



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**

**ARAGÓN**

**PAVIMENTOS AERONÁUTICOS DISEÑO Y REVISIÓN**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

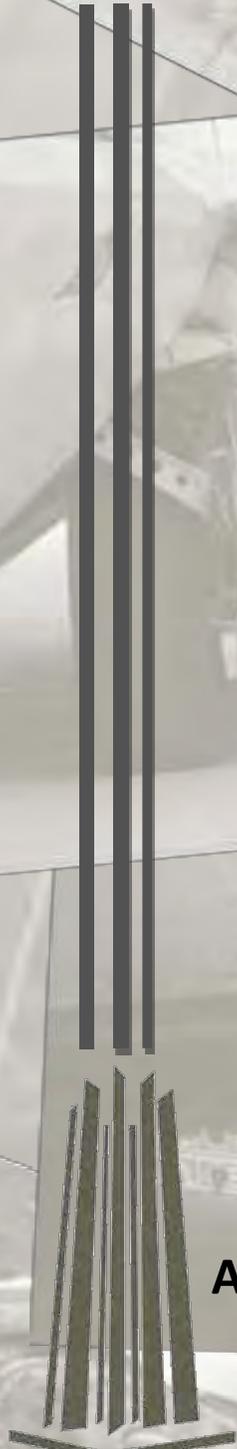
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS**

**ASESOR: INGENIERO RICARDO RODRIGUEZ CORDERO**

**Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, 2017**



**FES Aragón**

The logo of FES Aragón is a stylized graphic consisting of several vertical bars of varying heights, resembling a modern architectural structure or a stylized letter 'A'. It is positioned on the left side of the cover, partially overlapping the text.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Ingeniería civil es una gran profesión, es la fascinación de contemplar como un producto de la imaginación que emerge con la ayuda de la ciencia hasta plasmarse en un plano sobre el papel. Luego crea empleos y hogares... eleva los niveles de vida y se suma a las comodidades de la existencia. Ese es el alto privilegio del ingeniero.*

**Herbert Hoover.**



¿Cómo empezar por agradecerles a todos los que han estado conmigo en este largo proceso que ha llevado años, pero que al fin rinde sus frutos, grandes personas me han apoyado, enseñado y cambiado. Estoy en deuda con todos ustedes que me transmitieron su conocimiento, experiencia, apoyo, su amistad y sobre todo su amor y apoyo incondicional en todo lo que emprendía día a día, no me dejaron solo y se los agradezco.

*Irma (mamá).*

*Te agradezco el apoyo incondicional a cada paso que doy en mi vida siempre has estado ahí en las buenas y las peores y aun así nunca eh tenido las palabras para poder agradecer todo lo que me has enseñado, me formaste, me hiciste un hombre responsable, con valores.*

*Mejor ejemplo no puedo tener al pensar en la palabra madre, para poder describirte las palabras siempre faltaran, es más fácil para mí poder llamarte amiga, confidente, eres una persona muy especial en mi vida que ha mostrado con su ejemplo la manera adecuada de actuar, de vivir.*

*Todas las anécdotas buenas y malas siempre las voy a recordar y atesorar, eso me formo me hizo ser quien soy, tratando de ser cada día mejor persona e hijo, ahora espero que todo lo que se viene para todos nosotros sea siempre mejor cada día vamos a luchar por nuestros ideales y metas como tú siempre nos lo mostraste.*

*Miguel (Papá).*

*Tengo mucho que agradecerte, me enseñaste a trabajar, agradezco cada día, tarde y noche en el que pasábamos haciendo algo que muy temprano en mi vida se formo como una gran pasión los autos, la mecánica, solo son el ejemplo perfecto de que siempre podemos encontrar una forma de resolver nuestros problemas que se presentan que no solo los "especialistas" pueden hacer el trabajo, formaste en mí un gran concepto de cómo ser honrado, me mostraste como vivir siempre tratando de dar lo mejor de ti, el apoyo ha sido incondicional, aun cuando no siempre pudiste estar con nosotros por estar trabajando para poder sacarnos adelante, gracias por todo eso.*

*La vida está llena de obstáculos que aprendemos de diferentes formas a sortearlos y tú me mostraste que darle la cara a los problemas siempre será mejor, a ser congruente con lo que pensamos y hacemos, filosofía que ha sido parte de mí y que sigo tratando de seguir día a día.*

*A ustedes dos les agradezco que sigan formando parte de mi vida, aprendo cosas de ustedes a cada instante, no me arrepiento de ser la persona que ustedes han formado con su ejemplo, nadie enseña cómo ser padre pero ustedes son el mejor ejemplo que tengo para poder definir esa palabra los amo gracias por todo.*

*Miguel (Hermano).*

*Que te puedo decir eres la persona más importante en mi vida, con dicha, risas, gozos, alegrías, tristezas has llenado mi vida día a día, el ejemplo de muchas cosas en mi vida viene de ti, aprendí con solo verte ser y actuar, de todo eso no hay forma de agradecerte eres un ejemplo de que perseverando se pueden lograr las metas que uno quiere, que perseguir sus sueños siempre tiene que ser nuestro objetivo, Agradezco que tú seas mi hermano y no otra persona, porque de no haber sido así, quien sabe que sería de mí..*

*A mis amigos*

*A todos y cada uno de ustedes les tengo que agradecer el tiempo, las aventuras buenas, sus anécdotas y la buena vibra con la que cargaron cada momento en mi vida, ha sido un placer conocerlos, a Cesar, Mario y Gaby les agradezco porque a pesar del tiempo siguen estando ahí, a Ale, Alfredo, Yobani, y a Jonathan, gracias hicieron la estancia en la universidad de lo más divertido e interesante gracias por aguantarme.*

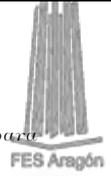
*Ingeniero Ricardo mi asesor.*

Los científicos estudian el mundo tal como es; los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido

Theodore Von Karman



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
AGRADECIMIENTOS



*Le doy las gracias por todo el apoyo prestado en todo este proceso que siempre tenga una palabra para orientarme y ayudarme le agradezco todo.*

*Ingeniero Leonardo.*

*Gracias por darme tu amistad que a pesar de la brecha generacional siempre tuviste un consejo para mí, me enseñaste bastantes cosas, buenos momentos pase en el AICM y a ti y a todos los compañeros les agradezco el apoyo y enseñanzas.*

*A mis maestros.*

*Un especial agradecimiento a todos mis maestros que sin su apoyo no habría podido aprender tantas cosas que no solo vienen dadas en el plan de estudios si no enseñanzas de vida.*

**A todos y a cada uno de ustedes le deseo éxito en su vida personal, profesional y en todo lo que se propongan.**

Los científicos estudian el mundo tal como es; los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido

**Theodore Von Karman**



## **OBJETIVO**

La presente tesis tiene como objetivo principal ser un apoyo para los ingenieros que tienen un simple interés o para los que se quieren desarrollar en el ámbito de pavimentos aeronáuticos (pavimentos especiales para aeropuertos), llevando paso a paso a través de diferentes etapas en la construcción, diseño, revisión y conservación de los mismos. Todo lo anterior poniéndolo en palabras lo más sencillas posibles para así llegar a nuestro objetivo.

Es de suma importancia que los pavimentos utilizados en los aeropuertos ya sean públicos, privados o de uso militar, cuenten con características que permitan llevar a cabo las actividades para las cuales están diseñados, ya que con el paso del tiempo han evolucionado los tipos, características, la eficiencia de los aviones, y la forma en que se diseñan y construyen los pavimentos. Para los ingenieros civiles que se desarrollan en este ámbito conocer las diferentes características de uso del aeropuerto y las que presentan los vehículos más críticos, dimensiones, peso máximo de despegue, resistencia del suelo, de ello dependerá la capacidad que tenga un pavimento, la eficiencia que desarrolle y todas las características de diseño del pavimento, todo esto obedeciendo a las normas internacionales y nacionales para el diseño de mis mismos.

Es de vital importancia analizar las tendencias que tenemos hoy en día, para así poder pensar a futuro sobre las nuevas características y avances que presentaran las aeronaves como el tamaño, el tipo de cargas, el tipo de tren de aterrizaje, etc. Es de suma importancia porque dependerá que nuestro aeropuerto siga vigente por un periodo de tiempo más prolongado y presente un desempeño óptimo en condiciones de uso continuo y sin paros inesperados de las operaciones aéreas por fallas en los pavimentos, las inspecciones y conservación constantes juegan un papel fundamental, ya que, podemos determinar las distintas fallas que ya sean visibles y hacer un mantenimiento preventivo alargando así la vida del pavimento.



## **JUSTIFICACIÓN**

La finalidad del presente documento es informar a ingenieros y público en general de manera sencilla los tipos de pavimentos (rígidos concreto hidráulico, flexibles pavimento asfáltico) que son utilizados en aeropuertos y aeródromos, así como también, las fallas comunes que estos presentan, las pruebas de laboratorio necesarias para el diseño.

Los aeropuertos no pueden tener pavimentos con deficiencias, ya que, no se pueden comprometer de ninguna manera las operaciones aéreas o terrestres, causando cierres parciales o totales de los mismos, por esa razón es de suma importancia conocer si es un aeropuerto nacional o internacional, la aeronave crítica, tipos de carga que se manejan, entre otros aspectos claves de la operación, así poder llevar a cabo un buen diseño de las pistas de aterrizaje y despegue, calles de rodaje, plataformas de estacionamiento, hangares, etc.

Realizar a inspecciones periódicas en tiempo y forma es primordial, para poder llevar a cabo los trabajos de mantenimiento de todas las diferentes instalaciones con las cuales cuentan los aeropuertos nacionales e internacionales y así poder extender de gran manera la vida útil y el desempeño de los mismos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CONTENIDO



INTRODUCCIÓN	11
SISTEMA AEROPORTUARIO MEXICANO	12
PRINCIPALES AEROPUERTOS DE MÉXICO	14
Ciudad de México "Benito Juárez"	14
Aeropuerto Internacional de Guadalajara, "Miguel Hidalgo y Costilla"	14
Aeropuerto Internacional de Monterrey "General Mariano Escobedo"	15
Aeropuerto Internacional de Cancún	16
Aeropuerto Internacional de Tijuana	17
TODOS LOS AEROPUERTOS DE MÉXICO:	18
PARTES DE UN AEROPUERTO	21
Pistas	21
Calles de rodaje	24
Plataformas	25
Apartaderos de espera	26
Apartaderos de estacionamiento	26
Hangares	26
• CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.	28
GEOLOGÍA	29
MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN	29
EL CICLO DE LAS ROCAS.	29
ROCAS ÍGNEAS.	29
Composición	30
Temperatura	30
Textura	30
Clasificación	30
ROCAS SEDIMENTARIAS	31
Clasificación de partículas sedimentarias.	31
ROCAS METAMÓRFICAS	34
Los agentes de metamorfismo	34
Tipos de metamorfismo	34
AGUA SUBTERRÁNEA	36
Agua subterránea y el ciclo hidrológico	36
Porosidad y permeabilidad	36
Nivel freático	36
BREVIARIO HISTÓRICO DE LA GEOTÉCNICA.	38
EL SUELO	38
Sistemas de clasificación de suelos	38
GRANULOMETRÍA	40
SUCS SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS.	40
Tipos de suelos	41
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO	43
PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS SUELOS UTILIZADAS PARA CLASIFICARLOS.	45
PROPIEDADES ÍNDICE (MECÁNICAS)	45
Estructura de los suelos	45
Textura de los suelos	45
• CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES	47
PRUEBAS DE CLASIFICACIÓN	49
Contenido de humedad en suelos	49
GRANULOMETRÍA	50
DENSIDAD DE SÓLIDOS	52
PRUEBAS DE CONTROL	53
CBR o VRS	53
COMPACTACIÓN	54
EXPANSIÓN (Exp)	55
EQUIVALENTE EN ARENA	55
PRUEBAS DE DISEÑO	56
VALOR RELATIVO DE SOPORTE MODIFICADO (V.R.S. mod.)	56
PRUEBA DE PLACA	58
DESGASTE DE LOS ÁNGELES	60
INTEMPERISMO ACELERADO	61
Prueba de Penetración en Asfaltos	62
AFINIDAD	63
DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS	63
VISCOSIDAD	64
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO Y PENETRACIÓN RETENIDA.	67
PRUEBA MARSHALL	67
PERMEABILIDAD EN CARPETAS ASFÁLTICAS	69
• CAPÍTULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS.	70



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CONTENIDO



LA CAPA SUBRASANTE	71
BASES Y SUBBASES.	72
Calidad de la subbase.	73
Bases	73
Calidad y material más utilizado en base granulares.	74
Espesores mínimos de base de agregados triturados según la FAA	74
Procedimiento de construcción de bases y subbases.	74
Estabilizaciones	75
Físicos:	75
Químicos:	75
Mejoramientos con cemento portland	75
Estabilización con productos asfálticos.	76
Estabilización con cal	76
Geotextiles usados en sobre carpetas asfálticas.	76
Asfaltos	77
Propiedades físicas del cemento asfáltico.	77
Asfaltos modificados	78
Emulsiones asfálticas	78
Mezclas asfálticas en caliente:	79
Temperaturas del asfalto para mezclas en caliente	79
Requisitos de calidad de asfaltos modificados	81
PAVIMENTO RÍGIDO:	82
Juntas:	82
Espaciado de juntas:	83
Clasificación	86
Principales factores de diseño	86
PAVIMIENTOS PERPETUOS:	87
CARPETAS WHITETOPPING	87
CONSIDERACIONES RELATIVAS A LOS AVIONES	89
¿A QUÉ SE LE DENOMINA AVIÓN?	89
AVIONES QUE ESTÁN EN OPERACIÓN COMERCIAL EN LA CIUDAD DE MÉXICO.	91
CARACTERÍSTICAS DE LAS AERONAVES.	92
•    CAPITULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS DE AEROPISTAS.	96
DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.	97
DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES MÉTODO DE LA FAA	97
Tipo y geometría de los trenes de aterrizaje.	98
Calculo del espesor total de la estructura de pavimento	100
Ejemplo de aplicación.	111
DISEÑO PAVIMENTOS RÍGIDOS.	114
LA UTILIZACIÓN DE LAS CURVAS DE CÁLCULO ES LA SIGUIENTE:	114
LOS REQUISITOS DE LA CAPA DE DE CIMENTACIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO.	114
AÉREAS CRÍTICAS Y NO CRÍTICAS.	115
CAPA DE CIMENTACIÓN ESTABILIZADA.	125
Ejemplo de aplicación.	125
•    CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS	126
LA REHABILITACIÓN	128
RECONOCIMIENTO Y AUSCULTACIÓN DE PAVIMENTOS	129
FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE.	130
FALLAS EN EL PAVIMENTO RÍGIDO CONCRETO HIDRÁULICO.	135
•    ANEXO 1	141
NORMATIVA AASTHO:	144
CRITERIOS INSTALACIONES UNIFICADA (UFC):	144
BASIC ASFALTO MANUAL DE EMULSIÓN:	144
NORMATIVIDAD PROPIA DE LA FAA:	144
SOCIEDAD AMERICANA PARA PRUEBAS DE MATERIALES ASTM:	144
•    GLOSARIO	145
•    BIBLIOGRAFÍA	150
•    REFERENCIAS	153



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CONTENIDO



ILUSTRACIÓN 1 SISTEMA AEROPORTUARIO MEXICANO .....	12
ILUSTRACIÓN 2 SISTEMA AEROPORTUARIO MAPA .....	13
ILUSTRACIÓN 3 PISTAS PARALELAS .....	21
ILUSTRACIÓN 4 PISTAS TRANSVERSALES .....	21
ILUSTRACIÓN 5 DENOMINACIÓN DE PISTAS .....	22
ILUSTRACIÓN 6 PISTA AICM .....	22
ILUSTRACIÓN 7 ILUMINACIÓN PISTAS .....	23
ILUSTRACIÓN 8 LUCES ALS .....	23
ILUSTRACIÓN 9 SISTEMA PAPI .....	24
ILUSTRACIÓN 10 ILUMINACIÓN DEL ACOTAMIENTO CENTRAL .....	24
ILUSTRACIÓN 11 CALLE DE RODAJE .....	25
ILUSTRACIÓN 12 CALLES DE RODAJE ESTACIONAMIENTO .....	25
ILUSTRACIÓN 13 PLATAFORMAS AICM .....	25
ILUSTRACIÓN 14 APARTADERO DE ESTACIONAMIENTO .....	26
ILUSTRACIÓN 15 HANGARES AEROMÉXICO AICM .....	26
ILUSTRACIÓN 16 MÁRGENES DE PISTA .....	26
ILUSTRACIÓN 17 FRANJAS DE PISTA .....	27
ILUSTRACIÓN 18 RESA .....	27
ILUSTRACIÓN 19 CWY .....	27
ILUSTRACIÓN 20 SWY .....	27
ILUSTRACIÓN 21 PARTES DE PISTA .....	27
ILUSTRACIÓN 22 HISTORIA DE LA TIERRA .....	29
ILUSTRACIÓN 23 CICLO DE LAS ROCAS .....	29
ILUSTRACIÓN 24 MAGMA .....	30
ILUSTRACIÓN 25 TEXTURA ROCAS ÍGNEAS .....	30
ILUSTRACIÓN 26 ROCAS SEDIMENTARIAS .....	31
ILUSTRACIÓN 27 TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS .....	32
ILUSTRACIÓN 28 EJEMPLO DE ROCAS METAMÓRFICAS .....	34
ILUSTRACIÓN 29 CICLO HIDROLÓGICO .....	36
ILUSTRACIÓN 30 KARL VON TERZAGHI .....	38
ILUSTRACIÓN 31 EULALIO JUÁREZ BADILLO .....	38
ILUSTRACIÓN 32 SUCS .....	40
ILUSTRACIÓN 33 TABLA SUCS .....	42
ILUSTRACIÓN 34 SISTEMA AASHTO .....	43
ILUSTRACIÓN 35 FASES DEL SUELO .....	46
ILUSTRACIÓN 36 HORNO CONTENIDO DE HUMEDAD .....	49
ILUSTRACIÓN 37 MATERIAL PARA LÍMITES DE CONSISTENCIA .....	49
ILUSTRACIÓN 38 TAMICES PARA GRANULOMETRÍA .....	51
ILUSTRACIÓN 39 PRUEBA DE DENSIDAD DE SÓLIDOS .....	52
ILUSTRACIÓN 40 PRUEBA VRS .....	53
ILUSTRACIÓN 41 GRÁFICA ESFUERZO DEFORMACIÓN DEL SUELO .....	54
ILUSTRACIÓN 42 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN Y NÚMERO DE GOLPES PARA COMPACTAR LOS ESPECÍMENES SCT .....	54
ILUSTRACIÓN 43 PRUEBA EQUIVALENTE EN ARENA .....	55
ILUSTRACIÓN 44 EQUIPO PARA PRUEBA DE PLACA .....	58
ILUSTRACIÓN 45 ENSAYO PRUEBA DE PLACA .....	59
ILUSTRACIÓN 46 DESARROLLO DE PRUEBA DE PLACA .....	60
ILUSTRACIÓN 47 DESGASTE DE LOS ÁNGELES .....	60
ILUSTRACIÓN 48 EQUIPO PARA INTEMPERISMO ACELERADO .....	61
ILUSTRACIÓN 49 PENETRACIÓN DE ASFALTOS .....	62
ILUSTRACIÓN 50 DESTILACIÓN DE ASFALTOS .....	63
ILUSTRACIÓN 51 VISCOSÍMETRO SAYBOLT .....	65
ILUSTRACIÓN 52 PUNTO DE IGNICIÓN .....	66
ILUSTRACIÓN 53 PRUEBA DE DUCTILIDAD .....	67
ILUSTRACIÓN 54 PRUEBA MARSHALL .....	68
ILUSTRACIÓN 55 PERMEABILIDAD DE CARPETAS ASFÁLTICAS .....	69
ILUSTRACIÓN 56 PAVIMENTO ASFÁLTICO .....	71
ILUSTRACIÓN 57 ELABORACIÓN DE SUBRASANTE .....	71
ILUSTRACIÓN 58 ELABORACIÓN BASE .....	72
ILUSTRACIÓN 59 ESTABILIZACIÓN GEOTEXTIL .....	75
ILUSTRACIÓN 60 ESTABILIZACIÓN CEMENTO .....	75
ILUSTRACIÓN 61 ESTABILIZACIÓN PRODUCTO ASFÁLTICO .....	76
ILUSTRACIÓN 62 ESTABILIZACIÓN CON CAL .....	76
ILUSTRACIÓN 63 ESTABILIZACIÓN CON GEOTEXTIL .....	76
ILUSTRACIÓN 64 ASFALTO .....	77
ILUSTRACIÓN 65 REALIZACIÓN DE RIEGO .....	79
ILUSTRACIÓN 66 RIEGO DE IMPREGNACIÓN .....	80
ILUSTRACIÓN 67 PAVIMENTO RÍGIDO .....	82
ILUSTRACIÓN 68 PARTES DE PAVIMENTO RÍGIDO .....	82
ILUSTRACIÓN 69 TIPOS DE JUNTAS .....	84
ILUSTRACIÓN 70 DETALLES DE JUNTAS .....	85
ILUSTRACIÓN 71 DISTRIBUCIÓN DE JUNTAS .....	85
ILUSTRACIÓN 72 PISTA AÉREA P. RÍGIDO .....	86
ILUSTRACIÓN 73 CARPETA WHITETOPPING .....	87
ILUSTRACIÓN 74 CARPETA WHITETOPPING .....	88



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CONTENIDO



ILUSTRACIÓN 75 TREN DE ATERRIAJE FAA .....	91
ILUSTRACIÓN 76 AVIÓN ATR-42 .....	92
ILUSTRACIÓN 77 AVIÓN ATR 72-600 .....	92
ILUSTRACIÓN 78 AVIÓN B787-9, B787-8 .....	93
ILUSTRACIÓN 79 AVIÓN B777-200ER .....	93
ILUSTRACIÓN 80 AVIÓN B737-200 .....	93
ILUSTRACIÓN 81 AVIÓN EMB-190 .....	94
ILUSTRACIÓN 82 AVIÓN ERJ-145 .....	94
ILUSTRACIÓN 83 AVIÓN SUPERJET 100 .....	94
ILUSTRACIÓN 84 AVIÓN AIRBUS 320 .....	94
ILUSTRACIÓN 85 AVIÓN AIRBUS 321 .....	95
ILUSTRACIÓN 86 BACHEO .....	127
ILUSTRACIÓN 87 MANTENIMIENTO .....	127
ILUSTRACIÓN 88 LIMPIEZA DE DRENAJE .....	128
ILUSTRACIÓN 89 MÉTODOS DINÁMICOS .....	129
ILUSTRACIÓN 90 ENSAYO DESTRUCTIVO .....	129
ILUSTRACIÓN 91 REPARACIONES PAVIMENTOS .....	130
ILUSTRACIÓN 92 PIEL DE COCODRILO .....	130
ILUSTRACIÓN 93 EXUDACIÓN .....	130
ILUSTRACIÓN 94 FISURA DE BLOQUE .....	130
ILUSTRACIÓN 95 ONDULACIÓN .....	131
ILUSTRACIÓN 96 DEPRESIÓN .....	131
ILUSTRACIÓN 97 FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES .....	132
ILUSTRACIÓN 98 DETERIORO POR DERRAME DE COMBUSTIBLE .....	133
ILUSTRACIÓN 99 BACHEOS .....	133
ILUSTRACIÓN 100 HINCHAMIENTO .....	134
ILUSTRACIÓN 101 LIMPIEZA DEL CAUCHO DE LOS NEUMÁTICOS .....	135
ILUSTRACIÓN 102 ROTURA DE ESQUINA .....	135
ILUSTRACIÓN 103 FISURAS LONGITUDINALES, TRANSVERSALES Y DIAGONALES .....	136
ILUSTRACIÓN 104 FISURA "D" .....	136
ILUSTRACIÓN 105 DAÑO EN EL SELLADO DE JUNTAS .....	137
ILUSTRACIÓN 106 LOSA FRAGMENTADA .....	139



# INTRODUCCIÓN





## INTRODUCCIÓN



Los aeropuertos son estaciones para los pasajeros de las aerolíneas y para el transporte de mercancías. Allí los aviones reciben combustible, mantenimiento y reparaciones. Los grandes aeropuertos cuentan con pistas de aterrizaje pavimentadas de uno o varios kilómetros de extensión, calles de rodaje, terminales de pasajeros y carga, plataformas de estacionamiento y hangares de mantenimiento.

Constituyen un importante activo de la infraestructura logística nacional, los cuales posibilitan el comercio por carga aérea, que si bien representa el medio más costoso, también ofrece niveles de servicio muy altos por los tiempos de transportación. Esto para cargamentos sensibles a la rapidez de entrega, adquiere una importancia estratégica y le confiere al país la posibilidad de establecer rutas comerciales de gran impacto económico.

Las inversiones en infraestructura deben planearse en función del crecimiento sostenible regional de cada aeropuerto, garantizando la operación bajo los más altos estándares de calidad, eficiencia y seguridad, para así poder ubicar las inversiones en la manera más eficiente posible con la información disponible.

### Sistema aeroportuario mexicano<sup>1</sup>

Este se compone de 76 aeropuertos, 1,388 aeródromos y 408 helipuertos. De los 76 aeropuertos, 34 están concesionados a grupos aeroportuarios, 19 los opera de manera exclusiva ASA, 18 son administrados por los gobiernos estatales y municipales, 4 están en sociedad de ASA con privados o estados y el AICM. 17 aeropuertos concentran el 88% de los 86.4 millones de pasajeros transportados en 2012, así como el 98% de los 747 miles de toneladas de carga transportada. El AICM por sí solo concentra el 34% de los pasajeros transportados y aproximadamente el 23% de las operaciones.

Finalmente, vale la pena destacar que actualmente operan 10 aerolíneas mexicanas en total en los mercados de pasaje y carga, las cuales en conjunto poseen 258 aeronaves, que tienen una edad promedio de 11.2 años.

### COMPOSICION DEL SISTEMA AERONAUTICO NACIONAL 2012.

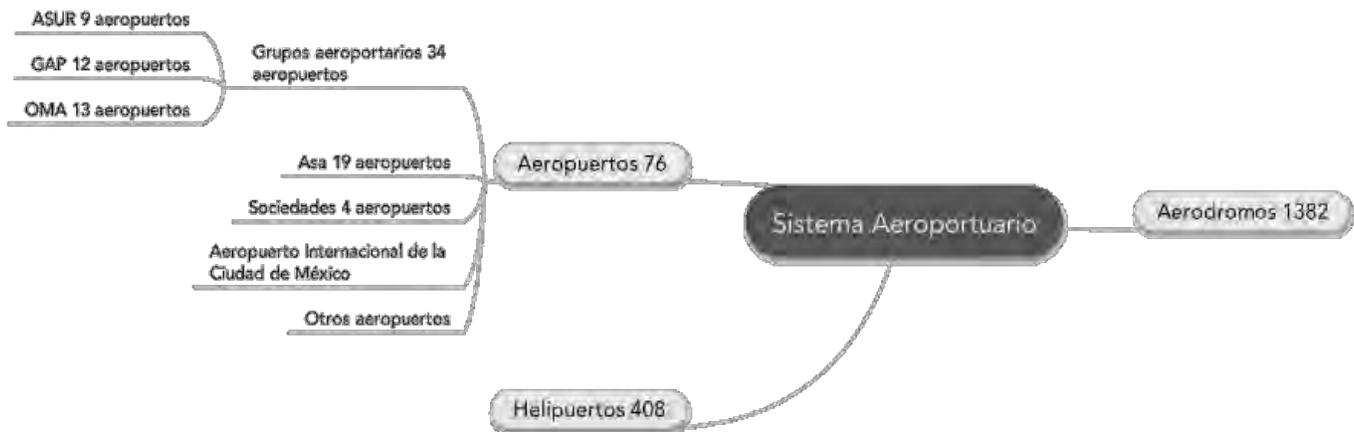


Ilustración 1 Sistema aeroportuario Mexicano





## SITUACIÓN DEL SISTEMA AEROPORTUARIO NACIONAL (2012)

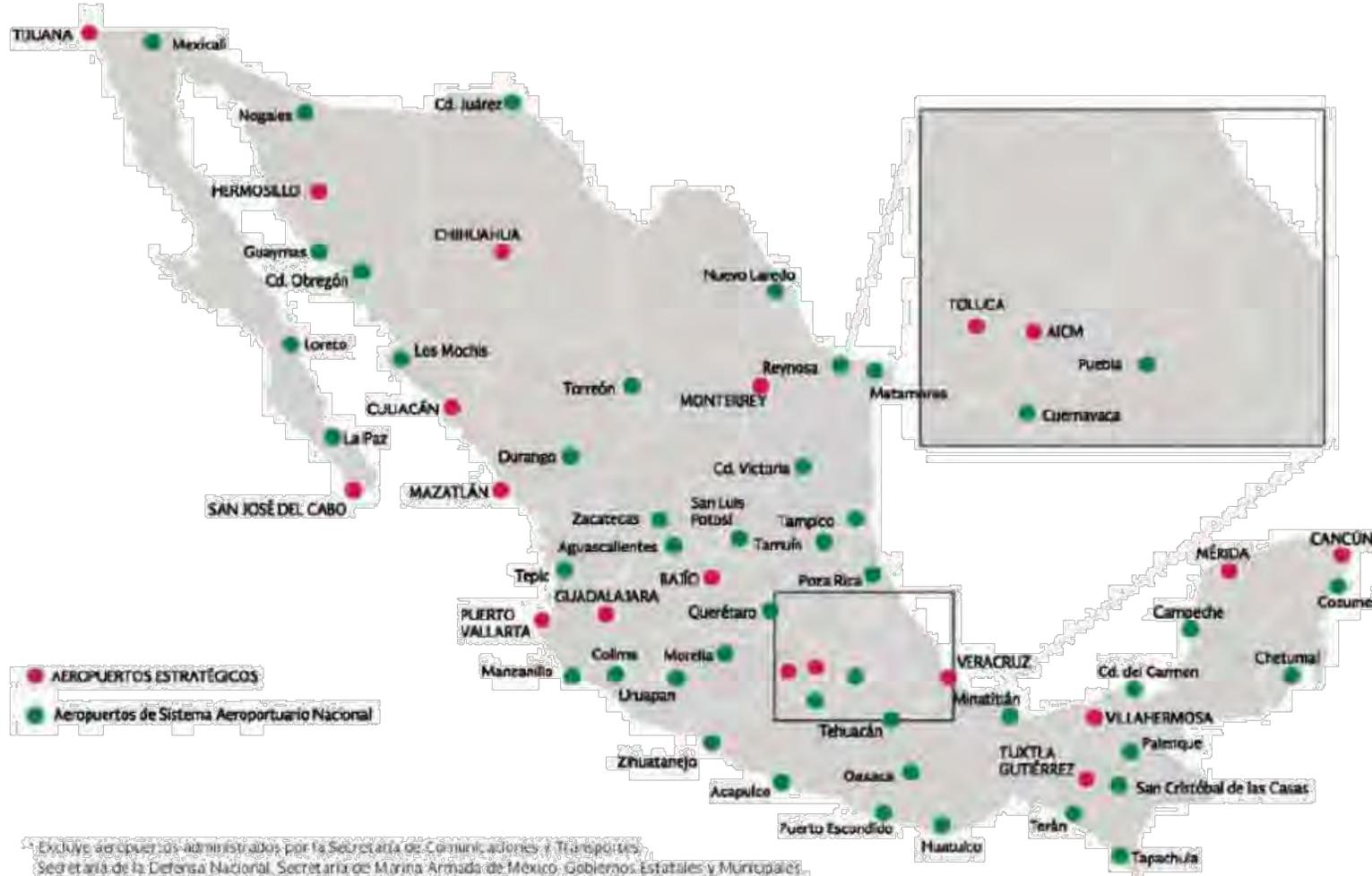


Ilustración 2 sistema aeroportuario mapa



**Principales aeropuertos de México**

**Ciudad de México "Benito Juárez"<sup>ii</sup>**

El Aeropuerto Internacional de la **Ciudad de México "Benito Juárez"** ocupa el primer puesto en América Latina y el lugar 52 a nivel mundial; transportando a cerca de 26 millones de personas al año y procesando cerca de 400 toneladas de carga al año, es la principal terminal aérea del país. Cuenta con 2 pistas de aterrizaje de pavimento asfáltico y 2 terminales, en él se pueden encontrar aproximadamente 26 aerolíneas de pasajeros y 13 aerolíneas de carga, entre nacionales e internacionales. Debido a la importancia del AICM constantemente se realizan proyectos de expansión y mejoras como la construcción de la segunda terminal antes mencionada, la cual finalizó en 2007 y aumentó su capacidad en un 50%.

