



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y
ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**PROPUESTA DEL PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO DE LA
PISTA DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO
“TURQUE PODESTAD” DE MOQUEGUA–2021,
EFECTUANDO CORRELACIÓN EN PYTHON**

PRESENTADA POR

BACHILLER LUZNERY LIA CONDORI PACHECO

ASESOR:

MGR. MARIO PEDRO RODRIGUEZ VASQUEZ

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA - PERÚ

2022

CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
CONTENIDO DE TABLAS	viii
CONTENIDO DE FIGURAS	ix
CONTENIDO DE ECUACIONES	xii
CONTENIDO DE APENDICES	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema	1
1.2. Definición del problema.....	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Alcances y limitaciones.....	4
1.5.1. Alcances	4

1.6.	Variables.....	4
1.6.1.	Operacionalización de variables.....	4
1.7.	Hipótesis de la investigación.....	5
1.7.1.	Hipótesis general.	5
1.7.2.	Hipótesis derivadas.	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de la investigación	6
2.1.1.	Antecedentes internacionales.	6
2.1.2.	Antecedentes nacionales.	7
2.2.	Bases teóricas	8
2.2.1.	Aeropuertos	8
2.2.2.	Descripción del Modelo Airbus A300-B2.....	8
2.2.3.	Descripción de Modelo Boing 737-400.	10
2.2.4.	Estructura de capas de aeropuertos.	12
2.2.5.	Deformación de Suelos.	13
2.2.6.	Teorías de Deformación tridimensional.	17
2.2.7.	Metodología de diseño de pavimentos flexibles.	18
2.2.8.	Coeficiente de fricción de Pista de aterrizaje.	22
2.2.9.	Micro y Macro textura de la pista de aterrizaje.....	24
2.2.10.	Propiedades de los suelos.	26
2.2.11.	Ensayo Proctor.	34
2.2.12.	Ensayo CBR	36
2.2.13.	Ensayo de agregados para asfalto.....	37

2.2.14. Emulsión asfáltica.	40
----------------------------------	----

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de la investigación	42
3.2. Diseño de la investigación.....	42
3.3. Población y muestra	43
3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	45

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Excavación de calicatas.....	49
4.2. Ensayos estándares de laboratorio (resumen)	50
4.3. Diseño de mezclas mejorada con Emulsión Asfáltica CSS 1hp con cemento IP	52
4.4. Ensayos de resistencia de mezcla semi rígida (> 831 kg EG-2013)	53
4.5. Cálculo de deformación Máxima	56
4.5.1. Pavimento actual	56
4.5.2. Pavimento propuesto (62,814.5 KG).....	57
4.6. Medición de coeficiente de fricción de micro textura (equipo laser).....	58
4.7. Análisis de resultado en Python (lecturas de equipo laser)	59
4.8. Diseño de pavimento de Pista de Aterrizaje (método FAARFIELD)	60
4.9. Análisis estadístico de variables.....	63
4.9.1. Coeficientes de variables N° 01 y N°02.....	63
4.9.2. Análisis de los residuos	63
4.10. Análisis estadístico de variable independiente.....	64

4.10.1. Gráfico de Residuales.....	64
4.10.2. Regresión lineal.....	65
4.10.3. Prueba de Normalidad.....	66
4.10.4. Varianza e histograma de resultados de ensayos de 02 calicatas.....	66
4.11. Análisis de Resistencias (06 adiciones).....	67
4.12. Análisis de costos unitarios (06 adiciones).....	67
4.13. Validación de método de investigación.....	68
4.14. Discusión de resultados.....	69

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	72
5.2. Recomendaciones.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	185

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operalización de variables	5
Tabla 2. Módulo de Poisson.....	16
Tabla 3. Clasificación del pavimento según su fricción	25
Tabla 4. Tamaños nominales de abertura de tamices.....	28
Tabla 5. Coeficiente de curvatura y uniformidad para suelos.....	30
Tabla 6. Principales tipos de suelos	32
Tabla 7. Suelos granulares	32
Tabla 8. Suelos finos	32
Tabla 9. Sufijos del tipo de suelo	33
Tabla 10. Características generales de los suelos.....	33
Tabla 11. Gradación para mezcla densa en frío	37
Tabla 12. Valores mínimos para la angularidad.....	39
Tabla 13. Rango de módulo de elasticidad de suelo.....	41
Tabla 14. Técnicas e instrumentos	47
Tabla 15. Resumen de ensayos de laboratorio – suelo natural	50
Tabla 16. Resultados de roturas Marshall en laboratorio.....	53
Tabla 17. Resultado de roturas Lottman en laboratorio.....	54
Tabla 18. Cuadro de cálculo de alfa de Crombach	68
Tabla 19. Cuadro de confiabilidad alfa de Crombach.....	69
Tabla 20. Parámetros para deformaciones máximas según trafico	70

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del aeropuerto Hernán Turque Podestá	2
Figura 2. Vista panorámica de variedad de aeronaves	8
Figura 3. Modelo de Airbus A300-B2	9
Figura 4. Modelo Airbus 737-400.....	11
Figura 5. Transmisión de esfuerzos en pavimento flexible y rígido	12
Figura 6. Elemento cilíndrico sometido a presión	13
Figura 7. Relación esfuerzo vs deformación.....	14
Figura 8. Elemento tridimensional.....	15
Figura 9. Gráfico de Fatiga y Deformación	18
Figura 10. Distribución de esfuerzos para cargas puntuales	20
Figura 11. Equipo Laser Integrator	23
Figura 12. Metodología de medición Microtextura Pista de Aterrizaje en base a la FAA-AC150/5380-9	23
Figura 13. Esquema de microtextura y macrotextura	24
Figura 14. Equipos de medición de fricción	25
Figura 15. Equipos de medición de textura.....	25
Figura 16. Muestreo de material en cantera de acuerdo a la norma NTP	26
Figura 17. Ensayo de granulometría de Material Subrasante por el método de tamizado.....	27
Figura 18. Curva de granulometría de una muestra de suelo.....	28
Figura 19. Tamices.....	29
Figura 20. Ensayo de limite liquido	30

Figura 21. Ensayo de limite plástico	31
Figura 22. Uso de pisón metálico para ensayo Proctor	35
Figura 23. Ensayo Proctor.....	35
Figura 24. Molde CBR sometido a prensa	37
Figura 25. Agregados para Granulometría.....	38
Figura 26. Ensayo de partículas chatas y alargadas	39
Figura 27. Ensayo Marshall	40
Figura 28. Ensayo Lottman	40
Figura 29. Emulsión CSS-1h.....	41
Figura 30. Gráfico población, unidad de análisis y muestra	44
Figura 31. Vista frontal de la calicata N° 01	49
Figura 32. Vista panorámica calicata N°02	50
Figura 33. Ensayo de cuarteado de material	51
Figura 34. Ensayo de granulometría,	51
Figura 35. Ensayo de peso unitario	51
Figura 36. Ensayo límites de attemberg.....	52
Figura 37. Ensayo Marshall	54
Figura 38. Ensayo Lottman.....	55
Figura 39. Gráfico de resistencia Marshall y Lottman.....	55
Figura 40. Elaboración de pastillas	55
Figura 41. Isoyeta de presiones en pavimento actual.....	56
Figura 42. Deflexión máxima del pavimento actual	56
Figura 43. Deflexión máxima (mm).....	57
Figura 44. Isoyeta de presiones en pavimento propuesto	57

Figura 45. Deflexión máxima del pavimento propuesto.....	58
Figura 46. Deflexión máxima (mm).....	58
Figura 47. Equipo de medición, Laser Integrator	59
Figura 48. Modelo de distribución de peso en las ruedas	59
Figura 49. Ingreso de data a programa.....	59
Figura 50. Grafica de fricción de las lecturas del láser Integrator	60
Figura 51. Clasificación de acuerdo a los resultados obtenidos	60
Figura 52. Resultado de FAARFIELD.....	61
Figura 53. Modelos de AIRBUS A300-B2 Y BOCING 737-400.	61
Figura 54. Data del programa FAARFIELD	62
Figura 55. Información adicional del programa.....	62
Figura 56. Estructura de Pavimento	63
Figura 57. Resultados de análisis de varianza.....	63
Figura 58. Análisis de residuos	63
Figura 59. Grafica de residuales (Lottman)	64
Figura 60. Grafica de residuales (Marshall).....	64
Figura 61. Curva de regresión Lottman	65
Figura 62. Curva de regresión Marshall.....	65
Figura 63. Gráfico de probabilidad normal.....	66
Figura 64. Varianza de variables dependientes.....	66
Figura 65. Análisis de resistencias	67
Figura 66. Análisis de costos unitarios	67

CONTENIDO DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Coeficiente de uniformidad.....	14
Ecuación 2. Esfuerzo en x por ley de Hooke	15
Ecuación 3. Esfuerzo en y por ley de Hooke	15
Ecuación 4. Esfuerzo en z por ley de Hooke	15
Ecuación 5. Esfuerzo final en x	15
Ecuación 6. Esfuerzo final en y	15
Ecuación 7. Esfuerzo final en z.....	16
Ecuación 8. Deformación en xy	16
Ecuación 9. Deformación en xz	16
Ecuación 10. Deformación en yz	16
Ecuación 11. Módulo de corte	16
Ecuación 12. Tensión admisible	19
Ecuación 13. Deformación.....	19
Ecuación 14. Esfuerzo vertical.....	20
Ecuación 15. Esfuerzo radial.....	20
Ecuación 16. Esfuerzo tangencial	20
Ecuación 17. Deformación unitaria vertical.....	20
Ecuación 18. Deformación unitaria radial	21
Ecuación 19. Deformación unitaria tangencial	21
Ecuación 20. Esfuerzo vertical en carga circular	21
Ecuación 21. Esfuerzo radial en carga circular	21
Ecuación 22. Esfuerzo tangencial en carga circular.....	21

Ecuación 23. Esfuerzo unitario vertical en carga circular.....	21
Ecuación 24. Esfuerzo unitario radial en carga circular	22
Ecuación 25. Esfuerzo unitario tangencial encarga circular	22
Ecuación 26. Deflexión o compresión superficial	22
Ecuación 27. Fuerza de fricción.....	22
Ecuación 28. Coeficiente de uniformidad.....	29
Ecuación 29. Coeficiente de curvatura.....	29
Ecuación 30. Coeficiente de confiabilidad.....	68

CONTENIDO DE APENDICES

	Pág.
APÉNDICE A Ensayos de laboratorio	79
APÉNDICE B Diseño de mezcla asfáltica.....	115
APÉNDICE C Ensayos de agregado para asfalto	119
APÉNDICE D Ensayos de tracción Marshall.....	140
APÉNDICE E Ensayos Lottman.....	159
APÉNDICE F Lectura de laser integrator.....	172
APÉNDICE G Cuestionario de validez de instrumentos.....	177
APÉNDICE H Análisis de costo.....	183

RESUMEN

La presente investigación tuvo por finalidad proponer la mezcla semi rígida en la pista de aterrizaje del aeropuerto Turque Podestá de la ciudad de Moquegua, para lo cual se propuso nuevas metodologías y herramientas no convencionales así como las mediciones precisas, así mismo se utilizó el software Python el cual es potente y preciso para datos de gran número con determinadas características, propiedades físicas y geotécnicas, del cual se utilizó las características de perfil estratigráfico y demás ensayos de laboratorio en el suelo (sub rasante), para determinar la deflexión y coeficiente de fricción el se ah obtenido la deflexión mediante ensayo de placa de carga se determinó la deflexión encontrada es de 113.04×10^{-2} mm. y la deflexión en la pista mejorada es de 39.1×10^{-2} siendo menor que la requerida de 48×10^{-2} mm. para un ESAL ALTO. Mediante ensayos de laboratorio se corroboró según la clasificación SUCS, el suelo (subrasante) es una grava bien graduada con Limo con Arena con bloques GW GM. El resultado del análisis de la comparación de la propuesta de pavimento semirrígido se concluye que la resistencia es superior a un 38% de una mezcla tradicional y en el análisis de precio unitario es más costoso el pavimento semirrígido a diferencia de un pavimento flexible.

Palabras clave: deflexión, suelo, ensayos, mezcla semirrígida.

ABSTRACT

The present investigation had the purpose of proposing the semi-rigid mix on the runway of the Turque Podesta airport in the city of Moquegua, for which new methodologies and unconventional tools are proposed, as well as precise measurements, and Python software was used. which is powerful and precise for large number data, with certain characteristics, physical and geotechnical properties, which used the characteristics of the stratigraphic profile and other laboratory tests on the ground (subgrade), to determine the deflection and coefficient of friction In order to obtain the deflection by means of a plate load test, the deflection found was determined to be 113.04×10^{-2} mm. and the deflection in the improved track is 39.1×10^{-2} being less than the required 48×10^{-2} mm. for a HIGH ESAL. Through laboratory tests, it is corroborated according to the SUCS classification, the soil (subgrade) is a well – graded gravel with silt with sand with GW GM blocks. The result of the analysis of the comparison of the semi-rigid pavement proposal concludes that the resistance is greater than 38% of a traditional mixture and in the unit price analysis, the semi-rigid pavement is more expensive than a flexible pavement.

Keywords: deflection, soil, tests, semi-rigid mix.

INTRODUCCIÓN

La investigación tiene como objetivo proponer los elementos una nueva metodología y propuesta para el pavimento semirrígido de la pista del aeropuerto de Moquegua “Hernán Turque Podestá para llevar a cabo el cumplimiento de la Norma establecido por FAA, utilizando la metodología de tipo experimental.

La hipótesis general ha comprobado lo siguiente: “la propuesta del pavimento semirrígido considera que las deflexiones y rugosidad son muy bajas, así como que cumplan con las especificaciones establecidas por la FAA para llegar a ser aprobado como de uso comercial de la región de Moquegua.

El trabajo de investigación nace a consecuencia del crecimiento poblacional de la región de Moquegua, en especial por la apertura de unidades mineras que operan en la ciudad de Moquegua hacen necesaria la reapertura de nuevos medios de transporte del personal, para ellos surge como alternativa los vuelos comerciales.

Para ello es necesario para monitorear las superficies actuales de la pista de aterrizaje e implementar y/o mejorar obras de rehabilitación de la pista de aterrizaje actual del Aeropuerto para monitorear la condición del pavimento y para determinar las prioridades para intervención, planificar y asignar recursos mediante procedimientos propuestos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la realidad del problema

La falta de calidad y durabilidad de la pista de aterrizaje aeroportuaria suficiente para satisfacer las demandas del tráfico y las fallas de fatiga del pavimento plagan el sistema de aviación en muchos de los principales aeropuertos del Perú. A medida que el tráfico sigue creciendo, el problema de fatiga del pavimento empeora. A consecuencia de dicho problema se ha vuelto uno de las principales preocupaciones de las autoridades aeroportuarias y las aerolíneas y se han buscado medios innovadores en la pista de aterrizaje.

La tesis explora algunos enfoques para hacer frente al problema subyacente del desequilibrio entre la capacidad de esfuerzo actuante producto de los aviones comerciales disponible del aeropuerto versus la resistencia del pavimento de la pista de aterrizaje. Se discuten dos enfoques alternativos básicos: mejorar la serviciabilidad de la pista de aterrizaje con la finalidad de garantizar la vida útil y el aforo en los tiempos indicados en el diseño; y aplicación de nueva tecnología y buenas praxis durante la ejecución y control de calidad del pavimento aeroportuario de la ciudad de Moquegua.



Figura 1. Ubicación del aeropuerto Hernán Turque Podestá
Fuente: Google, 2022

1.2. Definición del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cómo mejorar el pavimento de la pista de aterrizaje del aeropuerto Hernán Turque Podestá de Moquegua?

1.2.2. Problemas específicos.

- ✓ ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de la sub rasante?
- ✓ ¿Cómo influiría la carpeta mejorada semirrígido en el pavimento de la pista de aterrizaje?
- ✓ ¿Cuánto será el costo de la carpeta asfáltica mejorada para el aeropuerto Henan Turque Podestá?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general.

Obtener una pista de aterrizaje adecuada que soporte el tráfico de aeronaves que aterricen en el aeropuerto Hernán Turque Podestá de Moquegua.

1.3.2. Objetivos específicos.

- ✓ Determinar las propiedades mecánicas del suelo de fundación.

- ✓ Determinar la deformación máxima de la pista de aterrizaje del aeropuerto.
- ✓ Realizar el costo unitario del pavimento de la pista de aterrizaje.

1.4. Justificación

Hoy en día, la construcción de nuevos aeropuertos en el Perú se está descentralizando, y muestra de ello son los Aeropuertos de Pisco y de Chincheros; de esta forma va incrementar el desarrollo de la Ingeniería aeroportuaria en nuestro país.

La construcción del nuevo terminal aéreo de abordaje internacional del aeropuerto de chincheros en el departamento de Cuzco que está destinada a recibir entre 5 millones de usuarios al año, teniéndose proyectado a ampliar a 8 millones, con un constante crecimiento de flujo turístico. Esto sería determinante para el flujo turístico de Moquegua, por esta situación se hace importante y necesario implementar dicha pista de aterrizaje de la ciudad de Moquegua.

La finalidad es proponer un pavimento semirrígido para el aeropuerto, teniendo en cuenta detalles mínimos para la seguridad y estabilidad de la pista de aterrizaje, a su vez proponer una alternativa teniendo como finalidad optimizar las características mecánicas del terreno y aportar al conocimiento de la ingeniería que se continúan investigando.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

Para el trabajo de investigación referente al tema: PROPUESTA DEL PAVIMENTO SEMIRRIGIDO DE LA PISTA DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO “TURQUE PODESTAD” DE MOQUEGUA – 2021, EFECTUANDO CORRELACION EN PYTHON, realizado en la ciudad de Moquegua, este trabajo se limitará básicamente a la evaluación de los resultados de la resistencia de la sub rasante y del paquete refuerzo estructural para determinar el tipo de refuerzo estructural del pavimentos semirrígido de la pista de aterrizaje y proponer alternativas de solución, el cual servirá como referencia para otros aeropuertos del Perú.

