**	6
13		**BASE**	**128 días**	**sáb 30/05/20**	**mar 27/10/20**	
14		CAPA DE BASE e = 0.20M (01 CAPAS DE 0.20M)	56 días	sáb 30/05/20	mar 04/08/20	
15		CAPA DE BASE e = 0.30M (02 CAPAS DE 0.15M)	15 días	mar 04/08/20	vie 21/08/20	14
16		CAPA DE BASE e = 0.45M (03 CAPA DE 0.15M)	57 días	vie 21/08/20	mar 27/10/20	15
17		**LOSA DE CONCRETO MR=45KG/CM2**	**364 días**	**mar 27/10/20**	**sáb 25/12/21**	13
18		DOWELS Ø 2" x 0.60 m @ 0.45 m	50 días	mar 27/10/20	jue 24/12/20	
19		BARRAS DE AMARRE ø 5/8 x 75m @ 0.75m	35 días	jue 24/12/20	mié 03/02/21	18
20		CONCRETO MR = 50	88 días	mié 03/02/21	lun 17/05/21	19
21		CURADO DE LOSA DE CONCRETO	88 días	lun 17/05/21	vie 27/08/21	20
22		CORTE DE JUNTAS	70 días	vie 27/08/21	mié 17/11/21	21
23		SELLADO DE JUNTAS	33 días	mié 17/11/21	sáb 25/12/21	22

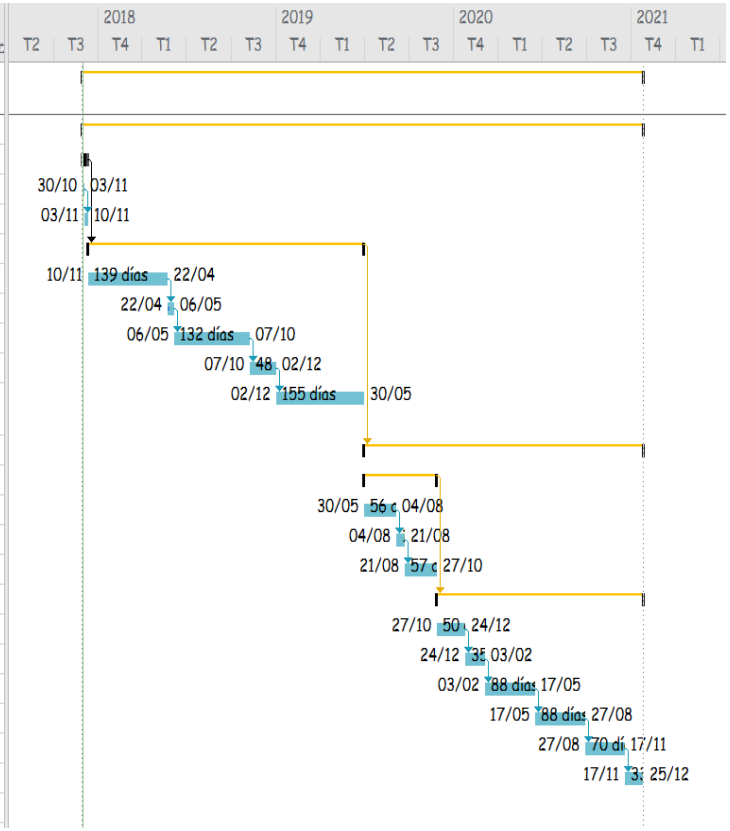


DIAGRAMA DE GANTT

Figura 59. Cronograma de pavimento rígido
Fuente: Propia

La figura 58 se observa el cronograma de ejecución de diseño del pavimento flexible en el área de movimiento del aeropuerto Mórrope Lambayeque.

La cual tiene un plazo de ejecución de 890 días calendarios (2 años con 4 meses). Dando inicio a las labores el martes 30 de octubre del 2018 hasta el sábado 2 de setiembre del 2021.

La figura 59 se observa el Cronograma de ejecución de Diseño del Pavimento Rígido en el área de movimiento del aeropuerto Mórrope Lambayeque.

La cual tiene un plazo de ejecución de 988 días calendarios (2 años con 7 meses). Dando inicio a las labores el martes 30 de octubre del 2018 hasta el sábado 25 de diciembre del 2021.

3.9.1. Financiamiento

Tabla 33.
Financiamiento de ejecución de tesis.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Costo del Proyecto de Investigación				
Descripción	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.U.**	**PARCIAL**
Pasajes	S/.	10.00	5.00	50.00
CD.	Und.	10.00	5.00	50.00
Libreta de Campo	Und.	1.00	0.50	0.50
Guía	S/.	1.00	60.00	60.00
Lapicero	Und.	4.00	0.50	2.00
Impresiones	Und.	1.00	200.00	200.00
Copias	Und.	1.00	20.00	20.00
Seguridad	S/.	6.00	100.00	600.00
GPS	Und.	1.00	1,300.00	1,300.00
Calicata	Und.	6.00	600.00	3,600.00
Ensayos	Glb.	13.00	250.00	3,250.00
Proyectistas	Glb.	2.00	3,000.00	6,000.00
	TOTAL			**15,132.50**

***Fuente**: Propia.*

3.10. Discusión

3.10.1. Levantamiento topográfico del lugar

El levantamiento topográfico se realizó in situ con la ayuda de estación total donde se procedió a verificar con las coordenadas del área propuesta en el plan multianual del Gobierno Regional de Lambayeque para el aeropuerto donde confirmamos que las coordenadas dadas por dicha entidad coinciden con el aérea de estudio.