**Aerolíneas de carga y comerciales que operan:**

Las aerolíneas que operan carga nacional e internacional son:

- Aeronaves TSM
- Aerounión
- Estafeta
- Mas Air
- Regional Cargo
- Vigo Jet
- Amerijet
- Cargolux
- Centurión Air Cargo
- DHL
- Lufthansa Cargo
- Tampa Cargo
- UPS

Las principales aerolíneas comerciales de este aeropuerto son:

Aerolínea	Terminal	Aerolínea	Terminal
Aero República	2	Cubana de Aviación	1
Aerolíneas Argentinas	1	Delta Airlines	2
Aeromar	2	Iberia	1
Aeroméxico	2	Interjet	1
Aeroméxico Connect	2	KLM	1
Air Canadá	1	LACSA	1
Air France	1	LAN Airlines	2
Alaska Airlines	1	Lufthansa	1
American Airlines	1	Magnicharters	1
Avianca	1	Taca	1
British Airways	1	Unirte Airlines	1
Copa Airlines	2	US Airways	1

**Aeropuerto Internacional de Guadalajara, "Miguel Hidalgo y Costilla"<sup>iii</sup>**

El Aeropuerto Internacional de Guadalajara, "Miguel Hidalgo y Costilla", es considerado como el tercer aeropuerto más importante del país.

En el año 2005, según los datos del operadora, Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP), el aeropuerto recibió un total de 5, 656,023 pasajeros, de los cuales 3, 456,113 fueron nacionales, y 2, 199,910 internacionales. Cuenta con 2 pistas de concreto hidráulico, y opera durante las 24 horas del día. Se encuentra a unos 25 kilómetros de la ciudad de Guadalajara y cuenta con una superficie de 1,415.5 hectáreas.





Sus principales usuarios son turistas nacionales e internacionales, personas de negocios, migrantes y transporte de carga. En el año 2011 el Aeropuerto Internacional de Guadalajara manejó aproximadamente 130 mil toneladas de carga, siendo el segundo aeropuerto más importante en este rubro, sólo por debajo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

#### **Aerolíneas de carga y comerciales que operan:**

Las principales aerolíneas de carga que operan en este aeropuerto son:

- Air France Cargo
- Federal Express
- DHL
- Cargolux
- UPS
- Cargo Book
- MasAir Cargo VA
- Aeromexpress cargo

Las principales aerolíneas comerciales de este aeropuerto son:

- |                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| • Aeroméxico          | • Interjet        |
| • Aeroméxico Connect  | • Magnicharters   |
| • Alaska Airlines     | • United Airlines |
| • American Airlines   | • US Airways      |
| • American Eagle Inc. | • VivaAerobus     |
| • Copa Airlines       | • Volaris         |
| • Delta Airlines      |                   |

#### **Aeropuerto Internacional de Monterrey "General Mariano Escobedo" <sup>iv</sup>**

El Aeropuerto Internacional de Monterrey "General Mariano Escobedo" se ubica en la ciudad de Monterrey, y es considerado el cuarto aeropuerto más importante del país, así como uno de los más modernos de América del Norte.

En el 2011, el aeropuerto internacional de Monterrey manejó aproximadamente 46 mil toneladas de carga, siendo el tercer aeropuerto con más movimiento en este rubro.

En el 2005, durante la Conferencia de las Naciones Unidas el aeropuerto tuvo su más grande prueba. Hubo visitantes desde 50 diferentes países y representativas de 180 países que vinieron al encuentro. El aeropuerto superó la prueba.

En el 2006, se inauguró la Terminal C para pasajeros; y con estas nuevas opciones se puede dar servicio a 8 millones de pasajeros al año.





**Aerolíneas de carga y comerciales que operan:**

Las principales aerolíneas de carga que operan en este aeropuerto son:

- Aerounion/Aerocharter
- Aeromexpress Cargo
- American Airlines
- Mas Air Cargo
- Estafeta
- Federal Express
- UPS
- Bax Global
- DHL

Las principales aerolíneas comerciales de este aeropuerto son:

Aerolínea	Terminal
Aeroméxico Connect	B
Aeroméxico	B
American Airlines	A
Continental Airlines	A
Copa Airlines	A
Delta Airlines	B
Interjet	A
Magnicharters	A
VivaAerobus	C
Volaris	A

**Aeropuerto Internacional de Cancún <sup>v</sup>**

Debido a su posición estratégica, en uno de los destinos más famosos y predilectos de los turistas tanto nacionales y principalmente extranjeros como es Cancún y la Riviera Maya, el Aeropuerto Internacional de Cancún es considerado como el segundo aeropuerto más importante de la red aeroportuaria mexicana y el primero en visitantes turísticos.

El Aeropuerto cuenta con 2 pistas de aterrizaje y despegue con pavimento asfáltico, y 3 terminales que permite la llegada de millones de visitantes cada año.

La mayor actividad del Aeropuerto internacional de Cancún está dada por tráfico de pasajeros, sin embargo también maneja un alto volumen de carga, en el 2011 movió aproximadamente 25 mil toneladas, siendo el cuarto aeropuerto con más movimiento en este rubro.

**Aerolíneas de carga y comerciales que operan:**

Las principales aerolíneas de carga que operan en este aeropuerto son:

- Caribe Cargo
- Continental Cargo
- Panalpina Transportes Mundiales SA de CV
- Yarinka Cargo SA de CV
- Kuehne + Nagel
- Caribbean Services
- Latinoamérica Cargo Service SA de CV
- Federal Express
- Estafeta Cargo





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 INTRODUCCION



Las principales aerolíneas comerciales de este aeropuerto son:

Aerolínea	Terminal	Aerolínea	Terminal	Aerolínea	Terminal
Aerocaribe	1	Interjet	2	Corsair Airlines	2
Aeroméxico	1, 2	Jable	2	Cubana de Aviación	2
Aerotucán	1	KLM Northwest Airlines	3	Delta Airlines	3
Air Canada	2	LAB Lloyd Aereo Boliviano	NA	Edelweiss Airlines	2
Aircomet	2	Lan Chile	2	Euro Atlantic Airways	2
Air Europa	3	LTU Lufftransport	3	Eurofly	2
AirTran	2	Magnicharters	2	First Choice	2
Air transat	3	Martin Air Holland	2	Frontier Airlines	3
Alaska Airlines	3	Miami Air	2	Global Air	2
Allegiant Air	2	Monarch Airways	2	Iberia Airlines	3
American Airlines	3	MyTravel	3	Iberworld Airlines	3
America West Airlines	3	North American Airlines	2	Tam Airlines	2
Amerijet	2	Northwest Airlines	3	Tikal Jets	2
Atlantic Airlines	2	Novair	2	Thomas Cook Airlines	3
Austrian Airlines	2	Pace Airlines	2	Thompson Airlines	3
Belair	2	Primaris Airlines	2	United Airlines	3
Blue Panorama Airline	2	Pullmantur Airlines	2	US Airways	3
Canjet Airlines	2	Ryan International Airlines	2	USATerminal 3000	3
Condor Airlines	2	SkyService Airlines	2	Varig	NA
Continental Airlines	3	Spirit Airlines	3	VivaAerobus	2
Copa Airlines	2	Sun Country Airlines	3	Volaris	2

### Aeropuerto Internacional de Tijuana<sup>vi</sup>

Ubicado muy cerca de la frontera entre Estados Unidos de América y México, y debido al gran movimiento presente en esta zona, el Aeropuerto Internacional de Tijuana es considerado como el quinto aeropuerto más importante del país.

Otro aspecto que incrementa la importancia del aeropuerto internacional de Tijuana es que es la puerta de entrada a Asia, ya que también es uno de los pocos aeropuertos que mantiene vuelos a esta parte del mundo. En el año 2011, se movió un aproximado de 15 mil toneladas de carga, siendo así el quinto aeropuerto más importante en este aspecto.

El aeropuerto cuenta con 1 pista de aterrizaje y despegue de concreto hidráulico, una superficie total de 16,165 m<sup>2</sup> y una capacidad de 1,155 pasajeros por hora.

### Aerolíneas comerciales que operan:

Las aerolíneas comerciales con operación en este aeropuerto son:

- Aeroméxico Connect
- Aeroméxico
- Volaris
- Interjet
- VivaAerobus
- Aerocalafia





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
INTRODUCCION



**Todos los aeropuertos de México:<sup>vii</sup>**

Aeropuerto	Estado	Ciudad	Dist. a la ciudad	Categoría	Clasificación	Tipo	# de pistas	Pista principal	Pista secundaria	pavimento	Cap. (Pas. x Hora)	Sup. Total
Aeropuerto 'Mariano Escobedo' Monterrey	Nuevo León	Monterrey	21 km	Sexta	Inter	Metr op	2	3,000 x 45 metros	1,800 x 30 metros	Hidráulico	1316	18,420 m2
Aeropuerto Internacional 'Del Norte' Monterrey	Nuevo León	Monterrey	20 km		Inter	Metr op	2	2,011 x 45 metros	1,539 x 45 metros			
Aeropuerto Internacional de Acapulco	Guerrero	Acapulco			Inter		2	3,300 X 45 metros	1,700 x 45 metros	Hidráulico	1,397	19,560 m2
Aeropuerto Internacional de Aguascalientes	Aguascalientes	Aguascalientes	15km	Sexta	Inter	Tur	2	3,300 X 45 metros	1,700 x 45 metros	Hidráulico	1,397	19,560 m2
Aeropuerto Internacional de Cancún	Quintana Roo	Cancún	16km		Inter	Tur	2	3500 X 60 metros	2800 X 45 metros	Asfáltico		
Aeropuerto Internacional de Chetumal	Quintana Roo	Chetumal	4km	Quinta	Inter	Front	1	2,208 x 46 metros - *OPH 15	N/A	Asfáltico	110	1,262 m2
Aeropuerto Internacional de Chihuahua	Chihuahua	Chihuahua	18km	Quinta	Inter	Front	3	2,620 x 45 metros	2,420 x 45 m2 // 1,100 x 30 m2	Asfáltico	356	4,275 m2
Aeropuerto Internacional de Ciudad del Carmen	Campeche	Cd. Del Carmen	10km	Sexta	Inter	Reg	1	2,202 X 45 metros - *OPH 30	N/A	Asfáltico	220	1,890 m2
Aeropuerto Internacional de Ciudad Juárez	Chihuahua	Cd. Juárez	18km	Quinta	Inter	Front	2	2,700 x 45 metros	1,750 x 30 metros	Asfáltico	428	4,275 m2
Aeropuerto Internacional de Ciudad Obregón	Sonora	Cd. Obregón	15km	Quinta	Inter	Reg	1	2,300 x 45 metros - *OPH 20	N/A	N/A	600	4,069.17 m2
Aeropuerto Internacional de Ciudad Victoria	Tamaulipas	Cd. Victoria	19km	Quinta	Inter	Reg	2	2,200 x 45 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	180	2,055 m2
Aeropuerto Internacional de Cozumel	Quintana Roo	Cozumel	1km	Quinta	Inter	Tur	2	2,700 x 45 metros	2,700 x 45 metros	Asfáltico	420	5,040 m2
Aeropuerto Internacional de Cuernavaca	Morelos	Cuernavaca	15km	Sexta	Inter	Reg T.	1	2,772 x 45 metros - *OPH 14	N/A	Asfáltico	240	963 m2
Aeropuerto Internacional de Culiacán	Sinaloa	Culiacán	12km	Quinta	Inter	Reg	1	2,300 x 45 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	173	2,075 m2
Aeropuerto Internacional de Durango	Durango	Durango	18km	Quinta	Inter	Reg	1	2,900 x 45 metros - *OPH 18	N/A	Asfáltico	252	2,515 m2
Aeropuerto Internacional de Guadalajara	Jalisco	Guadalajara	25km	Sexta	Inter	Metr op	2	4,000 x 60 metros	1,770 x 35	Hidráulico	1400	19,600 m2
Aeropuerto Internacional de Guanajuato	Guanajuato	León	7km	Sexta	Inter	Reg	1	3,500 X 45 metros	N/A	N/A	459	5,507 m2
Aeropuerto Internacional de Guaymas	Sonora	Guaymas	7km	Tercera	Inter	Tur	1	2350 x 45 metros	N/A	Asfáltico	120	1,395 m2
Aeropuerto Internacional de Hermosillo	Sonora	Hermosillo	10km	Quinta	Inter	Reg	2	2,300 x 45 metros	1,100 x 30 metros	Hidráulico	493	5,920 m2
Aeropuerto Internacional de Huatulco	Oaxaca	Huatulco	18km	Sexta	Inter	Tur	1	2,700 x 45 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	310	8,132m2
Aeropuerto Internacional de Ixtapa/Zihuatanejo	Guerrero	Ixtapa/Zihuatanejo	12km	Quinta	Inter	Tur	1	2,500 x 60 metros	N/A	Hidráulico	547	5,465 m2
Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Distrito Federal	Cd. De México	D de la cd.		Inter	Metr op	2	3,9	3,952	Asfáltico		
Aeropuerto Internacional de La Paz	Baja California S.	La Paz	11 km	Quinta	Inter	Tur	1	2,500 x 45 metros	N/A	Hidráulico	350	3,503 m2
Aeropuerto Internacional de	Baja	Loreto	4km	Séptima	Inter	Tur	1	2,200 x 45 metros	N/A	Asfáltico	160	1,250 m2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
INTRODUCCION



Nombre del Aeropuerto	Estado	Ciudad	Distancia (km)	Categoría	Operación	Material	Cantidad	Dimensiones (m)	Material	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie (m <sup>2</sup> )
Aeropuerto Internacional de Los Cabos	Baja California S.	Los Cabos	13km	Quinta	Inter Tur	1	2,200 x 45 metros	N/A	Hidráulico	603	8,440 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Los Mochis	Sinaloa	Los Mochis	17km	Quinta	Nac Reg	1	2,000 x 45 metros	N/A	Asfáltico	304	2,428 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Manzanillo	Colima	Manzanillo	45km	Quinta	Inter Tur	1	2,200 x 45 metros	N/A	Asfáltico	399	3,990 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Matamoros	Tamaulipas	Matamoros	12km	Sexta	Inter Front	1	2,300 x 46 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	200	2,015 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Mazatlán	Sinaloa	Mazatlán	18km	Sexta	Inter Tur	1	2,700 x 45 metros	N/A	Hidráulico	939	13,140 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Mexicali	Baja California	Mexicali	20km	Quinta	Inter Front	1	2,600 x 44 metros	N/A	Hidráulico	178	1,780 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Morelia	Michoacán	Morelia	28km	Quinta	Inter Reg	1	2,400 x 45 metros	N/A	Asfáltico	269	2,685 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Mérida	Yucatán	Mérida	7km	Sexta	Inter Tur	2	3200 x 46 metros	2,300 x 46 metros	Asfáltico	898	15,197 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Nogales	Sonora	Nogales	13km	Tercera	Inter Front	1	1,800 x 30 metros	N/A	Asfáltico	60	568.67 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Nuevo Laredo	Tamaulipas	Nuevo Laredo	7km	Sexta	Inter Front	1	2,000 x 45 metros - *OPH 22	N/A	Asfáltico	180	2,185 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Oaxaca	Oaxaca	Oaxaca	8km	Quinta	Inter Reg	1	2,450 x 45 metros	N/A	Asfáltico	311	3,107 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Pachuca	Hidalgo	Pachuca				1	2,200 metros	N/A	Asfáltico		
Aeropuerto Internacional de Palenque	Chiapas	Palenque	5km	Tercera	Inter Reg	1	1,500 x 25 metros - *OPH 12	N/A	Asfáltico	90	928 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Piedras Negras	Coahuila	Piedras Negras	3.5km			1	2,028 x 30 metros - Asfáltico	N/A	Asfáltico		
Aeropuerto Internacional de Puebla	Puebla	Puebla	20km	Sexta	Nac Reg	1	3,600 x 45 metros - Asfáltico - *OPH 20	N/A	Mixto	450	3,600 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Puerto Escondido	Oaxaca	Puerto Escondido	3km	Sexta	Inter Tur	1	2,300 x 45 metros - *OPH 16	N/A	Asfáltico	195	1,270 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Puerto Vallarta	Jalisco	Puerto Vallarta	10km	Quinta	Inter Tur	1	3,100 x 45 metros	N/A	Mixto	1316	18,420 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Querétaro	Querétaro	Querétaro	15km	Quinta	Inter Regl	1	3,500 x 45 metros - concreto hidráulico	N/A	Hidráulico	51	1,383 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Reynosa	Tamaulipas	Reynosa	15km	Quinta	Inter Front	1	1,900 x 45 metros	N/A	Asfáltico	150	880 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de San Cristóbal	Chiapas	San Cristóbal de las Casas	35km	Tercera-C	Inter Reg	1	2,650 x 30 metros	N/A	Asfáltico	155	1,239 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de San Luis Potosí	San Luis Potosí	San Luis Potosí	15km	Quinta	Inter Reg	2	3,000 x 45 metros	1,000 x 30 metros	Asfáltico	229	2,285 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Tampico	Tamaulipas	Tampico	9km	Quinta	Inter Reg	2	2,550 x 45 metros	1,200 x 30 metros	Hidráulico	610	6,100 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Tapachula	Chiapas	Tapachula	6km	Tercera	Inter Reg	1	2,000 x 45 metros	N/A	Asfáltico	276	2,210 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Tijuana	Baja California	Tijuana	6km	Sexta	Inter Front	1	3,960 x 44 metros - Hidráulico	N/A	Hidráulico	1155	16,165 m <sup>2</sup>
Aeropuerto Internacional de Toluca	Estado de México	Toluca	16km	Quinta	Inter Metr op	1	4,200 x 45 metros	N/A	Mixto	1850	16,900 m <sup>2</sup>



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
INTRODUCCION



Aeropuerto Internacional de Torreón	Coahuila	Torreón	14km	Quinta	Inter	Reg	2	2,750 x 45 metros	1,740 x 30 metros	Asfáltico	174	2,088 m2
Aeropuerto Internacional de Tuxtla Gutiérrez	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	35km	Quinta	Inter	Reg	2	2,500 x 45 metros	1,500 x 30 metros	Asfáltico	276	9,150 m2 (2 pisos)
Aeropuerto Internacional de Uruapan	Michoacán	Uruapan	11km	Quinta	Nac	Reg	1	2,400 x 45 metros - *OPH 16	N/A	Asfáltico	300	2,604 m2
Aeropuerto Internacional de Veracruz	Veracruz	Veracruz	10km	Quinta	Inter	Tur	2	2,400 x 45 metros	1,523 x 45 metros	Hidráulico	390	3,900 m2
Aeropuerto Internacional de Villahermosa	Tabasco	Villahermosa	12km	Quinta	Inter	Reg	1	2,200 x 45 metros	N/A	Asfáltico	493	4,930 m2
Aeropuerto Internacional de Zacatecas	Zacatecas	Zacatecas	23km	Quinta	Inter	Reg	2	3,000 x 45 metros	1,000 x 30 metros	Asfáltico	346	3,458 m2
Aeropuerto Nacional de Colima	Colima	Colima	22km	Sexta	Nac	Reg	1	2,300 X 45 metros - *OPH 19	N/A	Asfáltico	177	1605 m2
Aeropuerto Nacional de Minatitlán	Veracruz	Minatitlán	26km	Quinta	Nac	Reg	1	2,100 x 45 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	348	2,704 m2
Aeropuerto Nacional de Poza Rica	Veracruz	Poza Rica	12km	Cuarta	Nac	Reg	1	1,800 x 30 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	210	1,973 m2
Aeropuerto Nacional de Tamuín	San Luis Potosí	Tamuín	6km	Tercera	Nac	Reg	1	2,000 x 34 metros - Asfáltico	N/A	Asfáltico	30	300 m2
Aeropuerto Nacional de Tehuacán	Puebla	Tehuacán	6km	Tercera	Nac	Reg	1	2,000 x 34 metros - Asfáltico	N/A	Asfáltico	30	300 m2
Aeropuerto Nacional de Tepic	Nayarit	Tepic	6km	Sexta	Nac	Front	1	2,300 x 45 metros	N/A	Asfáltico	120	1,570 m2
Aeropuerto Internacional de Campeche	Campeche	Campeche	5km	Quinta	Inter	Reg	1	2,500 X 45 metros - *OPH 20	N/A	Asfáltico	190	3,100 m2



## Partes de un aeropuerto

### Pistas<sup>viii</sup>

Una parte indispensable en un aeropuerto son las pistas de aterrizaje y despegue, que necesitan ser lo suficientemente largas y anchas para que permitan operaciones de aterrizaje y despegue de las mayores aeronaves que usen en el aeropuerto. Además de eso, necesitan ser planas, sin o con la mínima inclinación posible.

Tipo de pistas.

- Pista única
- Pistas paralelas
- Pistas de doble calzada
- Pistas cruzadas
- Pista en V abierta



Ilustración 3 Pistas paralelas

La pista de aterrizaje y despegue es un tramo recto y liso. Las dimensiones de las pistas de aterrizaje (y despegue) determinan el tipo de aeronave que puede operar en ella, la longitud de las pistas deben ser aumentadas a mayor altitud. Dependiendo de la demanda del aeropuerto, se decide el tipo de pista a construir. Usualmente todos los aeródromos consideran dejar espacio para su ampliación. Así aviones que podían operar en una pista de cierta longitud a nivel del mar, requerirán una pista más larga a mayor altitud.

Los grandes aeropuertos, donde la demanda es muy elevada, disponen de varias pistas. Los grandes aviones, con plena carga de combustible y de pasajeros, como el Boeing 747 o el Airbus 340 requieren de pistas de al menos 2,5 km para despegar y para aterrizar de forma segura. Por el contrario, aviones de pasajeros pequeños necesitan pistas que no superan un kilómetro. En el caso de las bases aéreas militares sucede lo mismo.

Criterios de diseño y localización de pistas.

Los aviones requieren cierta velocidad para poder sustentarse en el aire, al tener vientos frontales, los aviones requieren menos velocidad relativa para poder volar. Pero los aviones tienen grandes dificultades para despegar y aterrizar con vientos laterales (conocidos técnicamente como vientos cruzados).

Con base en esto, las pistas de un aeropuerto se construyen de tal manera que, durante un año los vientos cruzados no superen el 5 % del tiempo los valores admisibles para la aeronave de diseño. En la medida en que los vientos varían sustancialmente de año a año, se requieren series históricas de al menos 10 años para establecer si la orientación es adecuada.



Ilustración 4 pistas transversales

En aeropuertos importantes, las pistas están hechas generalmente en un pavimento de asfalto ó concreto. El grosor de la base de la pista depende del tipo y tamaño de los aviones que la utilizarán y de la composición



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
INTRODUCCION

de la demanda. Así, por ejemplo, las pistas destinadas a los grandes aviones requieren una base extremadamente gruesa (entre 15 y 51 cm aproximadamente) resistente para soportar el peso elevado de tales aparatos. Sin embargo, los campos de aterrizaje de poca envergadura, de ciudades pequeñas, a menudo son de tierra, césped, afirmado, hierba o gravilla.

### Denominación<sup>ix</sup>

Cada pista es denominada con dos números, uno para cada una de las dos direcciones y eventualmente una letra. Esto permite que los pilotos puedan identificar fácilmente la pista y el lado de esta que deben utilizar. El número significa la dirección en grados (redondeado a la decena más cercana y recortado en el último dígito) con respecto al norte magnético a la que se encuentra dirigida la pista (en una cabecera) y respectivamente la cabecera opuesta, estará denominada con el ángulo de complemento (dirección contraria, es decir 180° de diferencia).



Ilustración 5 denominación de pistas

Si, por ejemplo, una pista tiene en una dirección la denominación 04, su identificación en la dirección opuesta será 22. Estos números están pintados en caracteres muy grandes, en blanco, sobre la superficie de la pista en sus dos extremos, de forma que puedan ser reconocidos por los pilotos desde el aire a cierta distancia. Si un aeropuerto dispone de dos pistas que transcurren paralelamente, y que por ello están identificadas con el mismo número, se añade a continuación del número una R (del inglés Right) en la pista derecha, y una L (de Left) en la pista izquierda. En tal caso, las dos pistas podrían tener, por ejemplo, los identificativos 07R y 07L. Si el aeropuerto dispone incluso de una tercera pista paralela a las otras dos, la denominación de la pista del centro será en este ejemplo 07C (de Center). La dirección de la pista es indicada en grados magnéticos, eliminando la última cifra.

Ejemplo: En el Aeropuerto de la Ciudad de México (MMMX) la pista 05L está hacia los 052°, pero por denominación solo se toman las primeras 2 cifras, es decir, las centenas y las decenas de los grados; por tanto al otro cabezal, análogamente por la suma de 180°, se le llama pista 23R, ubicada hacia los 232°.

La letra hace referencia a la posición de la pista con respecto hacia las demás que mantengan un mismo sentido. Existen 3 letras: L (Left, izquierda), R (Right, derecha) y C (central). En el caso de que existan más de tres pistas paralelas, la W se aplica a la que esté a la izquierda de la L. De igual manera, si un aeropuerto no tiene pistas paralelas, basta con poner solo la numeración, sin añadir letras.



Ilustración 6 pista AICM

Ejemplo: En el mismo aeropuerto del ejemplo anterior, hay 2 pistas que se encuentran hacia el mismo sentido, y son la 05L (Left, 05 izquierda), y la 05R (Right, 05 derecha), análogamente las del otro lado son la 23L (el otro extremo de la 05R) y la 23R (el otro extremo de la 05L).

### Señalización

Las pistas de aterrizaje y despegue disponen de una señalización blanca pintada sobre la superficie de la pista, cuyo objetivo es informar a los pilotos al despegar, y sobre todo al aterrizar, sobre los diversos tramos y distancias de la pista, así como sobre su eje longitudinal central, para facilitarles las maniobras.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
INTRODUCCION

Para los despegues y aterrizajes nocturnos y en condiciones de visibilidad reducida, como en el caso de niebla, las pistas están iluminadas mediante luces que señalizan sus lados, el eje longitudinal central, los diversos tramos de la pista, así como su comienzo y su final. Para los aterrizajes en dichas condiciones las pistas de cierta importancia disponen de balizas de aterrizaje que se instalan en una longitud de varios centenares de metros por delante de la pista, y que constan de focos montados en un orden determinado.

### Iluminación

#### Indicadores de Pendiente de Aproximación Visual (VASI)

Una importante ayuda visual a la aproximación final hacia la cabecera de la pista son los Indicadores de Pendiente de Aproximación Visual, que aporta una mayor certeza en la aproximación en conjunto con los sistemas de ayuda de aproximaciones visuales e instrumentales.



Ilustración 7 Iluminación pistas

Algunas veces las luces están ubicadas al final de la pista para ayudar a la rápida y efectiva identificación del acercamiento del fin de la pista. Cuando se está en la segunda mitad de la pista, las luces blancas de eje y de borde se convierten en una hilera que alterna una bombilla blanca y una roja. En el último tramo de pista solo hay bombillas rojas. De esta manera el piloto puede identificar adecuadamente el final de pista sin posibilidad de confusión. También se suele incorporar un sistema que consiste en 2 series de luces que sincronizadamente emiten flash (llamadas luces estroboscópicas), una de cada lado del último tramo de la pista. Sin embargo, estas no se suelen instalar, pues el sistema de luces estroboscópicas están incorporadas al Sistema de Luces de Aproximación. El sistema REIL es usado para distinguir la cabecera de la pista en lugares caracterizados por numerosas luces de suelo, como señales de neón u otras luces que pueden distraer la atención del piloto.