1.5.2. Limitaciones

Las principales limitaciones que se presentan para la elaboración, es la ausencia de los datos disponibles y/o confiables, como encuestas, estudios de investigación geotécnicas en la zona, antecedentes locales para la obtención de referencias, los valores reales de parámetros geotécnicos como ángulo de fricción interno y cohesión. Obtenido por los ensayos, lo que impide conocer con precisión el grado de vulnerabilidad en la zona del aeropuerto Hernán Turque Podestá.

Otra limitación es con respecto a la escasez de equipos especiales de laboratorio que realicen el ensayo para mezclas asfáltica.

1.6. Variables

1.6.1. Operacionalización de variables.

La operacionalización de variables dependientes o independientes se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 1*Operacionalización de variables*

Variable	Definición Conceptual	Indicadores	Dimensiones	Escala de Dimensión
-Independiente Mezcla semirrigida	La mezcla asfáltica semirrigida es la que aporta la mayor resistencia a la estructura del pavimento de la pista de aterrizaje del aeropuerto.	Lottman y Marshall	Kg	Nominal
-Dependiente Deflexión del pavimento	La deflexión del pavimento de la pista de aterrizaje del aeropuerto debe cumplir con el máximo permisible propuesta por la teoría de Bourmister	Límites de attemberg Contenido de humedad SUCS Granulometría	% % Tamaño de partículas Cc – Cu	Nominal

1.7. Hipótesis de la investigación**1.7.1. Hipótesis general.**

Con la propuesta del pavimento semirrigido se conseguirá que las deflexiones y rugosidad sean muy bajas y que cumplan con las especificaciones requeridas para un adecuado soporte de tráfico en el aeropuerto Hernán Turque Podestá.

1.7.2. Hipótesis derivadas.

- ✓ Demostrar que los suelos de la sub rasante del suelo de la pista de aterrizaje no necesita mejoramiento.
- ✓ Demostrar que la pista de aterrizaje del aeropuerto Hernán Turque Podestá de Moquegua cumple con la deflexión requerida.
- ✓ Demostrar la presente metodología es más económica que la tradicional.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales.

Mesbah (2010), en su trabajo de investigación “Evaluación del software FWD y la cuenca de deflexión para pavimentos de aeropuerto” tiene como objetivo utilizar el método de espesores equivalentes de la estructura de pavimento en capas se transforma en un sistema Boussinesq equivalente por encima de la sub rasante, la ventaja de este enfoque es que la no linealidad material se puede considerar y el cálculo es más rápido que el análisis elástico en capas convencionales.

Zuzulová y Dominika (2019), en Congreso internacional “Fiabilidad operativa de los pavimentos de aeródromo”, tiene como objetivo garantiza todos los requisitos de una infraestructura de aeródromo suficiente y funcional con la capacidad de sistema de pista y áreas de movimiento confiable para una aeronave.

Castro y Ahumada (2018), En su trabajo de investigación “Propuesta de adecuación de la pista de aterrizaje y mejora de los servicios del Aeropuerto de Medina en Cundinamarca” el contenido del trabajo se basa en el diseño de la pista del aeropuerto en medina Cundinamarca la cual incorporan diseños básicos de terminal para pasajeros áreas administrativas en el cual se incluye un presupuesto.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

Guzmán & Ulloa (2015), En su trabajo de investigación “Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista de principal aeropuerto de Pisco “Renán Elías Olivera” su principal objetivo fue determinar el cumplimiento de la funcionalidad del pavimento y la evaluación estructural, superficial según los requerimientos de la FAA, para a futuro ser un aeropuerto alternativo a consecuencia de la alta demanda del aeropuerto Jorge Chávez”

Martínez y Ventocilla (2015), En su trabajo titulado “Rehabilitación de pavimentos Aeropuerto del Cusco” afirman que no hay muchos estudios ni investigaciones sobre diseños de pavimentos de los Aeropuertos para Civiles en nuestro ámbito, esto nos hace tomar una iniciativa a estudiantes e investigadores a elaborar guías, teniendo como resultado, un intercambio de ideas en el campo al evaluar el pavimento, los ensayos, la humedad, su topografía y el mix de aeronaves.

Ordoñez (2016), En su trabajo de investigación “Comportamiento Mecánico de Mezclas Asfálticas en Caliente, empleando Cal, en los Aeropuertos del Sur del Perú” tiene como objetivo diseñar una mezcla asfáltica que cumpla con las propiedades de resistencia – flujo y su posible efecto en la reducción de futuros deterioros en la pista de aterrizaje, en beneficio de la comunidad.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aeropuertos

Se le denomina aeródromo a un área de tierra delimitada la cual incluye toda su infraestructura, destinado a la llegada de aeronaves, también son llamados aeropuertos aquellos aeródromos que brinda servicios de alto flujo aéreo los cuales cuentan con vuelos procedentes del extranjero, donde se brinda los servicios de sanidad, migración, aduana y otros, siendo aeródromos o aeropuertos internacionales (“Aeropuerto”, 2022).



Figura 2. Vista panorámica de variedad de aeronaves
Fuente: Federal Aviation Administration, 2022

2.2.2. Descripción del Modelo Airbus A300-B2.

La aeronave Airbus cuenta con diferentes productoras en toda Europa, quienes se encargan del montaje final, además que cada central tenga una carga de trabajo varían los modelos distribuyéndolos de la siguiente forma: Gran Bretaña fabrica las alas, España las puertas y estabilizador horizontal, Alemania el fuselaje y Francia la sección central y la parte delantera, las cuales se unen en distintas centrales según la versión y el modelo.



Figura 3. Modelo de Airbus A300-B2

Fuente: Federal Aviation Administration, 2022

***Características generales:**

- Tripulación: 2 pilotos (+ un jefe)
- Capacidad: 1400 m³
- Plazas: 259 pasajeros
- Carga: 47000 kg
- Longitud: 56.2 m. (184.2 ft)
- Altura: 17.2 m. (56.6 ft)
- Superficie alar: 258.8 m² (2785.8 ft²)
- Peso vacío: 86000 kg (189 544lb)
- Peso máximo al despegue: 155 000kg (341 620 lb)
- Planta motriz: 2x tubofan GE CF6-80 C2A8
- Empuje normal: 120 kn (26977 lbf)
- Ancho de cabina: 4.07 m.
- Diámetro del fuselaje: 7.1 m. en el comportamiento de carga.
- Angulo de las alas: 25°.
- Distancia entre ejes: 11.05 m.

- Ancho de vía: 7.59 m.
- Peso máximo de aterrizaje: 140 000 kg.
- Peso máximo sin combustible: 133 500 kg.
- Capacidad de combustible: 23.890/ 34.430 lt.

2.2.3. Descripción de Modelo Boing 737-400.

La variedad de motores que se encuentra en Turbofán CFM56, hay gran ahorro de combustible y la disminución del excesivo ruido, así como el desafío de cumplir con la autorización de bajo ruido en la tierra del 737, se encontró una solución reemplazando el motor delantero de ala (en lugar del debajo) y reubicando accesorios del motor a los lados, cambiando distinguidamente la toma de aire no circular.

Para una mejora aerodinámica se agrega en el ala varios cambios, la punta del ala se incrementa en 23 cm., los flaps y slats son regulados, dando lugar a la incorporación de un cuadro de mandos, así como la modificación de la cabina de pasajeros similares a las del modelo Boeing.

a. Características generales:

- Tripulación: 2 pilotos.
- Plazas: 168 pasajeros
- Longitud del avión: 36.5 m.
- Envergadura: 28.9 m.
- Velocidad de crucero: 780 km/h
- Velocidad máx.: 876 km/h
- Tipo de motor: CFM International CFM56.
- Altura: 11,1 m.

- Ancho de cabina: 3.54 m.
- Altura de cabina: 2.20 m.
- Peso en vacío: 33 200 kg
- Peso máx. al despegue: 68 050 kg.
- Peso máx. al aterrizaje: 56 200 kg.
- Capacidad de carga: 38.90 m³.
- Distancia de despegue a MTOW: 2.540m.
- Ángulo de ala: 25°.
- Empuje en despegue: 98 KN.
- Empuje en crucero: 21 900 N.
- Peso del motor (seco): 2 409.5 kg.
- Distancia del motor al suelo: 46 cm.
- Capacidad máx. de combustible: 23 170 Lt.



Figura 4. Modelo Airbus 737-400

Fuente: Federal Aviation Administration, 2022

2.2.4. Estructura de capas de aeropuertos.

Whitford (2003) considera que hay varios factores que se debe tener en cuenta en un diseño de aeropuertos y para ello se tiene que tener en cuenta el tráfico aéreo, la seguridad, las características de la aeronave, los obstáculos en la seguridad de la zona los ruidos en las comunidades aledañas que son interdisciplinaria para el diseño. Antes de realizar el diseño se debe evaluar los requerimientos funcionales, por lo que es importante para lograr una resistencia óptima considerando variaciones climáticas.

Al seleccionar los pavimentos previa evaluación estos tienen que ser flexible o rígido, asimismo, evaluar los materiales de base y sub base para un posterior tratamiento en la sub rasante. La categorización va de acuerdo a la carga que transmite el pavimento hacia el suelo mediante su estructura (figura 5). El diseño del espesor del pavimento flexible distribuye las cargas a través de varias capas

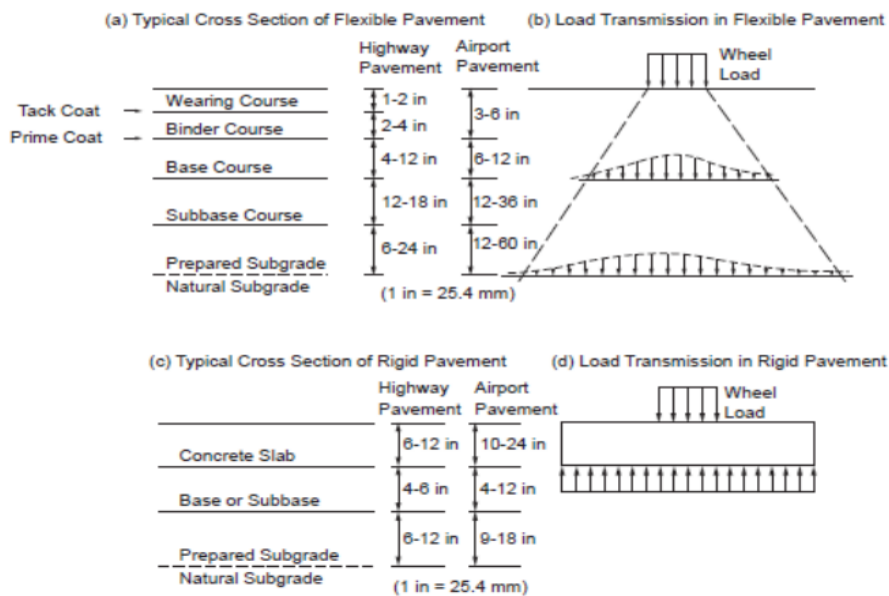


Figura 5. Transmisión de esfuerzos en pavimento flexible y rígido

Fuente: Ford Wayne Airport T., 2002.

2.2.5. Deformación de Suelos.

La ley de Hooke, en los principios de la teoría de la elasticidad señala que si un objeto cilindro es puesto a presión equitativa en la dirección z (vertical); σ_z , como se visualiza en la figura 06, en todas las direcciones se generará un cambio de longitud. Si se observa que son muy pequeñas las deformaciones al compararlas con las dimensiones del cilindro, las deformaciones unitarias serán idénticas al cambio relativo de la longitud.

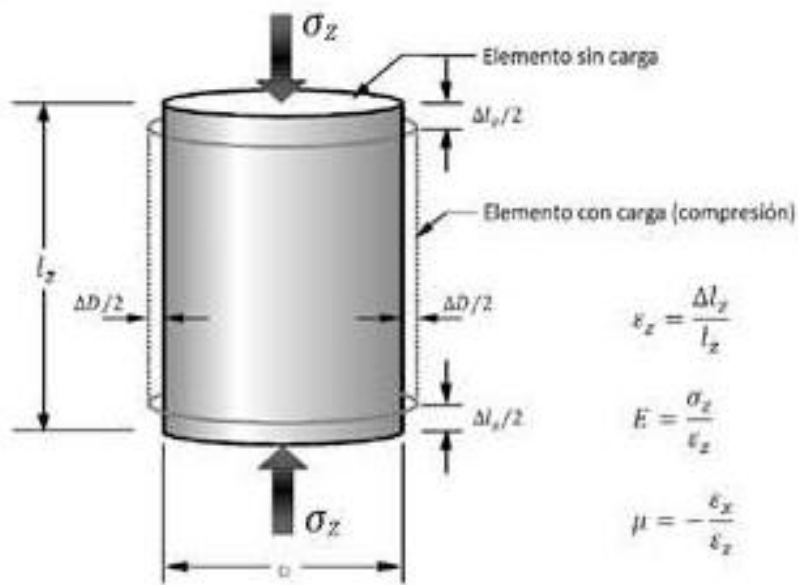


Figura 6. Elemento cilíndrico sometido a presión

Fuente: Hooke, 1665

a. Parámetros elásticos para el esfuerzo uniaxial:

Teniendo una muestra elásticamente lineal, teniendo como relación entre la deformación vertical y el esfuerzo vertical, se llega a definir el coeficiente de elasticidad o módulo de Young (E), a esa relación la conocemos como ley de Hooke y en el caso unidimensional.

$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Donde:

E = Modulo de Elasticidad.

σ_z = Esfuerzo vertical.

ϵ_z = Deformación Vertical.

Teniendo una carga constante más allá del límites elástico, varios materiales presentan una disminución de la rigidez hasta el límite de rendimiento. Un material tiene un máximo esfuerzo el cual puede tener una alta resistencia, también conocida como límite elástico, siendo una medida de la fuerza del material.

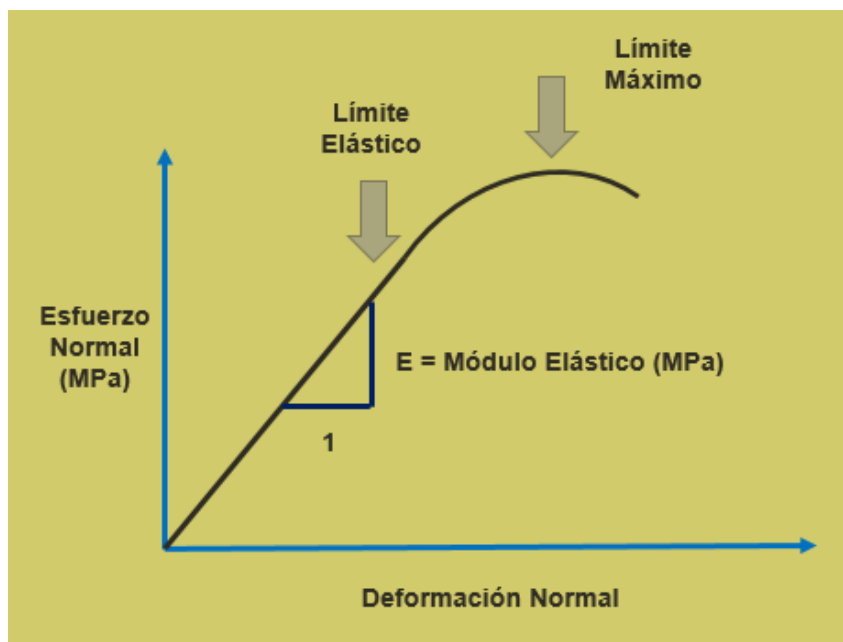


Figura 7. Relación esfuerzo vs deformación

Fuente: Hooke, 1665

Teniendo un material isotrópico de parámetros en las mismas direcciones, la isotropía disminuye el número de parámetros elásticos como: el coeficiente de poisson y el módulo de elasticidad E. siendo las deformaciones axiales para un

determinado material, elástico, homogéneo e isotrópico, se ejerce una carga aplicada a un elemento tridimensional del medio (Figura 8) teniendo los componentes de esfuerzo, se dan por la ley de Hooke por medio de las ecuaciones (2), (3) y (4).

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)] \dots\dots\dots[\text{Ecuación 2}]$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z)] \dots\dots\dots[\text{Ecuación 3}]$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y)] \dots\dots\dots[\text{Ecuación 4}]$$

Siendo, E el módulo elástico, ν es la relación de Poisson, ϵ_i e σ_i son las deformaciones y esfuerzos normales, respectivamente en las direcciones $i= x, y, z$, representativamente.

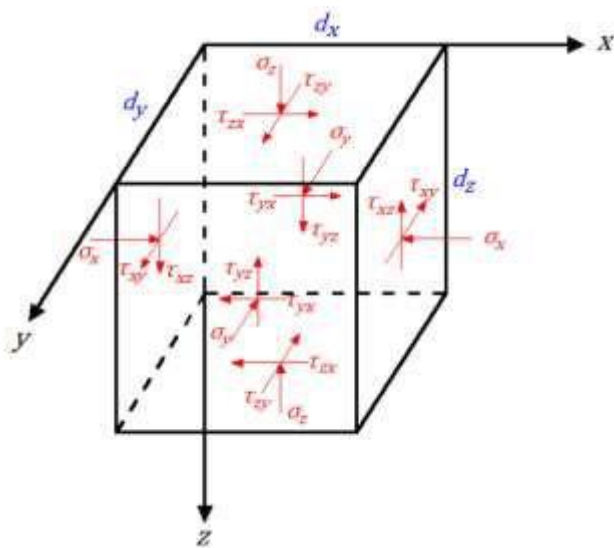


Figura 8. Elemento tridimensional

De las ecuaciones dadas (2), (3) y (4) tenemos los componentes de esfuerzo expresadas en las siguientes ecuaciones (5), (6) y (7).

$$\sigma_x = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} (\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z) + \frac{E}{1+\nu} \epsilon_x \dots\dots\dots[\text{Ecuación 5}]$$

$$\sigma_y = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} (\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z) + \frac{E}{1+\nu} \epsilon_y \dots\dots\dots[\text{Ecuación 6}]$$

$$\sigma_z = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} (\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z) + \frac{E}{1+\nu} \epsilon_z \dots\dots\dots [\text{Ecuación 7}]$$

Se puede obtener deformaciones cortantes en términos de los componentes de esfuerzos, mediante las siguientes ecuaciones (8), (09) y (10).