A. Ensayos de mecánica de suelos:

A.1. Granulometría:

Se realizó de acuerdo al REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE) E-50) donde la NTP 339.128. Nos estipula el procedimiento del ensayo hecho en el laboratorio de mecánica de suelos de la universidad Señor de Sipán. NTP 339.128.

A.2. Límites Líquidos, límites Plásticos e índice de plasticidad:

Se realizó de acuerdo al REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE) E-050 donde la NTP 339.128. Nos estipula el procedimiento del ensayo hecho en el laboratorio de mecánica de suelos de la universidad Señor de Sipán. NTP 339.119.

A.3. Clasificación de suelos:

Se realizó de acuerdo al REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE) E-050 donde la NTP 339.128. Nos estipula el procedimiento del ensayo hecho en el laboratorio de mecánica de suelos de la universidad Señor de Sipán y con su respectivo proceso de resultados con la ayuda de una hoja de cálculo.

Para clasificación SUCS se realizó con los datos de granulometría lo que pasa en las mallas N° 04, N° 200, coeficiente de uniformidad, coeficiente de curvatura, límite líquido, límite plástico. Para Clasificación AASHTO se calcula con los datos de granulometría lo que pasa en las mallas N° 10, N° 40, N° 200, límite líquidos, límite plástico. Una vez realizado dicho procedimiento establecido en la NTP 339.134.

A.4. Próctor:

La curva del proctor se realizó el procedimiento establecido en la NTP 339.141 donde se va a obtener los resultados de la máxima densidad seca (MDS) y el óptimo contenido de humedad.

A.5. CBR:

La determinación de la curva del CBR se realizó el procedimiento establecido en la NTP 339.145 el CBR del estudio de 84avo percentil es 14.20% este parámetro se encuentro el rango de los ábacos establecidos por la metodología FAA.

B. Clima de la zona

Los valores obtenidos son de la ciudad de Mórrope lo cual proporciona la entidad que es SENAMHI tiene como propósito concebir y difundir la información meteorológico, hidrológico y climático, a favor de la población peruana. Por lo cual los datos obtenidos son de plena confiablidad.

C. Estudio de tráfico.

La institución delegada del tráfico aéreo es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) lo cual nos demuestra que viene hacer fuente confiable.

La metodología de la FAA plantea en sus diseños de un pavimento de aeropuerto para una vida útil de 20 años libre de mantenimiento, lo cual se realizó a lo establecido por la metodología FAA.

Por lo cual es le presente tesis se realizó la proyección a 20 años (2017-2037)

D. Estudio de costos y presupuesto del Pavimento.

Después de haber realizado el presupuesto para ambas propuestas, obteniendo un monto total de S/. 67´789,649.01 para el diseño del pavimento rígido y con un monto total de S/. 57´199,370.74 para el diseño del pavimento flexible, existiendo una diferencia de S/. 10´590,278.27 soles.

IV.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El estudio de tráfico se realizó en base a los aviones que circulan en territorio nacional. Se tomó como referencia las aeronaves que operan en el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Del estudio de tráfico, las salidas anuales promedio en un periodo de 20 años es de (317,751) duplica el total de salidas registradas en el año 2017 (165,157), este resultado revela el aumento que se está da por la utilización de vuelos lo cual sería muy beneficioso para el norte del país.

De los estudios de mecánica de suelos, el área propuesta para el aeropuerto es de un CBR 14.20%, lo cual quiere decir que es una subrasante buena ya que está en los rangos de CBR ≥ 10% a CBR < 20% de la Metodología FAA.

CATEGORIA DE SUB RASANTE	CBR
S0: SUB RASANTE INADECUADA	CBR < 3%
S1: SUB RASANTE INSUFICIENTE	CBR ≥ 6% a CBR < 10%
S2: SUB RASANTE BUENA	CBR ≥ 10% a CBR < 20%
S3: SUB RASANTE MUY BUENA	CBR ≥ 20% a CBR < 30%
S4: SUB RASANTE EXCELENTE	CBR ≥ 30%

Por lo tanto, no requiere de un mejoramiento de Sub Rasante.

Del estudio de cantera tres tomas se obtuvo un CBR de 50.08% por lo cual se concluye que este material se puede utilizar con un mejoramiento para la capa base, para cumplir con el CBR de 100% recomendado por la FAA.

De la investigación pluviométrica, se observa que la zona de estudio tiene una precipitación relativamente baja, lo cual aumenta en los primeros meses del año; sin embargo, como el clima es impredecible, sería recomendable que se realice un estudio detallado para las precipitaciones extraordinarias que ha ocurrido en la zona.