#### Sistemas de Luces de Aproximación (ALS)

Los Sistemas de Luces de Aproximación son usados en las cercanías de la cabecera de la pista como parte a las ayudas electrónicas de navegación para la parte final de aproximaciones precisas y no precisas de un vuelo IFR; y también como una guía visual en vuelos VFR nocturnos. El sistema de luces de aproximación



Ilustración 8 Luces ALS

suministra al piloto con entradas visuales respecto a la alineación de la aeronave, el equilibrio, el horizonte, el ancho y la posición con respecto a la cabecera de la pista. Desde que los sistemas de iluminación aeroportuarios relevaron a las necesariamente rápidas acciones mentales sobre la información visual que encabezaban las decisiones, un sistema visual es ideal para una guía durante los últimos segundos

críticos del movimiento descendente sobre el patrón de planeo. El sistema de luces de aproximación se creó en base al ángulo del patrón de planeo, el rango visual, el ángulo de visibilidad cortada en la cabina y de las velocidades de aterrizaje. Esto es esencial para que los pilotos estén propensos a utilizar e identificar ALS y de interpretar el sistema sin confusión. Entre los principales sistemas de ALS se encuentran:

- ALSF-1
- ALSF-2
- MALSR
- MALSF

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 INTRODUCCION

- MALS
- Sistema PAPI

El sistema PAPI consiste en una barra transversal de 4 luces rojas o blancas situadas, normalmente, en el lado izquierdo de la pista. Si el avión va muy alto sobre la senda de planeo verá todas las luces blancas, si va un poco alto verá tres luces blancas y una roja, si va muy bajo, las verá todas rojas, si solo va un poco bajo verá tres rojas y una blanca, y si va en la senda correcta, verá dos blancas y dos rojas.



Ilustración 9 sistema PAPI

**Iluminación del acotamiento central y de la zona de contacto de la pista**



Ilustración 10 Iluminación del acotamiento central

Estos sistemas de iluminación facilitan los aterrizajes, los giros y los despegues. Las luces de la zona de contacto son más que nada utilizadas para los aterrizajes, y las luces de centro de la pista ayudan después del contacto y brindan la guía primaria durante la carrera de despegue. Ambos sistemas son utilizados como complemento a las ayudas de aproximación electrónicas y ALS bajo condiciones de visibilidad limitada.

Las Luces del Centro de la Pista están unidas casi a la misma altura del pavimento y sobrepuestas sobre un máximo de 2 pies para dejar libre la pintura del acotamiento. Las luces del centro son blancas a excepción de los últimos 3000 pies. De los 3000 a los 1000 pies de la pista, las luces se alternan en rojo y blanco.

**Calles de rodaje**

Las calles de rodaje conectan las pistas de aterrizaje con los puestos de estacionamiento y “sirven para el traslado de las aeronaves, utilizando su propulsión propia o mediante tracción ajena”. Con fines de lograr un tránsito fluido en el área de movimiento del aeropuerto es recomendable que el trayecto descrito por las pistas de rodaje sea el más corto y sencillo para reducir al mínimo el tiempo de rodaje de los aviones, también es aconsejable que la trayectoria sea con tramos rectos tratando de evitar que las calles de rodaje se crucen con las pistas u otras calles de rodaje.

**Calles de rodaje de entrada y salida:<sup>x</sup>**

Las calles de rodaje sirven a una determinada pista y su función es que las aeronaves salgan de éstas tan pronto aterricen o ingresen antes de despegar. Si la calle de rodaje de salida se une a la pista por un ángulo agudo y está diseñada de modo que permite a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje, entonces se le denominará calles de salida rápida. Calle de rodaje en la plataforma: “Es una calle de rodaje situada en una plataforma y destinada ya sea a proporcionar un trayecto directo para el rodaje a través de la plataforma o para tener acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves”



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
INTRODUCCION

Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves: "Es la parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso solamente a los puestos de estacionamiento de aeronaves".



Ilustración 11 calle de rodaje

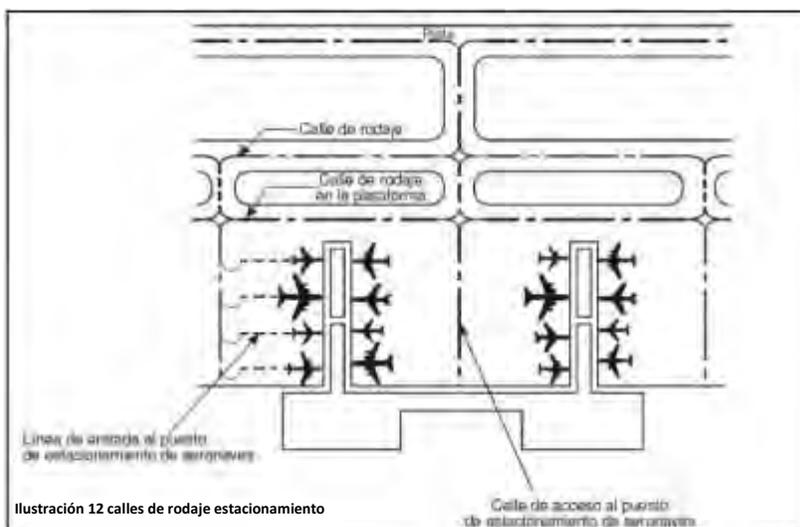


Ilustración 12 calles de rodaje estacionamiento

Los criterios de diseño para las calles de rodaje son menos estrictos que para las pistas de aterrizaje, ya que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son menores.



Ilustración 13 plataformas AICM

### Plataformas

Es el área destinada a dar cabida a las aeronaves mientras se llevan a cabo las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros o mercancías así como otras operaciones de atención a la aeronave. Es la parte de un aeropuerto o aeródromo donde las aeronaves estacionan.

En la plataforma se realizan las labores de embarque, carga, descarga, repostaje, etc. En ámbitos técnicos recibe también el nombre de área de estacionamiento de aeronaves. Existe regulación específica para el diseño de plataformas, así como sobre la operación de aeronaves en la misma.



### Apartaderos de espera

Estas zonas, también conocidas con los nombres de “zonas de comprobación” o “calentamiento calentamiento de motores” son necesarias en las proximidades de los finales de pistas para los aviones de émbolo con objeto de realizar las últimas comprobaciones antes del despegue y para todos los tipos de aviones que han de esperar su turno para dicho despegue.

Las zonas son lo suficientemente amplias para que si un avión no pueda despegar, debido a algún fallo, otro avión que esté preparado para despegar pueda pasar a la pista.

### Apartaderos de estacionamiento

Estas zonas son áreas relativamente pequeñas situadas convenientemente en el aeropuerto para estacionamiento temporal de las aeronaves. En algunos aeropuertos el número de posiciones de estacionamiento puede ser insuficiente para manejar la demanda durante un periodo punta del día.

Estos estacionamientos no son necesarios si la capacidad es igual a la demanda; las fluctuaciones de una demanda futura son difíciles de predecir, por lo tanto será necesario disponer de un medio de estacionamiento temporal.



Ilustración 14 apartadero de estacionamiento



Ilustración 15 hangares Aeroméxico AICM

### Hangares

El hangar es un lugar utilizado para guardar aeronaves, generalmente de grandes dimensiones y situado en los aeródromos. También se denomina hangar, en los portaaviones, al lugar en el que, con similar fin, pernoctan y se arman los aviones.

### Margen

Los márgenes son bandas de terreno preparado o construido que bordean la pista de tal manera que sirven como transición hasta la franja no pavimentada. Además contribuyen a la prevención de erosión del suelo causada por el chorro de reactor y mitigan los daños de los reactores producidos por objetos extraños. Los márgenes de pista pueden ser empleados para el tránsito de los equipos de mantenimiento y de emergencia.



Ilustración 16 Márgenes de pista



### Franjas de pista



Ilustración 17 franjas de pista

Es una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese. Su función principal es reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista y proteger a las aeronaves que sobrevuelan durante las operaciones de despegue y aterrizaje. La franja incluye una porción nivelada que debe prepararse de forma tal que no cause el desplome del tren de proa al salirse la aeronave de la pista.

### Áreas de seguridad de extremo de pista (RESA)

Está presente en los extremos de las pistas de aterrizaje con la finalidad de minimizar los daños que puedan sufrir los aviones al realizar aterrizajes o despegues demasados cortos o largos. El ancho de la RESA debe ser por lo menos el doble del ancho de la pista correspondiente.

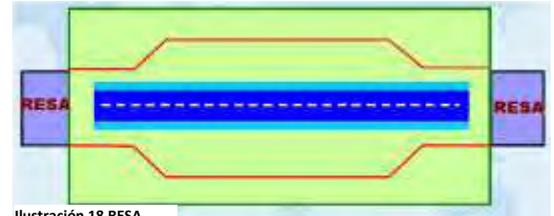


Ilustración 18 RESA

### Zonas libres de obstáculo (CWY)

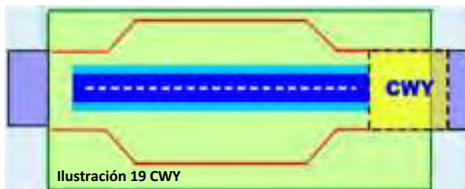


Ilustración 19 CWY

La zona libre de obstáculos es un espacio aéreo adecuado sobre el cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada. Debería estar en el extremo del recorrido de despegue disponible y su longitud no debería exceder de la mitad de este recorrido.

### Zonas de parada (SWY=STOPWAY)

Es el área situada a continuación de la pista de despegue y se emplea en caso un avión requiera desacelerar su velocidad al abortar un despegue.

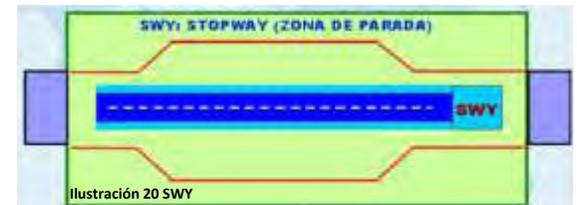


Ilustración 20 SWY

### Umbral

Es el comienzo de la pista utilizable para el aterrizaje. Si un objeto sobresale por encima de la zona libre de obstáculos y no puede eliminarse, podría ser conveniente desplazar permanentemente el umbral.



Ilustración 21 partes de pista



# CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.





## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.



Ilustración 22 Historia de la tierra

### Geología<sup>xi</sup>

Del griego geo, «Tierra», y logos, «discurso». Es la ciencia que tiene como fin la comprensión del planeta Tierra. Se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica.

- La Geología física, estudia los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre.
- La Geología histórica es comprender el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo.

### Materiales para la construcción

**Cemento portland:** El cemento portland se elabora a partir de la piedra caliza en un 80% y pizarra un 20%.

- **Piedra caliza.** El principal mineral que constituye a la piedra caliza es el carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ .
- **Pizarra.** Es una roca metamórfica constituida por arcillas consolidadas cuyos minerales son sílico aluminato tricálcico.

**Arenas:** Se denomina arena al material compuesto de partículas cuyo tamaño varía entre 0,063 y 2 milímetros (mm). El componente más común de la arena, es la sílice, generalmente en forma de cuarzo.

**Basalto:** El basalto es una roca ígnea extrusiva, formada por feldespato plagioclasas, olivino y hornblenda.

**Acero de refuerzo:** El acero como material indispensable de refuerzo en las construcciones, es una aleación de hierro y carbono,

- Hierro.
- Carbono.

### El ciclo de las rocas.<sup>xii</sup>

Podemos decir que este ciclo se inicia en las montañas que son destruidas por los agentes de erosión y transportan los materiales por gravedad hacia las partes más bajas del terreno denominadas cuencas sedimentarias.

Las rocas sedimentarias formadas en las cuencas, pueden llegar a quedar sobre una zona conocida como zona de subducción, en la cual se introduce una placa debajo de otra placa y con un incremento en las presiones y la temperatura lo que ocasiona que la roca sufra un cambio en su forma color y estructura, formando rocas metamórficas.

Cuando la roca sigue avanzando hacia el interior de la tierra, debido a la alta temperatura las rocas metamórficas se funden convirtiéndose en magma, el cual sale al exterior por un volcán dando origen a las rocas ígneas. Estas rocas ígneas forman montañas o volcanes los cuales van a sufrir el ataque de los agentes atmosféricos, repitiéndose nuevamente el ciclo.

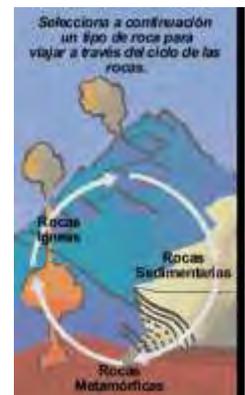


Ilustración 23 Ciclo de las rocas

### Rocas ígneas.<sup>xiii</sup>

Del latín, ignis «fuego». Se forman cuando el magma se enfría y cristaliza cuando la materia piroclástica como las cenizas volcánicas (partículas que miden menos de 2mm.), se consolidan. El magma expulsado a la superficie como lava y materia piroclástica forma rocas ígneas extrusivas o volcánicas, mientras que el magma que se cristaliza dentro de la corteza terrestre forma rocas ígneas intrusivas o plutónicas.





**Composición**

Cuando las rocas de la corza se derriten y forman magma, suele ser rico en sílice y contener también considerable porción de aluminio calcio sodio hierro magnesio y potasio, así como otros elementos en menores cantidades. Sin embargo no todos los magmas se originan por fusión de las rocas la corteza, algunos derivan de las rocas del manto superior. Un magma de este origen contiene comparativamente menos silicio y más hierro y magnesio.



Ilustración 24 Magma

Tipo de magma	Cont. de sílice
maficos	42-52
intermedio	53-65
félsico	>65

**Temperatura**

En general las lavas arrojadas varían entre los 1000° y los 1200° centígrados, aunque se han registrado temperaturas de 1350° sobre los lagos de lava Hawaianos, donde gases volcánicos reaccionaron con la atmosfera.

**Textura**

Las texturas de rocas ígneas se relacionan con la historia de enfriamiento de un magma o una lava. Cuando existe un rápido descenso de temperatura, resulta en una estructura de grano fino denominada AFANITICA. En cambio las rocas ígneas de grano grueso o Faneríticas, tienen granos fácilmente visibles sin ampliación, lo cual indica enfriamiento lento y en general de origen intrusivo.

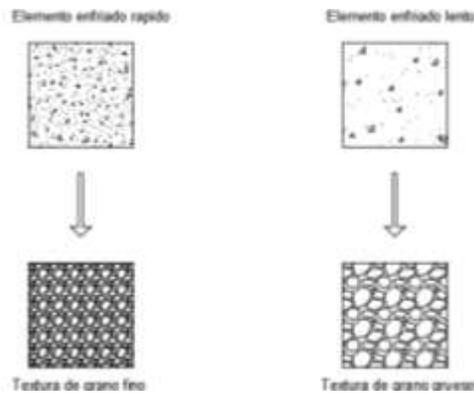


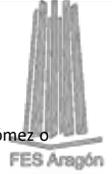
Ilustración 25 Textura rocas ígneas

Las rocas con textura Porfídica una combinación de tamaños marcadamente diferentes tiene, los granos de tamaño mayor son los fenocristales y los más pequeños se les llama base de vidrio.

**Clasificación**

- Rocas ultramórficas.
- Basalto-gabro.





CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.

- Andesita-diorita.
- Riólita.
- Pegmatita

- Otras rocas ígneas, la brecha volcánica la obsidiana la pómez o pumita y la escoria.

**Cuerpos ígneos intrusivos Plutones:** Se forman cuerpos ígneos intrusivos o Plutones cuando el magma se enfría y se cristaliza dentro de la corteza. Intemperismo y erosión

La destrucción física (desintegración) y alteración química (descomposición) de las rocas y minerales en la superficie de la tierra o cerca de ella se conoce como intemperie comprende proceso por los cuales los minerales y las rocas son alterados física y químicamente, de modo que se acerca más al equilibrio con un nuevo conjunto de condiciones ambientales, los geólogos se interesan porque es parte esencial del ciclo de las rocas.

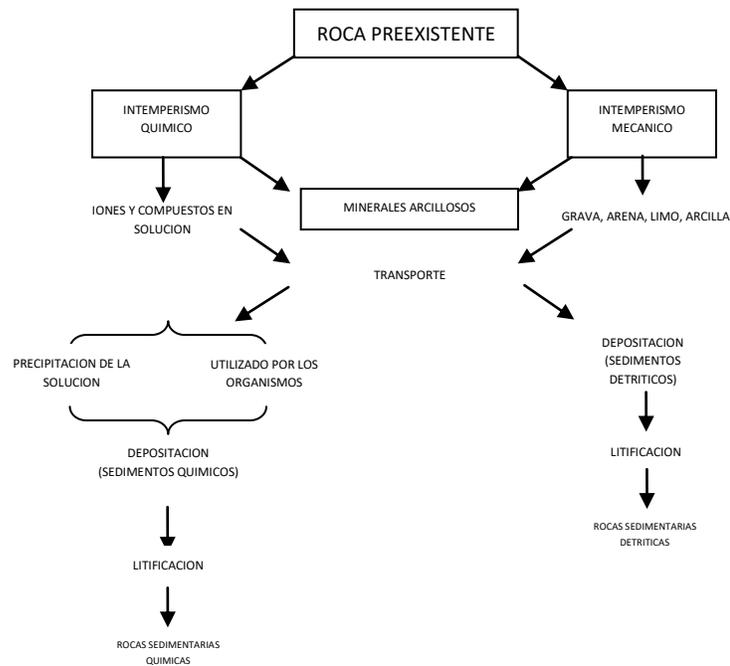


**Rocas sedimentarias<sup>xiv</sup>**

Las rocas sedimentarias son la segunda familia más importante de las rocas, se componen todas de materiales derivados por el intemperismo mecánico y químico que desintegran y descomponen las rocas preexistentes.

El sedimento puede ser detrítico, lo cual significa que consta de partículas solidas como fragmentos de roca o granos minerales liberados durante el intemperismo, o puede ser químico, compuesto de minerales formados de los materiales disueltos durante el intemperismo químico

Ilustración 26 Rocas sedimentarias



**Clasificación de partículas sedimentarias.**

Un criterio importante para clasificarlas es su tamaño.

Tamaño	Nombre del sedimento
>2mm	Grava
1/16 a 2mm	Arena
1/256 a 1/16	Limo
<1/256mm	Arcilla





Las rocas sedimentarias se transforman comúnmente a partir del sedimento por el proceso conocido como litificación, pero unas cuantas se saltan esa etapa de sedimento consolidado.

- Litificación: Es el proceso de transformación de un sedimento en roca sedimentaria se le conoce como litificación. Cuando el sedimento se acumula consiste en partículas sólidas y espacios intersticiales, que son los vacíos entre partículas. La solidificación es por lo general suficiente para la litificación de lodo, pero para la contaminación de los depósitos de arena y grava es necesario que el sedimento se convierta en roca sedimentaria.

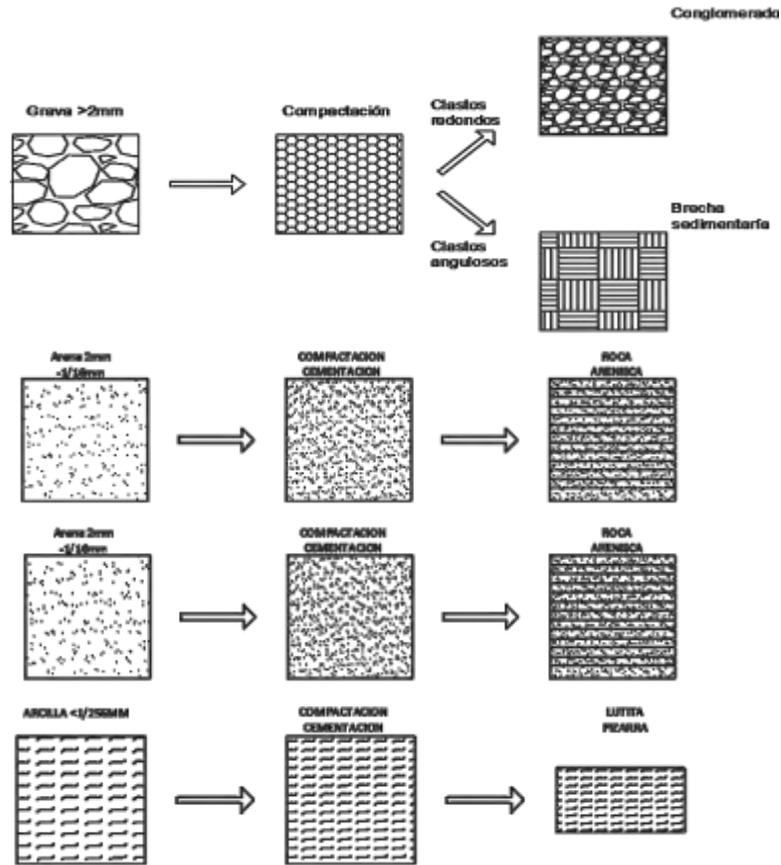


Ilustración 27 Tamaño de las partículas

### Rocas sedimentarias detríticas

Las estructuras sólidas preexistentes tienen una estructura clástica, lo cual significa que estas rocas se componen de fragmentos conocidos también como clastos.

- Conglomerado y brecha sedimentaria
- Arenisca.
- Rocas sedimentarias químicas o bioquímicas.
- Caliza y dolomina.
- Evaporitas.
- Pedernal.
- Carbón mineral.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.



ROCAS SEDIMENTARIAS DETRITICAS		
NOMBRE Y TAMAÑO	DESCRIPCION	NOMBRE DE LA ROCA
GRAVA >2MM	Partículas de grava redondeada	Conglomerado
	Partículas de grava angulosa	Brecha sedimentaria
ARENA DE 1/16 A 2MM	Principalmente arena de cuarzo	Rocas arenisca de cuarzo
	Cuarzo >25% de feldespato	Arkosa
	Principalmente limo	Limolita
LODO	Limo-arcilla	Limolita
	Arcilla	Lutita
ROCAS SEDIMENTARIAS QUIMICAS		
TEXTURA	COMPOSICION	NOMBRE
VARIA	Cacita	Caliza
VARIA	Dolomía	Dolomina
CRISTALINA	Yeso	Yeso
CRISTALINA	Halita	Sal de roca
ROCAS SEDIMENTARIAS BIOQUIMICAS		
TEXTURA	COMPOSICION	NOMBRE
CLÁSTICA EN GENERAL CRISTALINA	Conchas de carbonato de calcio	Caliza
	Conchas microscópicas	Pedernal
	Alterados de bióxido de silicio principalmente carbono y alterados de plantas	Carbón mineral



TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





**Rocas Metamórficas<sup>xv</sup>**



Del griego meta que significa cambio y morfos que significa forma constituyen el tercer grupo de rocas. Durante el metamorfismo las rocas son sometidas a suficiente calor presión y actividad de fluidos para cambiar su composición y/o texturas minerales, por lo cual se convierten en rocas nuevas.

Estas transformaciones tienen lugar en estado sólido y el tipo de roca metamórfica generado depende de la composición y textura de las rocas originales, de los agentes de metamorfismo así como del tiempo que la roca original estuvo sometida a los efectos del proceso de metamorfismo

Ilustración 28 Ejemplo de rocas metamórficas

**Los agentes de metamorfismo**

Los tres principales agentes de metamorfismo son la temperatura, la presión y la actividad de fluidos. Durante este proceso la roca original sufre cambios para lograr el equilibrio en su nuevo ambiente, además de estos agentes, el tiempo forma parte del proceso de metamorfismo, las reacciones químicas proceden de ritmos diferentes y por ello requieren tiempos diferentes para llevarse a cabo, el metamorfismo es un proceso particularmente lento.

- Calor: Aumenta la velocidad de las reacciones químicas capaces de producir minerales diferentes a lo de la roca.
- Presión: Cuando las rocas se entierran se someten a una presión litostática cada vez mayor, esta presión resulta del peso de las rocas suprayacentes se aplica igualmente en todas las direcciones, a medida que las rocas se someten a una creciente presión con la profundidad los granos minerales dentro de una roca pueden compactarse estrechamente.
- Actividad de fluidos: En casi cada región de metamorfismo el agua y el dióxido de carbono están presentes en cantidades variables a lo largo de los límites del grano mineral o en los espacios intersticiales de las rocas.

**Tipos de metamorfismo**

Se reconocen tres tipos principales de metamorfismo:

- El metamorfismo de contacto en el cual el calor y los fluidos magmáticos actúan para producir el cambio.
- El metamorfismo dinámico resulta de altas presiones diferenciales, asociadas a la deformación intensa.
- El metamorfismo regional, que ocurre dentro de una gran área y es causado principalmente por fuerzas orgánicas.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS



Clasificación de las rocas metamórficas

Para fines de clasificación se dividen comúnmente en dos grupos las que muestran una estructura foliada y las que no.

CLASIFICACION DE ROCAS METAMORFICAS COMUNES					
TEXTURA	ROCA METAMORFICA	MINERALES TIPICOS	GRADO METAMORFICO	CARCTERISTICAS DE LA ROCA	ROCA ORIGINAL
<b>FOLIADA</b>	PIZARRA	Arcillas, micas, clorita	Bajo	Grano fino se corta fácilmente en pedazos	Limolita piedras arcillosas ceniza volcánica
	FILITA	Cuarzo de grano fino, micas, clorita	Bajo a medio	De grano fino lustre vítreo	Limolita
	ESQUISTO	Micas, clorita cuarzo, talco, Hornblenda, granate	Bajo alto	Foliación distinguible, minerales visibles	Limolita carbonatos rocas ígneas maficas
	GNEIS	Cuarzos feldespatos, Hornblenda, micas	Alto	Bandas segregadas claras y oscuras visibles	Limolita areniscas rocas ígneas félsicas
	ANFIBOLITA	Hornblenda, plagioclasas	Medio a alto	Oscura, débilmente foliada	Rocas ígneas maficas
	MIGMATITA	Cuarzo, feldespatos, hornblenda, micas	alto	Franjas o lentes de granito entre mezclado con gneis	Rocas ígneas félsicas mezcladas con rocas sedimentarias

CLASIFICACION DE ROCAS METAMORFICAS COMUNES					
TEXTURA	ROCA METAMORFICA	MINERALES TIPICOS	GRADO METAMORFICO	CARCTERISTICAS DE LA ROCA	ROCA ORIGINAL
<b>NO FOLIADA</b>	MARMOL	Calcita, dolomita	Bajo a alto	Granos entrelazados de calcita o dolomía	Limolita piedras arcillosas ceniza volcánica
	CUARCITA	Cuarzo	Medio a alto	Granos entrelazados de cuarzo, dura, densa	Limolita
	ROCA VERDE	Clorita, Epidota, hornblenda	Bajo a alto	De grano fino verde	Limolita carbonatos rocas ígneas maficas
	HORNFELS	Cuarzos, micas, granate ,cordierita	Bajo a medio	De grano fino, granos equidimensionales, dura densa	Limolita areniscas rocas ígneas félsicas
	ANTRACITA	Carbón	Alto	Negra, lustrosa, de fractura subconcoidea	Rocas ígneas maficas

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS



**Agua subterránea**<sup>xvi</sup>

El agua almacenada en los espacios abiertos de las rocas y el material sin consolidar del subsuelo, es un valioso recurso natural esencial para la vida de todos los seres vivos.

**Agua subterránea y el ciclo hidrológico**

El agua de la capa freática es un parte del ciclo hidrológico que representa aproximadamente el 22% del suministro del agua potable del mundo.

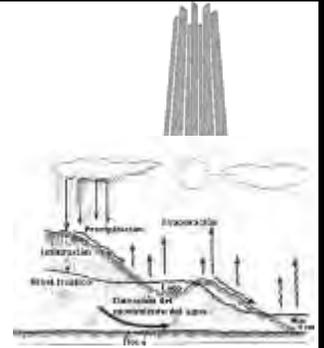


Ilustración 29 Ciclo hidrológico

La principal fuente de agua subterránea es la precipitación, que se infiltra en el terreno y se mueve por el suelo y los poros de las rocas. Otras fuentes son el agua que se filtra de lagos y corrientes, las presas de recarga y los sistemas de tratamiento de aguas residuales. No todos los suelos y rocas son buenos filtros y algunos contaminantes no se retiran.

**Porosidad y permeabilidad**

La porosidad es el porcentaje del volumen total el material que es espacio poroso o intersticial. La mayoría de veces la porosidad consiste en los espacio entre las partículas del suelo, los sedimentos y rocas sedimentarias, también hay otro tipo de porosidad formado por grietas, fracturas, fallas y vesículas de roca volcánica.

La porosidad varía entre los distintos tipos de roca y depende del tamaño la forma y la disposición del material que compone la roca.

VALORES DE POROSIDAD DE DIFERENTE MATERIALES	
MATERIAL	POROSIDAD %
SEDIMENTO NO CONSOLIDADO	
SUELO	55
GRAVA	20-40
ARENA	25-50
LIMO	35-50
ARCILLA	50-70
ROCAS	
ARENISCA	5-30
LULITA	0-10
BASALTO	5-40
GRANITO	10

La capacidad de un material para transmitir los fluidos es permeabilidad, aunque no solo depende de la porosidad si no también del tamaño de los poros o fracturas de interconexiones. Las capas permeables que contienen agua subterránea se llaman acuíferos.

**Nivel freático**

A la región donde el agua va deteniendo su descenso se le conoce como zona de aireación y el agua en su interior se denomina aguas suspendidas, debajo de la zona de aireación se encuentra la zona de saturación donde los poros están llenos de agua subterránea. La franja capilar se extiende irregularmente hacia arriba algunos centímetros a varios metros a partir de la zona de saturación, en esta región el agua asciende a causa de la tensión superficial en forma muy parecida a como asciende el agua en una toalla de papel. La zona que se separa a la aeración de la zona inferior de saturación es el nivel freático.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.



Es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. La ciencia de la Geología se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica.

Las rocas sedimentarias son la segunda familia más importante de las rocas, se componen todas de materiales desmenuados por el intemperismo mecánico y químico que desintegran y descomponen las rocas preexistentes.

Un aspecto importante para definirlos es su tamaño.

Clasificación de partículas sedimentarias

Utilización

La sedimentación

Rocas sedimentarias

Conglomerados y brechas sedimentarias.

Las estructuras sólidas preexistentes tienen una actividad diáclisis, lo cual significa que estas rocas se componen de fragmentos conocidos también como clastos.