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 8}]$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 9}]$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 10}]$$

Donde G es el módulo de corte el mismo que se obtiene con la siguiente ecuación

(11)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 11}]$$

Tabla 2

Módulo de Poisson

LEYENDA	MODULO DE POISSON	
S	Arcilla saturada	0.45
NS	No saturada	0.20
AA	Arcilla arenosa	0.25
LI	Limos	0.325
AD	Arena densa	0.30
AG	Arena de grano grueso	0.15
AF	Arena de grano fino	0.25
R	Roca	0.25
L	Loees	0.20
H	Hielo	0.36
C	Concreto	0.15

Fuente: Crespo, 1976

2.2.6. Teorías de Deformación tridimensional.

2.2.6.1. *Análisis lineal.*

Este análisis considera a los materiales como proporcionales entre el esfuerzo ejercido y la deformación dada. Esto se aplica habitualmente en los análisis de pavimentos que posteriormente se explican por su sencillez.

2.2.6.2. *Análisis no lineal.*

En este análisis se da en los cambios que se producen en los materiales o componentes que conforman el suelo, esto se debe a agentes externos que están influenciados por el peso o carga que soporta el terreno. Teniendo como base la composición de esos materiales se han hecho diversos análisis en laboratorios, donde se ha aplicado diversos procedimientos y variables; en este último caso, están los de humedad, el grado de compactación, la forma de las partículas entre otros. En los últimos años, han ido cambiando las pruebas y protocolos para mejorar las características de los materiales granulares. Hay muchas formas de realizar pruebas de laboratorio y ensayos en campo. Aunque unas ya no se utilizan.

Las que se hicieron en laboratorio tenemos: índice de grupo, estabilómetro de Hveem, valor Relativo de Soporte (se utilizó en campo), comprensión triaxial y la más usada es módulos resilientes (Huang, 1993). En la mayoría de las pruebas aplican cargas de forma estática o dinámica. Muchas de ellas consideran las propiedades físicas de los materiales en obra, como son: formas de las partículas, optimización de humedad, granulometrías de los esqueletos minerales, grados de compactación, pesos volumétricos secos máximo, límite de plasticidad, tipos de compactación, etc.

2.2.7. Metodología de diseño de pavimentos flexibles.

Metodología como la empírica – mecanicista tiene como criterios básicos para cualquier estructura a la fatiga y la deformación permanente.

Kerkhoven y Dormon (1953) citado por Huang (1993), sugirieron el uso de la deformación vertical de compresión como criterio de resolución para manejar las deformaciones permanentes. Saal & Pell (1960) recomiendan el uso de la deformación horizontal de tensión como criterio para el control de la fisuración por fatiga. Ambos contenidos para el diseño de firmes fueron publicados por Dormon y Metcalf (1965).

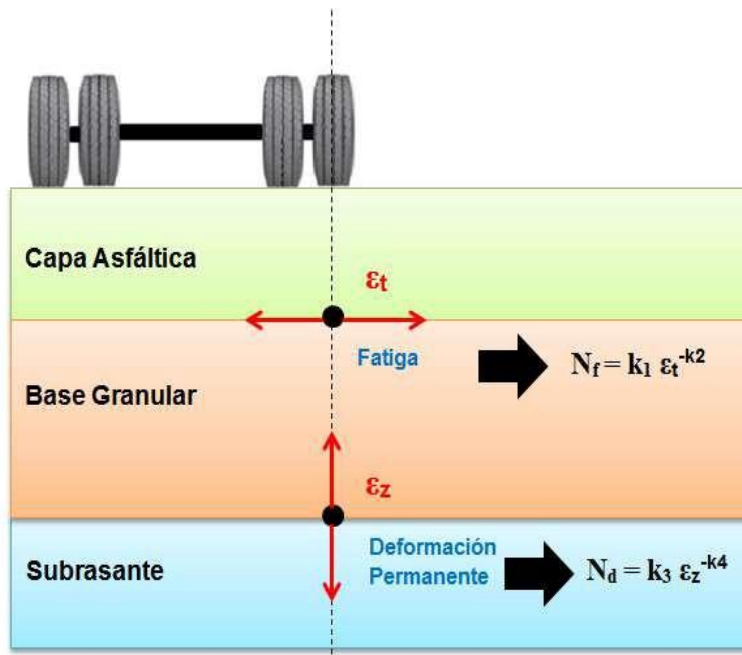


Figura 9. Gráfico de Fatiga y Deformación

Según el pavimento flexible, es importante conocer el resultado del pavimento en puntos críticos (inciso e, del apartado anterior) esas respuestas se conocen como resultados mecánicos críticos y vienen a ser:

a) El agrietamiento llamado también “piel de cocodrilo” su deformación se da por debajo de la capa estabilizada. Cuando obtiene una respuesta máxima, la estructura de las capas se comienza a desquebrajar de abajo hacia arriba. Para controlar la fatiga de la capa estabilizada, la deformación actuante debe ser menor a la de tensión admisible (ver ecuación 12).

$$\mathcal{E}_t < \mathcal{E}_{t \text{ admisible}} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 12}]$$

La deformación a compresión superior de la capa sub rasante relacionada a la deformación permanente en la superficie del pavimento, la cual debe ser menor a la deformación a compresión admisibles con el fin de contener la deformación de las capas no estabilizadas sobre el pedido de ejes de carga.

$$\mathcal{E}_z < \mathcal{E}_{z \text{ admisible}} \dots \dots \dots [\text{Ecuación 13}]$$

La correlación va en función con modelos de deterioro para las dos respuestas en el desempeño definen la vida útil del pavimento o su nivel de desempeño que desarrolla. Hay varios modelos de deterioro por deformación, como por fatiga. Las condiciones reales con llevan a que los modelos de deterioro deben ser calibrados constantemente.

Boussinesq (1885) presentó una expresión matemática de distribución homogénea linealmente elásticos e isotrópicos (figura 10), de esfuerzos de una carga puntual. El resultado de Boussinesq se ha comparado en varias ocasiones con otros resultados obtenidos por la teoría de Burmister el cual fue aceptable.

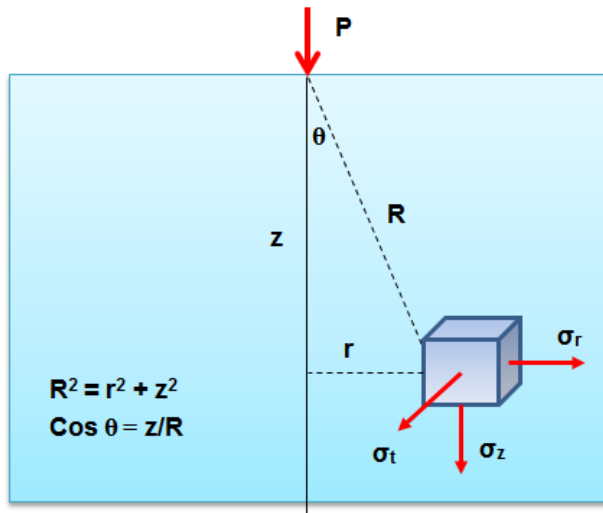


Figura 10. Distribución de esfuerzos para cargas puntuales

Fuente: Boussinesq, 1885

Boussinesq (1885) Demuestra en el campo de deformaciones y esfuerzos generados en la carga puntual nos muestra las siguientes ecuaciones:

➤ Esfuerzo Vertical:

$$\sigma_z = \frac{3 P z^5}{2\pi \sqrt{r^2+z^2}} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 14}]$$

➤ Esfuerzo radial:

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi} \left[\frac{3 r^2 z}{\sqrt{r^2+z^2}} - \frac{1-2\nu}{r^2+z^2+z\sqrt{r^2+z^2}} \right] \dots\dots\dots[\text{Ecuación 15}]$$

➤ Esfuerzo tangencial:

$$\sigma_t = \frac{P}{2\pi} (1 - 2\nu) \left[\frac{z}{\sqrt{r^2+z^2}} - \frac{1}{r^2+z^2+z\sqrt{r^2+z^2}} \right] \dots\dots\dots[\text{Ecuación 16}]$$

➤ Deformación unitaria vertical:

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu (\sigma_r + \sigma_t)] \dots\dots\dots[\text{Ecuación 17}]$$

➤ Deformación unitaria radial:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} [\sigma r - \nu (\sigma t + \sigma z)] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 18}]$$

➤ Deformación unitaria tangencial

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma t - \nu (\sigma z + \sigma r)] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 19}]$$

Boussinesq (1885) nos muestra las expresiones para calcular la deformación, el campo de esfuerzos y deflexiones generadas por una carga circular a lo largo del eje.

➤ Esfuerzo Vertical

$$\sigma_z = \sigma_o \left[1 - \left(\frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}} \right)^3 \right] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 20}]$$

➤ Esfuerzo radial

$$\sigma_r = \frac{\sigma_o}{2} \left[(1 - 2\nu) - \frac{2z(1+\nu)}{\sqrt{a^2+z^2}} + \left(\frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}} \right)^3 \right] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 21}]$$

➤ Esfuerzo tangencial

$$\sigma_t = \frac{\sigma_o}{2} \left[(1 + 2\nu) - \frac{2z(1+\nu)}{\sqrt{a^2+z^2}} + \left(\frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}} \right)^3 \right] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 22}]$$

➤ Esfuerzo unitario vertical

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\nu)\sigma_o}{2E} \left[\frac{\frac{-z}{a}}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2} \right)^3} - (1 - 2\nu) \left(\frac{\frac{z}{a}}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2} \right)} - 1 \right) \right] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 23}]$$

➤ Esfuerzo unitario radial

$$\varepsilon_r = \frac{(1+\nu)\sigma_0}{2E} \left[\frac{-\frac{z}{a}}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2}\right)^3} - (1-2\nu) \left(\frac{\frac{z}{a}}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2}\right)} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots [\text{Ecuación 24}]$$

➤ Esfuerzo unitario tangencial

$$\varepsilon_t = \frac{(1+\nu)\sigma_0}{2E} \left[\frac{-\frac{z}{a}}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2}\right)^3} - (1-2\nu) \left(\frac{\frac{z}{a}}{\left(\sqrt{1+\left(\frac{z}{a}\right)^2}\right)} - 1 \right) \right] \dots\dots\dots [\text{Ecuación 25}]$$

➤ Deflexión o compresión superficial

$$W_0 = \frac{(1+\nu)a\sigma_0}{E} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2+z^2}} + \frac{(1+2\nu)}{a} + (\sqrt{a^2+z^2} - z) \right] \dots\dots\dots [\text{Ecuación 26}]$$

2.2.8. Coeficiente de fricción de Pista de aterrizaje.

Hurtado (2017) considera que el movimiento de los aviones es posible mientras las fuerzas resistentes sean iguales o superiores a las fuerzas de arrastre. La resistencia al deslizamiento que representa una superficie de pavimento está determinada por el valor efectivo del roce expresado mediante el coeficiente μ , el vehículo se considera como un cuerpo rígido y se asume que las fuerzas resultantes actúan en el centro de gravedad. Las fuerzas de fricción dependen del coeficiente de fricción y de la carga normal sobre la trayectoria de contacto entre neumático y superficie, así como para la distribución de fuerzas en la conducción dinámica relativa para el vehículo como masa puntual se presenta en la siguiente relación:

$$F = \mu \cdot Q \dots\dots\dots [\text{Ecuación 27}]$$

F: fuerza de fricción.

Q: peso del vehículo.

μ : coeficiente de fricción dinámico.

Hurtado (2017) no dice que el coeficiente fricción varía por la influencia de elementos físicos como: presión de aire de neumáticos, composición de los neumáticos, tipo y condiciones de la superficie del pavimento, presencia o ausencia de humedad (fango, nieve o hielo).



Figura 11. Equipo Laser Integrator

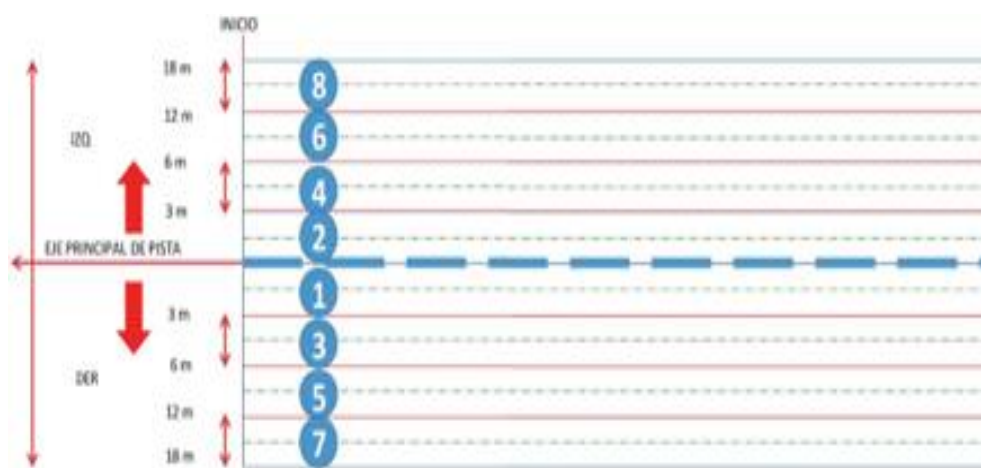


Figura 12. Metodología de medición Microtextura Pista de Aterrizaje en base a la FAA-AC150/5380-9

Fuente: Federal Aviation Administration, 2022

2.2.9. Micro y Macro textura de la pista de aterrizaje.

El número de accidentes viales, principalmente en condiciones de superficie húmeda, por dicha razón es importante para las agencias de tránsito la evaluación y monitorea de la fricción o la textura. Las metodologías actuales de evaluación de fricción en el pavimento presentan una serie de desventajas, por lo que resultan imprácticas para estudios de campo en redes viales de gran tamaño, siendo importante valorar distintos métodos de estimación de la fricción basados en otras propiedades más prácticas y sencillas de evaluar.

La resistencia al deslizamiento está afectada principalmente por la textura de la superficie del pavimento sin embargo no se posee un método de cuantificación de este efecto en las propiedades finales de la resistencia al deslizamiento. La textura del pavimento puede ser clasificada en tres categorías principales basado en la ampliación y longitud de la onda λ . La primera categoría es la micro textura ($\lambda < 0.5$ mm), que corresponde a la textura en pequeña escala de la superficie del agregado. La segunda categoría es la macro textura ($0.5 < \lambda < 50$ mm), referente a la textura a larga escala del pavimento debido al tipo de mezcla, al acomodo y tamaño del agregado. La última categoría es el mega – textura ($50 < \lambda < 500$ mm.), correspondiente a longitudes de onda del orden del interfaz neumático del pavimento.

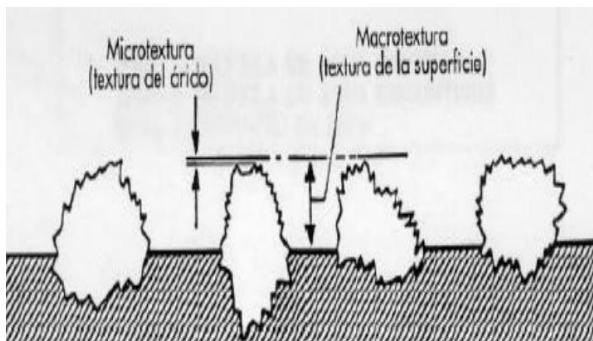


Figura 13. Esquema de microtextura y macrotextura

Tabla 3

Clasificación del pavimento según su fricción

CRT	CLASIFICACIÓN DEL PAVIMENTO
0.36	Peligroso
0.36 – 0.40	Muy liso
0.41 – 0.45	Liso
0.46 – 0.50	Bastante liso
0.51 – 0.55	Medianamente anti derrapante
0.56 – 0.70	Anti derrapante
0.70	Muy anti derrapante

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

a. Clasificación de los equipos según la medición de fricción:




Para Fricción	Descripción	Ejemplos:
Con ruedas oblicuas, en inglés se usa el término <i>Side Force</i> .	Las ruedas giran libremente en un cierto ángulo de esviaje con respecto a la dirección de la trayectoria del vehículo.	 Nombre comercial : <i>Mu-Meter</i>
Con una rueda parcialmente bloqueada, en inglés se usa el término <i>Fixed Slip</i>	La rueda gira parcialmente bloqueada en la dirección de la trayectoria del vehículo.	 Nombre comercial : <i>Griptester</i>
Con una rueda bloqueada, en inglés se usa el término <i>Locked Wheel</i>	La rueda se bloquea y se desplaza en la misma dirección de la trayectoria del vehículo.	 Nombre comercial : <i>Surface Friction Tester</i>

Figura 14. Equipos de medición de fricción

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

b. Clasificación de los equipos según la medición de textura:




Para Textura	Descripción	Ejemplos:
Equipos Estacionarios	Con velocidad de deslizamiento nula	 Nombre comercial: <i>Péndulo de Fricción Británico</i>
Equipos Móviles a velocidad de crucero	Con velocidad de deslizamiento desde 10 kph y hasta 60 kph	 Nombre comercial: <i>Norsemeter (fricción y textura)</i>
Equipos Móviles de gran velocidad	Con velocidad arriba de los 60 kph	 Nombre comercial: <i>Selcom Road Laser</i>

Figura 15. Equipos de medición de textura

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

2.2.10. Propiedades de los suelos.

Los suelos contienen propiedades que nos permiten caracterizar al suelo en diferentes características mecánicas, físicas y químicas. Las propiedades principales son definidas mediante ensayos.