Se concluyó que la mejor alternativa para el diseño del pavimento es el flexible basándose únicamente en el costo de la ejecución de la obra.

4.2. Recomendaciones.

Se recomienda a las autoridades y especialistas en la materia:

Cumplir con todos los parámetros establecidos en la metodología de la FAA para obtener el diseño adecuado ya que esta metodología se emplea a nivel internacional.

Realizar el mantenimiento respectivo, cumplido los años para la cual fue proyectada ya que a su vez puede durar 10 años más de vida útil que el pavimento flexible.

REFERENCIAS

Aeropuertos del Perú. (2013). MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE PISTAS Y CERCO PERIMÉTRICO DEL AEROPUERTO JOSÉ ABELARDO QUIÑONES DE CHICLAYO" – LIMA 2013, 243.

Bórquez Bertrán, M. E. (2014). Diseño de la estructura de pavimento de la pista del Aeródromo de Panguipulli, 89. Retrieved from http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib736d/doc/bmfcib736d.pdf

Comunicaciones, ministerio de transporte y. (2013). *" Mejoramiento del Servicio de Estacionamiento para Aviación General en el Aeropuerto*.

Construcciones, F. D. E., Luis, A., Pernús, D., Sc, T., Gilberto, I., & Quevedo, J. (2016). Evaluación de la pista aérea del aeropuerto internacional ¨ Abel Santamaría ¨ de la ciudad de Santa Clara empleando el método.

David, J., & Moya, B. (2015). *Pasantia diseño estructural de pavimentos flexibles aeroportuarios por el metodo faa*.

Del, M., Pistas, S. D. E., Perimetrico, Y. C., Aeropuerto, D. E. L., & De, J. A. Q. (2013). CHICLAYO ".

Delgado Egoávil, F., & Quispe Villaverde, C. (2012). Diseño Del Pavimento De Un Aeropuerto. *PUCP*, 155.

DIRECCION GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL. (2017). DISEÑO DE AERÓDROMOS, 662.

Golfo, R., & Obras, E. Y. (2013). No Title.

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2006a). *Doc 9157 Manual de diseño de aeródromos*.

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2006b). *Manual de diseño de aeródromos*.

Leonardo, R. H. (2016). ANÁLISIS TÉCNICO Y FINANCIERO DEL PROYECTO DE ACTUALIZACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA PISTA DE ATERRIZAJE DE LA ESCUELA MILITAR DE AVIACIÓN MARCO FIDEL SUAREZ.

Minam. (2015). REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES E.050. *Norma*.

Ordoñez Lujano, A. (2016). COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, EMPLEANDO CAL, EN LOS AEROPUERTOS DEL SUR DEL PERÚ, 193.

Perú, R. D. E. L. (2014). Terminos de Referencia Desarrollo capacidades, 1–13.

Quintero Gonzáles, J. R. (2009). *Diseño de estructuras de pavimento flexible para*

aeropuertos.

U.S. Department of Transportation. (1995). FAA Advisory Circular 150/5320-6d. *Design*, 165. Retrieved from http://www.faa.gov

U.S. Department of Transportation. (2009). FAA Advisory Circular 150/5320-6e. *Design*, 124. Retrieved from http://www.faa.gov

Universidad de Basilea Suiza/. (2006). No Title. Retrieved from www.meteoblue.com

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS:

1. Estudio de tráfico
2. Plano de ubicación y localización del aeropuerto. PLANO U-01.
3. Plano del levantamiento topográfico trazó el área de movimiento del aeropuerto. PLANO LT-01
4. Plano de croquis las calicatas PLANO UC-01
5. Plano del área del movimiento del aeropuerto propuesto. PLANO AM-01.
6. Plano de la estratigrafía de las calicatas hechas en campo. PLANO ET-01
7. Plano de arquitectura anteproyecto. PLANO A-01.
8. Plano de perfil de pista de aterrizaje. PLANO PL-01.
9. Plano de secciones de pista de aterrizaje. PLANO ST-01.
10. Plano de secciones de pista de aterrizaje. PLANO ST-02.
11. Plano de perfil de calle de rodaje PLANO PL-02.
12. Ensayos de mecánica de suelos:
13. Formato de: Granulometría, Limites líquidos plásticos, índice de plasticidad, contenido de humedad y clasificación de suelos.
14. Formato de: Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
15. Ensayos de mecánica de suelos cantera tres tomas:
16. Formato de: Granulometría, Limites líquidos plásticos, índice de plasticidad, contenido de humedad y clasificación de suelos.
17. Formato de: Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio.
18. % Chatas y Alargadas Tres Tomas
19. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4") por medio de la máquina de los ángeles
20. Equivalente de arena
21. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelo y agua subterránea.
22. Metodología de FAA
23. Fotos de ensayos

24. Publicación Mensual Del Grupo S10 Costos Construcción Arquitectura E Ingeniería. página 53 costos de mano de obra (operario, oficial y peón) página 55 - 56 tarifa de alquiler maquinaria y equipos.