Rocas sedimentarias detríticas

Caliza y dolomita.

Evaporitas.

Pedregal.

Carbón mineral.

Rocas sedimentarias químicas o biogénicas. Se originan de materiales disueltos son transportados a lagos y a los océanos donde se concentran. A las rocas formadas por la actividad de los organismos se les nombra rocas sedimentarias biogénicas.

La principal fuente de agua subterránea es la precipitación, que se infiltra en el terreno y se mueve por el suelo y los poros de las rocas.

Agua subterránea y el ciclo hidrológico

No todos los suelos y rocas son buenos flujos y algunos constantemente no se retrasan.

Agua subterránea

La porosidad es el porcentaje del volumen total de material que es espacio poroso o intersticial.

La capacidad de un material para transmitir los fluidos es permeabilidad. Los espacios permeables que contienen agua subterránea se llaman acuíferos.

Los porosidad y permeabilidad

Porosidad y permeabilidad

Módulo 1

Geología, del griego geo: (Tierra, y logos, «discursos»)

Rocas ígneas.

Del latín, ignis «fuego». Se forman cuando el magma se enfría y cristaliza como la materia plástica como las cenizas volcánicas (partículas que miden menos de 2mm), se consolidan.

- Clasificación
- Rocas ultramáficas
  - Basalto - gabbro.
  - Anfesito - diorita.
  - Basalto - Granito.
  - Pegmatita.
  - Cuarzo ígneo intrusivo
  - Plutones.

Intemperismo y erosión

La destrucción física (desintegración) y alteración química (descomposición) de las rocas.

Rocas Metamórficas.

Del griego meta que significa cambio y morfos que significa forma constituyen el tercer grupo de rocas, resultan de la transformación de otras rocas por procesos metamórficos.

Los agentes de metamorfismo

Los tres agentes de metamorfismo son la temperatura, la presión y la actividad de fluidos.

Calor.  
Presión.  
Actividad de fluidos.

Tipos de metamorfismo

Se reconocen tres tipos principales de metamorfismo, el metamorfismo de contacto, el metamorfismo regional.

Clasificación de las rocas metamórficas

Para fines de clasificación se dividen comúnmente en dos grupos las que muestran una estructura foliada y las que no.





### Breviario histórico de la geotécnica.

A partir del siglo XVIII los aspectos geotécnicos son más estudiados. Entre el siglo XVIII y mediados del siglo XX la geotecnia tiende a dividirse en 4 etapas.

- Periodo preclásico.
- 1ª etapa de la mecánica de suelos clásica.
- 2ª etapa de la mecánica de suelos clásica.
- Mecánica de suelos moderna.

Karl von Terzaghi (1883-1936). Es considerado el padre de la mecánica de suelos, en 1925 publica *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage*. En el cual se enuncia la ley de las Tensiones Efectivas, para 1943 publica el texto *Theoretical soil Mechanics* y posteriormente en 1948 en colaboración con Ralph B. Peck publica *Soil Mechanics in Engineering Practice*.



Ilustración 30 Karl von Terzaghi

### El suelo



Ilustración 31 Eulalio Juárez Badillo

Para el ingeniero Eulalio Juárez Badillo el suelo es:

"Un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, se trata de un conjunto con organización bien definida y propiedades que varían vectorialmente en la dirección vertical generalmente cambian más rápido que en la dirección horizontal".

Un suelo en el sentido ingenieril es un aglomerado relativamente poco cohesivo compuesto por minerales, materiales orgánicos y/o sedimentos que se encuentra por encima del sustrato rocoso. Los suelos pueden ser fragmentados frágilmente hasta separar sus partículas en partículas más pequeñas.

### Sistemas de clasificación de suelos

Para la geotecnia son dos los más utilizados:

- Sistema Unificado De Clasificación De Suelos (SUCS-USCS Unified Soil Classification System)
- Sistema de la Asociación Americana del Transporte y Autopistas Estatales (American Association Of State Highway And Transportation Official AASHTO)

Ambos sistemas se basa en dos propiedades índice.

- Granulometría
- Límites de Atterberg.







**Granulometría**

La granulometría es la manera de medir y calcular la abundancia de los granos de una formación sedimentaria, el método de determinación granulométrico más sencillo es la obtención de las partículas por una serie de mallas, que actúan como filtro de los granos. Los siete tamices estándar obedecen a la graduación prevista por la ASTM que son normas internacionales.

Para su realización, se utiliza una columna de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados, de tal forma que en la parte superior, se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original y la columna se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una máquina especial. Pasados algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, separando los restos de material retenido por cada tamiz para posteriormente obtener los pesos asociados al material y que, al sumarlos deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de mallas (Conservación de la Masa).

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada tamiz ha obtenido.

**Curva granulométrica**

La curva granulométrica de un suelo es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un ensayo de laboratorio.

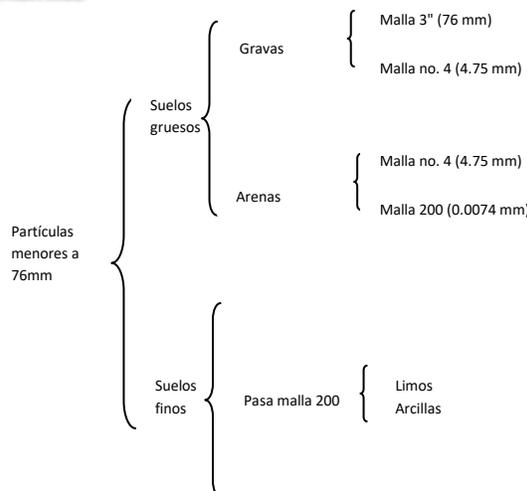


Ilustración 32 SUCS

**SUCS Sistema Unificado de Clasificación de suelos.<sup>xvii</sup>**

Es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado.

Este sistema considera a un suelo de acuerdo al tamaño de sus partículas, si son menores a 76 mm (3") entonces hablamos de un suelo, de 76 mm (3") a 4.75 mm (malla 4) corresponde a una grava, de 4.75 mm (malla 4) a 0.074 mm (malla 200) es una arena y los suelos menores a 0.074 (malla 200) corresponde a limos y a arcillas dependiendo de su posición en la carta de plasticidad.





Grava

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.



- Esta grava pasa por la malla de 1 1/2" (38 mm) y se retiene en la malla no. 4 (4.75 mm).
- En las mallas desde la de 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y 1/4" la denominación de la malla corresponde a la abertura entre hilos de la malla

Arena

- La arena pasa por la malla no. 4 (4.75 mm) y se retiene en la malla no. 200 (0.074 mm).
- Las mallas desde la 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200.

Limos y arcillas

- Los limos y las arcillas pasan por la malla 200 la forma de identificarlas es de acuerdo a su plasticidad, es decir de acuerdo a la posición que tengan en la carta de plasticidad.

Tipos de suelos

ABREVIATURA	TIPO DE SUELO
GW	GRAVAS BIEN CLASIFICADAS MEZCLAS DE GRAVA/ARENA, SIN O CON POCOS FINOS
GP	GRAVAS MAL CLASIFICADAS MEZCLAS DE GRAVA/ARENA, SIN O CON POCOS FINOS
GM	GRAVAS CARBONATADAS GRISES/ARENA/ARCILLA
GC	MEZCLA DE GRAVAS CARBONATADAS GRISES/ARENA/ARCILLA
SW	ARENAS BIEN CLASIFICADAS, ARENAS CON GRAVA, SIN O CON POCOS FINOS
SP	ARENAS MAL CLASIFICADAS, ARENAS CON GRAVA, SIN O CON POCOS FINOS
SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLA DE LIMO /ARENA
SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLA DE ARENA/ARCILLA
ML	LIMOS INORGÁNICOS Y ARENAS MUY FINAS, ARENA FINA LIMO Y ARCILLA
CL	ARCILLAS INORGÁNICAS DE PLAST BAJA A EDIA ARCILLAS ARENOSAS LIMOSAS O SUeltas
OL	LIMOS ORGÁNICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGÁNICAS DE BAJA PLASTICIDAD
MH	LIMOS INORGÁNICOS ARENAS MICÁCEOS O DE DIATOMEAS FINAS LIMOS ELÁSTICOS
CH	ARCILLAS GRASAS
OH	ARCILLAS ORGÁNICAS GRASAS
PT	TURBA, HUMUS Y OTROS SUELOS ORGÁNICOS PANTANOSO
SP	MEZCLA DE LIMO/ ARCILLA ARENA/ GRAVA
L	CALIZAS
S	ARENISCAS

CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y AREA DE LA CURVA GRANULOMETRICA DEPENDIENDO EL PORCENTAJE DE FINOS (facción que pasa por la malla no 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: menos de 5% GW GP SW SP mas de 12% GM GC SM SC. ENTRE 5% y 12% casos de frontera que requiere el uso de simbolos dobles	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4	
	COEFICIENTE DE CURVATURA Cc ente 1 y 3	
	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.	
	LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA LINEA A CON IP MENOR QUE 4	ARRIB DE LA LINEA A CON IP ENTRE 4 Y 7 SN CASOS DE FRONTERA QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES
	LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA LINEA A CON IP MAYOR QUE 7	
	Cu= D80 (D10 MAYOR DE 6; Cc=(D20)^2/(D10)(D20) ENTRE 1 Y3	
	No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW	
	LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA LINEA A O IP MENOR QUE 4	ARRIBA DE LA LINEA A Y CON IP ENTRE 4 Y7 SON CASO DE FRONTERA QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES
LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA LINEA A CON IP MAYOR QUE 7		

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





DIVISION MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRANULAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 e	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GW	Gravas bien graduadas, medias de grava y arena con poca o nada de feno	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD $C_u$ : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA $C_c$ : entre 1 y 3. $C_u(D_{60}/D_{10})$		
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poca o nada de feno		NO SATISFACER TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.	
		GM	a		Gravas limosas, medias de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.  LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
			cc		Gravas arcillosas, medias de grava, arena y arcilla	
		<b>ARENA LIMPAA</b> Poca o nada de partículas finas	SW		arenas bien graduadas, arena con grava, con poca o nada de feno.	$C_u = D_{60}/D_{10}$ mayor de 6; $C_c = (D_{60})^2 / (D_{10}(D_{60} - D_{10}))$ entre 1 y 3.
			SP		arenas mal graduadas, arena con grava, con poca o nada de feno.	
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	<b>ARENA CON FINOS</b> Cantidad apreciable	SA a cc	Arcillas limosas, medias de arena y limo. Arcillas arcillosas, medias de arena y arcilla	Área de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.	
				Arcillas limosas, medias de arena y limo. Arcillas arcillosas, medias de arena y arcilla		
	<b>SUELOS DE PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material arena por la malla número 200 e	<b>ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arcillosos y arcillosos ligeros, plásticos	g-Grava, S-Arena, O-Suelo Orgánico, P-Turba, MU-Limo, C-Arcilla, W-Limo Graduable, P-Mal Graduable, L-Zona Comprimible, H-AZona Comprimible	
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arcillosas, arcillas limosas, arcillas plásticas		
		<b>ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de (6)	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
			MH	Limos orgánicos, limos arcillosos o arcillosos, más arcillosos		
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>	OH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arcillas limosas		
			OI	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos o de media plasticidad		
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>	<b>P</b>	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		<b>CARTA DE PLASTICIDAD (U.S.C.S.)</b> 

Ilustración 33 Tabla SUCS





### Sistema de clasificación de suelos AASHTO<sup>xviii</sup>

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. De acuerdo con este sistema y con base en su comportamiento, los suelos están clasificados en ocho grupos designados por los símbolos del A-1 al A-8. Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla.

#### Nomenclatura

En la siguiente tabla se puede observar como la norma AASHTO clasifica los suelos granulares en tres grandes grupos y que estos tienen algunas subdivisiones por otro lado los suelos finos se dividen en cuatro grupos. Los parámetros que tiene en cuenta este método de clasificación son el porcentaje pasa No.10, No.40, No.200, el límite líquido, el índice de plasticidad y por último el índice de grupo.

Clasificación general	materiales granulares (35% o menos pasa la No 200)						materiales limo arcillos (mas de 35% pasa la No 200)				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación de grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*
Analisis de cernido porcentaje que pasa:											
Nº. 10	50 max										
Nº. 40	30 max	50 max	51 min								
Nº. 200	15 max	25 max	50 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
características de la fracción que pasa la Nº. 40											
Límite líquido				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice de plasticidad	6 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Índice de grupo	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
* A - 7 - 5 : IP < wL - 30      ** A - 7 - 6 : IP > (wL - 30)											
IG = 0.2(a)+0.005*(a*c)+0.01*(b*d)      Ilustración 34 Sistema AASHTO											

El sistema de clasificación AASHTO utiliza un índice de grupo para comparar diferentes suelos dentro de un mismo grupo. El índice de grupo se calcula de acuerdo con la ecuación

$$IG = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd .$$

Donde:

- a= porcentaje del material más fino que el tamiz N0 200 mayor que el 35% pero menor que el 75%, expresado en un número entero (1≤a≤40).
- b= porcentaje del material más fino que el tamiz N0 200 mayor que el 15% pero menor que el 55%, expresado en un número entero (1≤b≤40)
- c= porción del límite líquido mayor que 40 pero no mayor que 60, expresada como un número positivo (1≤c≤20).
- d= porción del índice de plasticidad mayor que 10 pero no excedente a30, expresada como un numero positivo (1≤d≤20).

- ✓ El IG se informa en números enteros y si es negativo se hace igual a 0.
- ✓ Permite determinar la calidad relativa de suelos de terraplenes, subrasantes, subbases y bases.
- ✓ Se clasifica al primer suelo que cumpla las condiciones de izquierda a derecha en la tabla.
- ✓ El valor del IG debe ir siempre en paréntesis después del símbolo de grupo.
- ✓ Cuando el suelo es NP o el LL no puede ser determinado, el IG es cero.
- ✓ Si un suelo es altamente orgánico, se debe clasificar como A- 8 por inspección visual y diferencia en humedades.

El índice encontrado de esta manera se redondea al entero siguiente y se reemplaza entre paréntesis después del número de clasificación correspondiente de la siguiente forma A-2-6(3) ^3

TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.



Diámetro de la abertura (mm)	Simbolización	U.S. Sieve No.	U.S. Sieve No.
4.75	arena	10	arena
7.5		20	Limo fino
15	limo	100	limo grueso
30		60	arena gruesa
60		30	arena gruesa
75		20	arena gruesa
150	arena gruesa	10	arena gruesa
300		60	arena gruesa
600		30	arena gruesa
1060		15	arena gruesa
2000		10	arena gruesa
4750		4	arena gruesa
7500		2	arena gruesa
15000		1	arena gruesa

La granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el estudio de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

Desde el punto de vista de la Mecánica de Suelos, un material heterogéneo se considera bien graduado si sus propiedades mecánicas ofrecen mejor calidad, y un material homogéneo se considera mal graduado, si sus propiedades mecánicas son deficientes.

Granulometría

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hightower en 1928.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales, 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N° 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N° 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla.

Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Este sistema de clasificación provee una forma de utilizar las bridas plásticas y líquidas para obtener la clasificación de los suelos entre los grupos A-1 y A-7, para los suelos al hecho de tener más de un 35% de material más fino que el tamiz N° 200, es un factor esencial de clasificación. Este factor puede también utilizarse para obtener la clasificación de un sub grupo de los suelos titulados A-2, para los suelos al hecho de tener menos del 35% del material más fino que el tamiz N° 200, es un factor esencial de clasificación, la designación de los subgrupos en el grupo A-2 se logra determinando si el suelo A-2, clasificado de acuerdo con los análisis granulométricos, pero sin propiedades plásticas (LL y LP) perteneciera de los suelos A-4, A-5, A-6 o A-7.

Factores a considerar de la numeración del método AASHTO

Clasificación de suelos

SUCS Sistema Unificado de Clasificación de suelos.



El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales un consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado.

- Grava:** En las mallas desde la 2", 2 1/2", 3", 3 1/2", 4", 4 1/2", 6", 8", 10", 12", 15", 18", 24", 30", 36", 42", 48", 60", 72", 84", 96", 108", 120", 144", 168", 192", 216", 240", 288", 336", 384", 432", 480", 528", 576", 624", 672", 720", 768", 816", 864", 912", 960", 1008", 1056", 1104", 1152", 1200", 1248", 1296", 1344", 1392", 1440", 1488", 1536", 1584", 1632", 1680", 1728", 1776", 1824", 1872", 1920", 1968", 2016, 2064, 2112, 2160, 2208, 2256, 2304, 2352, 2400, 2448, 2496, 2544, 2592, 2640, 2688, 2736, 2784, 2832, 2880, 2928, 2976, 3024, 3072, 3120, 3168, 3216, 3264, 3312, 3360, 3408, 3456, 3504, 3552, 3600, 3648, 3696, 3744, 3792, 3840, 3888, 3936, 3984, 4032, 4080, 4128, 4176, 4224, 4272, 4320, 4368, 4416, 4464, 4512, 4560, 4608, 4656, 4704, 4752, 4800, 4848, 4896, 4944, 4992, 5040, 5088, 5136, 5184, 5232, 5280, 5328, 5376, 5424, 5472, 5520, 5568, 5616, 5664, 5712, 5760, 5808, 5856, 5904, 5952, 6000, 6048, 6096, 6144, 6192, 6240, 6288, 6336, 6384, 6432, 6480, 6528, 6576, 6624, 6672, 6720, 6768, 6816, 6864, 6912, 6960, 7008, 7056, 7104, 7152, 7200, 7248, 7296, 7344, 7392, 7440, 7488, 7536, 7584, 7632, 7680, 7728, 7776, 7824, 7872, 7920, 7968, 8016, 8064, 8112, 8160, 8208, 8256, 8304, 8352, 8400, 8448, 8496, 8544, 8592, 8640, 8688, 8736, 8784, 8832, 8880, 8928, 8976, 9024, 9072, 9120, 9168, 9216, 9264, 9312, 9360, 9408, 9456, 9504, 9552, 9600, 9648, 9696, 9744, 9792, 9840, 9888, 9936, 9984, 10000.
- Arena:** Las mallas desde la 4, 8, 16, 30, 60, 100 y 200.
- Limos y arcillas:** Los limos y las arcillas pasan por la malla 200 la forma de identificación es de acuerdo a su plasticidad, es decir de acuerdo a la carta de plasticidad.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SEGÚN AASHTO

Tabla 1.2. Clasificación de suelos por el método AASHTO

Clasificación general	Material granular (35% o menos pasa el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (Mas del 35% pasa el tamiz N° 200)						
	A-1		A-2	A-3		A-4	A-5	A-6	A-7	A-7.5	A-7.6			
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2	A-2.4	A-2.5	A-2.6	A-2.7	A-4	A-5	A-6	A-7	A-7.5	A-7.6	
Propiedades que rigen al tamiz	50 máx. MP 10 (2.00mm) MP 40 (425mm) MP 200 (75.00mm)		30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	35 máx. 35 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.	30 máx. 30 máx. 15 máx.
Características del material que pasa el tamiz MP 40 (425mm)	Límite líquido (LL) (límite de plasticidad)		LL máx. 40	LL máx. 40	LL máx. 40	LL máx. 40	LL máx. 40	LL máx. 40						
Tipo de subdivisión	Exposición a humedad		Exposición a humedad	Exposición a humedad		Exposición a humedad	Exposición a humedad	Exposición a humedad	Exposición a humedad	Exposición a humedad	Exposición a humedad	Exposición a humedad	Exposición a humedad	

TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS.

**Propiedades índice de los suelos utilizadas para clasificarlos.**

Las propiedades o características índices de los suelos nos deben servir para conocer, cualitativamente y el comportamiento mecánico de los suelos.

Las propiedades índices son:

- Contenido natural de agua,  $w$
- Peso volumétrico natural,  $\gamma$
- Grado de saturación,  $G_w$
- Densidad de los sólidos,  $S_s$
- Granulometría
- Plasticidad o Límites de Atterberg, LL, LP, Ip, LC
- Relación de vacíos u oquedad,  $e$
- Porosidad,  $n$
- Contracción lineal, CL

Las propiedades índice anteriores nos sirvieron para conocer su clasificación, forma tamaño y textura del suelo, se necesita realizar otras pruebas para poder entender su comportamiento mecánico, entre otros factores que intervienen en el diseño, poder compararlo con la carga que se quiere aplicar en el diseño de nuestras pistas, así evitar asentamientos diferenciales o mal funcionamiento de las mismas.

**Propiedades índice (mecánicas)**

Estas propiedades índices son las siguientes:

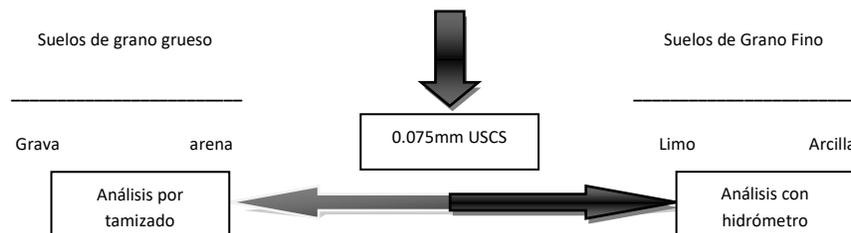
- Modulo de elasticidad
- Relación de Poisson
- Esfuerzo de compresión no confinado
- Desgaste de los Ángeles
- Intemperismo acelerado
- Modulo de resiliencia
- Valor relativo de soporte

**Estructura de los suelos**

Tipo	Características
Homogéneo	Propiedades uniformes
Heterogéneo	Propiedades disimilares
En panal de abeja	Con muchos huecos
Fisurado	Con grietas de retracción
Estratificado	Suelos dispuestos según capas subhorizontales
Laminado	Suelo estratificado con capas delgadas
Bandeado	Suelo estratificado evidenciando cambios de coloración
Foliado	Presenta fisibilidad
Estriado	Cortado por planos de rotura que le das aspecto brillante acanalado y estriado
lenticular	Capas o estratos estrechos y discontinuos
Costras	Rellenos de fracturas o recubrimientos de las partículas
Margoso	Suelos carbonatados de tamaño de grano muy fino
Caliche	Con una zona u horizonte de carbonado cálcico secundario

**Textura de los suelos**

La textura se relaciona con su aspecto o tacto y depende del tamaño relativo y las formas de las partículas que lo constituyen. También es función de los rangos de distribución de los distintos tamaños.





Relaciones gravimétricas y volumétricas de los suelos.

El suelo está constituido por 3 fases.

- Fase sólida
- Fase líquida
- Fase gaseosa





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



# CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES.



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





## CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES

Las pruebas más comunes que se realizan en el laboratorio se pueden catalogar de la siguiente forma:<sup>xix</sup>

- Pruebas de clasificación: Nos indica el tipo de suelo y en que capas, puede ser empleado de acuerdo a sus características.
- Pruebas de control: permite verificar la calidad de las obras, algunas son semejantes a las de clasificación, presentan algunas pruebas especiales.
- Pruebas de proyecto: se emplean para dimensionar las secciones correspondientes, desde el punto de vista estructural, se efectúan diferentes ensayos cuyos resultados se correlacionan con el comportamiento real de las estructuras se obtienen nomogramas de proyecto. En general con la pruebas de resistencia se dimensionan las capas superiores y se revisan las inferiores.

### TIPOS DE PRUEBAS Y CAPAS DEL PAVIMENTO DONDE SE REALIZAN.

#### I.-Terracerías:

- Clasificación: contenido de humedad, límites de consistencia, granulometría.
- Control: pesos volumétricos, valor relativo de soporte.

#### II.-Subrasante:

- Clasificación: mismos que la capa anterior.
- Control: pesos volumétricos., valor relativo de soporte, expansión.
- Diseño: valor relativo de soporte (C.B.R.) de campo o Porter Modificada, prueba de placa.

#### III.-sub- base y base:

- Clasificación: mismas de la capa anterior.
- Control: pesos volumétricos, valor relativo de soporte (C.B.R.), expansión, equivalente de arena, contracción lineal, forma de la partícula, desgasté los Ángeles
- Diseño: Mismas que la capa anterior. En materiales estabilizados en base y sub-base Control: pérdida por cepillado, estabilidad, resistencia a la compresión, adherencia entre pétreo y asfalto.
- Diseño: compresión simple, Hubbard-Field, Hveem, Valor soporte Florida modificada.

#### IV. Carpeta asfáltica:

- Clasificación: mismas que las capas anteriores, para los pétreos
- Control de los pétreos: Desgaste los Ángeles, equivalente de arena, intemperismo acelerado, forma de la partícula, adherencia, densidad relativa, pérdida de estabilidad.
- Control en los asfalto: viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, viscosidad, Saybolt-Furol, penetración, punto de inflamación, solubilidad, punto de reblandecimiento, prueba de la película delgada, ductilidad.
- Control en las emulsiones: contenido de cemento asfáltico, viscosidad, asentamiento, retenido en malla Nº20, cubrimientos, miscibilidad con cemento Pórtland, carga eléctrica, demulsibilidad, penetración, ductilidad, solubilidad, asentamiento en 5 días, acides, rompimiento.
- Diseño: Marshall, compresión simple, Hveem, Hubbard Field.

#### V.- Losa de concreto:

- Clasificación: Mismas que las capas anteriores.
- Control: Desgaste de los Ángeles, equivalente de arena, intemperismo acelerado, modo de finura, ensayos al agua empleada, ensayos en el cemento Pórtland
- Diseño: prueba de placa o de valor relativo de soporte, Modulo de ruptura. Equipo para equivalente de arena Equipo para prueba Marshall





## Pruebas de clasificación

### Contenido de humedad en suelos<sup>xx</sup>

El contenido de humedad de un suelo es la relación del cociente del peso de las partículas sólidas y el peso del agua que guarda, esto se expresa en porcentaje. En Japón se han registrado contenidos de humedad de más de mil por ciento, esto indica grandes problemas de suelo debido a que el peso del agua supera quince veces el peso del material sólido.

$$w = (Ww/Ws) * 100(\%)$$

Donde:

- w=contenido de humedad expresado en %
- Ww=peso del agua existente en la masa de suelo
- Ws= peso de las partículas sólidas

El proceso de la obtención del contenido de humedad de una muestra se hace en laboratorios, el equipo de trabajo consiste en un horno donde la temperatura pueda ser controlable.

- Una vez tomada la muestra del sólido en estado natural se introduce al horno.
- Ahí se calienta el espécimen a una temperatura de más de 100 grados Celsius, para producir la evaporación del agua y su escape a través de ventanillas.
- Se debe ser cuidadoso de no sobrepasar el límite, para no correr el riesgo de que el suelo quede cremado con la alteración del cociente de la determinación del contenido de humedad.
- El material debe permanecer un periodo de doce horas en el horno, por esta razón se acostumbra a iniciar el calentamiento de la muestra de suelo al final del día, para que así se deshidrate durante toda la noche.
- Cumplidas ya las 12 horas de secado de la muestra de tamaño normal se procede a retirar y pesar, para así obtener el peso del suelo seco. El peso del agua será la diferencia entre el peso de la muestra en estado natural y la muestra seca de suelo.
- Ya se cuenta con los valores necesarios para la obtención del contenido de humedad, en caso de tener mucha prisa en la obtención de resultados de ensayo, la muestra podría ser retirada del horno al cabo de cinco o seis horas para así pesarla, luego se introduciría de nuevo al horno y se compararía con este peso con el obtenido a las seis horas de secado.
- Si no se obtiene ninguna diferencia, podría utilizarse este valor como el peso seco de dicha muestra de suelo.



Ilustración 36 Horno contenido de humedad

### LIMITES DE CONSISTENCIA<sup>xxi</sup>



Ilustración 37 Material para límites de consistencia

Son conocidos también como los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.





El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

#### Plasticidad y límites de consistencia

Plasticidad es la propiedad que tienen algunos suelos de deformarse sin agrietarse, ni producir rebote elástico. Los suelos plásticos cambian su consistencia al variar su contenido de agua. Para definir las fronteras en esos estados se han realizado muchas investigaciones, siendo las más conocidas las de K. Terzaghi y Atterberg. Para calcular los límites de Atterberg el suelo se tamiza por la malla N°40 y la porción retenida es descartada.

La frontera convencional entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, que se determina alternativamente presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta un diámetro al cual el pequeño cilindro se desmorona, y no puede continuar siendo presionado ni enrollado. El contenido de agua a que se encuentra se anota como límite plástico.

La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción y a la frontera entre el límite plástico y líquido se llama límite líquido y es el contenido de agua que se requiere adicionar a una pequeña cantidad de suelo que se colocará en una copa estándar, y ranurará con un dispositivo de dimensiones también estándar, sometido a 25 golpes por caída de 10 mm de la copa a razón de 2 golpes/s, en un aparato estándar para límite líquido; la ranura efectuada deberá cerrarse en el fondo de la copa a lo largo de 13 mm.

En mecánica de suelos podemos definir la plasticidad como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Según su contenido de agua en forma decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definido por Atterberg.

#### Procedimiento

- Se tomaran porciones de los distintos estratos a estudiar, de ahí se homogenizaran con la espátula punta redonda, logrando deshacer todas las partículas de mayor tamaño, según sea la consistencia de la muestra se agrega un poco de agua con la pizeta.
- Ya que el suelo ha sido homogenizado se pondrá en la copa de Casagrande una porción del suelo homogéneo y se ranura.
- Cuando ya se tiene el suelo en la copa y se ha ranurado se procede a hacer funcionar la copa ya sea mecánica o eléctrica, será sometido a una cantidad de golpes para saber que tantos se necesitan para que se cierre por completo la ranura
- Se vuelve a pasar al cristal la muestra, se homogeniza de nuevo, se le agrega una cantidad suficiente sin ser mucha ni poca de agua lo cual se mezcla con el suelo se homogeniza de nuevo
- Este procedimiento se repite hasta que se logra que con una cantidad aproximada de 25 golpes ciérrela grieta
- Ya que se ha logrado que se cierre la grieta con la cantidad aproximada de golpes se procede a hacer unos "churritos" con parte del estrato, se pondrán en los vidrios de reloj y se meterán al horno por un tiempo aproximado de 18 a 24 horas, no mayor a este tiempo ya que se corre el riesgo de sobre secar la muestra o calcinarla

#### GRANULOMETRÍA<sup>xxii</sup>

La información obtenida del análisis granulométrico puede en ocasiones utilizarse para predecir movimientos del agua a través del suelo, aun cuando los ensayos de permeabilidad se utilizan más comúnmente.