2.2.10.1. Muestreo de cantera.

Se realizó el muestreo en la cantera con el propósito de verificar las propiedades mecánicas y físicas de los agregados a utilizar en el diseño propuesto. Según el tamaño de la muestra de campo y de la muestra requerida se puede utilizar el procedimiento manual o mecánico.



Figura 16. Muestreo de material en cantera de acuerdo a la norma NTP

2.2.10.2. Análisis granulométrico.

Esta prueba se realiza para determinar el porcentaje de diferentes tamaños de grano contenida dentro de un suelo. El análisis mecánico o de cribado se realiza para establecer la distribución de las partículas más gruesas y mayor tamaño, el hidrómetro logra hallar la repartición de finas partículas. La repartición de diferentes tamaños de grano que afecta a las propiedades de ingeniería de suelo. El análisis del tamaño de grano proporciona la distribución del tamaño de muestra,

para llegar a una clasificación del suelo. El análisis de tamiz seco se lleva a cabo para determinar cuantitativamente el tamaño de partícula / grano.



Figura 17. Ensayo de granulometría de Material Subrasante por el método de tamizado

Procedimiento:

- a. Anotar el peso de cada tamiz, así como la bandeja que se utilizara.
- b. Registrar el peso de la muestra del suelo seco a utilizar.
- c. Asegurarse que todos los tamices estén limpios y en orden ascendente.
- d. Comenzar a echar la muestra en los tamices y mover en forma circular.
- e. Registrar cuidadosamente el peso retenido en cada tamiz, pesar y registrar, no olvidar registrar el peso del fondo de los tamices.

Finalmente se determinará los tamaños de grano existente, y se caracteriza por cada tamiz tiene por característica su abertura de malla, así como se visualiza se lleva a obtener un gráfico semi logarítmico representando un porcentaje retenido del material, como se aprecia en la figura 18.

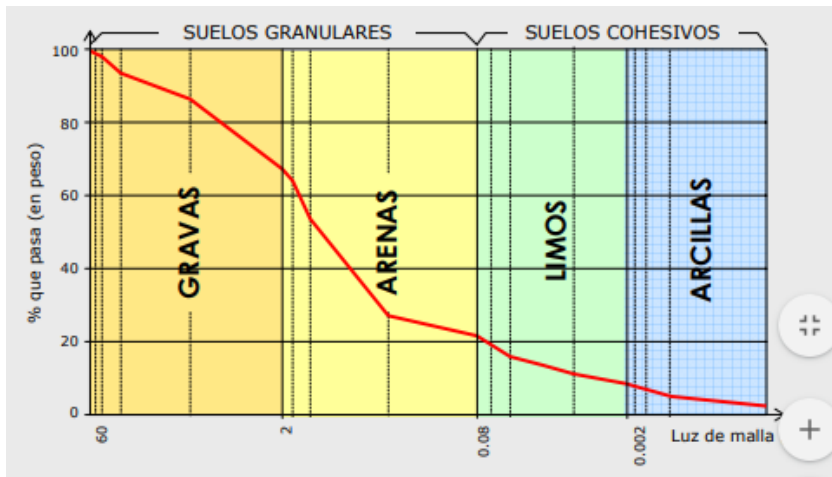


Figura 18. Curva de granulometría de una muestra de suelo

Fuente: Bañon & Bevia, 1999

Este ensayo está conformado de los siguientes tamices:

Tabla 4

Tamaños nominales de abertura de tamices

TAMAÑOS NOMINALES DE ABERTURA	
mm	ASTM
80	3"
63	2 1/2"
50	2"
40	1 1/2"
25	1"
20	3/4"
12.5	1/2"
10	3/8"
6.3	1/4"
5	N°4
2.5	N°8
2	N° 10

1.25	N° 16
0.630	N° 30
0.315	N° 50
0.160	N° 100
0.080	N° 200

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018



Figura 19. Tamices

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

Para la determinación de la clasificación de la muestra se necesita de los coeficientes:

Coefficiente de uniformidad

$$C_u = D_{60}/D_{10} \dots \dots \dots [Ecuación 28]$$

Coefficiente de curvatura

$$C_c = D_{30}^2 / D_{60} * D_{10} \dots \dots \dots [Ecuación 29]$$

Donde:

D_{60} = Tamaño pasante del 60%

D_{30} = Tamaño pasante del 30% B

D_{10} = Tamaño pasante del 10

Tabla 5

Coefficiente de curvatura y uniformidad para suelos

TIPO DE SUELO	COEFICIENTE DE CURVATURA	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
	Cc	Cu
Arena	$1 < Cc < 3$	$Cu > 6$
Grava	$1 < Cc < 3$	$Cu > 4$

Fuente: Gonzáles, 2009

2.2.10.3. Límites de Consistencia.

El comportamiento, la consistencia del suelo, así como las propiedades a diferentes niveles de humedad. Por lo tanto, el límite de cada estado se determina en función del cambio en el comportamiento del suelo. Los límites de Atterberg se pueden usar para diferenciar entre el limo y la arcilla, y los diversos tipos de limo y arcilla,

Las pruebas se desarrollaron por Albert Atterberg, fue agricultor sueco y más tarde, perfeccionado por Arthur Casagrande.



Figura 20. Ensayo de limite líquido



Figura 21. Ensayo de limite plástico

2.2.10.4. Clasificación de los suelos.

La clasificación adecuada permite tener una idea del comportamiento del suelo, con el conocimiento de la granulometría y la plasticidad se puede predecir su comportamiento mecánico y establecer una división sistemática

a. Suelos gruesos.

Son aquellos suelos que se pueden distinguir a simple vista y en la que podemos diferenciarlos entre grava y arena.

b. Suelos finos.

Son aquellos suelos en los que no se les puede distinguir a simple vista entre ellos tenemos los limos y arcillas.

Tabla 6*Principales tipos de suelos*

TIPO DE SUELO	SUELOS GRUESO		SUELO FINO	
	GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
Distinguible a simple vista	Si	Si	No	No
Tamaño de partículas	> 5mm	< 5mm	-	-
Plasticidad	Nula	Nula	Baja a Nula	Alta

Fuente: Crespo, 1976

c. Sistema de unificación de Clasificación del suelo SUCS.

En los suelos finos y granulares, estos se clasifican en el material del pasante de 3"= 75 mm, y cuando más del 50% pasa por el tamiz N°4 es fino (Duque, 2003).

Tabla 7*Suelos granulares*

SUELOS GRANULARES		
G	Grava	El 50% o más es retenido en el tamiz N°4
S	Arena	Más del 50% pasa por el tamiz N°4

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 8*Suelos finos*

SUELOS FINOS		
M	Limo	Las partículas no se tocan entre sí.
C	Arcilla	Terrenos inservibles para cimentación
O	Orgánico	

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 9*Sufijos del tipo de suelo*

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO
Grava	G	Bien graduado
Arena	S	Pobremente graduado
Limo	M	Limoso
Arcilla	C	Arcilloso
Orgánico	O	Limite liquido alto(>50)
Turbo	Pt	Limite liquido bajo(<50)

Fuente: Crespo, 1976

Tabla 10*Características generales de los suelos*

SIMBOLO	CARACTERISTICAS GENERALES		
GW	Gravas	Limpias	Bien graduadas
GP	(>50% tamiz N°4 ASTM)	(Finos <5%)	Pobremente graduadas
GM		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
SW	ARENAS	LIMPIAS	Bien graduadas
SP	(<50% Tamiz N°4 ASTM)	(Finos <5%)	Pobremente graduadas
SM		Con finos	Componente limoso
SC		(Finos >12%)	Componente arcilloso
ML	LIMOS		Baja plasticidad (LL<50)
MH			Alta plasticidad (LL>50)
CL	ARCILLAS		Baja plasticidad (LL<50)
MH			Alta plasticidad (LL>50)
OL	SUELOS		Baja plasticidad (LL<50)
OH	ORGANICOS		Alta plasticidad (LL>50)
PT	TURBA		Suelos altamente orgánicos

Fuente: Bañon & Bevia, 1999

2.2.11. Ensayo Proctor.

La compactación de suelos es un procedimiento en el que un suelo soporta estrés mecánico y se densifica. El suelo se compone de partículas sólidas y huecos llenos de agua y / o aire. Se proporciona una explicación más detallada de la naturaleza trifásica de los suelos en Suelo como un sistema trifásico.

Cuando se somete a compactación, la muestra de suelo redistribuye las partículas de la muestra y los vacíos en el volumen disminuye, lo que resulta en una densificación. La tensión mecánica se puede aplicar mediante amasado o mediante métodos dinámicos o estáticos. El grado de compactación se cuantifica midiendo el cambio del peso unitario seco del material, γ_d .

Una versión modificada de la prueba se introdujo posteriormente al inicio de la Segunda Guerra Mundial, en el año 1950, cuando la maquinaria pesada podía resultar en una mayor compactación. Donde se realiza un nuevo procedimiento y el molde no varía a diferencia del peso de pisón incrementa a 4.5 kg. y varia la altura de caída a 45 cm. Además, el suelo se compacta en 5 capas con 25 golpes en cada capa. La prueba se realiza para 5 contenidos de humedad para conseguir un óptimo contenido de humedad, para lo cual obtendremos el máximo peso unitario seco.

Equipo de prueba:

- a. Molde cilíndrico de 10 cm aprox. Equipado con una base y collarín.
- b. Apisonador Proctor con un peso 2.5 kg o 4.5 kg. (estándar o modificada).
- c. Tamiz $\frac{3}{4}$
- d. Regla de acero (enrrazador).
- e. Horno o cocina

f. Bandeja metálica.

Procedimiento:

- Obtener una muestra de 7 kg aprox.
- Pasar la muestra por el tamiz n°04.
- En una bandeja colocar la muestra y agregar el agua de acuerdo a la adición que corresponda, y colocar en el molde en 5 capas, cada capa se apisona según corresponda el método A, B o C, luego de apisonar cada capa se retira el collarín y enrasa para poder pesar, se prosigue a extraer una muestra del corazón del molde para llevar al horno y obtener su contenido de humedad final.

Así como se observa en las siguientes imágenes:



Figura 22. Uso de pisón metálico para ensayo Proctor



Figura 23. Ensayo Proctor

2.2.12. Ensayo CBR.

La prueba California Bearing Ratio (CBR) se ejecuta en el laboratorio de materiales de construcción donde la resistencia de las subrasantes del suelo y los materiales de la capa base se va evaluar. Quienes se dedican a diseñar calles de rodaje de aeropuertos y pistas de aterrizaje, estacionamientos, carreteras entre otros pavimentos trabajan confiando en los valores de la prueba BCR cuando seleccionan el grosor del pavimento y la base del mismo. Actualmente, hay varios métodos de prueba, como el CBR, EL ASTM D1883 Y EL AASHTO T 193; el primero CBR compara la resistencia que penetra de la muestra de prueba con la muestra “estándar” que contiene piedra chancada correctamente graduada para ello usa un usa un pistón estándar.

La prueba no especifica ninguna propiedad del suelo que no sea la impermeabilización. Las existencias de diferentes pruebas ayudan a determinar las condiciones y propiedades de los suelos en campo, o confirman los resultados obtenidos por medio de ensayos de laboratorio. Entre estas se encuentran las de CBR (California Bearing Ratio) que utiliza un DCP o un pistón de penetración. También están las ASTM D4429 y el ensayo FM5-515 Limerock Bearing Ratio (LBR) desarrollada en el departamento de transporte de Florida. Todos estos métodos sirven para medir el grado de penetración de agentes externos.

La preparación de muestras ocupa la mayor parte del tiempo necesario para analizar muestras de CBR en el laboratorio geotécnico. Los materiales propuestos para el proyecto se muestrean y procesan en el laboratorio en una serie de muestras de prueba.



Figura 24. Molde CBR sometido a prensa

2.2.13. Ensayo de agregados para asfalto.

2.2.13.1. Granulometría de Agregados.

-Agregado Grueso: Agregado que pasa el tamiz 3" y retenido en tamiz N° 4 (4.57 mm)

-Agregado Fino: pasante del Tamiz N°4 y retenido en el tamiz N°200.

-Polvo mineral: pasante del tamiz N°200.

-Relleno mineral: pasante mayor a 70% por el tamiz N°200.

-Agregado de graduación Gruesa: la gradación es constante desde tamaños gruesos hasta fino, donde prevalece el agregado grueso.

-Agregado de graduación Fina: la gradación es constante desde tamaños grueso hasta finos, donde prevalece el agregado fino.

Tabla 11

Gradación para mezcla densa en frío

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA (MDF – 2)
1" (25.0 mm.)	100
3 /4" (19.0 mm.)	80 – 95

3 /8" (9.5 mm.)	60 – 75
N° 4 (4.75 mm.)	47 – 62
N°8 (2.36 mm.)	35 – 50
N°50 (300 µm.)	13 – 23
N°200 (75 µm.)	3– 8

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

a. Tamizado en seco

Generalmente es utilizado con material agregado grueso. En cambio, cuando hay partículas de agregado con polvo, material arcilloso y limoso, se debe lavar mediante tamizado.

-Se realiza un cuarteo para la reducción de muestra.

-Para la división de material fino y grueso se utiliza un tamiz N° 4 (4.75 mm).

-Las muestras son llevadas al horno para obtener una muestra constante.

-Se procede a tamizar por separado la muestra fina y gruesa.

-Se lleva un registro de las fracciones retenidas en cada tamiz, así como la gradación de las muestras.

La norma de AASHTO T 27-99 y ASTM C 136-01 muestra el procedimiento para el tamizado en seco.



Figura 25. Agregados para Granulometría

2.2.13.2. Caras Fracturadas.

Con el objetivo de ampliar la resistencia al esfuerzo cortante por medio del aumento de la fricción entre partículas para obtener la estabilidad en el agregado y proporcionar textura y fricción. Así como proveer estabilidad en la superficie y textura.

Tabla 12

Valores mínimos para la angularidad

ENSAYOS	NORMA	REQUERIMIENTO	
		< 3000 msnm.	> 3000 msnm.
Caras Fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018

2.2.13.3. Partículas chatas y alargadas.

El alto contenido de partículas de agregado planos o achatados son permisibles ante una falla al momento en que se ejecute una presión mínima, siendo una de sus características el ser tan delgado, por ello es importante cuantificar su presencia en el agregado grueso, para alcanzar la resistencia.



Figura 26. Ensayo de partículas chatas y alargadas

2.2.13.4. Ensayo Marshall.

Este ensayo determina la optimización del contenido asfáltico, para obtener un tipo de mezcla asfáltica, según especificaciones técnicas de la norma donde señala los parámetros permisibles de las propiedades para cada tipo de mezcla.

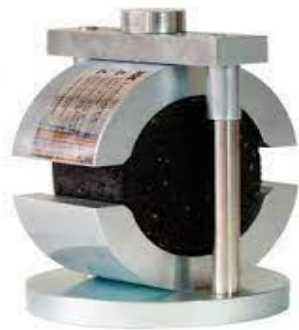


Figura 27. Ensayo Marshall

2.2.13.5. Ensayo Lottman.

Se encarga de medir el comportamiento (pérdida de cohesión) de la mezcla en conjunto (ligante, árido grueso y fino).

Esto permite diagnosticar la susceptibilidad de desprendimiento de la mezcla asfáltica, realizándose pruebas de control para un determinado grupo.



Figura 28. Ensayo Lottman

2.2.14. Emulsión asfáltica.

Castaño, Martínez & Rodríguez (2001) tiende a considerar las emulsiones asfálticas tiene como componentes adiciones de agua con emulsificante conformando una

emulsión estable que permite la operatividad de la carpeta asfáltica en frío es decir a una temperatura menor a 100 °C.



Figura 29. Emulsión CSS-1h

Fuente: Primo Sociedad Anónima Cerrada, 2022

Tabla 13

Rango de módulo de elasticidad de suelo

MATERIAL	RANGO (kg/cm ²)	TÍPICO (kg/cm ²)
Concreto hidráulico	200000 - 550000	300000
Concreto asfáltico	15000 - 35000	30000
Base tratada con asfalto	5000 - 30000	10000
Base tratada con cemento	35000 - 70000	50000
Concreto pobre	100000 - 300000	200000
Base granular	1000 – 3500	2000
Subbase granular	800 – 2000	1200
Suelo granular	500 - 1500	1000
Suelo fino	200 - 500	300

Fuente: Yepes, 2008

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de la investigación

a) Tipo de investigación: Aplicada

Enfocado y definido principalmente por la casuística y sus implicaciones, desarrollando un conocimiento tecnológico, mediante la aplicación, de un plan en detalle, generando un mayor campo conceptual, referente a la problemática implicada en el estudio. Brindando soluciones a corto plazo y en una determinada localización (Rodríguez, 2011).

b) Enfoque de investigación: Cuantitativa

Es un enfoque cuantitativo cuando, se emplean, en el desarrollo, las fases organizadas cuya secuencia no puede ser obviada. Planteándose una problemática, prosiguiendo con los objetivos e hipótesis, según ello se generar un diseño que guarde relación con lo investigado, y con los posteriores resultados se elaborara un informe (Rodríguez, 2011).

3.2. Diseño de la investigación

a) El diseño de la investigación: Experimental

Considerado como aquel en el cual se realiza, mediante un control estricto aplicado hacia la variable independiente y mediante ensayos de laboratorio verificándose sus

efectos, hacia la variable dependiente dirigidos hacia un grupo determinado. Por lo cual, en el diseño, de este estudio, se contempla la realización experimental

b) Por los medios para obtener los datos: Es de campo y laboratorio la presente investigación es de campo y laboratorio según el marco en que tiene lugar, se realizaran ensayos in situ y en laboratorio (Rodríguez, 2011).

c) Por la mayor o menos manipulación de variables: Es no experimental pues los datos se recogerán de la realidad, para analizarlos, que se procesarán mediante Software, además de no manipular la variable (Rodríguez, 2011).

3.3. Población y muestra

Tomando como un conjunto de objetos, sujetos o unidades a una población o universo, que tienen en común las características que se estudian a la que se generalizan los descubrimientos encontrados en la muestra para ser sometidos a investigación (Monje, 2011).

a) Población: 1,600 m.

Según el concepto anterior el presente trabajo de investigación tiene como población 1.6 km del aeropuerto Turque Podestá.

Morles (2011) expresa que población es el universo poblacional de personas, instituciones o cosas, para el cual se validarán las conclusiones que se consideren.

Para la investigación realizada se tomó como población 1.6 km de longitud del aeropuerto “Turque Podestá” para aplicar los estudios investigados.

b) Muestra: 800 m.

Para la población se utilizó 800 m. de pista de aterrizaje (representadas en 120 pastillas asfálticas de tramo crítico) de muestreo no probabilístico- intencional por

lo que la clasificación del elemento no depende de la posibilidad, pero sí de la toma de decisión del investigador (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

Teniendo en cuenta que la selección de muestra se realizará en un lugar de alto riesgo y a la vez restringida, se tomará en cuenta la norma E-050 para la elección de número de puntos de investigación.

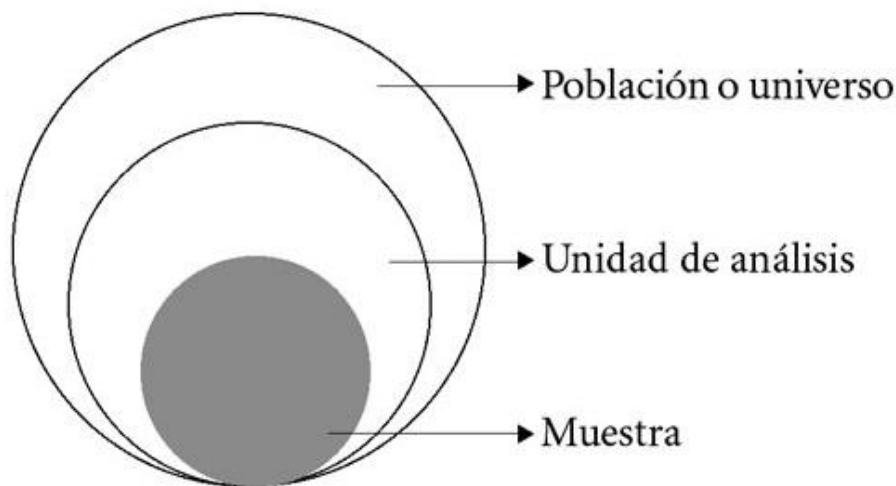


Figura 30. Gráfico población, unidad de análisis y muestra

Fuente: Hernández, Fernández & Baptista, 2014

c) Unidad de análisis

Corbetta (2003) conceptualiza a la unidad de análisis como el tipo de elemento social que hace referencia las propiedades, la cual se ubica en el tiempo y el espacio considerando la población investigada, reconociendo varias unidades de análisis en la sistematización, teniendo en cuenta el marco teórico con el que se trabaja, seguido de las hipótesis planteadas, objetivos y características.

En esta investigación la unidad de análisis será considerada la mezcla asfáltica semirrígida, debido a los diversos porcentajes de adiciones de cemento se determinó su resistencia requerida.

d) Validez

Mata & Castillo (2020) señala que la validez es el valor de lo hallado en un estudio, obteniendo conclusiones y respuestas para ser replicadas en otras investigaciones.

Para validar la investigación se elaboró un cuestionario con 10 preguntas para lo cual se solicitó el apoyo de 04 ingenieros civiles colegiados especialistas en pavimentos (recomendados de CIP-Moquegua) quienes validaron la alta confiabilidad del cuestionario (ver anexo 3).

e) Confiabilidad

Mata & Castillo (2020) considera la relación estable de los datos que logran obtenerse y la depuración de riesgos que varía entre las diversas circunstancias planteados en los aspectos tanto técnicos como humanos.

El resultado del trabajo investigado demostró una confiabilidad del 83.86%, comparado con el rango de la tabla (anexo 7) que muestra una excelente confiabilidad, según al coeficiente Crombach.

3.4. Descripción de instrumentos para recolección de datos

a) Técnicas

Chagoya (2018), considera las técnicas son el conjunto de elementos o factores los cuales son normativos y que una adecuada estructura a la investigación estructurándose las fases de investigación y se incrementan instrumentos y medios que serán usados para recopilación y conservación de datos.

Las principales técnicas de recolección de datos son:

- 1) Encuesta: Recopila información mediante preguntas, cuestionarios (Rodríguez, 2011).

- 2) Entrevista: Es un medio de recopilación de información es una situación de interrelación o dialogo entre persona (Rodríguez, 2011).
- 3) Bibliografía: recolecta los datos de fuentes secundarias, revistas, boletines, libros y periódicos se usa una ficha de registro de datos (Rodríguez, 2011).
- 4) Observación visual (no experimental): utiliza esta técnica para profundizar el conocimiento de comportamiento de la exploración (Rodríguez, 2011).
- 5) Observación experimental: elabora datos puede manipular las variables (Rodríguez, 2011).

a. Técnica documental

Esta investigación tiene como técnica documental la información obtenida mediante ensayos de laboratorio, ensayos de geofísica, normas, fichas de la zona en el aeropuerto Turque Podestá.

b. Técnica de campo

Esta investigación tuvo como técnica de campo, ensayos de laboratorio, muestreo de materiales debidamente codificados.

b) Instrumentos de la recolección de datos

Hojas de registro: son formatos que facilitan el registro y organización de la información, describe e interpreta (Rodríguez, 2011) y Guía de observación: es el registro descriptivo, permite determinar procesos (Rodríguez, 2011).

Para el trabajo de investigación se empleará la técnica de observación no experimental y análisis del estudio para obtener los datos del terreno, pues los datos se recogerán de la realidad, para analizarlos.

Tabla 14*Técnicas e instrumentos*

N°	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	FUENTE
1	Experimental	Ensayos de Laboratorio	- Anotaciones de la observación directa en la zona de estudio.
2	Análisis documental	Fichas de investigación de datos geológicos	- Descripción de resultados
3	Ensayos de laboratorio	Ficha de registro de datos Protocolos de laboratorio.	- Recolección de muestras del suelo a investigar. - Recolección de los datos obtenidos en el laboratorio
4	Revisión de documentos	Fichas resumen	- Recolección y análisis de los resultados.

Para esta investigación se elaboró fichas de recolección de datos de laboratorio: como ensayos de granulometría (arena y grava), pesos específicos, equivalente de arena, chatas y alargadas, caras fracturadas, lavado por malla N°200, ensayos de Marshall, roturas a compresión de pastillas se realizaron en la empresa de “Geotecnia y Pavimentos del Sur”; Así mismo se utilizó los manuales establecidos del instituto de Asfalto, MTC, ATM, AASTHO y que se usan como guía para poder elaborar o realizar los ensayos de laboratorio.

A continuación, se da los siguientes procedimientos:

- a) Ubicación de la zona de estudio
- b) Normativa a utilizar
 - MTC – (Manual de ensayos de laboratorio)
 - AASTHO (American Association of state Highway and transportation)
 - ASTM (American society for testing and materials)

c) Muestras realizadas

La toma de muestras como se observa en la figura 31. Es primordial para la etapa de control de calidad.

d) Métodos de análisis de datos

El método de análisis de datos se organiza, describen los obtenidos con los instrumentos de investigación.

El análisis de datos se realizará de la información recogida de manera organizada la cual se procesará y plasmará en hojas de cálculo, utilización de tablas de Excel.

La descripción y el análisis de datos se manejarán a través de planos con los resultados obtenidos, serán transcritos a hojas de Excel, gráficos, que permita relacionarlos y dar recomendaciones de cimentación o tratamiento del suelo.

Para el procesamiento: reconocimiento y ubicación de puntos de exploración (calicatas), formatos de ensayos de laboratorio.

La recopilación de información se realiza mediante la evaluación de material bibliográfico, muestreo de los suelos en las exploraciones se presenta formatos, y ensayos, límites de Atterberg y cálculos de los ensayos especiales.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Excavación de calicatas

Se realizó la excavación de 02 calicatas a cielo abierto a una profundidad de 3m., con maquinaria (retroexcavadora) donde se extrajo 50 kg de material de la sub rasante para el diseño de pavimentos y ensayos respectivos.



Figura 31. Vista frontal de la calicata N° 01

NOTA: Se realizó la excavación de la calicata N° 01 (prog. 0+800) calicatas a cielo abierto de forma mecánica con retroexcavadora a 3 m. de profundidad en la sub rasante.



Figura 32. Vista panorámica calicata N°02

NOTA: Se realizó la excavación de la calicata N° 02 (prog. 1+200km) alicatas a cielo abierto de forma mecánica con retroexcavadora a 3 m. de profundidad en la sub rasante.

4.2. Ensayos estándares de laboratorio (resumen)

De los ensayos estándares de la sub rasante (ver Apéndice A) se adjunta el resumen de los resultados obtenidos en laboratorio

Tabla 15

Resumen de ensayos de laboratorio – suelo natural

PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO NATURAL			
CALICATA		C-01	C-02
ESTRATO		E-01	E-01
PROFUNDIDAD		1.50 m	1.50 m
% FINOS		6.06 %	6.51 %
INDICE PLASTICIDAD		4.83	4.68
CLASIFICACION DE SUELOS SUCS		GW GM	GW GM
CLASIFICACION ASHTO		A-1-a	A-1-a
% HUMEDAD		3.50	3.41
PESO UNITARIO MINIMO (KG/M3)		1376.6	1301.5
PESO UNITARIO NATURAL (KG/M3)		1723.6	1760.5
PESO U. MAXIMO-PROCTOR (KG/M3)		1940.0	1980.0
CBR	95%	13.30	17.00
	100%	15.00	18.50



Figura 33. Ensayo de cuarteado de material

NOTA: Se realizó el ensayo con la finalidad de reducir la muestra total extraída en una muestra representativa para ensayar.



Figura 34. Ensayo de granulometría,

NOTA: Se realizo el ensayo con la finalidad de hallar la distribución de tamaños del material.



Figura 35. Ensayo de peso unitario

NOTA: Se realiza el ensayo con la finalidad de obtener la densidad del material



Figura 36. Ensayo límites de attemberg

NOTA: Se realiza el ensayo de límite de plástico y el limites líquido para obtener su índice de consistencia o plasticidad.

4.3. Diseño de mezclas mejorada con Emulsión Asfáltica CSS1hp con cemento IP

Se adjunta los resúmenes de resultados de diseño de mezcla asfáltica con Emulsión CSS1hp, para mayor detalle ver anexo 2 de diseño de mezclas.

PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA		2.623655914	gr/cm3	
PESO VOLUMETRICO SUELTO DE GRAVA		1.435239333	gr/cm3	
PESO VOLUMETRICO VARILLADO DE GRAVA		1.572918923	gr/cm3	
PESO ESPECIFICO DE ARENA		2.580423189	gr/cm3	
PESO VOLUMETRICO SUELTO DE ARENA		1.563966501	gr/cm3	
PESO VOLUMETRICO VARILLADO DE ARENA		1.872680673	gr/cm3	
PESO ESPECIFICO DE INERTES		2.602039552		
PESO VOLUMETRICO DE INERTES SUELTO		1499.602917	kg/m3	
PESO VOLUMETRICO DE INERTES COMPACTADO		1722.799798	kg/m3	
PESO ESPECIFICO DE CSS1H		1.03	gr/cm3	
PESO VOLUMETRICOS DE CSS1H		1000	kg/m3	
PORCENTAJE MINIMO DE ASFALTO		5.097214338	%	
EMULSION CON ESPECTO AL PESO DE AGREGADOS		7.079464359	%	
EMULSION	7.801464359	67 RESIDUO	4.74324112	%
		33 VOLATILES	2.336223238	%
AGREG.	92.92053564	50 GRAVA	46.46026782	%
		50 ARENA	46.46026782	%
	100		100	%

PESO MEZCLA ASFALTICA POR M2 COMPACT.	100	kg/m2
PESO MAT. POR M2 DE CARPETA ASFALTICA		
GRAVA	46.46026782	kg/m2
ARENA	46.46026782	kg/m2
EMULSION	7.8119464359	%
VOLUMEN DE MATERIALES POR M3		
AGREG.GRUESO	0.809277358	m3
ARENA	0.742667247	m3
EMULSION	0.007079464	m3
GALONES DE EMULSION POR M3	30.02415	Galones
% OPTIMO DE LIQUIDO ASFALTICO	7.8012	%
% OPTIMO DE RESIDUO EMULSION CSS1hp	5.621521	%

4.4. Ensayos de resistencia de mezcla semi rígida (> 831 kg EG-2013)

Tabla 16

Resultados de roturas Marshall en laboratorio

ROTURAS MARSHAL (según EG-2103 > 831 KG)						
	00%	1%	2%	3%	4%	5%
M#01	947.50	1200.00	1210.55	1230.00	1275.58	1310.00
M#02	936.19	1185.05	1207.00	1235.50	1278.60	1310.05
M#03	1008.25	1283.00	1248.25	1236.18	1280.52	1320.04
M#04	948.02	1200.03	1208.80	1240.50	1299.40	1350.11
M#05	958.14	1218.01	1210.05	1229.50	1270.04	1310.02
M#06	967.75	1225.00	1220.51	1230.04	1272.65	1310.00
M#07	962.11	1221.20	1201.60	1220.08	1265.50	1300.00
M#08	845.34	1070.05	1180.58	1230.65	1272.50	1298.50
M#09	905.27	1150.06	1185.40	1254.55	1280.40	1297.52
M#10	987.50	1250.00	1201.60	1200.052	1260.50	1298.11
PROMEDIO	946.61	1200.24	1207.43	1230.71	1275.57	1310.44



Figura 37. Ensayo Marshall

NOTA: Se realizo 10 pastilla de cada adición (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%) teniendo un total de 60 pastillas para el ensayo de marshal y poder obtener la resistencia de cada una de las proporciones analizadas.

Tabla 17

Resultado de roturas Lottman en laboratorio

ROTURAS LOTTMAN (SEGÚN NORMA > 80 KG)						
	00%	1%	2%	3%	4%	5%
M#01	78.15	89.70	101.58	128.00	148.26	169.00
M#02	81.06	90.10	100.66	123.00	149.62	170.00
M#03	80.14	91.00	98.50	127.00	150.03	172.05
M#04	77.14	88.06	99.03	130.00	155.02	173.00
M#05	77.15	89.20	103.05	126.00	149.27	168.006
M#06	82.14	95.00	108.24	132.00	155.90	169.00
M#07	79.35	90.05	103.41	139.00	160.25	172.00
M#08	80.04	92.00	101.03	128.00	158.07	170.05
M#09	76.04	85.02	102.60	119.00	140.60	171.05
M#10	75.05	87.41	103.05	128.00	156.80	165.00
PROMEDIO	78.63	89.75	102.12	128.00	152.38	169.92

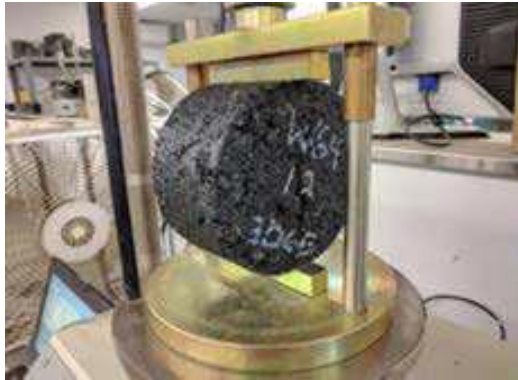


Figura 38. Ensayo Lottman

NOTA: Se realizo 10 pastillas de cada adición (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%) siendo un total de 60 pastillas para el ensayo Lottman y poder obtener la resistencia.

➤ Tendencia de resistencias de mezcla semi rígida (variable independiente)

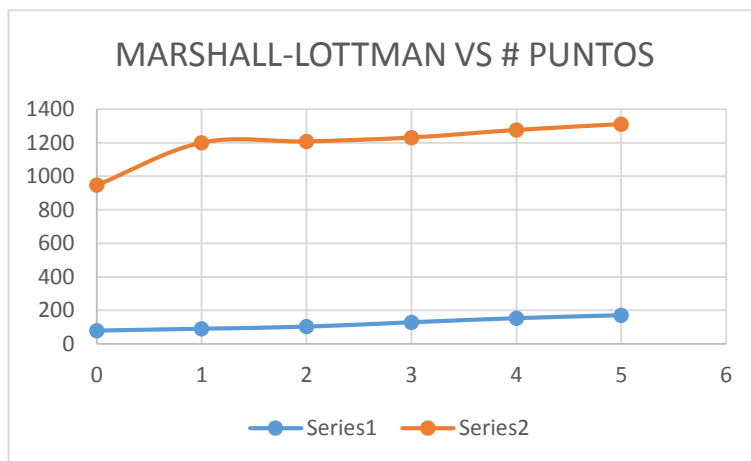


Figura 39. Gráfico de resistencia Marshall y Lottman

NOTA: En el grafico se observa la tendencia de las resistencias de Marshall y Lottman, la tendencia de la curva de Marshall (color naranja) tiende a incrementarse exponencialmente y la tendencia de la resistencia en Lottman (color celeste) es casi uniforme y constante se incrementa la resistencia.