Los suelos muy finos son fácilmente arrastrados en suspensión por el agua que circula a través del suelo y los sistemas de subdrenaje usualmente se colman con sedimentos rápidamente a menos que sean protegidos adecuadamente por filtros de material granular debidamente gradado.



Ilustración 38 Tamices para granulometría

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelos. Como no es físicamente posible determinar el tamaño real de cada partícula independiente de suelo – la práctica solamente agrupa los materiales por rangos de tamaño. Para lograr esto se obtiene la cantidad de material que se pasa a través de un tamiz con una malla dada pero que es retenido en un siguiente tamiz cuya malla tiene diámetros ligeramente menores al anterior y se relaciona esta cantidad retenida con el total de la muestra pasada a través de los tamices. Los tamices son hechos de malla de alambre forjado con aberturas rectangulares que varían en tamaño desde 101.6 mm (4”) en la serie más gruesa hasta al número 400 (0.038mm) en la serie correspondiente a suelo fino.

### Agregados

- Agregado fino. El agregado fino es aquel que pasa el cedazo o tamiz 3/8 y es retenido en el cedazo número 200.
- Agregado grueso. El agregado grueso es aquel que pasa el cedazo o tamiz 3 y es retenido el cedazo número 4.

### Granulometría de Finos y Gruesos.

Este método consiste en la determinación por tamices de la distribución del tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos. Para una gradación óptima, los agregados se separan mediante el tamizado, en dos o tres grupos de diferentes tamaños para las arenas, y en varios grupos de diferentes tamaños para los gruesos.

### PROCEDIMIENTO

- Se obtiene los agregados a utilizar en esta práctica, con ayuda del cucharón se obtiene del banco donde se encuentran y se vacían en la charola para proceder a pesar y tener la cantidad deseada, en esta etapa es importante que la muestra sea representativa para lo cual es posible utilizar un cuarteador mecánico o se puede hacer manualmente solamente escogiendo muestras de diferentes lados.
- Se coloca la serie de tamices de acuerdo al tamaño de su malla de mayor a menor en el agitador eléctrico si no se posee uno de estos se puede hacer manualmente agitándolo desde el tamiz superior durante de 10 minutos por cada tamiz. Este procedimiento se hará para finos y gruesos.
- Obtener el peso de material que quedó retenido en cada tamiz, sumar estos pesos y comparar el total con el peso obtenido. Si tenemos una pérdida de más de 2% el experimento se tiene que repetir nuevamente
- Calcular el porcentaje en cada tamiz dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original utilizado.

$$\% rp = \frac{W_{rp} \times malla}{W_g} \times 100$$

5.-Se suma el % rp de cada malla y se obtiene el porcentaje retenido acumulado (% ra).

- Se determina el porcentaje que pasa en cada malla restandole a 100 el porcentaje retenido acumulado en cada malla.
- Con los datos anteriores se grafican los puntos, se unen estos y se obtiene la curva granulométrica de la muestra de grava.

Coefficiente de uniformidad y Coeficiente de curvatura

$$C_u = D_{60} / d_{10}$$

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



En donde

- D60: tamaño tal, que el 60 % en peso, del suelo, sea igual o menor.
- D10: llamado por Hazen diámetro efectivo; es el tamaño tal que sea igual o mayor que el 10 % en peso del suelo.

En realidad la relación es un coeficiente de no uniformidad, pues su valor numérico decrece cuando la uniformidad aumenta. Los suelos con  $C_u < 3$  se consideran muy uniformes; aun las arenas naturales muy uniformes rara vez se presentan con  $C_u > 2$ .

Se define el coeficiente de curvatura del suelo para definir la uniformidad como:

Como dato complementario, es necesario para definir la uniformidad, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión:

$$C_c = (D_{30})^2 / D_{60} * D_{10}$$

- D30 se define análogamente que los D10 y D60 anteriormente

### DENSIDAD DE SÓLIDOS<sup>xxiii</sup>

La densidad de los sólidos es un parámetro que no sólo funciona como una propiedad índice sino que también interviene dentro de los cálculos para la determinación de las propiedades mecánicas como en el caso de la compresibilidad de los suelos.

Para fines de este ensayo necesitamos definir dos conceptos importantes en el estudio de la densidad de un suelo los cuales son:

- Densidad real. Es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico.
- Densidad aparente. Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente para que la heterogeneidad del suelo quede suficientemente representada y su efecto atenuado. Es muy variable según el suelo, incluso en cada uno de los horizontes porque depende del volumen de los poros. Si el suelo es compacto, la densidad sube.

La compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos; el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos en tanto se mantienen el contenido de humedad aproximadamente constante.



Ilustración 39 Prueba de densidad de sólidos

### PROCEDIMIENTO.

- Tomar una porción considerable de estratos a estudiar, agregar agua y homogenizar con el mortero, esto hasta lograr descomponer los grumos existentes.
- Con la ayuda de un batidor se dejara la muestra disolviéndose, en un segundo proceso, durante diez minutos, con la finalidad de que las partículas del agua se saturen de suelo y se tenga una consistencia más uniforme.
- Pasar la mezcla batida a través del embudo de cuello largo con la finalidad de que entre en el matraz
- Se vacía la solución y se deja reposar alrededor de 2 minutos, en el vaciado se debe cuidar que el material no se pegue en las paredes del matraz, después de esperar se lleva a la bomba de vacío, en el cual se pondrá en baño maría a la muestra por medio de un calentamiento de glicerina y una compresora, el aire que se extraiga de la mezcla, debe pasar por unas trampas, que son soluciones, con el objeto de que la pesados de los gases se queden allí. (Wms)

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





- Se toma la temperatura que tiene el matraz en la superficie, en medio y en el fondo, con lo cual se sacara el promedio, con esta temperatura se entrara en la curva de calibración y se obtiene el peso del matraz + agua + sólidos + muestra + temperatura del material (Wmvs).

### Pruebas de control

#### CBR o VRS<sup>xxiv</sup>

El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala. CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de «California Bearing Ratio», aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte. A pesar de sus múltiples limitaciones, hoy por hoy, el CBR es uno de los ensayos más extendidos y aceptados en el mundo debido al relativo bajo costo de ejecución (si se compara con ensayos triaxiales), y a que está asociado a un número grande de correlaciones y métodos semi-empíricos de diseño de pavimentos.

El valor de CBR tiene sus limitaciones como parámetro geomecánico para el diseño de pavimentos y rellenos estructurales, sin embargo, sigue resultando muy utilizado por su costo y relativa facilidad. El valor de soporte de California, fue considerada por Porter en el estado de California para estandarizar un modelo de ensayo a esfuerzo cortante para determinar la resistencia del suelo para ser considerado en el diseño de un pavimento.

En México fue considerado como el Valor Relativo de Soporte, contemplando el ajuste propuesto por el Ing. Rodrigo Padrón para el manejo de las características de clima propicias en México mediante el ajuste de humedades a diferentes grados de compactación, creando el estándar VRS modificado, mismo que se usa para diseñar los espesores de un pavimento.

Los valores de CBR cercanos a 0% representan a suelos de pobre calidad, mientras que los más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad. Es posible en ocasiones obtener registros de CBR mayores que 100%, típicamente en suelos ensayados en condición «en seco» o «tal como se compactó». Dichos valores deberán ser interpretados. En la versión de CBR de laboratorio, los especímenes de suelo se compactan con el equipamiento del ensayo Proctor, utilizando moldes de 6" de diámetro y martillo grande. La velocidad de penetración del pistón durante el ensayo es constante e igual a 1.27 mm/min.



Ilustración 40 Prueba VRS

Uso del ensayo:

El CBR es un ensayo que se puede utilizar para evaluar y diseñar. Se evalúan subrasantes o superficies de colocación de estructuras. Por otra parte, se diseñan suelos para ser utilizados como materiales de base y subbase de pavimento, o para rellenos estructurales.

El ensayo CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte pero, de la aseveración anterior, es evidente que éste número no es constante para un suelo dado, sino que se aplica al estado en el cuál se encontraba el suelo durante el ensayo. El número CBR (o simplemente CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en lbs./plg<sup>2</sup>) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 cm<sup>2</sup>) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una

TESIS PRESENTADA POR:

MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





muestra estándar de material triturado y varía de acuerdo a la compactación del suelo su contenido de humedad al compactar y cuando se realiza el ensayo.

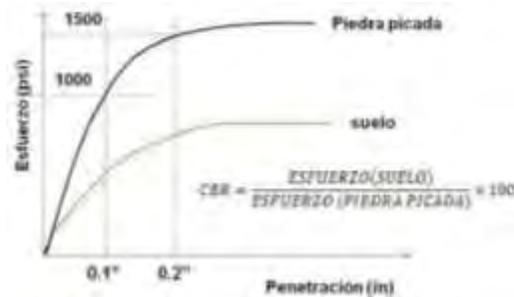


Ilustración 41 Grafica esfuerzo deformación del suelo

Variantes del Ensayo CBR: Según se desprende de la norma ASTM D 1883 -84, el ensayo de CBR posee dos variantes, a saber: una llamada “CBR para humedad óptima”, y la otra llamada “CBR para un rango de contenidos de agua”.

### COMPACTACIÓN<sup>xxv</sup>

Se compactan tres especímenes en la forma que se describe a continuación, con las energías de compactación que se indican en la Tabla, aplicando el número de golpes por capa con el pisón que corresponda, según la utilización prevista de material en estudio y del espécimen de que se trate.

Se ensambla un molde con su collarín de extensión a la placa de base sin perforaciones, por medio de las abrazaderas y se lubrican con aceite las paredes interiores del molde y del collarín; se inserta el disco espaciador dentro del molde; se coloca un papel filtro sobre el disco para impedir que el material se adhiera a él, y se apoya el conjunto sobre la base cúbica.

Material para	Especimen N°	Energía específica de compactación kg·cm/cm²	Número de golpes por capa	
			Pisón de 2,50 kg	Pisón de 4,54 kg
Terraplén	1	6,03	56	—
	2	2,69	25	—
	3	1,08	10	—
Subyacente	1	6,03	56	—
	2	2,69	25	—
	3	1,08	10	—
Subrasante	1	27,42	—	56 <sup>[1]</sup>
	2	6,03	56	—
	3	2,69	25	—

[1] En el caso de que sólo se disponga del pisón de 2,50 kg, al primer espécimen de material para subrasante se le aplicarán 153 golpes por capa con este pisón.

Ilustración 42energía de compactación y numero de golpes para compactar los especímenes SCT

Se coloca en el molde apoyado sobre la base cúbica, una de las fracciones de la porción de material y se compacta con el pisón, aplicando, uniformemente repartidos en la superficie de la capa de material, el número de golpes por capa que corresponda según su utilización prevista y del espécimen de que se trate, de acuerdo con la Tabla. Se escarifica ligeramente la superficie de la capa compactada y se repite el procedimiento descrito para las dos fracciones subsiguientes.

Terminada la compactación de todas las capas, se retira el collarín de extensión del molde y se verifica que el material no sobresalga del molde en un espesor promedio de 1,5 cm como máximo, de lo contrario la compactación se repite, para lo que se extrae el material del molde, se disgrega, se mezcla cuidadosamente para homogeneizarlo y se compacta como se indica en el Inciso anterior, pero disminuyendo ligeramente el tamaño de las fracciones de la porción de material en cada capa, para que no se exceda dicho espesor. Una vez retirado el collarín de extensión, si el material





sobresale del molde en nomás de un espesor promedio de 15 mm, se enrasa cuidadosamente el espécimen compactado con la regla metálica, depositando en una charola el material excedente, para determinar su contenido de agua de compactación ( $\omega$  c0), Contenido de Agua y verificar que éste corresponda al del material en el banco a 1,5 m de profundidad ( $\omega$  b), con una aproximación de  $\pm 0,25\%$ .

Se rellenan con material fino las oquedades que pudieran resultar por el enrasado del espécimen compactado; se desprende de la placa de base el molde con el espécimen, se retira el disco espaciador y se determina la masa del molde con el espécimen, que se registra como

$W_{mj+ei}$ , en g.

### EXPANSIÓN (Exp)

Inmediatamente después de obtenida la masa del molde con el espécimen compactado ( $W_{mj+ei}$ ), se coloca un papel filtro sobre una placa de base perforada; se invierte el molde con el espécimen de tal manera que su fondo sea ahora la parte superior; se coloca un papel filtro en contacto con el espécimen, y se ensambla el molde a la placa de base perforada por medio de las abrazaderas.

Se colocan, sobre el espécimen compactado, una placa de expansión con su vástago ajustable y las placas de carga que sean necesarias para producir una sobrecarga equivalente a la de las capas que se construirán sobre la capa del material en estudio, de acuerdo con lo que indique el proyecto o apruebe la Secretaría, pero nunca menor de  $44,5 \pm 0,2$  N ( $4,54 \pm 0,02$  kg). Si no se especifican las capas sobreyacentes, la sobrecarga será de  $44,5 \pm 0,2$  N ( $4,54 \pm 0,02$  kg).

Se introduce cuidadosamente el molde en el tanque de saturación, de manera que se permita el libre flujo de agua tanto en la parte inferior como en la superior del espécimen; se coloca el trípode del dispositivo de medición de expansión sobre el molde, con su extensómetro arriba del vástago de la placa de expansión, el que se ajusta hasta hacer contacto con el vástago del extensómetro y se efectúa una lectura inicial para la determinación de la expansión (Exp), que se registra como  $h_0$ , en mm, con una aproximación de 0,01 mm y se deja saturar durante 96 h, manteniendo el nivel de agua del tanque aproximadamente a 25 mm sobre la parte superior del molde. Para materiales granulares que presenten un drenaje rápido, el período de saturación podrá ser más corto, pero no menor de 24 h, con la condición de que se demuestre que esto no afecta los resultados de la expansión (Exp). De igual manera, en materiales arcillosos de alta compresibilidad, podrá requerirse un período de saturación mayor de 96 h, en cuyo caso se suspenderá la saturación cuando el extensómetro no muestre movimiento alguno durante 24 h.

Al terminar el período de saturación se efectúa la lectura final en el extensómetro, que se registra como  $h_f$ , en mm, con una aproximación de 0,01 mm.

Se retira del tanque de saturación el molde con el espécimen, cuidadosamente se elimina el agua de la parte superior del molde de manera que no se altere la superficie del espécimen y se deja drenar durante 15 min. Después de éste período de drenaje se remueven las placas de carga y las placas perforadas, así como las hojas de papel filtro, y se determina la masa del molde con el espécimen, que se registra como  $W_{mj+ef}$ , en g.

### EQUIVALENTE EN ARENA<sup>xxvi</sup>

Este método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

Procedimiento:

a) Preparación de la muestra

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS



Ilustración 43 Prueba equivalente en arena



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



- De la muestra total se toma por cuarteo la porción necesaria para obtener aproximadamente 500 gr. de material que pasa por la malla No. 4.75.
- Se hace pasar el material así obtenido tomando las precauciones necesarias para evitar la pérdida de finos, pudiendo requerirse para esto último humedecerlo ligeramente. Si la fracción retenida en la malla No. 4.75, contiene partículas con fino adherido, se frota vigorosamente con las manos cubiertas con guantes y el polvo resultante se agrega al material que inicialmente paso la malla No. 4.75.
- Se homogeniza perfectamente la mezcla con las manos enguantadas, se llena una cápsula, se golpea está en su base contra la mesa de trabajo con el fin de acomodar las partículas y finalmente se enrasa.
- El efectuar esta prueba con muestras humedecidas implica un ahorro considerable de tiempo, pero generalmente se obtienen valores del equivalente de arena inferiores a los que resultan empleando muestras secas; por lo tanto cuando el valor del equivalente de arena del material este por debajo o muy cerca del mínimo especificado, se remitirá la prueba por triplicado, empleando muestras secadas al horno hasta peso constante a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , en cuyo caso el peso del material que deberá emplearse en cada cápsula llena será el mismo.

b) Pasos a seguir:

- Se coloca la botella con la solución de trabajo en una repisa que estará a una altura de  $905 \pm 25$  mm, sobre el nivel de la mesa de trabajo.
- Se instala el sifón en la botella, el cual se llena soplando por el tubo corto y manteniéndolo abierta la pinza de que está provisto el tubo largo.
- Se vierte en la probeta, utilizando el sifón, solución de trabajo hasta una altura de  $101.5 \pm 2.5$  mm.
- Se coloca en la probeta la muestra previamente preparada, usando el embudo para evitar pérdidas de material. Se golpea firmemente varias veces la base de la probeta contra la palma de la mano, para remover las burbujas de aire que hubieran quedado atrapadas y facilitar el humedecimiento del material.
- Se deja reposar la muestra durante  $10 \pm 1$  minutos, procurando no mover la probeta. A continuación se coloca el tapón de hule en la probeta y se afloja el material del fondo de esta inclinándola y agitándola simultáneamente.
- Se agita la probeta en la forma que se indica a continuación: Mediante agitación manual, para lo cual deberá sostenerse la probeta por sus extremos y agitarla vigorosamente con un movimiento lineal horizontal, hasta completar 30 ciclos en 30 seg. con una carrera aproximada de 20 cm, entendiéndose por ciclo un movimiento de oscilación completo. Para agitar satisfactoriamente la probeta, el operador deberá mover solamente los antebrazos relajando el tronco y en especial los hombros.
- Una vez efectuada la operación de agitado, se destapa la probeta, se coloca sobre la mesa de trabajo, se introduce en ella el tubo irrigador y se acciona de manera que al bajar, se vayan lavando las paredes de la probeta; se lleva el tubo hasta el fondo de la misma. Efectuando ligeramente sobre él un ligero picado al material, acompañado de movimientos rotatorios alternativos del tubo alrededor de su eje y trasladándolo por el contorno interior de la probeta. Esta acción tiene por objeto separar el material fino de las partículas gruesas con el fin de dejarlo en suspensión.
- Cuando al nivel del líquido llegue a 15 pulgadas se saca lentamente el irrigador de la probeta sin cortar el flujo de la solución, de manera que el líquido se mantenga aproximadamente al mismo nivel. Se regula el flujo un poco antes de que el tubo este afuera y se ajusta el nivel al final en la probeta a 15 pulgadas.
- Se deja la probeta en reposo durante 20 minutos  $\pm 15$  seg., contados a partir del momento en que se haya extraído el tubo irrigador.
- Transcurrido el periodo de reposo se lee en la escala de la probeta el nivel superior de los finos en suspensión, el cual se denominara "lectura de arcilla" o altura total.
- Después de hacer la lectura de arcilla, se introduce lentamente el pisón en la probeta, hasta que por su propio peso el pisón descanse en la fracción gruesa, teniendo cuidado de no perturbar los finos en suspensión. Mientras desciende el pisón, se conserva uno de los vértices ochavados en su pie en contacto con la pared de la probeta, en las proximidades de la escala de graduación. Cuando el pisón se detenga al apoyarse en la fracción gruesa, se hace la lectura del nivel superior del indicador, y se registra como "lectura de arena".
- Cuando el nivel de la fracción fina o de la gruesa queden entre dos divisiones de la escala de graduación, deberá registrarse las lecturas correspondientes a la división superior.
- Se calcula el equivalente de arena con la siguiente fórmula:  $100 \dots = \times \text{Lectura de arcilla} \text{ Lectura de arena EA}$  Esta prueba se realiza por duplicado y en cada caso al valor de equivalente de arena se aproxima al entero superior. Si los dos valores obtenidos no discrepan significativamente, se reportara el promedio aritmético como el valor de equivalente de arena; en caso contrario se repetirá la prueba y se promediaran únicamente los resultados congruentes de todas las determinaciones.

$$EA = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} * 100$$

Esta prueba se realiza por duplicado y en cada caso al valor de equivalente de arena se aproxima al entero superior. Si los dos valores obtenidos no discrepan significativamente, se reportara el promedio aritmético como el valor de equivalente de arena; en caso contrario se repetirá la prueba y se promediaran únicamente los resultados congruentes de todas las determinaciones.

### Pruebas de diseño

#### VALOR RELATIVO DE SOPORTE MODIFICADO (V.R.S. mod.)<sup>xxvii</sup>

Esta prueba se lleva a cabo en materiales de terracerías, principalmente en la capa subrasante y se lleva a cabo en especímenes con diferentes grados de compactación y en condiciones de humedad estimadas como más desfavorables que se considere pueden alcanzar dichos suelos durante la operación de la obra.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



Esta prueba tiene 3 variantes, según las cuales los especímenes correspondientes se elaboran ya sea con material que contenga la humedad óptima, con humedad igual o superior a la óptima, o con la humedad natural.

La variante que se describe a continuación es la variante 1, la cual se aplica al estudio de terracerías con drenaje adecuado, construidas en lugares de precipitación baja a media, que son las condiciones que imperan en el Estado de Chihuahua.

**Procedimiento:**

1. A la muestra del material por estudiar, se le determina el peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x.}$ ) y la humedad óptima ( $w_{\acute{o}pt.}$ ), de acuerdo al tipo de material y el procedimiento de prueba que le corresponda.
2. Se determina el contenido de agua al suelo en estudio.
3. Se pesa una muestra de suelo de 5.5 Kg. la cual se anota como ( $W_m$ ), en grs. y se le agrega la cantidad de agua necesaria para que alcance su humedad óptima de compactación, la cual se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$A = W_m \frac{W_2 - W_1}{100 + W_1}$$

Donde:

- $A$  = Volumen de agua por agregar, en  $cm^3$
  - $W_m$  = Peso de la muestra con la humedad inicial, en gramos.
  - $W_2$  = Humedad óptima, en porcentaje.
  - $W_1$  = Humedad inicial del material, en porcentaje.
4. Inmediatamente después se mezcla convenientemente el material y se pesa la muestra de prueba que se requiere para llenar el molde sin la extensión, determinando dicha cantidad para una compactación de 100 %, con la siguiente fórmula:

$$P_w = \frac{C}{100} * \frac{\gamma_d}{1000} * \frac{100 + W_2}{100} * V$$

Donde:

- $P_w$  = Peso de la muestra de prueba en estado húmedo, en kgs.
  - $C$  = Grado de compactación con el que se va elaborar el espécimen, en porcentaje.
  - $\gamma_d$  = Peso volumétrico seco máximo del material, en  $kg/m^3$ .
  - $W_2$  = Humedad óptima, en porcentaje.
  - $V$  = Volumen del cilindro de prueba sin collarín, en decímetros cúbicos.
5. Se coloca la muestra en 3 capas, dentro del molde con el collarín instalado, acomodando cada capa con 25 golpes de la varilla metálica, procurando que no haya pérdida del material ni de humedad.
  6. Se instala el molde en la máquina de compresión y se compacta la muestra en forma lenta y uniforme, debiéndose retirar la carga momentáneamente, a cada 5 toneladas, para dar tiempo a que el material se acomode; en esta forma se continúa la aplicación de la carga hasta que el espécimen tenga la altura del cilindro sin el collarín y en el momento en que esto ocurre se sostiene la última posición durante un minuto. Si se presente expulsión de agua antes de tener el espécimen la altura del molde, se mantiene la carga que se esté aplicando en ese momento, hasta que disminuye notablemente la salida del agua y cuando esto ocurre, se da un pequeño incremento de carga, repitiendo esta operación no más de 3 veces para que el espécimen tenga la altura fijada, de lo contrario la muestra deberá desecharse.
  7. Se retira lentamente la carga al espécimen, se mide con éste el incremento de altura que experimenta y se le aplica nuevamente carga hasta que la cara superior del espécimen baje el doble del incremento citado.
  8. A continuación se colocan las 2 placas de carga, en medio de estas se coloca el cilindro de penetración.
  9. Se coloca el extensómetro que va indicar las penetraciones estandarizadas para esta prueba; estas son:
    - 1.27 mm.
    - 2.54 mm
    - 3.81 mm.

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





- 5.08 mm.
- 7.62 mm.
- 10.16 mm y
- 12.70 mm

10. Se aplica una precarga de 10 kgs. e inmediatamente después, sin retirar la carga, se ajusta el extensómetro en cero, para iniciar la penetración vertical del pistón de penetración.
11. Se aplica carga para que el pistón penetre al espécimen a una velocidad de 1.27 mm/min., anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones descritas anteriormente.
12. Los resultados se llevan a la gráfica (penetraciones contra carga), obteniéndose la llamada curva de valor relativo de soporte y se obtiene finalmente el resultado de este con la siguiente fórmula:

$$V. R. S. = \frac{C_{2.54}}{1360} * 100$$

Donde:

C2.54 = Carga correspondiente a la penetración de 2.54 mm en kgs.

1360 = Equivale a la carga que presentaría un material de buena calidad, para esa penetración, por ejemplo: una caliza triturada.

13. Se repiten en nuevas muestras de material los pasos descritos anteriormente, variando el grado de compactación de los especímenes, a valores de 95%, de 90% y a los demás porcentajes a que se requiera estudiar el material.



Ilustración 44 Equipo para prueba de placa

#### PRUEBA DE PLACA<sup>xxviii</sup>

El ensayo de placa de carga solo es válido cuando se tiene la certeza que el material es homogéneo en profundidad, puesto que la misma solo analiza los primeros 0.60 a 0.90 m del terreno aproximadamente (unas tres veces el diámetro de la placa), no obteniéndose información del terreno existente por debajo.

A partir de ensayo de placa de carga realizado sobre el terreno, con unas dimensiones habituales de placa cuadrada de 30x30cm, o bien circular de diámetros 30, 60 y 76,2 cm. En el estudio geotécnico este módulo viene generalmente representado por una K, mientras que el correspondiente subíndice identifica a la placa con que se realizó el ensayo (K 30, K 60, etc.).

El tamaño de la placa influye en la profundidad afectada, por tanto a menor tamaño de placa menor bulbo de presiones y con ello menor profundidad de los estratos estudiados. En el caso de terrenos rocosos las pruebas realizadas con una placa grande estarán más afectadas por la fisuración que las hechas con placa pequeña.

El ensayo de placa de carga es lento y necesita un camión como contrapeso (hay que tenerlo en cuenta, porque en algunos sitios no cabe), pero es fácil de hacer y proporciona datos reales, sin ensayos posteriores ni correlaciones intermedias, y eso siempre es bueno. Se puede hallar la tensión admisible del terreno a partir del ensayo de placa de carga, pero no directamente.

El asiento elástico de un cimiento circular rígido depende de los parámetros elásticos del terreno (E y v) y de la tensión aplicada. Con la placa de carga se tiene el problema contrario, se conocen la tensión aplicada y el asiento producido, y las incógnitas son E y v. Al tratarse de un ensayo tensión-deformación a escala reducida (menor que la cimentación definitiva) sobre el mismo suelo, proporcionará los parámetros de comportamiento del terreno real, pero con las limitaciones del modelo reducido. A partir de esos parámetros se podrá hallar la tensión admisible, siempre y cuando se tengan en cuenta ciertos condicionantes.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



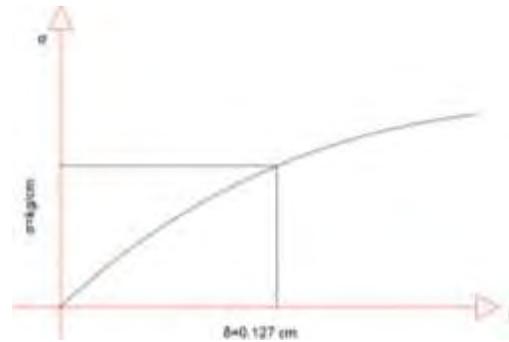
Tipo de suelo o ensayo	Diámetro de la placa (cm.)	Contracarga aproximada (Ton.)
Suelos granulares finos	30	10
Suelos granulares gruesos	75	30
Ensayos con gran precisión	75 ó 60	30 ó 20
Ensayos rápidos menos precisos	40 ó 30	15 ó 20
Determinación del módulo de reacción	75	30

Módulo de reacción del suelo:

El modulo de reacción (K) de un suelo (en estado natural, subrasante, sub-base o base), conocido en algunos lugares como coeficiente de balasto, es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo. Su valor numérico depende de la textura, compactación, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo. Las pruebas han demostrado que el modulo de reacción de los suelos varia con el área cargada y con la cantidad de asentamiento. Por lo anterior, es usual que la determinación de K se haga por medio de una placa circular de 76.2 cm (30") de diámetro bajo una presión tal que produzca una deformación del suelo (incrustamiento de la placa) de 0.127 cm (0.5"), con lo que se tiene.



Ilustración 45 Ensayo prueba de placa



$$K = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformacion}} = \frac{kg}{cm^3} \text{ o } \frac{lb}{pulg^3}$$

Otras veces el modulo de reacción K del suelo se define como el correspondiente a la relación de una presión de 0.7 kg/cm<sup>2</sup> (10 lb/pulg<sup>2</sup>) a su deformación correspondiente en centímetros (o en pulgadas).

$$k = \frac{0.7 \text{ kg/cm}^2}{\delta(\text{cm})} = \frac{Kg}{cm^3} = \frac{10 \text{ lb/pulg}^2}{\delta(\text{pulg})} = \frac{lb}{pulg^3}$$

Para llevar a cabo una prueba de carga de placa, se excava un agujero con un diámetro mínimo de 4B (B=diámetro de la placa de prueba) a una profundidad Df (Df= profundidad de la cimentación propuesta). La placa se coloca en el centro del agujero. La carga se aplica por etapas a la placa, aproximadamente de un cuarto a un quinto de la carga última estimada, por medio de un gato mecánico. Durante cada etapa de la aplicación de la carga, el asentamiento de la placa se observa en micrómetros. Por lo menos se deja pasar una hora entre cada etapa de la aplicación de carga. La prueba debe conducirse hasta la falla, o hasta que la placa presente un asentamiento de 25 mm. Se grafica una curva carga-asentamiento obtenida de tales pruebas, con que se determina la carga ultima por área unitaria Para pruebas en arcilla,





$$Q_u(F) = q_u(P)$$

Donde

- $Q_u(F)$  = capacidad de carga última de la cimentación propuesta.
- $q_u(P)$  = capacidad de carga última de la placa de prueba.