Figura 40. Elaboración de pastillas

4.5. Cálculo de deformación Máxima

4.5.1. Pavimento actual.

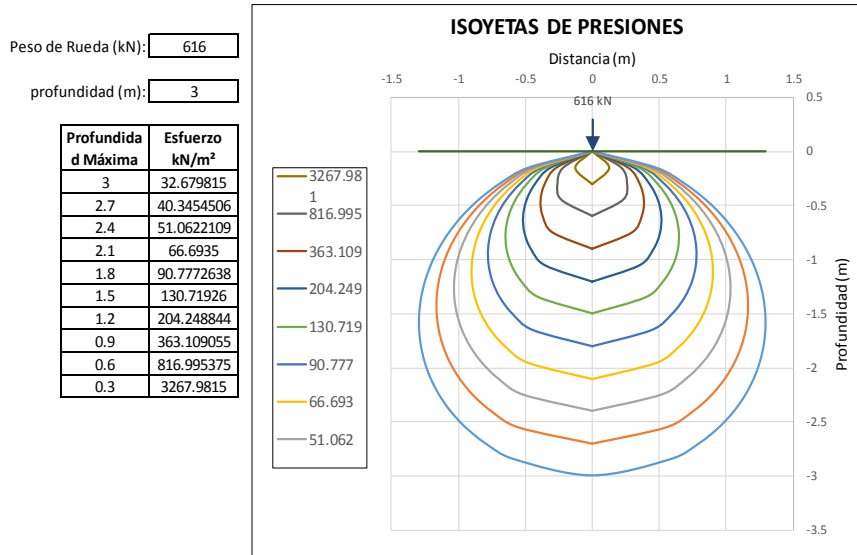


Figura 41. Isoyeta de presiones en pavimento actual

Nota: Se realizó ensayo de placa de carga en el pavimento actual, teniendo como peso de rueda 616 kN para obtener el esfuerzo a distintas profundidades como se observa en las isoyetas de presiones.

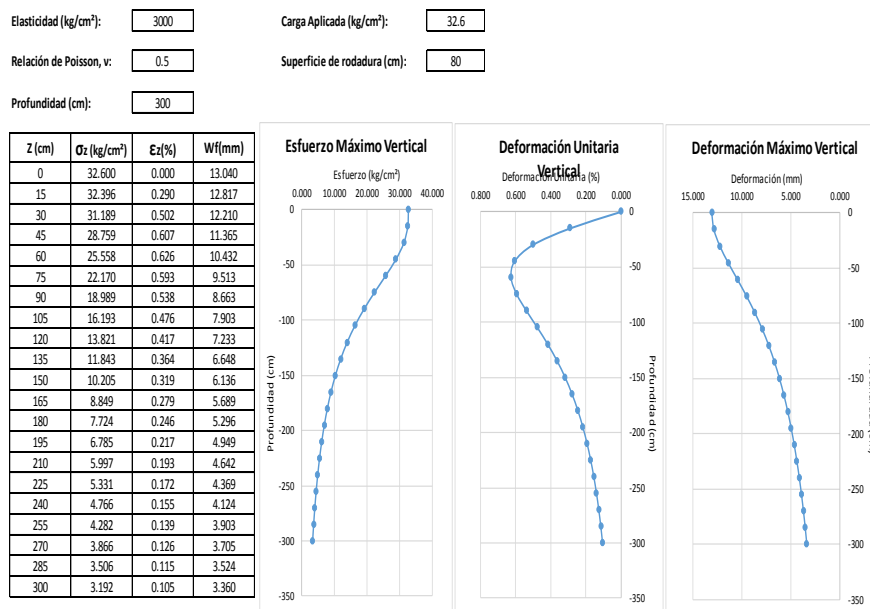


Figura 42. Deflexión máxima del pavimento actual

Nota: Según Barrantes et al (2008) la deflexión máxima permisible debe ser menor a 0.485 mm. y en este caso en la prog. 0+800 Km se realizó placa de carga teniendo una deflexión de 13.040 mm. excediendo el permisible para un gran TPD.

TPD (veh/día)	D _{máx} (mm)			
	Bueno	Regular	Malo	Severo deterioro
0 - 5000	< 0.765	0.765 – 0.888	0.888 – 1.16	> 1.16
5000 - 15000	< 0.708	0.708 – 0.833	0.833 – 1.12	> 1.12
15000 - 40000	< 0.592	0.592 – 0.694	0.694 – 0.952	> 0.952
> 40000	< 0.485	0.485 – 0.576	0.576 – 0.808	> 0.808
Intervención recomendada	Mantenimiento	Mantenimiento o refuerzo	Refuerzo si hay daño estructural	Reconstrucción

Figura 43. Deflexión máxima (mm)

Fuente: Barrantes et al, 2008

Nota: En este cuadro la deflexión máxima se da según el TPD (veh/día) en este caso es > 40000 por ser una autopista de tráfico pesado.

4.5.2. Pavimento propuesto (62,814.5 KG).

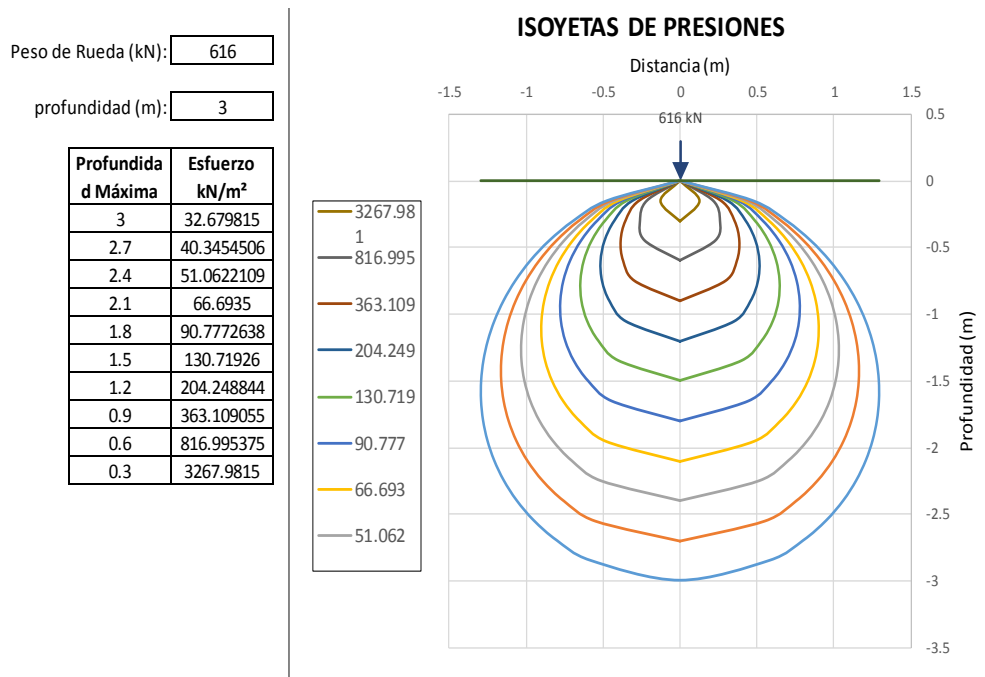


Figura 44. Isoyeta de presiones en pavimento propuesto

Nota: Para el diseño de mezcla semirrígida propuesto se recalcula el esfuerzo con un peso de 616

KN.

Elasticidad (kg/cm²): Carga Aplicada (kg/cm²):
 Relación de Poisson, v: Superficie de rodadura (cm):
 Profundidad (cm):

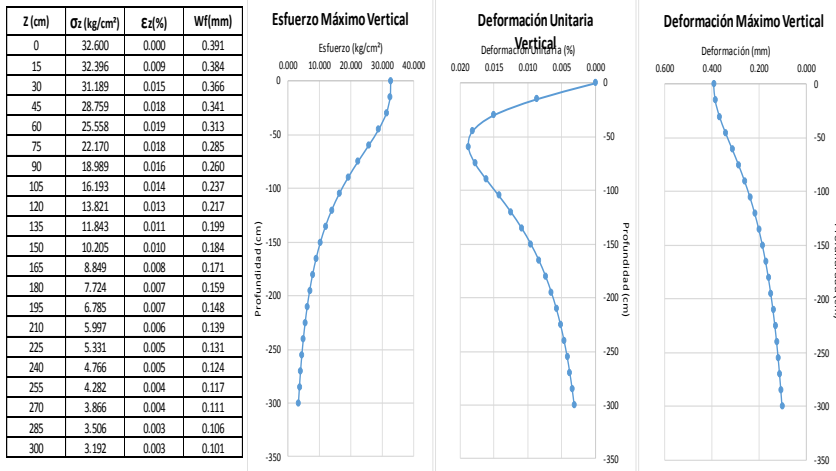


Figura 45. Deflexión máxima del pavimento propuesto

Nota: Según Barrantes et al (2008) la deflexión máxima permisible debe ser menor a 0.485 mm., en el presente caso según ensayo de placa en la prog.0+800 km es de 0.391 mm.

TPD (veh/día)	Dmáx (mm)			
	Bueno	Regular	Malo	Severo deterioro
0 - 5000	< 0.765	0.765 – 0.888	0.888 – 1.16	> 1.16
5000 - 15000	< 0.708	0.708 – 0.833	0.833 – 1.12	> 1.12
15000 - 40000	< 0.592	0.592 – 0.694	0.694 – 0.952	> 0.952
> 40000	< 0.485	0.485 – 0.576	0.576 – 0.808	> 0.808
Intervención recomendada	Mantenimiento	Mantenimiento o refuerzo	Refuerzo si hay daño estructural	Reconstrucción

Figura 46. Deflexión máxima (mm)

Fuente: Barrantes et al, 2008

Nota: según Barrantes et al (2008) la deflexión máxima permisible debe ser menor a 0.485 mm. y en presente caso es 0.391 mm.

4.6. Medición de coeficiente de fricción de micro textura (equipo laser)

NIVEL	MINIM	FRICCIÓN_MU	FLUJO_2I	/MI/VELOCIDAD_L	LATITUD2	LONGITUD2	FRICCIÓN_MU	FLUJO_3I	/MI/VELOCIDAD_L	LATITUD3	FRICCIÓN_MU4	FRICCIÓN_MU5	FRICCIÓN_MU6	FRICCIÓN_MU7	FRICCIÓN_MU8
0.42	0.29	127	1	-12.629	-69.229	0.5	142	0	-12.629	-69.229	0.38	0.35	0.28	0.31	0.31
0.42	0.52	128	19	-12.629	-69.229	0.48	145	14	-12.629	-69.229	0.48	0.47	0.56	0.5	0.49
0.42	0.59	129	19	-12.629	-69.229	0.51	147	19	-12.629	-69.229	0.5	0.64	0.53	0.65	0.54
0.42	0.51	129	23	-12.629	-69.229	0.48	148	22	-12.629	-69.229	0.58	0.51	0.56	0.48	0.59
0.42	0.52	130	27	-12.629	-69.229	0.54	148	26	-12.629	-69.229	0.63	0.51	0.56	0.55	0.54
0.42	0.57	132	31	-12.629	-69.229	0.53	149	30	-12.629	-69.229	0.45	0.47	0.52	0.48	0.51
0.42	0.57	133	35	-12.629	-69.229	0.57	150	33	-12.629	-69.229	0.46	0.49	0.52	0.51	0.52
0.42	0.59	134	37	-12.629	-69.229	0.55	150	35	-12.629	-69.229	0.51	0.49	0.53	0.5	0.53
0.42	0.6	134	39	-12.629	-69.229	0.55	150	38	-12.629	-69.229	0.53	0.5	0.56	0.47	0.49
0.42	0.49	132	40	-12.629	-69.229	0.55	150	39	-12.629	-69.229	0.59	0.54	0.55	0.5	0.5
0.42	0.48	132	40	-12.629	-69.229	0.56	150	40	-12.629	-69.229	0.57	0.49	0.62	0.52	0.53
0.42	0.52	132	44	-12.629	-69.229	0.52	149	41	-12.629	-69.229	0.57	0.49	0.65	0.55	0.54
0.42	0.6	132	45	-12.629	-69.229	0.57	148	43	-12.629	-69.229	0.57	0.44	0.52	0.51	0.5
0.42	0.55	132	47	-12.629	-69.229	0.54	148	45	-12.629	-69.229	0.6	0.42	0.54	0.47	0.57
0.42	0.54	132	49	-12.629	-69.229	0.53	148	47	-12.629	-69.229	0.6	0.44	0.62	0.48	0.51
0.42	0.5	131	51	-12.629	-69.229	0.51	149	48	-12.629	-69.229	0.59	0.49	0.6	0.5	0.49
0.42	0.57	130	52	-12.629	-69.229	0.49	149	50	-12.629	-69.229	0.55	0.52	0.54	0.59	0.49
0.42	0.6	130	53	-12.629	-69.229	0.52	149	51	-12.629	-69.229	0.57	0.51	0.65	0.51	0.55
0.42	0.56	130	55	-12.629	-69.229	0.49	149	53	-12.629	-69.229	0.57	0.48	0.6	0.51	0.54
0.42	0.47	129	57	-12.629	-69.229	0.54	150	54	-12.629	-69.229	0.56	0.52	0.58	0.68	0.53
0.42	0.56	128	58	-12.629	-69.229	0.52	150	55	-12.629	-69.229	0.53	0.51	0.5	0.52	0.48
0.42	0.5	128	59	-12.629	-69.229	0.64	150	55	-12.629	-69.229	0.52	0.5	0.59	0.65	0.52
0.42	0.52	128	59	-12.629	-69.229	0.69	150	55	-12.629	-69.229	0.53	0.54	0.5	0.63	0.54
0.42	0.48	129	61	-12.629	-69.229	0.6	150	54	-12.629	-69.229	0.51	0.49	0.51	0.56	0.57
0.42	0.5	128	59	-12.629	-69.229	0.63	150	57	-12.629	-69.229	0.53	0.54	0.57	0.47	0.54
0.42	0.52	128	60	-12.629	-69.229	0.54	150	57	-12.629	-69.229	0.52	0.51	0.52	0.38	0.5
0.42	0.58	128	62	-12.629	-69.229	0.52	150	58	-12.629	-69.229	0.58	0.5	0.58	0.59	0.48
0.42	0.6	127	62	-12.629	-69.229	0.47	150	60	-12.629	-69.229	0.57	0.48	0.59	0.53	0.45
0.42	0.59	127	64	-12.629	-69.229	0.5	150	60	-12.629	-69.229	0.64	0.51	0.59	0.48	0.51
0.42	0.65	127	64	-12.629	-69.229	0.48	150	61	-12.629	-69.229	0.57	0.48	0.52	0.49	0.58
0.42	0.61	127	66	-12.629	-69.229	0.45	150	63	-12.629	-69.229	0.59	0.43	0.49	0.4	0.52
0.42	0.6	127	65	-12.629	-69.229	0.46	150	62	-12.629	-69.229	0.47	0.44	0.44	0.38	0.59
0.42	0.54	127	67	-12.629	-69.229	0.5	150	64	-12.629	-69.229	0.48	0.52	0.46	0.46	0.59
0.42	0.66	128	68	-12.629	-69.229	0.52	151	64	-12.629	-69.229	0.48	0.48	0.39	0.49	0.59
0.42	0.57	128	67	-12.629	-69.229	0.5	150	63	-12.629	-69.229	0.5	0.55	0.52	0.51	0.51
0.42	0.49	128	68	-12.629	-69.229	0.53	150	65	-12.629	-69.229	0.6	0.57	0.58	0.57	0.49
0.42	0.6	129	69	-12.629	-69.229	0.46	151	63	-12.629	-69.229	0.54	0.45	0.52	0.56	0.49
0.42	0.56	129	68	-12.629	-69.229	0.49	151	63	-12.629	-69.229	0.52	0.46	0.5	0.49	0.47
0.42	0.51	129	67	-12.629	-69.229	0.44	151	63	-12.629	-69.229	0.52	0.47	0.59	0.57	0.5
0.42	0.56	128	67	-12.629	-69.229	0.41	151	63	-12.629	-69.229	0.52	0.43	0.57	0.53	0.52
0.42	0.64	127	66	-12.629	-69.229	0.56	151	62	-12.629	-69.229	0.54	0.47	0.46	0.52	0.43
0.42	0.65	127	67	-12.629	-69.229	0.53	151	62	-12.629	-69.229	0.58	0.49	0.43	0.57	0.38



Figura 47. Equipo de medición, Laser Integrator



Figura 48. Modelo de distribución de peso en las ruedas

Nota: Se adjunta lecturas completas en el APENDICE F

4.7. Análisis de resultado en Python (lecturas de equipo laser)

```
# Cambiamos de nombre a las columnas
data = data.rename(columns={'FRICCIÓN_Mu1':"friccion1",
    'Progresiva_Km_0_mas':"progresiva",
    'FLUJO_1(l/min)':"flujo1",
    'VELOCIDAD1_Km/h':"velocidad1",
    'LATITUD1':"latitud1",
    'LONGITUD1':"longitud1", 'NIVEL PREVISTO DE MANTENIMIENTO':"mantenimiento",
    'NIVEL MINIMO DE ROZAMIENTO':"rozamiento",
    'FRICCIÓN_Mu2':"friccion2",
    'FLUJO_2(l/min)':"flujo2",
    'VELOCIDAD2_Km/h':"velocidad2",
    'LATITUD2':"latitud2",
    'LONGITUD2':"longitud2",
    'FRICCIÓN_Mu3':"friccion3",
    'FLUJO_3(l/min)':"flujo3",
    'VELOCIDAD3_Km/h':"velocidad3"}.

data.head()
```

	progresiva	friccion1	flujo1	velocidad1	latitud1	longitud1	mantenimiento	rozamiento	friccion2	flujo2	...	friccion3	flujo3	velocidad3	latitud3	longitud
0	0	0.59	134	13	-12.629	-69.229	0.52	0.42	0.29	127	...	0.50	142	0	-12.629	-69.22
1	5	0.55	133	18	-12.629	-69.229	0.52	0.42	0.55	128	...	0.48	145	14	-12.629	-69.22
2	10	0.55	131	20	-12.629	-69.229	0.52	0.42	0.59	129	...	0.51	147	19	-12.629	-69.22
3	15	0.50	125	25	-12.629	-69.229	0.52	0.42	0.51	129	...	0.48	148	22	-12.629	-69.22
4	20	0.50	131	28	-12.629	-69.229	0.52	0.42	0.52	130	...	0.54	148	26	-12.629	-69.22

Figura 49. Ingreso de data a programa

El comportamiento de la fricción a lo largo de la pista de aterrizaje se comporta de manera dinámica, podemos apreciar por ejemplo la gráfica para los ejes externos (7) y (8):

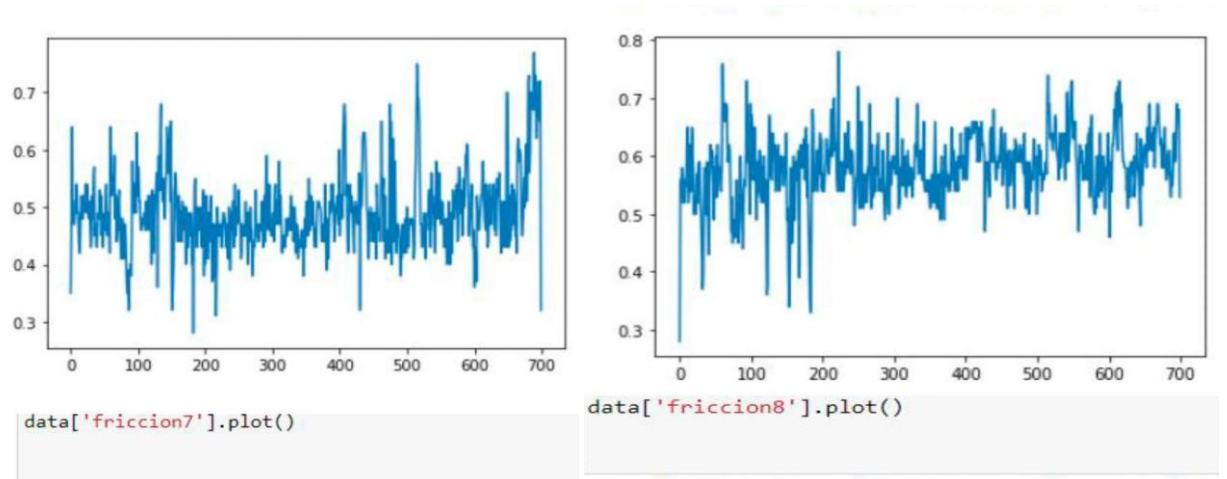


Figura 50. Grafica de fricción de las lecturas del láser Integrator

CRT	Clasificación del pavimento
0.36	Peligroso
0.36-0.40	Muy liso
0.41-0.45	Liso
0.46-0.50	Bastante liso
0.51-0.55	Medianamente anti derrapante
0.56-0.70	Anti derrapante
0.70	Muy anti derrapante

Figura 51. Clasificación de acuerdo a los resultados obtenidos

Nota: Del espectro de fricción se toma la lectura intermedia y se clasifica el pavimento en liso esta entre los valores de 0.41 – 0.45.

4.8. Diseño de pavimento de Pista de Aterrizaje (método FAARFIELD)

En el trabajo de investigación se realiza el diseño de nuevo pavimento, se utilizó el software FAARFIELD de origen de estados unidos con la versión más reciente 2.0.5.

Empezamos definiendo el nombre del proyecto. Seleccionamos la condición del pavimento flexible, así como también el tipo de diseño, en este caso o haremos por el índice de condición de pavimento (PCR: Pavement Condition Rating)

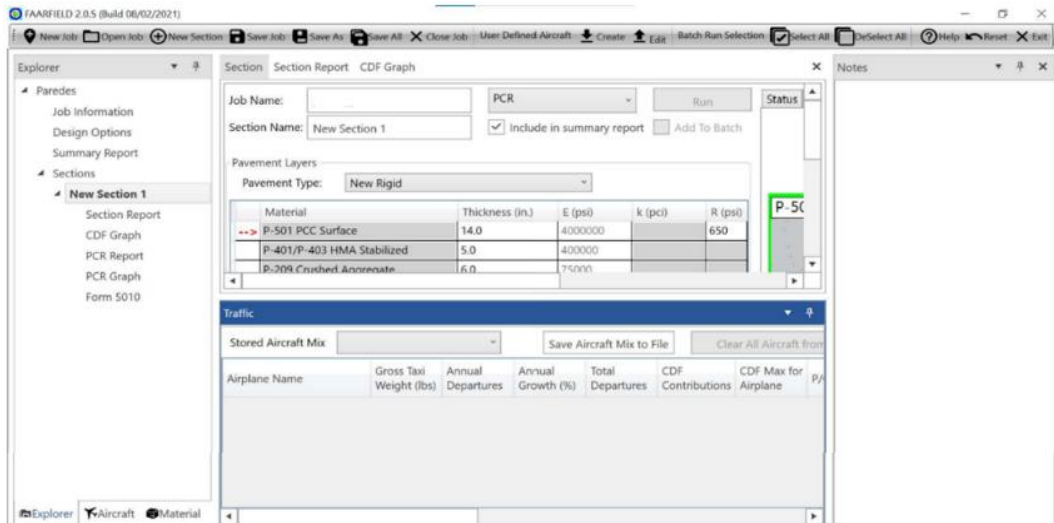


Figura 52. Resultado de FAARFIELD

- Para el tráfico de aviones para este aeropuerto no es muy grande, así que elegiremos los que más llegan el AIRBUS A300-B2 y el Boeing 737-400



Figura 53. Modelos de AIRBUS A300-B2 Y BOEING 737-400.

- En la siguiente lista se muestra la lista de aviones con sus características cargados al programa de FAARFIELD

Airplane Name	Gross Taxi Weight (lbs)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	CDF Contributions	CDF Max for Airplane
A300-B2	315041	1200	0	24000	0	0
B737-400	150500	1200	0	24000	0	0

Figura 54. Data del programa FAARFIELD

➤ Finalmente obtenemos el reporte de diseño por los tipos de avión, tenemos:

Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness in.	Modulus psi	Poisson's Ratio	Strength R psi
1	P-501 PCC Surface	14.0	4000000	0.15	650.0
2	P-401/P-403 HMA Stabilized	5.0	400000	0.35	0
3	P-209 Crushed Aggregate	6.0	40303	0.35	0
4	Subgrade	0	15000	0.4	0

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. lbs	Annual Departures	% Annual Growth
1	A300-B2	315041	1200	0
2	B737-400	150500	1200	0

Additional Airplane Information

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	A300-B2	0.05	0.05	3.43
2	B737-400	0.13	0.13	3.54

User Is responsible For checking frost protection requirements.

Figura 55. Información adicional del programa

➤ Las condiciones que tendremos para el diseño son las siguientes:

- Un PCC de superficie de 14 pulgadas de espesor.
- Base de tipo p-401/P-403, de 5 pulgadas de espesor.
- Agregado grueso, P-209, 200 mm de diámetro.
- Sub grado de 15000 psi.

Esto se resume en la siguiente imagen:

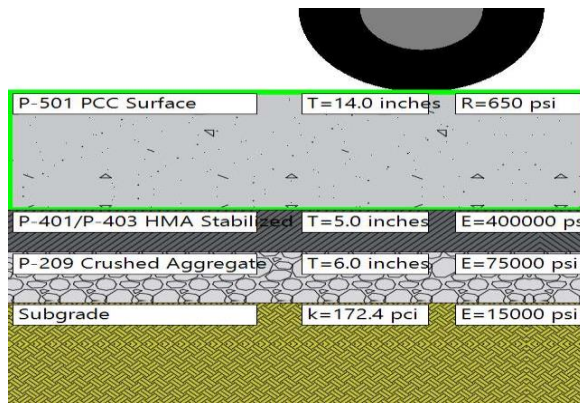


Figura 56. Estructura de Pavimento

4.9. Análisis estadístico de variables

4.9.1. Coeficientes de variables N° 01 y N°02

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99660622
Coefficiente de determinación R ²	0.993223958
R ² ajustado	0.988706597
Error típico	0.198813761
Observaciones	6

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	17.38141927	8.690709633	219.868168	0.000557782
Residuos	3	0.118580735	0.039526912		
Total	5	17.5			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-6.037353839	1.021319808	-5.911325514	0.00966919	-9.287649288	-2.78705839	-9.28764929	-2.78705839
Variable X 1	0.043734193	0.004056757	10.65864133	0.00176511	0.030325377	0.05614301	0.03032537	0.05614301

Figura 57. Resultados de análisis de varianza

4.9.2. Análisis de los residuos

Observación	Pronóstico para Y	Residuos
1	0.010298069	-0.010298069
2	1.200593784	-0.200593784
3	1.755514821	0.244485179
4	2.939541679	0.060458321
5	4.119087431	-0.119087431
6	4.974964216	0.025035784

Resultados de datos de probabilidad

Percentil	Y
8.333333333	0
25	1
41.66666667	2
58.33333333	3
75	4
91.66666667	5

Figura 58. Análisis de residuos

4.10. Análisis estadístico de variable independiente

4.10.1. Gráfico de Residuales.

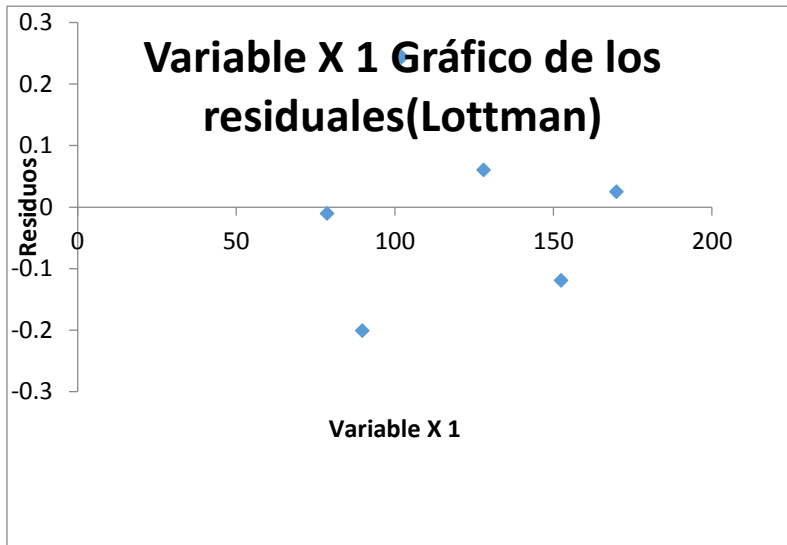


Figura 59. Grafica de residuales (Lottman)

NOTA: La grafica de residuales (Lottman) ayuda a determinar si se cumplen los supuestos mínimos cuadrados ordinarios

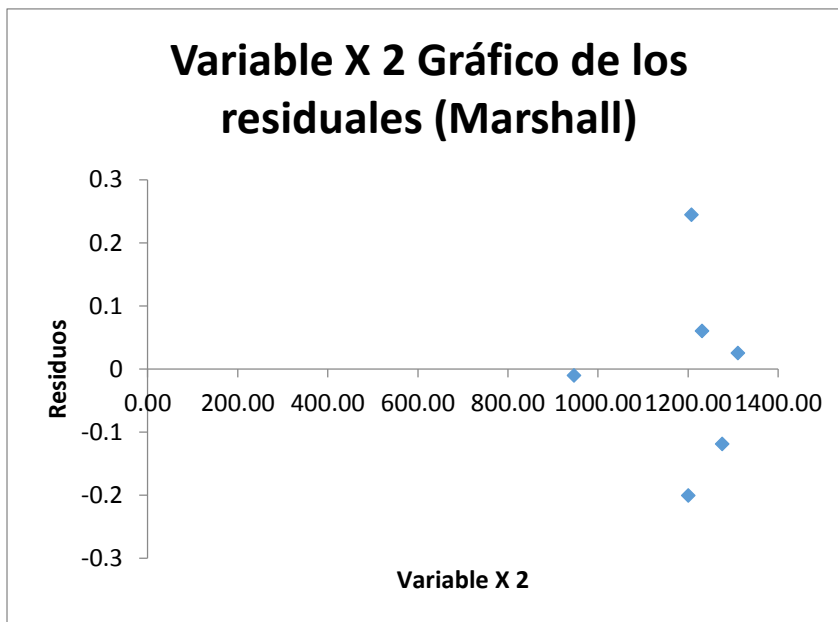


Figura 60. Grafica de residuales (Marshall)

NOTA: La grafica de residuales (Marshall) ayuda a determinar si se cumplen los supuestos mínimos cuadrados ordinarios.

4.10.2. Regresión lineal.

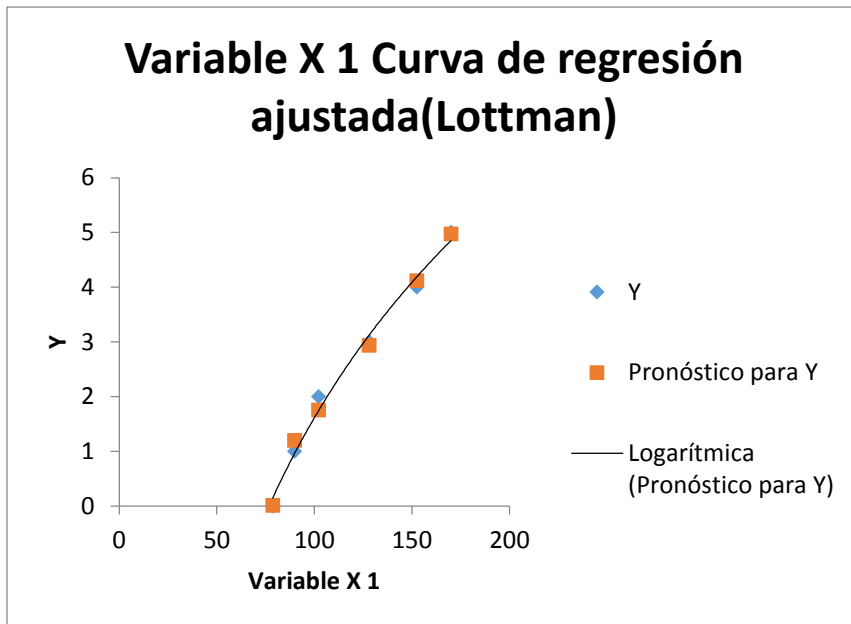


Figura 61. Curva de regresión Lottman

NOTA: La curva de regresión ajustada (Lottman) se utilizó para ilustrar la variable predictoría y la variable respuesta.

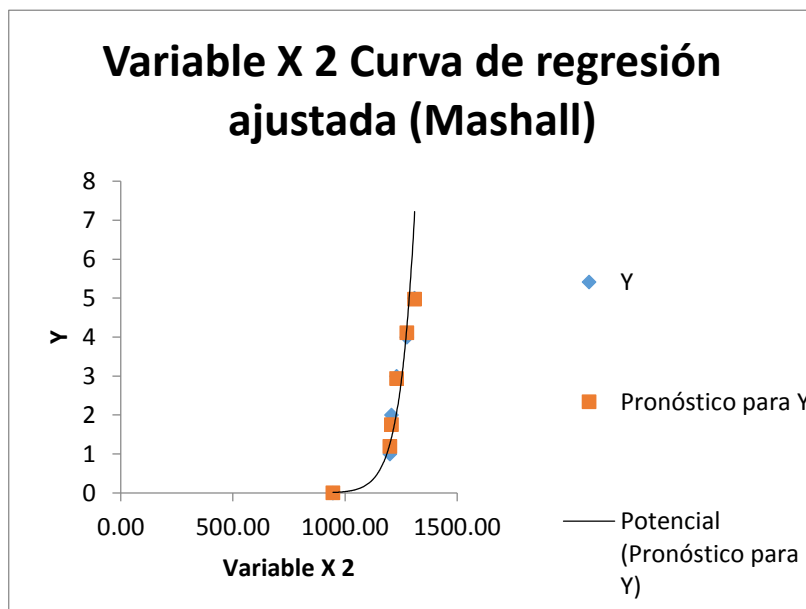


Figura 62. Curva de regresión Marshall

NOTA: La curva de regresión ajustada (Marshall) se utilizó para ilustrar la variable predictoría y la variable respuesta.

4.10.3. Prueba de Normalidad.

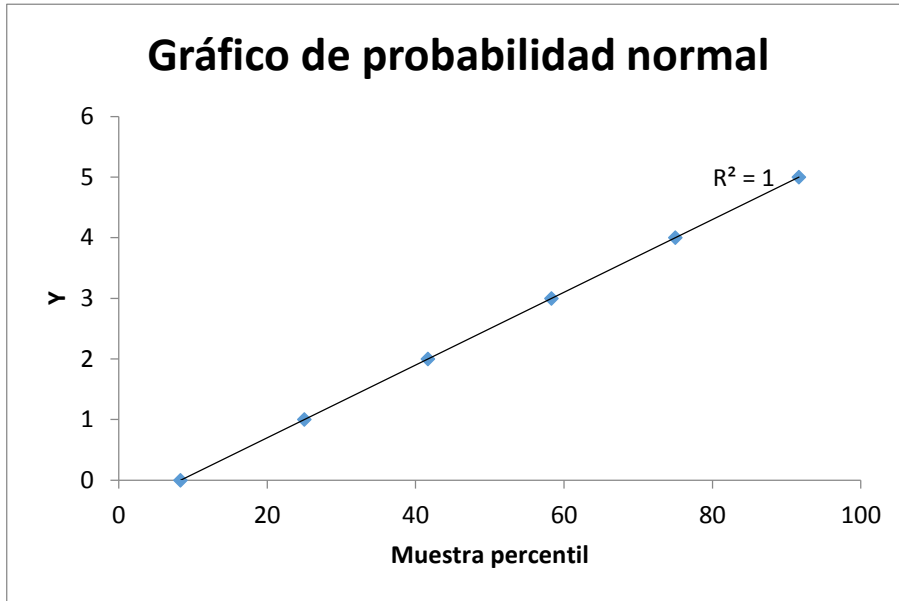


Figura 63. Gráfico de probabilidad normal

NOTA: Con la finalidad de analizar cuanto difiere la distribución de los datos observados, siendo igual a 1 siendo aceptable.