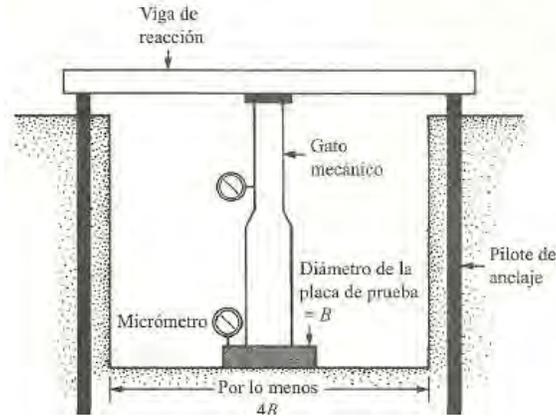


Ilustración 46 Desarrollo de prueba de placa

La ecuación implica que la capacidad de carga última en arcilla es virtualmente independiente del tamaño de la placa. Para pruebas en suelos arenosos,

$$q_u(F) = q_u(P) \frac{BF}{BP}$$

Donde

- BF = ancho de la cimentación
- BP = ancho de la placa de prueba

Algo muy importante con relación al módulo de reacción del suelo cuando este dato vaya a ser empleado para el cálculo de pavimentos de concreto hidráulico es que K tiene más efecto sobre el espesor de las losas para cargas pesadas que para cargas livianas, debido a que a mayor presión se reduce el radio del área circular equivalente al área real dejado por la llanta. Un valor aproximado de K sería, según Braja Das es:

$$K = 1 + \frac{E_s}{\beta(1-\nu^2)}; \text{ En kg/cm}^2, \text{ B en cm y}$$

Es en kg/cm<sup>2</sup> = módulo de elasticidad

### DESGASTE DE LOS ÁNGELES <sup>xxix</sup>

Determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas, carpetas por riegos, riegos de sello, material de balasto, etc.

Este ensaye es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc.

Procedimiento:

1. Se determinan mediante la tabla el número de esferas que forman la carga abrasiva, tomando en cuenta el tipo de la muestra de prueba seleccionado.
2. A continuación se coloca dentro del cilindro de la máquina de los Ángeles la muestra de prueba con peso  $W_i$  determinado y con la carga abrasiva correspondiente; se instala su cubierta y se cierra esta herméticamente.



Ilustración 47 Desgaste de los Ángeles

TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



3. Se hace funcionar la máquina para que gire a una velocidad uniforme de 30 a 33 rev/min, hasta completar 500 revoluciones en el caso de muestras de los tipos A, B, C y D, y de 1000 revoluciones para los de tipo E, F y G.
4. A continuación se saca la muestra del cilindro, se vacía en una charola y se criba por la malla No. 12; se pesa la fracción retenida en dicha malla y se registra su peso como  $W_f$  en grs.
5. El porcentaje de desgaste del agregado pétreo se calcula por medio de:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Donde:

- $D$  = Desgaste del material pétreo, en %.
- $W_f$  = P eso final de la muestra de prueba, en gr.
- $W_i$  = Peso inicial de la muestra de prueba, en gr.

### INTEMPERISMO ACELERADO<sup>xxx</sup>

Esta prueba permite estimar la alteración que pueden sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción del intemperismo.



Ilustración 48 Equipo para Intemperismo acelerado

#### Procedimiento:

1. Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción gruesa se determina su composición granulométrica, utilizando las mallas de 3", 2.5", 2.0", 1.5", 1", ¾", ½", 3/8" y No. 4. Se anotan los retenidos parciales en porcentajes con respecto al peso total de la porción, y se procede como se indica a continuación:
2. Se lava la porción gruesa por la malla No. 4 hasta que el agua al pasar por la malla salga clara; a continuación se vierte en una charola el material lavado y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente.
3. A continuación se obtienen mediante cribado, para cada tamaño nominal, las fracciones de prueba con los pesos de material indicados en la tabla I, anotando estos pesos como  $W_j$  en gramos, con excepción de los retenidos parciales que representan menos del 5 % en peso de la porción gruesa, los cuales se eliminan.
4. Se vacían por separado cada una de las fracciones de prueba en las canastillas como aberturas equivalentes a la malla No. 8.
5. Se agita vigorosamente la solución de Sulfato de sodio o de magnesio para homogeneizarla y enseguida se determina, con el densímetro, su peso específico relativo, el cual debe estar comprendido entre 1.151 y 1.174; se vierten en cada uno de los recipientes de plástico con capacidad de 20 lt, cantidades suficientes de la solución para que al introducir las canastillas con material pétreo, este quede cubierto con un tirante mínimo de 2 cm. También se pueden utilizar charolas de aluminio, para saturar el material.
6. Se sumergen en su respectivo recipiente de plástico con solución cada una de las canastillas que contienen las diferentes fracciones de prueba del material, y se mantienen durante estas condiciones durante 16 a 18 hrs. a una temperatura de 21, permaneciendo tapados los recipientes para reducir la evaporación y evitar la introducción de partículas extrañas.  $\pm 1^\circ\text{C}$
7. A continuación se extraen de la solución las canastillas conteniendo las fracciones de prueba que se dejan escurrir durante  $15 \pm 5$  minutos, se introducen en el horno y se secan hasta peso constante a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , terminada esta se sacan del horno en sus respectivas canastillas y se dejan enfriar a la temperatura ambiente, con lo cual concluye el primer ciclo de la prueba.
8. Se repiten 4 veces más las operaciones indicadas en los pasos 2 y 3, en todas las muestras contenidas en las canastillas.
9. Terminado este último ciclo se lavan con agua todas las fracciones para eliminarles el sulfato remanente; de la última porción del agua de lavado se toma una muestra en un tubo de ensaye y se agregan 2 gotas de la solución de Cloruro de bario acidulada y si aparece un precipitado blanco lechoso, se continuará lavando la muestra hasta que el precipitado no aparezca.
10. Se colocan en recipientes por separado cada una de las fracciones de prueba contenidas en las casillas y se secan en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , hasta peso constante, después de lo cual se sacan del horno y se dejan enfriar a la temperatura ambiente.
11. Se criba cada una de las fracciones de prueba, por la malla correspondiente de acuerdo con el tamaño nominal; se determina el peso del retenido en cada una de las mallas mencionadas y se anota como  $W_f$  en gramos.
12. Se calcula el % en peso que pierde la porción gruesa en cada tamaño nominal, aplicando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{W(W_i - W_f)}{W_i}$$

Donde:

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



- P = Pérdida de peso que presenta cada tamaño nominal de las porciones en %
- W = Por ciento en peso que la porción, representando el tamaño nominal considerado, ya corregido para tomar en cuenta únicamente las fracciones que representan más del 5% de la porción gruesa
- Wi = Peso inicial de la fracción de prueba, seca, en gramos.
- Wf = Peso final de la fracción de prueba, seca, después del quinto ciclo, en gramos.

### Prueba de Penetración en Asfaltos<sup>xxxii</sup>

Los cementos asfálticos se utilizan principalmente en aplicaciones viales. Son sólidos a temperatura ambiente y se clasifican por su consistencia de acuerdo al grado de penetración o por su viscosidad.

Son recomendados para la construcción de carreteras, autopistas, caminos y demás vías y forman parte de la capa estructural de una vía, brindando propiedades de impermeabilidad, flexibilidad y durabilidad aún en presencia de los diferentes agentes externos tales como el clima, la atura, la temperatura ambiental y condiciones severas de tráfico.

Los Cementos Asfálticos se presentan como una masa negra y brillante, cuya consistencia varía con la temperatura. Proviene de la fracción pesada de la destilación del petróleo crudo. Es también elemento base para la fabricación de asfaltos cortados y emulsiones. El Cemento Asfáltico es un ligante flexible, impermeable y duradero. Mediante la aplicación de calor disminuye su viscosidad, permitiendo mezclarse con agregados pétreos, obteniéndose así una mezcla cuyas excelentes características han permitido un alto desarrollo tecnológico de su utilización en la ingeniería vial.

#### CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

Son Cementos Asfálticos a los cuales se les han incorporado polímeros, con el fin de obtener un producto de propiedades mejoradas (menor susceptibilidad térmica y mayor elasticidad). De este modo se logra producir mezclas de alto desempeño tanto a bajas como a altas temperaturas de servicio.

A temperaturas elevadas el Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros tiene un comportamiento sólido elástico, resiste las deformaciones permanentes y el ahuellamiento. A temperaturas bajas tiene un comportamiento líquido viscoso, mantiene sus características elásticas, evitando el agrietamiento térmico. Estas mezclas presentan una mejorada resistencia a la fatiga y mejor cohesión, lo que permite obtener superficies más durables y resistentes al desgaste.

#### CEMENTOS ASFÁLTICOS MULTIGRADOS

El multigrado es un cemento asfáltico modificado sin polímeros que se caracteriza por tener una relación viscosidad-temperatura mejorada, conservando sus propiedades para un amplio rango de temperaturas de servicio.

Estos productos presentan una muy buena alternativa a los Asfaltos Elastoméricos, dado su economía y comportamiento mejorado para un amplio rango de temperaturas de servicio.

#### PROCEDIMIENTO

- Colocar las cápsulas en un baño de agua a 25° C
- Poner la cápsula debajo de la aguja con el penetrómetro a ceros
- Mantener presionadas las palancas que liberan el peso de la barra y la aguja durante 5 segundos



Ilustración 49 Penetración de asfaltos

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



- Presionar suavemente la barra para tomar la lectura en la carátula del penetrómetro
- Repetir la prueba en 2 ocasiones más (limpiar la aguja con la estopa después de cada prueba).

### AFINIDAD <sup>xxxii</sup>

Determinar si el material pétreo tiene buenas características de afinidad o de adherencia con el asfalto. En esta prueba se determina si el material pétreo que se pretende usar en la construcción de mezclas asfálticas, tiene características hidrofílicas o hidrofóbicas; Si el material es hidrofóbico indicará que tiene más afinidad con el asfalto que con el agua, si el material es hidrofílico, sucederá lo contrario.

- Inmediatamente después de preparados los materiales y tratándose de mezclas asfálticas, se agrega a cada una de las dos muestras, la cantidad de material asfáltico correspondiente al porcentaje de proyecto; en el caso de que no se conozca el porcentaje de proyecto para las mezclas o se trate de materiales pétreos sobre los que se aplicaran tratamientos asfálticos, se agregará a dicha muestras la cantidad de material asfáltico correspondiente al contenido mínimo determinado, mas el 1%. Si los materiales pétreos por ensayar se van a emplear en la construcción de carpetas por el sistema de riegos o para riego de sello, se les agregará a las muestras correspondientes una cantidad de material asfáltico suficiente para lograr con facilidad el cubrimiento de las partículas sin que haya exceso de asfalto.
- A continuación se mezclan con una cuchara de albañil las muestras preparadas, hasta lograr un cubrimiento completo y uniforme de las partículas con asfalto; si después de aproximadamente 10 minutos de mezclado no se logra el cubrimiento, se verifica la temperatura y en su caso, se calienta cada una de las mezclas a 40Co, siempre que se usen asfaltos rebajados o bien, a 120Co cuando se utilicen cementos asfálticos; se continúa el mezclado a dichas temperaturas hasta que se observe que ya no se mejora el cubrimiento obtenido. Las mezclas elaboradas con emulsión así como las de los agregados que contienen la humedad de absorción, no deberán calentarse ni remezclarse.
- Se colocan las mezclas dentro del horno y se dejan en este durante 15 horas aproximadamente, a una temperatura de 60Co cuando se utilicen asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas que contienen solventes, o bien, a 135Co durante 2 horas si se trata de emulsiones prácticamente sin solventes, eliminando en este caso el agua libre mediante decantación. Cuando las mezclas se hayan elaborado con cemento asfáltico no se introducen en el horno y únicamente se dejan enfriar a la temperatura ambiente durante 2 horas.
- Al terminar el proceso de curado de las muestras en el horno, se sacan de él e inmediatamente se remezclan cada una de ellas en su charola respectiva, durante 2 minutos, después de lo cual se dejan enfriar a la temperatura ambiente por un lapso de 2 horas mínimo.
- Se seleccionan de cada una de las mezclas, 2 porciones de 50 g aproximadamente, constituida la primera por material de tamaños comprendidos entre 5 y 10 mm y la segunda por partículas de tamaño inferior a 5 mm.
- Se colocan en los frascos de vidrio cada una de las porciones seleccionadas, se agregan 200 cm<sup>3</sup> del agua destilada o potable a cada frasco y se tapan herméticamente.
- Se sumergen los frascos, con su contenido, en el baño de agua a 25 Co, se dejan en este durante un lapso de 16 a 20 horas y se observa el desprendimiento ocurrido.
- Se sacan los frascos del baño, se instalan en la máquina de agitación y se someten a 4 periodos consecutivos de agitación de 15 minutos cada uno; en caso de que no se disponga de este aparato el agitado se hará manualmente durante 3 periodos de 5 minutos cada uno, efectuándose este proceso con los brazos al frente y flexionados, moviendo los frascos hacia los lados del operador en un espacio de 50 cm., a razón de 60 ciclos por minuto.
- Al concluirse el último periodo de agitación se retiran los frascos del aparato, se destapan y se escurre el agua que contienen; se vacía cada muestras sobre una hoja de papel blanco y se acomodan estas sobre una mesa de trabajo, suficientemente iluminada para observar y estimar con la ayuda de una lupa, el porcentaje de superficie de las partículas en que haya ocurrido el desprendimiento de asfalto.
- Se registra el porcentaje de desprendimiento estimado en cada una de las dos fracciones de cada muestra ensayada y se reporta el mayor valor obtenido, tanto para condiciones húmedas como para condiciones secas. Si el desprendimiento ocurrido es mayor de un 25% se considera que el material no cumple el requisito de afinidad con el asfalto indicado en las especificaciones de la Secretaría.

### DESTILACIÓN DE EMULSIONES ASFÁLTICAS <sup>xxxiii</sup>

Determinar la cantidad de residuo por destilación, el contenido de agua y el contenido de disolventes que existen en las emulsiones asfálticas catiónicas.

Esta prueba consiste esencialmente en efectuar la destilación de una muestra de emulsión asfáltica, hasta la temperatura máxima de 260 grados centígrados, para separar el agua de la emulsión, disolventes y residuo asfáltico.

Procedimiento:

1. Se pesan 200.0 grs. de emulsión en el alambique cilíndrico, previamente tratado, incluyendo su tapa, abrazadera, termómetros y demás accesorios y se registra el peso total de estos elementos más el de la emulsión como W<sub>i</sub>, en grs.

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS



Ilustración 50 destilación de asfaltos





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



2. Se ajusta perfectamente la tapa del alambique utilizando su tornillo de presión y colocando entre esta y el alambique un empaque de papel impregnado con aceite.
3. Se insertan los termómetros introduciéndolos en los respectivos orificios de la tapa, con su correspondiente tapón de corcho ajustado y sujetándolos de tal manera que el bulbo de uno de ellos quede a 6 mm. del fondo del alambique y el bulbo del otro quede a 165 mm. aproximadamente de dicho fondo.
4. Se monta el equipo, conectando el alambique con el refrigerante y se coloca el quemador de gas anular, de manera que diste 15 cm. del fondo del alambique, se enciende el quemador, se ajusta con flama baja y se registra el tiempo en que se inicia la aplicación de calor; también se aplica suficiente calor con el mechero al tubo de conexión, para evitar la condensación de agua en éste. Por otra parte, se vigilará que no se registren cambios bruscos de temperatura en el termómetro superior, lo que indicará que la espuma producida alcanzó la parte superior del alambique y para controlarla será necesario disminuir la aplicación de calor.
5. Cuando la temperatura de la muestra pueda ser leída en el termómetro más bajo, lo que ocurre a 215 grados Centígrados aproximadamente, se baja el quemador anular al nivel del fondo del alambique y se eleva la temperatura a 260 grados Centígrados, manteniendo esta temperatura por 15 minutos.
6. Inmediatamente después se suspende la aplicación de calor, se registra el tiempo total transcurrido desde su primera aplicación, se desconecta el alambique, se pesa con todos los accesorios, se le agrega a este peso 1.5 grs., para compensar la flotación del alambique caliente y se anota este peso como  $W_f$ , en grs. El tiempo total que dure la destilación será de  $60 \pm 15$  minutos. También se leen en la escala de la probeta y se registran, el nivel superior del destilado anotando dicha lectura como  $V_{dw}$ , en  $cm^3$  y el nivel superior del agua en la probeta anotando dicha lectura como  $V_w$ , en  $cm^3$ . Los niveles mencionados se pueden definir al ocurrir la separación del disolvente y el agua, por diferencia de densidades.
7. En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente: El residuo de la destilación expresándolo como un porcentaje en peso con respecto al inicial de la muestra, empleando la fórmula siguiente

Donde

$$R = \frac{200 - (W_i - W_f)}{200} * 100$$

- $R$  = Es el contenido de residuo asfáltico por destilación, en por ciento con respecto al peso de la emulsión.
  - $W_i$  = Al peso del alambique y sus accesorios más el inicial de la muestra, en grs.
  - $W_f$  = Al peso del residuo asfáltico, más el alambique y sus accesorios calientes, más la corrección por temperatura.
8. El contenido de agua obtenida en la destilación con respecto al volumen total de la muestra de emulsión, utilizando la siguiente fórmula:

$$C_w = \frac{V_w \gamma_0 S_e}{200} * 100$$

Donde:

- $C_w$  = Contenido de agua obtenida en la destilación, en por ciento, con respecto al volumen de la destilación.
  - $V_w$  = Al volumen del agua obtenida en la destilación, en  $cm^3$
  - $S_e$  = Al peso específico relativo de la emulsión.
  - $\gamma_0$  = Peso específico del agua, considerado de  $1 \text{ gr/cm}^3$
9. El contenido de disolventes en por ciento, respecto al volumen de la muestra de emulsión, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_d = \frac{(V_{dw} - V_w) S_e \gamma_0}{200} * 100$$

Donde:

- $C_d$  = Contenido de disolvente, en por ciento con respecto al volumen de la emulsión.
- $V_{dw}$  = Al volumen correspondiente al nivel superior del destilado, en  $cm^3$ .
- $V_w$  = Al volumen correspondiente al nivel superior del agua depositada en la probeta, en  $cm^3$ .
- $200$  = Al peso de la muestra de emulsión, en grs.

## VISCOSIDAD xxxiv

En la mecánica de fluidos es de vital importancia el conocimiento de las propiedades de los fluidos a estudiar ya que de ellos depende de manera directa la obtención de datos imprescindibles para el cálculo en un problema como lo es la viscosidad de un aceite o la densidad de una sustancia.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



Esta es una de las razones por la cual es necesario el conocer de donde se obtienen estos datos de gran valor para el estudio de los fluidos ya que estos fueron obtenidos por experimentación ordenada. Por ejemplo para la obtención de la viscosidad de una sustancia se utiliza un instrumento conocido como viscosímetro y uno de ellos es el viscosímetro Saybolt del cual hablaremos más adelante. En este trabajo se trata de definir lo que es el viscosímetro Saybolt y algunas de las propiedades de los fluidos.

**Procedimiento:**

- Se calienta el aceite del viscosímetro a una temperatura de 0.5Co mayor que la temperatura de prueba; debe lograr la temperatura especificada media hora antes del ensaye.
- Se colocaran en un vaso de 150 grs. aproximadamente el producto asfáltico y se calentará en una parrilla hasta un temperatura de 5Co mayor que la temperatura de prueba, agitando durante el calentamiento hasta que la temperatura sea uniforme.
- Se vacía el producto en un tubo de viscosímetro hasta el nivel de derrame, se tapa y se mantiene durante 15 minutos hasta alcanzar una temperatura de prueba
- Se abre el obturador y se empieza a contar el tiempo en segundos que tarda el producto en llenar el matraz de 60 cm<sup>3</sup> pasando a través del tubo Furol. Este tiempo expresará la viscosidad del producto a la temperatura de prueba.



Ilustración 51 Viscosímetro Saybolt

**Penetración**

Determinar el grado de dureza del residuo de la destilación de los asfaltos a la dureza del cemento asfáltico original.

**Procedimiento:**

- El residuo de la destilación se vacía en una cápsula hasta llenarla procurando que no quede aire atrapado. Si el asfalto que se va a ensayar es un cemento asfáltico, este se calienta hasta que pueda ser vaciado en la cápsula.
- Se deja enfriar el espécimen hasta que adquiera la temperatura ambiente y luego se coloca en un baño de agua a una temperatura de 25Co manteniéndolo así el tiempo necesario para que el producto asfáltico adquiera dicha temperatura
- Se coloca el espécimen bajo el aparato de penetración, se pone la aguja en contacto con la superficie del asfalto y se ajusta la carátula a cero.
- Se deja caer libremente la aguja durante 5 seg. al cabo de los cuales se medirá en la carátula la distancia penetrada.
- Se hacen unas 4 penetraciones, teniendo cuidado de limpiar bien la aguja después de cada ensaye y se toma el promedio de dichas penetraciones como el valor correcto. Si una de las lecturas discrepa mucho se desecha para el cálculo del promedio.
- La penetración se expresa en décimos de milímetros que se denominan grados de penetración

Características	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
<b>Del cemento asfáltico original:</b>				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P <sup>[1]</sup> )	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm <sup>2</sup> /s, mínimo (1 mm <sup>2</sup> /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-1</sup> mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
<b>Del residuo de la prueba de la película delgada:</b>				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0,5	0,5	0,5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P <sup>[1]</sup> ), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises





#### PUNTO DE ENCENDIDO O DE IGNICIÓN <sup>xxxv</sup>

Determinar la temperatura mínima a la cual se producen flamas instantáneas al someter al cemento asfáltico a un calentamiento gradual.

Representa la temperatura crítica arriba de la cual deberá tomarse precauciones para eliminar los peligros de incendio durante el calentamiento y manipulación del mismo.

#### Procedimiento:

- Se llena la copa abierta de Cleveland hasta la marca interior con el producto asfáltico, previamente calentado hasta hacerlo fluido, para poderlo vaciar.
- Con una llama o con la placa de calor especial para esta prueba, se calentará la parte inferior de la copa en tal forma que la temperatura del asfalto suba en una relación aproximada de 1.5Co por minuto.
- Se agita el asfalto con un termómetro a intervalos durante la prueba para uniformar la temperatura.
- A intervalos de cada grado centígrado se pasará una pequeña flama de aproximadamente 4 mm. de diámetro, de forma horizontal por los bordes de la copa y se observa si se producen unas pequeñas chispas. Se anota la temperatura que marca el termómetro cuando esto ocurra, que será el punto de ignición del producto que se ensaya.



#### PUNTO DE REBLANDECIMIENTO O DE FUSIÓN <sup>xxxvi</sup>

Determinar la temperatura a la cual fluye un asfalto hasta cierto grado. Esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos.

El punto de reblandecimiento es la temperatura en la cual el asfalto cambia repentinamente de sólido a líquido; esto para ayudar a que el asfalto fluya más fácilmente.

#### Procedimiento:

- Sobre una placa de bronce que haya sido previamente amalgamada, se colocan los anillos, en posición invertida y se llenarán con asfalto, el cual haya sido previamente calentado y se dejará enfriar durante 1 hora.
- Se quita el exceso de asfalto con una espátula caliente.
- Se pueden presentar los siguientes casos:
  - ✓ Si se trata de asfaltos cuyo punto de fusión es menor de 80 Co, se vaciará en el vaso hasta una altura de 8.25 cm, agua destilada a 5 Co. Se introducen las esferas de 3/8" y los anillos con sus respectivas guías, en el agua dejándola descansar en el fondo del vaso y se suspenderá el termómetro de manera que el bulbo queda a la misma altura que la cara inferior del anillo y a una separación de 6.35 mm. se mantendrá la temperatura del agua a 5 Co durante 15 min. y con unas pinzas adecuadas se tomarán las esferas y se colocaran cuidadosamente en el centro de las guías. Ya colocadas las esferas se elevará la temperatura del agua en una relación de 5 Co por minuto. La temperatura que marque el termómetro en el instante en que el asfalto toque la ménsula, se reportará como Punto de Fusión o de Reblandecimiento del asfalto.
  - ✓ Si se trata de asfaltos con punto de fusión mayor de 80 Co se sigue el mismo procedimiento anterior solo que se utilizara glicerina químicamente pura en lugar de agua y la temperatura inicial será de 32 Co. La flama se colocará a la mitad de la distancia comprendida entre el centro del vaso y al pared más distante de los anillos.

#### DUCTILIDAD <sup>xxxvii</sup>

Determinar si el cemento asfáltico o el residuo de la destilación tienen la ductilidad que marcan las especificaciones

Es la distancia a que puede estirarse, sin romperse, una muestra patrón de asfalto a la temperatura de 25°C, una ductilidad alta es deseable en caminos para que no se agriete la carpeta al presentarse algún desplazamiento.





**Procedimiento:**

- Se amalgamarán dos piezas laterales removibles del molde de latón para formar la briqueta de prueba y la placa de cobre para evitar que se adhiera el asfalto.
- Se aplicará una capa crema y encima otra de Estearato de zinc.
- Se colocará el molde encima de la placa en posición horizontal y se vaciará el asfalto que será previamente fundido a la temperatura más baja posible, hasta alcanzar un nivel ligeramente mayor que el de enrase
- Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 40 min.
- Se quitarán las piezas laterales y la placa de cobre e inmediatamente después, se sumerge la briqueta en el aparato de prueba, debiendo quedar el nivel de agua a no menos de 2.5 cm de la cara superior de la briqueta.
- Se pone en marcha el aparato y se mide la distancia a que se ha desalojado la mordaza hasta que se rompa la briqueta. Esta distancia en centímetros expresa la ductilidad del asfalto.



Ilustración 53 Prueba de ductilidad

**PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO Y PENETRACIÓN RETENIDA.** <sup>xxxviii</sup>

Determinar la pérdida en porcentaje que sufre un cemento asfáltico, al someterlo a calentamiento a temperatura de 163 grados centígrados, por un período de 5 hrs. Con ese asfalto sometido a lo antes descrito se determina la una prueba de penetración, para obtener la penetración retenida.

**Procedimiento:**

- Se someten 2 charolas con 50 cm<sup>3</sup> de cemento asfáltico a un calentamiento de 5 hrs. a una temperatura de 163 Co, por un período de 5 hrs.
- Se prepara una muestra de cemento asfáltico en una cápsula para la prueba de penetración.
- Finalizando el calentamiento, se saca la cápsula del horno, y una vez enfriada se pasa nuevamente para calcular las pérdidas debidas a la volatilización, se calcula de la siguiente forma y se reporta como porcentaje del peso original de la muestra:

$$W_c = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

Donde:

- Wc = Pérdida por calentamiento del cemento asfáltico, en porcentaje.
- Wi = Peso inicial de la muestra, en gramos.
- Wf = Peso final de la muestra, en gramos.
- De las charolas con asfalto que se sometieron a calentamiento, se enfrían y se someten a calentamiento nuevamente a la temperatura de 163 grados centígrados, por 15 minutos.
- A continuación se sacan las charolas del horno, se vierte el contenido de ambas con ayuda de una espátula, en una cápsula de aluminio para la prueba de penetración. Si el asfalto pierde fluidez podrá calentarse en una placa de calor.
- Se determina la penetración de residuo así obtenido y la de la muestra original que se preparó en el paso No. 2.
- La penetración retenida, expresada en porcentaje de la penetración original, mediante la siguiente fórmula

$$P_r = \frac{P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

- Pr = Penetración retenida por la muestra de cemento asfáltico, en porcentaje.
- Pf = Penetración de la muestra después de haber sido sometida al proceso de calentamiento, en décimos de mm.
- Pi = Penetración de la muestra original, en décimos de mm.

**PRUEBA MARSHALL** <sup>xxxix</sup>

Diseñar una mezcla asfáltica, obteniendo como resultado una granulometría idónea y el contenido óptimo de asfalto.

**Procedimiento:**

- Previamente a la preparación de las mezclas se determina el peso específico relativo aparente por inmersión en cemento asfáltico, del material pétreo seleccionado, así como, del cemento asfáltico.

**TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS**





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



- La preparación de las mezclas de prueba para fines de diseño, se lleva a cabo con la cantidad necesaria de material pétreo para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm; 1,100 gr. de material pétreo generalmente pueden resultar adecuados. Las proporciones de cemento asfáltico que se deben utilizar para elaborar estas mezclas se definen con base al contenido óptimo aproximado.
- Las mezclas se preparan por triplicado cada una para elaborar el espécimen, con los siguientes contenidos de cemento asfáltico:

Contenido óptimo aproximado, -1.0%  
Contenido óptimo aproximado, -0.5%  
Contenido óptimo aproximado, +0.5%  
Contenido óptimo aproximado, +1.0%  
Contenido óptimo aproximado, +1.5%  
Contenido óptimo aproximado, +2.0%

- Al terminar la operación de mezclado se tendrá en la mezcla la temperatura de compactación, pudiendo, para lograrlo aplicar calor mediante el mezclado, y además, en el caso de rebajados, se tendrá una relación solvente de cemento asfáltico (K) de cero punto cero ocho (0.08) para rebajados de fraguado rápido y de cero punto doce (0.12) para rebajados de fraguado medio. Cuando se trate de mezclas elaboradas con emulsiones, se mezclarán lo suficiente para homogeneizarlas, verificando frecuentemente el peso de la mezcla, a fin de lograr que por decantación y evaporación sucesiva se elimine el ochenta por ciento (80%), aproximadamente, del agua y solventes que originalmente tenía la emulsión agregada. La humedad que conserve la mezcla será cercana a la óptima de compactación y se precisará elaborando la respectiva curva peso volumétrico de la mezcla – humedad.
- Se limpian la placa de compactación del pisón y los moldes de compactación y junto con el collarín, la espátula y placa de base respectivos, se calientan a 90 Co utilizando para ello un recipiente con agua calentada a dicha temperatura.
- Se prepara una de las mezclas de prueba de uno de los contenidos de asfalto seleccionados y estando a la temperatura de compactación indicada, se saca del baño o recipiente con agua a 90 Co, un molde con su collarín y base, se secan rápidamente y se arma sobre una mesa, poniendo en el fondo una de las hojas de papel filtro circular. Se vacía dentro del molde la mezcla asfáltica elaborada y se acomoda con la espátula, previamente calentada, introduciéndola 15 veces en la parte cercana al contacto de la mezcla con el molde, y 10 veces en la porción central de la misma, para acomodarla sin que se clasifique. Por último, se acomoda la parte superior del espécimen procurando dejarle la superficie ligeramente ablandada, sobre la cual se coloca otra de las hojas de papel filtro circular.
- A continuación se coloca el molde con su base y collarín montados, conteniendo la mezcla de prueba sobre el pedestal de compactación y se ajusta el dispositivo de este que sostiene el molde; se aplican con la pesa deslizante del pisón de compactación 50 golpes, o bien, 75 golpes, dependiendo de lo que especifique el proyecto para el tipo de tránsito considerado. La altura de caída de la pesa será de 457 mm., debiendo mantenerse el eje del pisón en posición normal a la base del molde.
- Una vez aplicando el número de golpes de compactación establecido se libera el molde de la sujeción y se remueve el collarín, se invierte el molde conteniendo el espécimen y se ajusta sobre la placa de base, se vuelven a colocar el collarín y el dispositivo que sostiene el molde y enseguida se aplica la otra cara del espécimen el mismo número de golpes que en la cara primeramente mencionada.
- Se determina con el calibrador la altura del espécimen dentro del molde, y se anota esta en milímetros en la columna de la hoja del registro, si dicha altura no es de  $63 \pm 3$  mm., la cantidad de mezcla empleada en la elaboración del siguiente espécimen deberá corregirse aplicando la siguiente fórmula:



Ilustración 54 Prueba Marshall

$$P'e = \frac{63P_e}{H_e}$$

Donde:

- ✓  $P'e$  = Peso corregido de la mezcla para elaborar uno de los nuevos especímenes, en gramos.
  - ✓  $P_e$  = Peso del espécimen elaborado, en gramos.
  - ✓  $H_e$  = Altura del espécimen elaborado, en milímetros
- Se separan del molde que contiene el espécimen, la placa de base y su collarín y se deja enfriar dicho espécimen en el molde el tiempo necesario para que al ser sustraído no sufra deformaciones para lo cual se introduce en caso necesario, durante una hora, en un baño de aire o ambiente con aire acondicionado a 25 Co ; a continuación, utilizando el extractor de especímenes, se saca cuidadosamente el espécimen del molde y se le coloca sobre una superficie plana y horizontal en donde permanecerá en reposo a la temperatura ambiente, antes de ser probadas, durante 24 horas aproximadamente contadas a partir de su elaboración.
  - Se moldean sucesivamente cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inicio la prueba siguiendo los pasos descritos y después, en la misma forma, los demás especímenes de cada uno de los contenidos de asfalto considerados en el estudio.
  - Transcurrido el periodo de enfriamiento se determina el peso volumétrico de cada uno de los especímenes de prueba, utilizando el método de la parafina. Los datos obtenidos se anotan en la hoja de registro.
  - A continuación se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de  $60 \pm 1$  Co durante un lapso 30 a 42 minutos, excepto en el caso de mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones, en que los especímenes antes de ser probados se colocan en un ambiente con aire a una temperatura de  $25 \pm 1$  Co permaneciendo en estas condiciones mediante dos horas. La determinación de la estabilidad y flujo se iniciará a los treinta minutos de inmersión, para lo cual se va extrayendo sucesivamente los especímenes del baño, debiendo sacar y probar el último a los cuarenta y dos minutos de haber sido introducido en el baño.

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES



- Se lubrican las guías de los cabezales de prueba, se limpian sus superficies interiores y se mantienen estos a una temperatura de 35+3 Co, en el caso de mezclas con cemento asfáltico y de 25+ 3 Co, en el caso de mezclas con rebajados o emulsiones. Se verifica que el extensómetro del anillo de carga instalado en la máquina de compresión marque cero cuando no se esté aplicando carga.
- Se saca un espécimen del baño de agua o del acondicionador de ambiente y se le elimina la humedad superficial que presente, se coloca sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo; se monta y coloca sobre el espécimen el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión, en donde se coloca y se centra. Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir el flujo, se ajusta a cero su carátula y durante la aplicación de la carga se sujeta por el casquillo, oprimiéndolo contra el cabezal.
- Se aplica carga al espécimen a una velocidad de deformación constante, de 50.8 mm por minuto, hasta que se presenta la carga máxima o sea la necesaria para producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba; dicha carga es el valor de estabilidad Marshall y se anota en kilogramos en la columna de la hoja de registro. Como antes se indicó, mientras la carga se está aplicando se sostiene firmemente el extensómetro medidor de flujo sobre la varilla guía y al presentarse la carga máxima se toma la lectura correspondiente y se registra con aproximación de 0.1 mm. La deformación del espécimen en milímetros es el valor del flujo, el cual se anota en la columna de la hoja de registro. Todo el procedimiento para efectuar las pruebas de estabilidad y flujo del espécimen deberá completarse en un periodo de 30 segundos contados a partir del momento en que el espécimen se retire del baño.
- Se determina sucesivamente la estabilidad y flujo de cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inicio la prueba, después de los cuales, aplicando este mismo procedimiento, se determinan los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.
- Se verifica en forma sucesiva en cada espécimen del estudio el porcentaje de asfalto que realmente contiene, de no requerirse mucha precisión, se restará 0.3% a cada uno de los contenidos de asfalto considerados al elaborar las mezclas, para corregir dichos contenidos por pérdidas durante el mezclado. Los contenidos de cemento asfáltico así corregidos se anotan en la hoja de registro.
- Se calculan todas las columnas de la hoja de registro, de donde se dibujarán las gráficas que se indican a continuación:

Contenido de asfalto – Peso volumétrico  
Contenido de asfalto - % de vacíos de la mezcla s  
Contenido de asfalto - % de vacíos del material pétreo  
Contenido de asfalto – Estabilidad Contenido de asfalto - Flujo

- De cada gráfica se define cual es el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto para cada una de las características que se graficaron y se promedian dichos contenidos

### PERMEABILIDAD EN CARPETAS ASFÁLTICAS<sup>x1</sup>

Determinar si una carpeta asfáltica cumple con la impermeabilidad requerida por las normas, para que no haya infiltraciones de agua que dañen las capas inferiores.

#### Procedimiento:

- Se seleccionan en la superficie de la carpeta del subtramo por estudiar, zonas que se aprecien con la textura más abierta, que por su acabado o irregularidades de tendido pueden presentar problemas de permeabilidad; en estas zonas se ubican los lugares de prueba, separándolos entre sí a una distancia del orden de 200 m. y procediendo con ellos en forma sucesiva.
- Se fija el aro de lamina en posición horizontal sobre la carpeta, en uno de los sitios escogidos para hacer la prueba, procediendo a tapan la parte exterior de la junta entre la carpeta y el aro con el sellador, cuya consistencia se adecuará para aplicarlo en forma de un cordón de dos centímetros de diámetro, aproximadamente; se presiona el cordón con los dedos para obturar debidamente las oquedades entre el aro y la carpeta.
- Se coloca el cono en el centro de la carpeta delimitada por el aro y en seguida se vierte rápidamente suficiente agua para cubrir dicho cono hasta el vértice; en ese instante se acciona el cronómetro y se agrega más agua, midiéndola con las probetas graduadas, en la cantidad necesaria para compensar la que se filtra a través de la carpeta y mantener constante durante 10 minutos el nivel inicial de prueba indicado por el vértice del cono.
- Al completarse dicho lapso se suspende la adición del agua de compensación y se registra el volumen de la misma, en centímetros cúbicos.
- En esta prueba se calcula y reporta el índice de permeabilidad de la carpeta asfáltica en la ubicación seleccionada para la prueba, aplicando la siguiente fórmula:

$$lp = \frac{vi}{vt} * 100$$

Donde:

- ✓ Ip = Índice de permeabilidad en el lugar de prueba, en por ciento.
- ✓ Vi = Volumen de agua infiltrada en la carpeta durante el tiempo de prueba, en cm3.
- ✓ Vt = Volumen delimitado en el interior del aro, por la altura del cono, cuyo valor es de 1,247 cm3.

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS



Ilustración 55 permeabilidad de carpetas asfálticas





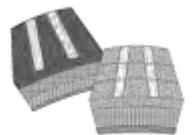
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



# Capitulo 3 Pavimentos Flexible y Rígidos.



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





### Capítulo 3 Pavimentos Flexible y Rígidos.

Pavimentos.<sup>xli</sup>

Se define como pavimento a la construcción que tiene la finalidad de repartir las cargas producidas por las ruedas de los vehículos para así reducir las presiones sobre el terreno hasta que su intensidad sea mínima o tolerable. Entre las dos opciones de pavimento que tenemos están los rígidos y flexibles, ambos tipos de pavimentos presentan comportamientos propios, en el caso de pavimento de concreto presenta mayor capacidad a la compresión.

Existen diferencias entre los pavimentos que se utilizan con este fin y los que se utilizan en las carreteras, en las aeropistas la repetición de cargas no es un factor tan importante, ya que las cargas se distribuyen de mejor manera, sin embargo existen algunos puntos donde las cargas y su efecto es considerado peligroso, todo es porque en los lugares donde las velocidades son pequeñas o las cargas con estáticas son las más desgaste generan.

La evolución de los aviones ha llevado consigo una serie de problemas para los pavimentos de los aeropuertos, se debe resistir altas temperaturas, al chorro de los reactores, vertido de combustibles y aceites, dicha razón nos lleva a un cambios de diseños en diferentes osas, por ejemplo se han creado zonas de calentamiento de los motores las cuales estas construidas con concreto o con ladrillo que son resistentes al calor.

#### Pavimento flexible:



Ilustración 56 Pavimento asfáltico

Son estructuras de pavimento que están compuestas de una carpeta asfáltica (mezcla de material pétreo y algún producto asfáltico), la cual se encuentra en contacto directo con los vehículos y con la intemperie, la base que es un material seleccionado que se coloca debajo de la carpeta y que por sus características de resistencia que debe tener se le proporciona un tratamiento previo (disgregado, triturado, cuarteo, mezcla, estabilización) es una de las capas que absorbe gran parte de los esfuerzos provocados

por el tránsito, en algunas ocasiones y con la finalidad de reducir costos se coloca una capa de subbase, la cual también es de un material seleccionado y regularmente con un tratamiento previo, pero con características de calidad menores que una base y por consecuencia de menor precio.

#### La capa subrasante

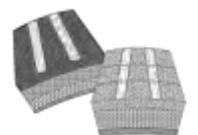
Subrasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento, es la última capa de las terracerías; la función de la subrasante es evitar que el terraplén contamine el pavimento y penetre en las capas inferiores, se considera la cimentación de la pista y cuando en ella tenemos material de buena calidad el espesor de la capas superiores disminuye, por ende el costo de la obra ya que los materiales que se utilizan en capas superiores son los más costosos. Puede estar construida con material del corte siendo terreno natural, material de banco o con tratamiento de estabilizado, en cualquiera de los casos siendo debidamente compactado.



Ilustración 57 Elaboración de subrasante

Las funciones de la subrasante:

- Recibir y soportar los esfuerzos que son producidos a través de las capas del pavimento.
- Distribuir y transmitir los esfuerzos generados por el tránsito al terraplén.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



- Evitar que la terracería absorba al pavimento, cuando están construidas con rocas.
- Cuando el terraplén este construido con materiales finos plásticos, tiene que evitar que estos contaminen al pavimento.
- Debe evitar que las imperfecciones en los cortes se proyecten en la superficie de rodamiento
- Uniforma los espesores de pavimento, especialmente cuando se tiene mucha variación en los materiales de la terracería.
- Economiza los espesores del pavimento principalmente en el caso de que los materiales de las terracerías requieren que el espesor sea grande.

Para cada tipo de tren de aterrizaje la FAA pone a nuestra disposición en la AC 150/5320- 6E una tabla la cual nos habla sobre los controles de compactación para cada tipo de tren y peso de aeronave.

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

**Construcción de la subrasante.**

Esta capa generalmente se construye mediante dos capas con un espesor de mínimo 15 cm. Cuando los materiales que se encuentran cerca de la obra no cumplan con las especificaciones, se tendrán que estabilizar adecuadamente a través de un método mecánico o químico, en otras ocasiones para construir la terracería será necesario formar una caja para desalojar el material y colocar uno que si cumpla con las especificaciones; generalmente este procedimiento se utiliza para construir la subrasante.

**Bases y subbases.**

**Subbases**

La principal función de la capa subbase en un pavimento flexible es la de disminuir el costo del pavimento aunque también evita la penetración del pavimento en la subrasante, está conformada de materiales seleccionados, que se colocan normalmente sobre la sub rasante, a menos de que la subrasante tenga un valor de CBR de 20 o mayor, por lo general son suelos GW y GP formando. En los pavimentos de tipo rígido las subbases desempeñan una función complementaria cuando la subrasante es deficiente y se considera que tiene poco valor estructural.

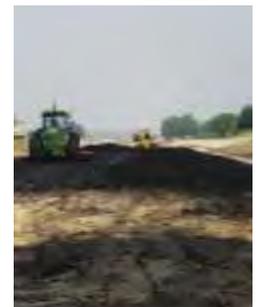


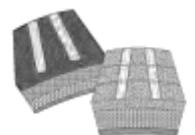
Ilustración 58 elaboración Base

El uso de subbases en pavimento rígidos es en los siguientes casos:

- Cuando el tránsito sea muy intenso.
- Cuando el material de la subrasante es fino y plástico.

La función de las subbases en los pavimentos rígidos es la siguiente:

- Prevenir en la subrasante la falla por bombeo
- Evita que la subrasante este desprotegida en heladas
- Para contrarrestar la expansión y la contracción de la subrasante
- Para aumentar la capacidad de carga de la subrasante





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



• Como elemento auxiliar en la construcción.

El valor de CBR de la capa subbase, es un requisito además de ser una variable importante en el diseño de los espesores de las capas de pavimentos.

#### Calidad de la subbase.

La FAA establece especificaciones de calidad para los componentes y gradaciones de los materiales que se pueden utilizar en la subbase aunque estos materiales no son tan estrictos como en las bases:

- Ítem P-154 – Subbase Granular
- Ítem P-210 – Subbase en Caliche e
- Ítem P-212 – Subbase en Shell
- Ítem P-213 – Subbase de arena arcillosa<sup>1</sup>
- Ítem P-301 – Subbase en suelo cementado<sup>1</sup>

El uso del elemento P-213 y P-301 no se recomiendan cuando se prevé que exista penetración de las heladas en el cuerpo de la subbase

#### Tratamiento para materiales de la subbase:

- Materiales naturales: son gravas, arenas, limos, así como rocas alteradas que se disgregan con la maquinaria para que cumplan con lo establecido en las Normas.
- Materiales que requieren ser cribados (pasarlos por un tamiz): son mezclas de grava, arenas y limos, que al extraerlos contienen del 5% al 25% de partículas mayores de 3", se requiere cribarlos por una malla de abertura de 75mm, para hacerlos útiles.
- Materiales totalmente triturados: son aquellos que requieren de trituración total y cribado, para satisfacer principalmente la granulometría.
- Materiales mezclados: Es cuando se mezclan dos o más materiales, en la proporción necesaria para cumplir con la normatividad.

#### Bases

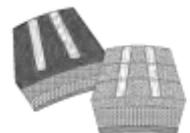
La capa base es el componente estructural principal del pavimento flexible, ya que su función es soportar y distribuir las cargas que produce el tránsito y transmitir las con menor intensidad a la siguiente capa. Esta capa debe ser de tal calidad y espesor que evite que la capa subbase llegue a fallar, se componen de materiales selectos para que sean duras y duraderas.

Los tres tipos de bases que se consideran actualmente son las siguientes:

- Base granular. Compuesta por grava triturada con una mezcla natural de agregado y suelo. La estabilidad depende directamente de la cohesión y fricción interna de los materiales, para que la fricción interna sea buena los agregados deben tener buena graduación, forma irregular y limos y finos en bajas cantidades.
- Base estabilizada. Son capas formadas por materiales con cemento Portland, cal o cemento asfáltico. La estabilidad en estas bases está en función de la resistencia que la liga del suelo y cemento, cal o asfalto proporcionan.
- Base hidráulicas: son aquellas formadas por materiales y compactadas con agua.

Las bases tratadas, como su nombre lo indica son materiales que no cumplieron con las características de calidad establecidos de una base hidráulica o que por razones estructurales requieren la incorporación de algún producto, que modifique alguna de sus características físicas, regularmente se vuelven más rígidos y resistentes mejorando su comportamiento mecánico e hidráulico y se puede tener los siguientes de acuerdo al tratamiento a efectuar.

- Materiales modificados con cal.
- Materiales modificados con cemento.
- Estabilizados con cemento.
- Estabilizados con asfalto.
- Base de mezcla asfáltica (base negra).
- Base hidráulica magra.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



**Calidad y material más utilizado en base granulares.**

- Ítem P-208 Base granular
- Ítem P-209 Base de agregado triturado
- Ítem P-211 Base en roca limosa
- Ítem P-304 Base tratada con cemento
- Ítem P-306 Subbase en de concreto pobre
- Ítem P-401 Base de mezcla en planta

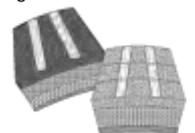
**Espesores mínimos de base de agregados triturados según la FAA**

Gear Type	Design Load Range		Minimum Base Course (P-209) Thickness	
	lbs	(kg)	in.	(mm)
S	30,000 – 50,000	(13 600 – 22 700)	4	(100)
	50,000 – 75,000	(22 700 – 34 000)	6	(150)
D	50,000 – 100,000	(22 700 – 45 400)	6	(150)
	100,000 – 200,000*	(45 400 – 90 700)	8	(200)
2D	100,000 – 250,000*	(45 400 – 113 400)	6	(150)
	250,000 – 400,000*	(113 400 – 181 000)	8	(200)
2D (B757, B767)	200,000 – 400,000*	(90 700 – 181 000)	6	(150)
2D or 2D/D1 (DC10, L1011)	400,000 – 600,000*	(181 000 – 272 000)	8	(150)
2D/2D2 (B747)	400,000 – 600,000*	(181 000 – 272 000)	6	(150)
	600,000 – 850,000*	(272 000 – 385 600)	8	(200)
2D/D1 or 2D/2D1(A340)	568,000 – 840,400	(257 640 – 381 200)	10	(250)
2S (C130)	75,000 – 125,000	(34 000 – 56 700)	4	(100)
	125,000 – 175,000*	(56 700 – 79 400)	6	(150)
3D (B777)	537,000 – 777,000*	(243 500 – 352 440)	10	(250)
3D (A380)	1,239,000 – 1,305,125*	(562 000 – 592 000)	9	(230)

**Procedimiento de construcción de bases y subbases.**

El procedimiento de construcción de bases y subbases es el siguiente.

- Inspección del lugar, con el objetivo de localizar bancos para la pavimentación. Los materiales que se utilizan en la construcción de las capas base y subbase pueden ser de grava arena de río o depósito (aglomerados), materiales muy cementados (conglomerados) o roca masiva, la pizarra y lutita no se deben emplear en bases y subbases a no ser que se utilicen en lugares muy áridos.
- Muestreo, cuando ya se han localizado de los bancos se hacen sondeos, el objeto es el de conocer la extensión del banco y las características del material, la profundidad de los sondeos a cielo abierto varía de 2m a 4m, en los materiales que están poco o nada cementados y para los materiales con cementación regular y rocas, las perforaciones se hacen con máquinas rotatorias.
- Extracción y acarreo de material en la extracción se debe considerar que los materiales que están en forma masiva deben ser obtenidos con tamaños accesibles.
- Tratamiento previo, este es el que se hace antes de que el material llegue a la obra, el tratamiento puede ser de trituración o de cribado, casi en todos los casos cuando es necesaria un estabilización, primordialmente química, también se hace como tratamiento previo.
- Acarreo cuando los materiales llegan a la obra se acomodan con una sección constante para medir su volumen, la Motoconformadora es la máquina que se emplea para la formación del cordón.
- Tratamiento en obra este tratamiento se le da a los materiales que lo necesitan, generalmente es estabilización mecánica y en algunas ocasiones química, una vez que ha sido acomodado y medido, en la parte de la corona se forma una capa y sobre ella se coloca en forma acordonada el material que se le va a mezclar, el mezclado se puede hacer con una motoconformadora, después es conveniente que se vuelva acordonar para verificar el volumen ya que la suma de los volúmenes de materiales separados es mayor que estando mezclados.
- Compactación, para la compactación es necesario que los materiales tenga una humedad óptima que casi siempre es inferior a la de campo a la de laboratorio el agua debe ser compensada debido a la evaporación durante los tratamientos debe ser distribuida por una pipa que debe realizar varias pasadas. El material que se está acordonando debe ser abierto parcialmente hacia la corona, entonces la pipa debe hacer el primer riego, posteriormente se abre el material hasta que se coloca sobre el que ya está humedecido, la pipa pasa otra vez y así sucesivamente hasta que tenga el agua necesaria el agua y el material debe ser mezclados de forma homogénea por la motoconformadora.
  - Cuando está extendido el material se debe compactar, hasta que se obtiene el grado señalado en las especificaciones, generalmente este grado 95% del PVS, aunque se llega a pedir el 100%, es recomendable que se le agregue cal o cemento Portland, ya que esto aumenta su resistencia de manera significativa.
  - Para proporcionar una buena sustentación a una carpeta asfáltica delgada, es necesario que la base posea un valor cementado acorde a las especificaciones, cuando el material no tiene esta característica será necesario mezclarle un material con baja plasticidad con caliches, tepetates, en el cual el índice plástico sea inferior al 18% o 6.5% de contracción lineal.
- Riego de impregnación al obtenerse el grado de compactación deseado, la base se deja secar durante algunos días, se retira basura y partículas de material sueltas, entonces se le hace un riego de impregnación, el cual se realiza aplicando asfalto FM-1. Este riego marca la transición entre la base de materiales naturales y la carpeta asfáltica. Cuando la base tiene exceso de finos es probable que el riego no penetre para lograrlo es recomendable cambiar la granulometría.





La estabilización de un suelo sirve para modificarle algunas características y con ello mejorar su comportamiento, esto puede realizarse mediante la adicción de un producto químico, empleando un método físico ó bien de manera mecánica.

No todos los materiales requieren mejoras, los que requieren estabilización son todos aquellos que incumplen con las especificaciones proyectadas o con los requisitos de calidad de las normas, en este caso será necesario mejorar el material de alguno de los siguientes métodos de estabilización:

**Físicos:**

- Consolidación previa (suelos arcillosos).
- Mezclas de suelos (cuando requieren de algún diámetro faltante dentro de su granulometría).
- Geotextil (provocan mayor resistencia, sirven como capas rompedoras de presión).
- Vibro flotación (empleada en pequeñas áreas en materiales arenosos).
- Drenaje y sub drenaje (en suelos saturados drenes de penetración, sobre todo en temporada de lluvias y para evitar agua capilar).



Ilustración 59 estabilización geotextil

**Químicos:**

- Cloruro de calcio o de sodio (evita polvos en las terracerías).
- Empleo de cal (utilizada en material arcilloso disminuye la plasticidad e incrementa la resistencia).
- Cemento Pórtland (en materiales granulares, como la arena aumenta la cementación provocando mayor resistencia y en suelos plásticos les disminuye esta característica).
- Asfalto o emulsión (en materiales triturados aumenta su cohesión).
- Polímeros (en carpetas asfálticas, provoca mayor durabilidad y resistencia).



Ilustración 60 Estabilización cemento

**Mecánicos:**

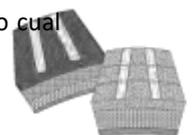
- La compactación es la manera más común de mejorar los suelos y otras capas.
- La trituración de materiales hasta tener tamaños adecuados y el cribado así como la mezcla de suelos, también se pueden considerar de tipo mecánico puesto que se emplea equipo de este tipo para lograr dicho mejoramiento.

Problemas típicos y posibilidades de estabilización de suelos comunes.	
Suelos	Problemas y medios de mejoramiento usuales
Suelos arenosos	Cuando la granulometría es uniforme, puede convenir la mezcla de suelos. Las arenas limpias, pueden mejorar sus características con cemento y asfaltos.
Limos con arcilla	El único tratamiento económico y recomendable es la compactación.
Limos con poca arcilla	No existen tratamientos económicos, cuando la superficie está expuesta, se recomienda agregar cloruro de calcio o de sodio.
Arcillas agrietadas	Que respondan al tratamiento con cal.

**Mejoramientos con cemento portland**

En este caso se tienen dos tipos de estabilización de los suelos; una que se conoce como estabilización de tipo flexible (suelo mejorado) y la otra de tipo rígido (suelo- cemento). En el primer caso se mejora el suelo empleando únicamente la cantidad necesaria de cemento para neutralizar la plasticidad de las arcillas se incrementa un poco la resistencia y con esto el C.B.R. la proporción empleada varía del 2% al 4 % de cemento con respecto del peso del suelo seco por mejorar.

En las de tipo rígido se corrige lo anterior, pero provoca una mayor resistencia del material, siendo la cantidad de cemento por adicionar de un 6 a un 14 % llegando en algunos casos al 20% dependiendo cual





sea el objetivo de la estabilización. Se recomienda que las bases y las carpetas presenten un módulo de elasticidad semejante, por esta razón se mejoran, evitando con esto que las carpetas se agrieten prematuramente por los esfuerzos que tienen que soportar.

#### Estabilización con productos asfálticos.



Ilustración 61 estabilización producto asfáltico

El material asfáltico que se emplea para mejorar un suelo puede ser el cemento asfáltico o bien las emulsiones asfálticas. La estabilización con emulsiones asfálticas son las más usadas ya que este tipo de productos resultan más adaptables y no se necesitan altas temperaturas para hacerlo manejable. Cuando se les agrega cloro son conocidas como emulsiones catiónicas que presentan una carga positiva, presentan una mejor resistencia a la humedad y las más empleadas para estabilizar.

Se tienen emulsiones de rompimiento lento, medio y rápido, de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que presentan. Este tipo de aglutinantes puede usarse casi con cualquier tipo de material aunque por economía se recomienda se emplee en suelos gruesos o en materiales triturados que no presenten un alto índice de plasticidad, puede usarse también con las arcillas pero solo le proporciona impermeabilidad, esto se vuelve costoso considerando que con otros productos se logra mayor

#### Estabilización con cal

Es un método que se emplea en materiales con alta plasticidad y por consecuencia con baja resistencia, factor de gran importancia en las sub bases y en las bases de un pavimento. Este producto por su costo resulta muy económico, los porcentajes por agregar varían del 2 al 6% en peso con respecto del suelo seco por mejorar, con esto se logra neutralizar la actividad de las arcillas, obteniéndose un descenso en el índice plástico ( I. P.) y un aumento a la resistencia substancial.



Ilustración 62 estabilización con cal

#### Geotextiles usados en sobre carpetas asfálticas.

El geotextil pueden aplicarse sobre pavimentos deteriorados de concreto hidráulico o asfáltico en la colocación de sobre carpetas asfálticas.

#### Funciones del Geotextil

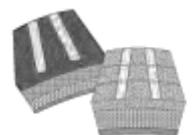
- Impermeabilización.
- Refuerzo.

#### Beneficios

- Aumenta la vida útil del pavimento.
- Disminuye los costos de mantenimiento.
- Incrementa el tiempo de servicio del pavimento.



Ilustración 63 estabilización con geotextil





El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de vías terrestres. Los asfaltos naturales provienen de la descomposición de productos animales y vegetales, aunque los asfaltos que se emplean más comúnmente se originan del último residuo de la destilación del petróleo. Los asfaltos rebajados que son una dilución de algún solvente (gasolina o queroseno) en cemento asfáltico para hacer manejable este último a temperaturas de 60° a 80° C, que se emplean para el riego de impregnación y la fabricación de mezclas asfálticas en frío.



Ilustración 64 Asfalto

Los asfaltos modificados con polímeros principalmente son la última innovación tecnológica para carpetas asfálticas de mejor calidad, los siguientes son los aceptados por la SCT e IMT (Instituto Mexicano del Transporte) aunque en el mercado la variedad es mayor.

- **Polímero tipo I (SBS “Estireno-Butadieno Estireno” o SB “Estireno Butadieno”).** Mejora el comportamiento de las mezclas, tanto en altas como a bajas temperaturas, se emplea en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos.
- **Polímero tipo II (SBR “Estireno Butadieno Látex” o “Neopreno Látex”).** Mejora el comportamiento a bajas temperaturas, se emplea en todo tipo de mezclas asfálticas en los que se requiere mejorar su comportamiento de servicio en climas fríos y templados, así como para fabricar emulsiones para tratamientos superficiales.
- **Polímero tipo III (E.V.A. “Etil-Vinil-Acetato”).** Se emplea en climas calientes para evitar el ahuellamiento de la carpeta, en carpetas con altos índices de tránsito

**Hule molido de neumáticos:** Con esto se mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga. Algunos otros productos comerciales que se pueden emplear como un modificador del asfalto y las emulsiones pueden ser los siguientes.

- La Gilsonita: es un asfalto petrificado que rigidiza la carpeta pero en climas menores a cero 0° C se vuelve frágil y quebradiza.
- Asbesto (fibras cortas de asbesto): se emplea en la mezcla asfáltica para provocarle una mayor estabilidad. El problema de utilizar fibra es una cuestión de seguridad ya que su manejo afecta directamente a la salud de los operarios.

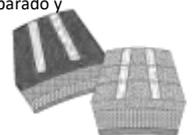
El asfalto está compuesto principalmente de tres elementos:

- Los asfáltenos, que le dan sus características de dureza y resistencia.
- Las resinas le proporcionan sus propiedades cementantes y adhesivas.
- Los aceites le dan consistencia adecuada para hacerlos maniobrables y protegen a los dos primeros de la oxidación e intemperie, disminuyendo además los efectos perjudiciales por los procesos de calentamiento que se emplean en las plantas para la producción del concreto asfáltico.