4.10.4. Varianza e histograma de resultados de ensayos de 02 calicatas.

ENSAYOS	CALICATAS	
	C-1	C-02
CBR	13.30	15.00
LL	36.71	38.00
LP	31.88	33.20
IP	4.83	4.68
FINOS	6.06	6.51
PROCTOR	1.94	1.98
% H OP	7.50	7.20
D.MINIMA	1.38	1.30
D.MAXIMA	1.94	1.98

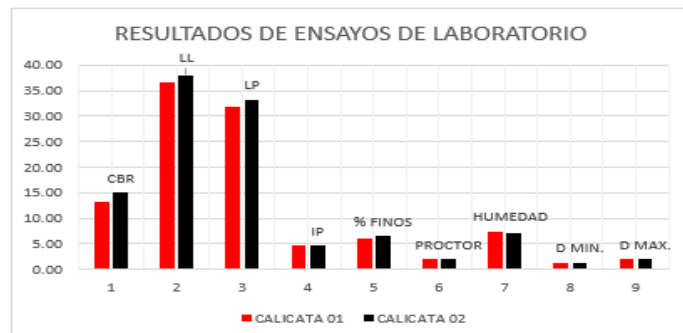
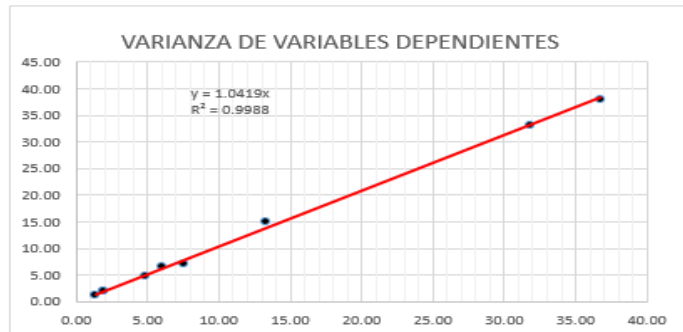


Figura 64. Varianza de variables dependientes

Nota: De los ensayos realizados en las calicatas se obtiene el siguiente histograma donde los resultados se contrastan entre ambas calicatas.

4.11. Análisis de Resistencias (06 adiciones)

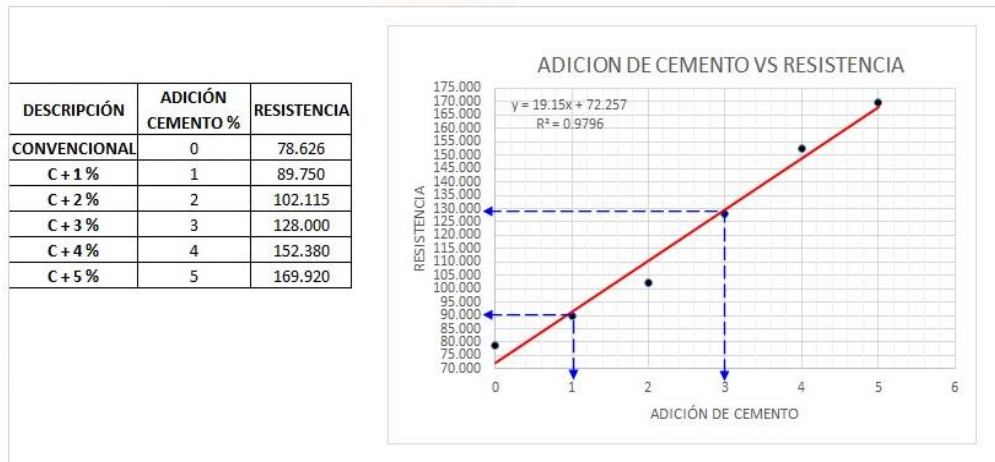


Figura 65. Análisis de resistencias

Nota: De la muestra convencional y adiciones se obtiene la siguiente grafica adición de cemento vs resistencia siendo el coeficiente determinación r cuadrado ($R^2 = 0.9796$).

4.12. Análisis de costos unitarios (06 adiciones)

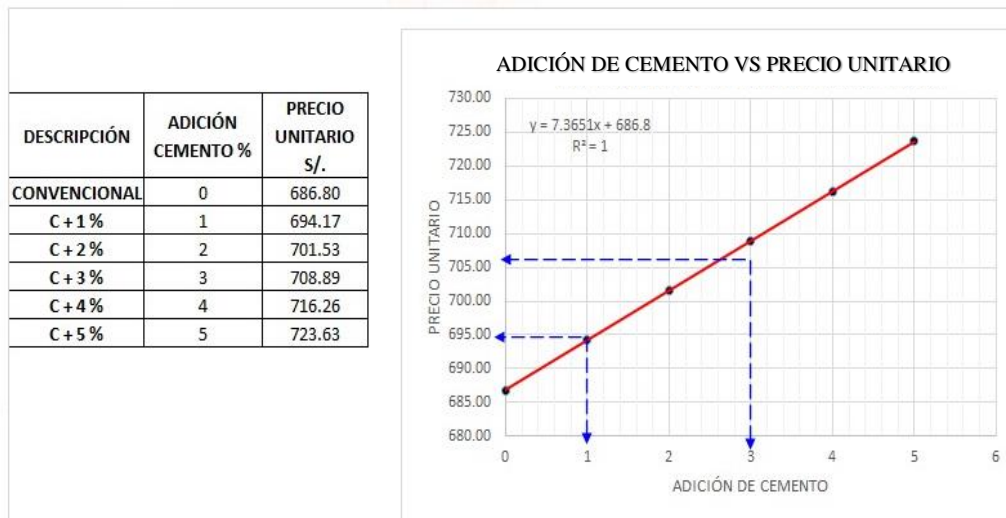


Figura 66. Análisis de costos unitarios

Nota: De la gráfica de dispersión se tiene el incremento de adiciones vs el precio unitario siendo el coeficiente de determinación r cuadrado ($R^2 = 1$).

4.13. Validación de método de investigación

Los instrumentos fueron validados correctamente con el método Alfa de Cronbach, siendo esta la fórmula que valida los instrumentos, en la siguiente tabla se detalla el cálculo de la confiabilidad de la investigación.

Tabla 18

Cuadro de cálculo de alfa de Cronbach

Expertos técnicos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Suma
Wilbert P.	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	41
Flor M.	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	47
Jenla S.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	50
William A.	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	41
VARIANZA	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.19	0.25	0.19	0.19	
ΣVARIANZAS	2.310										
VARIANZA Σ ITEMS	15.19										

$$\alpha = \frac{k}{k+1} * \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right] \dots \dots \dots [\text{Ecuación 30}]$$

Donde:

α = coeficiente de confiabilidad

k = número de ítems del cuestionario

$\sum S_i^2$ = sumatoria de varianzas de los ítems

S_t^2 = varianza total del instrumento

Operando la fórmula obtuvimos:

$$K = 10$$

$$\sum S_i^2 = 2.310$$

$$S_t^2 = 15.19$$

$$\alpha = 0.94$$

Tabla 19

Cuadro de confiabilidad alfa de Crombach

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Confiabilidad nula
0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.60 a 0.65	Confiabilidad
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Excelente confiabilidad
1	Confiabilidad perfecta

Fuente: González & Pazmiño, 2015

Por consiguiente, se aprecia que la validación tiene una confiabilidad alta, puesto que los 04 especialistas coincidieron en que las herramientas y metodologías fueron las correctas, para mayor detalle de encuestas ver anexo 07.

4.14. Discusión de resultados

➤ **Hipótesis general**

La propuesta del pavimento semirrígido se consiguió que las deflexiones y rugosidad sean muy bajas, por lo tanto, se da por aceptada dicha hipótesis, para un adecuado soporte de tráfico en el aeropuerto Hernán Turque Podestá.

➤ **Hipótesis 1:**

SE DA POR ACEPTADO la presente hipótesis puesto que con los ensayos se calculó las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y con el ensayo de deformación se determinó que con la aplicación de la carpeta asfáltica semirrígida no se necesita mejoramiento de la subrasante.

➤ **Hipótesis derivada 2:**

SE DA POR ACEPTADA la presente dicha hipótesis mediante el ensayo de placa de carga se determinó que la deflexión (pista mejorada) es de 39.1×10^{-2} mm. siendo menor a la requerida que es de 48×10^{-2} mm. siendo menor la deflexión (pista mejorada) a diferencia de la deformación (pista actual) es 113.04×10^{-2} mm. del aeropuerto Hernán Turque Podestá de Moquegua cumple con la deflexión requerida.

Tabla 20

Parámetros para deformaciones máximas según tráfico

TPD (VEH/DIA)	D máx (mm)			
	Bueno	Regular	Malo	Severo deterioro
0-5000	< 0.765	0.765 – 0.888	0.888 – 1.16	> 1.16
5000 – 15000	< 0.708	0.708 – 0.833	0.833 – 1.12	> 1.12
15000 – 40000	< 0.592	0.592 – 0.694	0.694 – 0.952	> 0.952
>40000	< 0.485	0.485 – 0.576	0.576 – 0.808	> 0.808
Intervención recomendada	Mantenimiento	Mantenimiento o refuerzo	Refuerzo si hay daño estructural	Reconstrucción

Fuente: Barrantes et al, 2008

➤ Hipótesis derivada 3:

SE DA POR ACEPTADA la presente hipótesis, puesto que el metro cubico de mezcla convencional es de S/. 687 soles y la mezcla semirrígida es de 723.63 soles, cabe indicar que ambas mezclas cumplen con los parámetros exigidos en la normativa del Ministerio de transporte y comunicaciones (2013) nos dice >831 kg tal como se detalla a continuación:

A) S/. 687 soles costo de mezcla convencional

S/. 723.7 costo de mezcla semirrígida con (5% cemento)

Costo adicional 5.36 % (S/. 36.7 soles)

B) 78.63 kg resistencia de mezcla convencional (método Lotmann)

169.92 kg resistencia de mezcla semirrígida con (5% cemento)

Incremento de Resistencia adicional 116.1 %

C) 946.61 kg resistencia de mezcla convencional (método Marshall)

1310.44 kg resistencia de mezcla semirrígida con (5% cemento)

Incremento de Resistencia adicional 38.4 %.

D) S/. 687 soles costo de mezcla convencional, reducción de costos de

38.4 % utilizando mezcla semirrígida, que equivale a una reducción de

263.00 soles/m³.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De acuerdo con la investigación realizada en la presente tesis se concluye lo siguiente por objetivos:

- Primera.** Se realizó el diseño estructural de la pista de aterrizaje para un adecuado soporte de aeronaves que aterricen en el aeropuerto Hernán Turque Podestá de Moquegua.
- Segunda.** Mediante los ensayos de laboratorio requeridos para la presente tesis, según el objetivo propuesto, comprueba que en dicha zona existe material gravoso (ver APÉNCIDE A), pudiéndose determinar las propiedades mecánicas del suelo de fundación.
- Tercera.** Según el ensayo de placa de carga se determinó la deformación máxima de la pista actual de aterrizaje del aeropuerto.
- Cuarta.** Se determino el costo unitario del pavimento y el costo de la mezcla asfáltica convencional es de **S/ 686.80** y el costo de la mezcla mejorada de alta resistencia es de **S/.723.63**, teniendo un incremento de **5%** en el costo (ver Apéndice H). Siendo notable en la resistencia

convencional es de 946.61 kg y la resistencia de la mezcla semirrígida es de 1310,44 kg con una adición de 5% de cemento, teniendo un incremento de 38% de resistencia. Con los cálculos realizados de Lottman y Marshall (ver Apéndice D y E) demuestran claramente que con el Lottman se obtiene valores conservadores óptimos para el diseño.

5.2. Recomendaciones

- Primera.** Es de suma importancia realizar los ensayos de base, subrasante del suelo y así mismo realizar el ensayo de coeficiente fricción (laser integrator) puesto que este determina el control de aeroplano y derrape.
- Segunda.** Para realizar el control de diseño de asfalto semirrígido se recomienda utilizar el ensayo Marshall y Lottman cuyos valores son más aproximados y directos, puesto que no necesita correlaciones previas.
- Tercera.** Se recomienda el uso de mezclas semirrígida para tráfico alto, sin embargo, se debe utilizar equipos especiales de medición como el Lottman que no es comercial en nuestra región.

BIBLIOGRAFÍA

- Aeropuerto. (2022). En *Wikipedia*. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aeropuerto&oldid=147100374>
- American Association of State Highway and Transportation officials (2016). “*Norma AASTHO T2-91 (2000) ASTM D75-87 (1992)-Manual de ensayo de laboratorio*”
Recuperado de <https://imt.mx/archivo/publicaciones/publicaciontecnica/pt515.pdf>
- Barrantes, R., Loría, L., Sibaja, D. & Porras, J. (2008). *Desarrollo definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la red vial nacional. Proyecto #UI-PI-04-08. Laboratorio nacional de materiales y modelos estructurales*. San José, Costa Rica.
- Bañón, B. & Bevia G. (1999). *Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10045/1787>
- Boussinesq. (1885). *Teoría para calcular el esfuerzo, deformaciones y deflexiones*. Recuperado de <https://e.slideshare.net/wilbertPierMosalvejinez/teoria-de-Boussinesq>
- Castaño, V., Martínez, M. & Rodríguez, R. (2001). *Emulsiones asfálticas*. México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/documentotecnico/dt23.pdf>
- Castro, C. y Ahumada, N. (2018). *Propuesta de adecuación de la pista de aterrizaje y mejora de los servicios del aeropuerto de medina en Cundinamarca*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Chagoya, R. (2018). *Métodos y técnicas de investigación*. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/metodos-y-tecnicas-de-investigacion/>

- Corbetta, P. (2003). *Investigación cualitativa [en línea], metodología y técnicas de la investigación social*. Madrid, España: McGraw-Hill. pp. 33-67.
- Crespo, C. (1976). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5ª ed.). México: Editorial Limusa.
- Duque, G. (2003). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>
- Federal Aviation Administration (2022). *Guidelines and procedures for measuring Airfield Pavement Roughness - AC 150/5380-9*. Recuperado de https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document-current/document-number
- Ford Wayne Airport T. (2002). Highway and Airport Pavement Design. *En Chen WFJYLIEV eds - The civil Engineering Handbook* (2ª ed.), 7-22.
- González, F. (2009). *Fundamentos de Mecánica*. Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de [https://www.passeidireto.com/universidad Politécnica de Cartagena](https://www.passeidireto.com/universidad%20Politécnica%20de%20Cartagena).
- González, A. & Pazmiño, S. M. (2015). Cálculo e interpretación del Alfa de Crombach para el caso de validación de la consistencia interna de un cuestionario con dos posibles escalas tipo Likert. *Revista publicando*, 2(1), 62-77.
- Google. (2022). *Ubicación del Aeropuerto Hernán Turque Podestá*. Recuperado de https://earth.google.com/web/search/aeropuerto+moquegua/@-17.1798141,-70.93139425,1447.93099037a,2239.22823887d,35y,0h,45t,0r/data=Cn4aVBJOCiUweDkxNDQ5YzQwYWVlYzExNDU6MHg4NjhjMGMzMmRmOGRkZDk0GVm7kokALjHAIV5nQ_6Zu1HAKhNhZXJvcHVlcuRvIG1vcXVIZ3VhGAIg

ASImCiQJTPEejy5MMARUit21qfBMMAZaEaaJXypUcAhbSXkuZytUcA

Guzmán, D. & Ulloa, J. (2015). *Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal aeropuerto de Pisco: Renan Elias Olivera* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperado <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2215>

Hernández, S., Fernández, C. & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Hooke, R. (1665). Ley de elasticidad de Hooke. En *Wikipedia*. Recuperado el 2022 de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ley_de_elasticidad_de_Hooke&oldid=146959819.

Huang, Z. (1993). *Sudden transition from equilibrium stability to chaotic dynamics in a cautious tatonnement model*. Recuperado de <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnicapt104.pdf>

Hurtado, A. (2017). *Estudio del coeficiente de fricción en asfalto con presencia de hielo y arena empleando el péndulo deslizante* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/23793/1/tesisAHMA.pdf>

Kerkhoven y Dormon. (1953). *Conceptos mecanicistas en Pavimentos*. Revista del Instituto mexicano del transporte – IMT, 02(04), 5-20.

Martínez, J. y Ventocilla, J. (2015). *Rehabilitación de pavimentos del aeropuerto del Cusco usando modificadores de asfalto* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Mata, J. & Castillo, F. (2020). Motivación y satisfacción laboral en una organización de

- servicios sin fines de lucro. *Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América*, 45(12), 549-555.
- Mesbah, U. (2010). *Mechanical Engineering and Engineering science*. (Tesis de doctorado). Universidad de Melbourne, Australia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Lima, Perú.
- Monje, A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Neiva, Colombia: Universidad Sur Colombiana.
- Morles, V. (2011). Guía para la elaboración y evaluación de proyectos de investigación. *Revista de Pedagogía*, 32(91), 131-146.
- Ordoñez, A. (2016). *Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente, empleando Cal, en los aeropuertos del sur del Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/727>
- Primo sociedad anónima cerrada. (2022). *Empresa de venta de asfaltos líquidos*. Recuperado de <http://www.ventadeasfalto-rc250.com.pe/empresa-de-asfalto-corporacion-primo-sac-lima-peru.html>
- Rodríguez, E. (2011). *Medios, técnicas e instrumentos de evaluación formativa y compartida del aprendizaje en educación superior*. Recuperado de <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- Whitford, R. (2003). Airport Planning and Design. En W.F. Chen, *The civil Engineering Handbook* (2ª ed.).
- Yepes, V. (2008). *Consolidación*. Recuperado de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/consolidacion/>

Zuzulová, A. y Dominika, H. (2019). Fiabilidad operativa de los pavimentos de aeródromo. *Transportation Research Procedia*, 43, 243-250.

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.039>