### Propiedades físicas del cemento asfáltico.

Las de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pistas aéreas son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

- **Durabilidad:** Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento (circulación de vehículos e intemperie).
- **Adhesión y cohesión:** La primera es la capacidad que presenta para adherirse al pétreo y la cohesión es la función que presentan de mantenerse firmes en sus características (eso lo podemos medir con la prueba de ductilidad).
- **Susceptibilidad a la temperatura:** Todos los asfaltos son termoplásticos, esto significa que se vuelven más duros a menor temperatura y mayores temperaturas más viscosos.
- **Endurecimiento y envejecimiento:** El endurecimiento es causado por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente en altas temperaturas y en películas delgadas de asfalto. No todos los asfaltos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas, para poder determinar sus características de envejecimiento cada asfalto debe ensayarse por separado y así poder ajustar las técnicas constructivas.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



En México para la construcción de carpetas y otros trabajos de pavimentación se cuenta con cuatro productos asfálticos principalmente.

- El cemento asfáltico.
- Los asfaltos modificados.
- Las emulsiones asfálticas.
- Los asfaltos rebajados.

El asfalto es un material bituminoso, sólido o semisólido con propiedades aglutinantes y que se licua gradualmente al calentarse.

En nuestro país los materiales asfálticos se clasifican de acuerdo a la viscosidad- dinámica absoluta que presentan y algunas otras pruebas que nos marcan las normas actuales de la S.C.T.

Asfaltos	Región Recomendada
AC-5	Concretos asfálticos que se utilice en las zona de la sierra madre occidental, Durango, Chihuahua y en algunas regiones altas del Estado de México, Puebla, Morelos, Tlaxcala y Chiapas.
AC-10	Sustituyo al CA6 y es el que mayormente produce PEMEX se recomienda emplearlo en la región central y altiplano de la república
AC-20	El cual ya se produce en pequeña escala en algunas refinerías se debe de emplearen él SE. Y las regiones costeras del golfo y del pacifico, inclusive Sinaloa y B.C.S.
AC-30	Para la región N y NW. Excluido Tamaulipas.

En algunos lugares se produce el asfalto espumado, esto se logra agregando agua fría en pequeñas proporciones al asfalto calientes esta espuma posee como principal característica una baja viscosidad y un gran aumento de volumen. Este asfalto incrementa la resistencia y reduce la susceptibilidad a la humedad de los materiales granulares. Las características de resistencia de las mezclas de asfalto espumado son semejantes a los del material cementado, pero con la diferencia que con asfalto espumado trabajan como pavimento flexible por resistente a la fatiga.

### Asfaltos modificados

Los asfaltos modificados son de de gran utilidad ya que se dota de características nuevas a un asfalto para así mejorar sus propiedades y con ello se comporte mejor con los cambio de clima y peso del tránsito, además de proporcionar mayor resistencia al envejecimiento, mejorando la elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad. Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces y el costo adicional es de un 25% superior al de la mezcla asfáltica convencional. Todo lo anterior se traduce en una mayor vida útil y la disminución de los espesores de las carpetas asfálticas.

En general los asfaltos sin modificar tienen en general una respuesta adecuada en condiciones normales, pero el aumento de peso de las aeronaves así como sus cargas es un factor importante a considerar en el uso de los asfaltos modificados.

### Emulsiones asfálticas

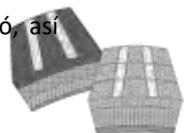
Son una mezcla de asfalto con agua constituidos por dos fases no miscibles, la fase continúa está formada por agua y la discontinúa por pequeños glóbulos de cemento asfáltico.

Pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utiliza para riegos de liga y carpetas por el sistema de riego, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas.
- De rompimiento medio, empleadas para carpetas de mezclas en frío elaboradas en planta así como en trabajos de bacheo, re-nivelaciones y sobre carpetas.
- De rompimiento lento para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones.
- Para impregnación de bases y sub bases hidráulicas.
- Súper-estables empleadas en estabilización y recuperación de pavimentos.

### Asfaltos rebajados

El empleo de emulsiones asfálticas principalmente es en los riegos de impregnación ya que no penetran en la base. Los rebajados asfálticos se utilizan regularmente para elaborar carpetas de mezcla en frío, así





CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS  
 como para las impregnaciones de bases y sub bases hidráulicas, son materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según la velocidad de fraguado.

Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM-1	Media	Queroseno

### Mezclas asfálticas en caliente:

Se le conoce como mezcla asfáltica caliente porque tanto el agregado pétreo como el asfalto son calentados previamente a ser mezclados; está compuesta por un 93 a 97 % de agregado pétreo y por un 3 a 7 % de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla. Por lo general estas están elaboradas en una planta adecuada que puede ser estacionaria o móvil, las mezclas se clasifican a su vez en:

- Mezcla asfáltica de granulometría densa: Se elabora con cemento asfáltico y material bien graduado con tamaño entre 37.5 mm. (1½") y 9.5 mm. (%).
- Mezcla asfáltica de granulometría abierta: Es aquella que presenta un gran porcentaje de vacíos con tamaños de pétreo de 12.5 mm. Y 6.3mm que cumplan los requisitos, no tienen una función estructural y se construyen sobre carpetas densas para satisfacer la calidad de rodamiento al permitir que el agua de lluvia penetre en los huecos de la carpeta y con esto minimizar el efecto de acuaplaneo, además de mejorar la visibilidad de las señales horizontales, este tipo de carpetas no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación pluvial sea menor a 600 milímetros por año.
- Mezcla asfáltica en frío: Son aquellas elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

### Temperaturas del asfalto para mezclas en caliente

Clasificación del asfalto	Temperatura de mezclado °C.
AC-5	120-145
AC-10	120-155
AC-20	130-160
AC-30	130-165

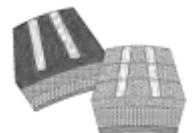
Las temperaturas de la emulsión asfáltica al momento de su empleo para mezclas en frío o carpetas de riego será de 5°C a 45°C. Y en el caso de asfaltos rebajados de 60°C a 80°C. No debiéndose aplicar materiales asfálticos a temperaturas menores a 5°C. Cuando exista amenaza de lluvia o cuando la velocidad del viento impida que la aplicación sea uniforme.

### Tipos de riegos

- Riego de impregnación: Es la aplicación del material bituminoso ligero aplicado a la superficie de la capa de base sobre la cual se tenga planeado el tendido de una carpeta asfáltica, el propósito de este riego es que el producto asfáltico aplicado actúe como agente ligante y a la vez selle la junta entre la base y el nuevo pavimento, de esta manera se evita la ascensión de la humedad a la superficie producida por el fenómeno de capilaridad.  
 Los materiales asfálticos utilizados en este riego son poco viscosos con el fin de que puedan penetrar en la base lo suficiente para prevenir el desprendimiento de los finos y evitar posibles fallas. El riego de impregnación no es necesario cuando se tienden carpetas relativamente gruesas, debido a la estabilidad inherente que presenta una capa de esta naturaleza, sin embargo, durante la construcción de una carpeta de cualquier grosor, la presencia de un riego de impregnación ayuda a el material a convertir a la base a prueba de agua, la cual en caso de lluvia se seca rápidamente.  
 El material de impregnación es aplicado por medio de una petrolizadora durante las horas de más calor en el día, siempre y cuando la base no se encuentre mojada. La cantidad de material aplicado es aproximadamente 1 a 1.5 litros por m2. Deberá ser absorbida en 24 horas, y el periodo normal de curado y secado es aproximadamente 48 horas, La superficie impregnada deberá presentar un aspecto uniforme y el material asfáltico deberá estar firmemente adherido.
- Riego de liga Este riego consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con el objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima, por lo general en este riego se emplea una emulsión asfáltica de rompimiento rápido.



Ilustración 65 Realización de riego





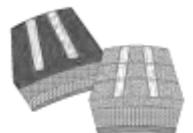
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



Ilustración 66 riego de impregnación

- Riego de sello Este riego consiste en una emulsión, la cual se cubre con un material pétreo, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además la protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante.

En algunos casos se puede emplear un mortero asfáltico que consiste en la mezcla de una emulsión y un material pétreo (arena) que se emplea comúnmente cuando se va a utilizar un camino que ya ha tenido cierto uso, a este tratamiento se le conoce como "slurry-seal"





Requisitos de calidad de asfaltos modificados

Características	Tipos de cemento asfáltico (tipo de modificador)				
	AC-5 (Tipo I o II)	AC-20 (Tipo I)	AC-20 (Tipo II)	AC-20 (Tipo III)	AC-20 (Hule molido)
<b>Del cemento asfáltico modificado:</b>					
Viscosidad Saybolt Furol a 135°C, s, máximo	500	1000	1000	1000	-
Viscosidad rotacional Brookfield a 135°C Pa·s (P), máximo	2	4	3	4	-
Viscosidad rotacional Brookfield (tipo Haake) a 177°C Pa·s (P), máximo	-	-	-	-	7
Penetración	80	40	40	30	30
A 25°C, 100 g, 5 s; 10 <sup>-4</sup> mm, mínimo	40	25	25	20	15
A 4°C, 200 g, 60 s; 10 <sup>-4</sup> mm, mínima	-	-	-	-	-
Punto de inflamación Cleveland: °C, mínimo	220	230	230	230	230
Punto de reblandecimiento: °C, mínimo	45	55	55	53	57
Separación, diferencia anillo y esfera: °C, mínimo	3	3	3	4	5
Recuperación elástica por torsión a 25°C, %, mínimo	25	30	30	15	40
Resiliencia a 25°C, %, mínimo	20	20	20	25	30
<b>Del residuo de la prueba de la película delgada, (3.2 mm, 50 g)</b>					
Pérdida por calentamiento a 165°C, %, máximo					
Ductilidad a 4°C y 5 cm/min., cm, mínimo	10	7	10	5	5
Penetración a 4°C, 200 g, 60 s; 10 <sup>-4</sup> mm, mínimo	-	-	-	-	10
Penetración retenida a 4°C, 200 g, 60 s, %, mínimo	65	65	65	55	75
Recuperación elástica en ductómetro a 25°C, %, mínimo	50	50	60	30	55
Incremento en temperatura anillo y esfera: °C, máximo	-	-	-	-	10
Módulo reológico de corte dinámico a 76°C (G*/sen): KPa, mínimo	-	2.2	2.2	2.2	2.2
Módulo reológico de corte dinámico a 64°C (G*/sen): KPa, mínimo	2.2	-	-	-	-
Angulo fase [Visco - elasticidad], a 76°C, ° (grados)	-	75	70	75	-
Angulo fase [Visco - elasticidad], a 64°C, ° (grados)	75	-	-	-	-





**Pavimento rígido:**

Está compuesto de losas de concreto hidráulico (algunas ocasiones armados con acero) en su parte inferior se coloca un material de base que sirve como una capa de sustentación que no cumple funciones estructurales. Dependiendo de las características de calidad de la sub rasante esta capa puede colocarse directamente debajo de la losa si presenta una resistencia adecuada.

El armado de acero no aumenta la resistencia de la losa, ni disminuye el espesor de la misma, en estos casos solo nos proporcionara una distancia de separación de la losas mayor y por consecuencia una menor cantidad de juntas, esto nos provocara menos lugares por donde se pueda infiltrar el agua que es uno de los principales elementos que se deben evitar.



Ilustración 67 pavimento rígido

Los pavimentos rígidos están contruidos por una losa y por la base sus funciones son las siguientes:

- **Losa:** Las funciones que desempeña la losa son similares a las que desempeña la carpeta en los pavimentos flexibles y los esfuerzos que se le ejercen los disminuye para que no afecten las capas inferiores.
- **Juntas:** Las juntas tienen funciones específicas como controlar el agrietamiento transversal y longitudinal, absorber los esfuerzos provocados por las losas y proveer una adecuada transferencia de cargas, posteriormente explicare más a fondo las características que la FAA nos propone. Los tipos de juntas más comunes son:
  - Juntas transversales de contracción. Son espaciadas para controlar grietas provocadas por los cambios de temperatura y humedad.
  - Juntas transversales de construcción. Se colocan al final de la jornada de trabajo o cuando este se suspende por alguna causa.
  - Juntas transversales de expansión (aislamiento). Se colocan para aislar estructuras de otro tipo adyacentes al pavimento como edificios.
  - Junta longitudinal de contracción y construcción. Semejante al caso arriba mencionado. Las barras de los pasa juntas serán de acero redondo liso. Deberán quedar ahogadas en las losas, alineadas en sentido longitudinal del pavimento, colocadas a la mitad del espesor de las losas, el acero será de grado 60,  $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$  y deberán ser cubiertas con grasa o parafina, para que tengan cierta libertad de movimiento y se desplacen independientemente a las losas
- **Base:** Las funciones de la base en pavimento rígido son iguales a las de la subbase en uno flexible esta base debe proporcionar una superficie uniforme para que esta sirva de apoyo a la losa y facilite su colado. Por lo general esta base no cumple con ningún fin estructural, ya que las cargas ejercidas sobre el pavimento pueden ser asimiladas solo por la losa y en espesor de esta casi no influye. En los pavimentos rígidos el efecto que se produce por las repeticiones es la fatiga, fenómeno que no se presenta cuando el esfuerzo es menor que el 50% del de ruptura, así que un esfuerzo menor puede ser aplicado varias veces sin que se presenten desperfectos notorios, por el contrario si el esfuerzo aplicado es muy cercano entonces las falla en el concreto se presentaran a las pocas repeticiones.
  - Algunos productos químicos que se le adicionan a la base son:
    - Cemento hidráulico
    - Asfalto
    - Concreto hidráulico magro ó concreto de baja de resistencia
- **Subrasante:** los pavimentos rígidos están dotados de una resistencia considerable a la flexión, por lo cual no se requiere una subrasante muy resistente, sin embargo debe cumplir con una característica muy importante, debe ser uniforme, teniendo una capa de subrasante con uniformidad aceptable y previniendo os cambios volumétricos excesivos que provocan los suelos expansivos, se logra una superficie adecuada para la colocación de un pavimento rígido. El soporte que esta capa le proporciona al pavimento se expresa con el modulo de reacción denominado "K" el cual se puede determinar mediante ensayos de carga o por medio de métodos neumáticos.

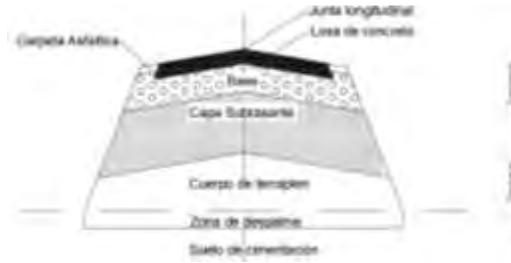


Ilustración 68 partes de pavimento rígido

Se ha observa que las primeras repeticiones que se efectúan en los pavimentos son de gran efecto y conforme las repeticiones aumentan el efecto disminuye.

**Juntas:** <sup>xliii</sup>

Las juntas de los pavimentos rígidos se colocan con la finalidad de disminuir los esfuerzos y grietas que se generan por los cambios de volumen y deformaciones en la losa, producto de las variaciones de temperatura y del contenido de humedad en el concreto.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



La FAA clasifica a las juntas según la función que desempeñen; a continuación se pueden ver los detalles de cada tipo de junta.

- Juntas de Expansión:

Su función consiste en aislar intersecciones de pavimentos o estructuras contiguas a un pavimento. Existen dos tipos:

- El tipo A, está provisto de dowels y es usado cuando se requiere transferir cargas a través de la junta.
- El tipo B, se utiliza cuando las condiciones no permitan la utilización de dowels. Estas juntas están formadas por el aumento del espesor del pavimento a lo largo del borde de la losa.

- Juntas de contracción:

Su función es proporcionar control de las grietas del pavimento cuando éste se contrae debido a la disminución del contenido de humedad o al descenso de temperatura. Las juntas de contracción también disminuyen las tensiones causadas por la deformación de la losa.

- Estas juntas se dividen en tres tipos: F, G y H.

- Juntas de construcción:

Se emplean cuando se colocan dos losas de pavimento en diferentes momentos.

- Estas juntas se dividen en tres tipos: C, D y E.

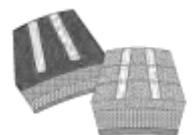
**Espaciado de juntas:**

La FAA sugiere ciertas recomendaciones en el espaciado de juntas cuando se tiene una subbase sin estabilizar:

Subbase sin estabilizar: En este caso se recomienda que el espacio de la junta (pies) no exceda de dos veces el espesor de la losa (pulgadas) y que el cociente entre el largo de una losa y el ancho de la misma no exceda de 1.25, en pavimentos no reforzados. En la tabla 2.2 se muestran las medidas máximas recomendables para el espaciamiento de juntas sobre una base sin estabilizar.

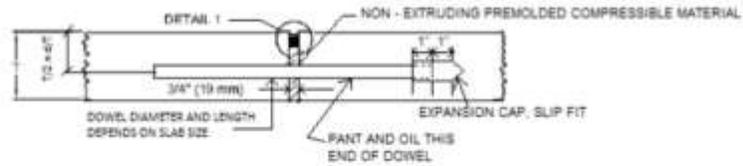
Slab Thickness		Transverse		Longitudinal	
Inches	Millimeters	Feet	Meters	Feet	Meters
6	150	12.5	3.8	12.5	3.8
7 - 9	175 - 230	15	4.6	15	4.6
9 - 12	230 - 305	20	6.1	20	6.1
>12	>305	25	7.6	25	7.6

Nota: Los espaciamientos de las juntas mostrados en esta tabla son valores máximos recomendados. Debe utilizarse un espaciamiento menor de las articulaciones si así lo indica la experiencia anterior. Los pavimentos sometidos a diferenciales extremos de temperatura o diferenciales extremos de temperatura durante la colocación pueden requerir espaciamientos de las juntas más pequeños. Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estates.

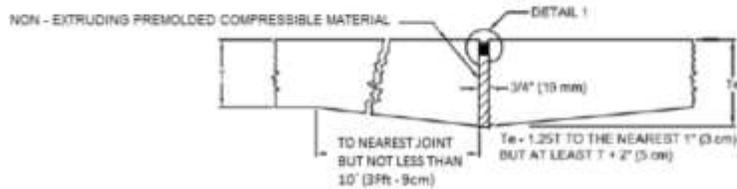




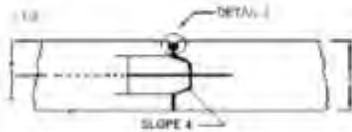
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS  
EXPANSION JOINTS



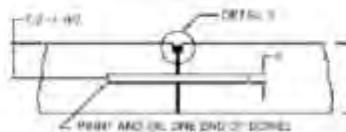
TYPE A - DOWELED



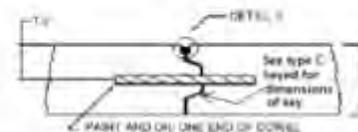
TYPE B - THICKENED EDGE  
CONSTRUCTION JOINTS



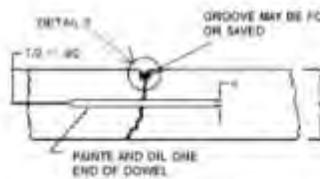
TYPE C - KEYED



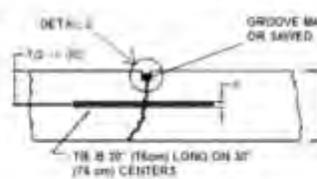
TYPE D - DOWELED



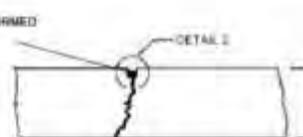
TYPE E - HINGED (butt or keyed)



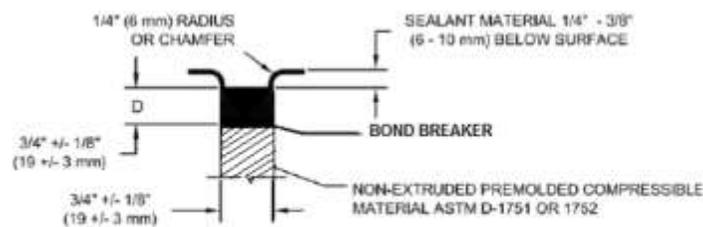
TYPE F - DOWELED



TYPE G - HINGED

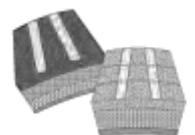


TYPE H - DUMMY



DETAIL 1  
EXPANSION JOINT

Ilustración 69 Tipos de juntas



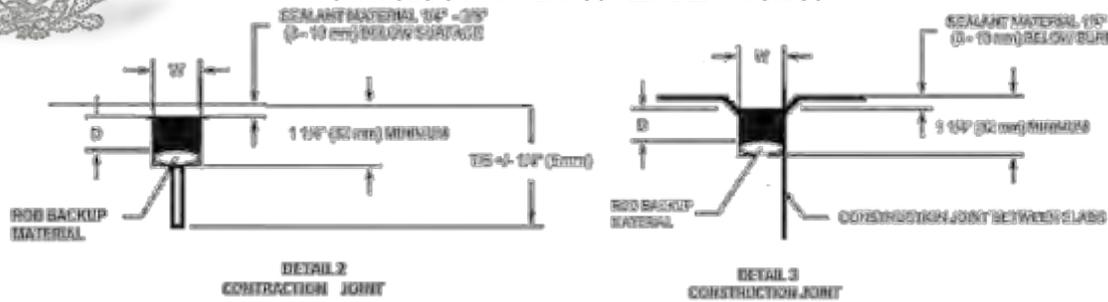


Ilustración 70 Detalles de juntas

**Consideraciones especiales de juntas:**

La FAA menciona las siguientes consideraciones, según resultados de experiencias pasadas.

- Las juntas Keyed (Tipo C) no deben ser empleadas en losas de menos de 9" (230mm) de espesor.
- Cuando existan aeronaves de fuselaje ancho que hacen uso de las instalaciones, se deben seguir las siguientes recomendaciones:
  - a) En fundaciones de baja resistencia (menores a 200PCI o 54MN/m<sup>3</sup>) se recomienda las juntas tipo D o B, asimismo, se debe evitar emplear juntas tipo Keyed.
  - b) En fundaciones de resistencia media (200 a 400PCI o de 54 a 109 MN/m<sup>3</sup>) se recomienda emplear juntas tipo D, E o B.
  - c) En fundaciones de alta resistencia (mayor a 400 PCI o 109MN/m<sup>3</sup>) se pueden emplear juntas tipo C.
- Cuando se pretende expandir un pavimento en el futuro, se debe proveer al borde apropiado una junta tipo B.

**Distribución de juntas:**

La FAA recomienda la distribución de juntas, cuando se tenga una intersección de 90° entre la pista de aterrizaje y calle de rodaje.

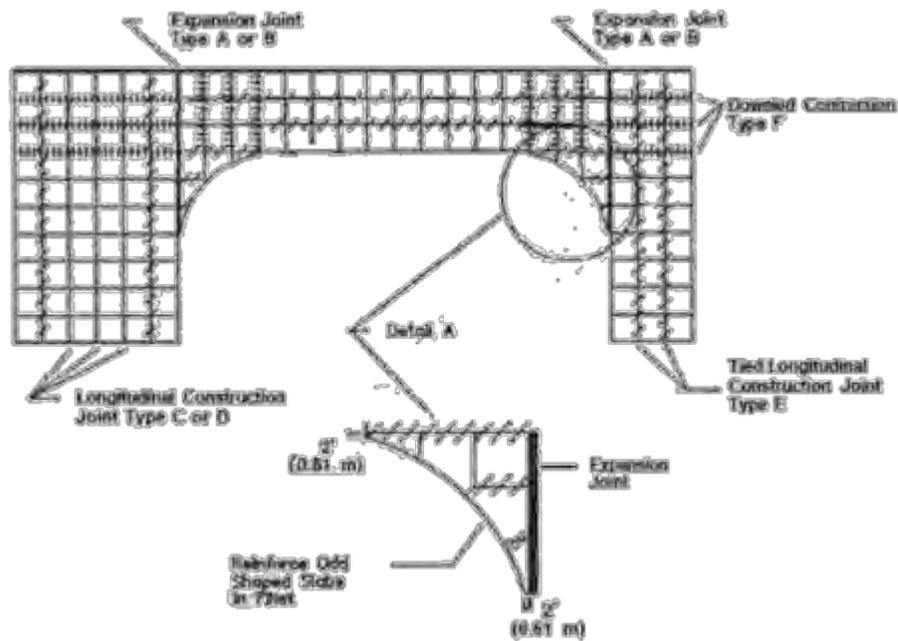
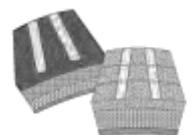


Ilustración 71 distribución de juntas





Clasificación

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



Se pueden clasificar en forma general en cuatro tipos.

- Pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP). Son los más comunes, el espaciamiento entre las juntas de la losa se recomienda que tenga una distancia de entre 4.6 a 9.1 metros, ya que cuando el espaciamiento aumenta se corre el riesgo de tener fisuras no controlados.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas (JRCP). El uso del acero de refuerzo, no incrementa la capacidad estructural de la losa, pero permite incrementar el espaciamiento entre juntas de 9.1 m a 30 m, siendo la separación más adecuada de 12.2m.
- Pavimento con refuerzo continuo (CRCP). Se emplea en pavimentos con tránsito pesado en los que se busca un mantenimiento prácticamente mínimo, ya que con esto se eliminan las juntas y se reduce el espesor de las losas.
- Pavimento concreto pre-esforzado (PCP). Este tiene menos posibilidades de fracturarse y se requiere menos juntas; la preaplicación de un esfuerzo de compresión al concreto, reduce los esfuerzos de tensión causados por la carga de tráfico y disminuyendo el espesor de la losa requerido y se tienen longitudes de losa de 90 a 210m.



Ilustración 72 pista aérea p. rígido

### Principales factores de diseño

Los principales factores de diseño, pueden dividirse en los siguientes:

- A. Tráfico y cargas
- B. Medio ambiente.
- C. Materiales
- D. Criterio de falla.

Son varios los esfuerzos a los que está sometido un pavimento rígido, estos son los más comunes y que mayor daño causan.

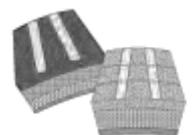
### Factores importantes en el diseño de pavimentos rígidos:

Para el diseño de pavimentos rígidos es indispensable conocer la capacidad cortante de la subrasante, es decir la resistencia que presenta el suelo de cimentación a ser comprimido bajo las acción de cargas, en consecuencia se recurre al ensayo de placa de carga, la cual se lleva a cabo en el lugar donde se construya la estructura de pavimento cuidado las condiciones climatológicas, de humedad y acomodo del suelo sean similares a las que existirán cuando se construya el pavimento.

Para determinar el modulo K se debe aplicar una presión al suelo similar a la que le transmitirá el pavimento ya en operación, esta presión, por lo general equivale a 0.7 kg/cm<sup>2</sup> o 10 psi. El área de las placas circulares están establecidas en la normativa, siendo la placa de mayor aquella que posee un diámetro de 76.2cm sobre ella se van colocando e forma piramidal las demás placas y los deflectometro va registrando las deformaciones verticales que presenta el suelo.

Se obtiene un promedio de las deformaciones obtenidas y se realiza la siguiente operación para obtener el valor K:

$$K = \frac{P}{\Delta}$$





### Pavimentos perpetuos:<sup>xliv</sup>

El concepto de pavimentos perpetuos o de larga duración se refiere a estructuras que sus características estructurales le permiten una vida útil mayor a 50 años, con el mínimo mantenimiento en la superficie de rodamiento. Este tipo de pavimentos poseen una carpeta asfáltica de espesor importante, la cual se coloca directamente sobre la subrasante, sin embargo cuando las cargas son muy importantes se utiliza una capa base granular, con esto se consigue que el espesor de la estructura sea menor que el de una de pavimento flexible convencional.

Al tener una capa con productos asfálticos más gruesa, los problemas generados por la aparición de grietas de fatiga, es descartado, la estructura no se deteriora con gran facilidad, los únicos daños que recibe son superficiales.

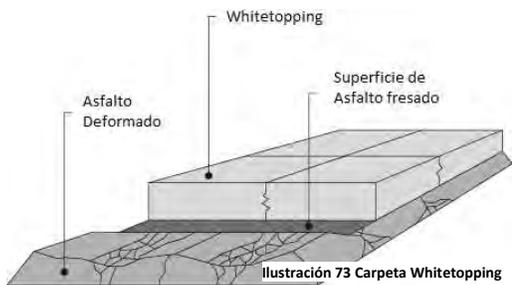
La capacidad de un pavimento que pueda tener una vida útil mayor de 50 años se debe a la correcta selección de materiales a utilizar al diseño de la mezcla asfáltica y a las diversas pruebas de rendimiento que han provisto de una metodología de diseño que únicamente exige la sustitución periódica de la capa superficial de la estructura.

Los espesores mínimos que la FAA recomienda utilizar en estructuras de pavimentos perpetuos son los siguientes:

- Mezcla asfáltica en caliente de alta calidad: 38 a 75 mm.
- Material con modulo alto resistente a la deformación permanente: 75 a 100 mm.
- Material flexible resistente a la fatiga: 100 a 250 mm.

Se han analizado los pavimentos de alta duración ya construidos hace varias décadas y la única falla que se ha observado realmente es en la capa de rodadura.

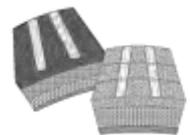
### Carpetas Whitetopping<sup>xlv</sup>



Whitetopping (Carpeta Blanca) es un recubrimiento de concreto realizado con cemento Portland, construido sobre un pavimento asfáltico existente. Éste tiene la finalidad de rehabilitar aeropistas, carreteras y calles con excelentes resultados al asegurar una solidez y durabilidad mayor que el pavimento flexible, permitiendo además descartar que el agua circule por las roderas o se estanque provocando baches. El sistema consiste en la colocación de una losa de concreto hidráulico, eliminando así los mantenimientos continuos y sus correspondientes costos. El resultado tras su aplicación es un

pavimento de gran calidad que brinda una larga vida útil en buenas condiciones de operación. El diseño de Whitetopping considera una fuerte unión entre dos capas, minimizando la necesidad de un espesor adicional.

Está catalogado como una de las formas más efectivas existentes en el mercado, de rehabilitación de un pavimento flexible, su uso ofrece numerosos beneficios. Además de los que se han mencionado, Whitetopping puede proveer de un tránsito suave que ayuda a mejorar significativamente la vida funcional del pavimento. Además, en oposición a la reconstrucción completa con una nueva base, el Whitetopping utiliza al pavimento asfáltico existente como una base sólida, proveyendo estabilidad adicional. Esto, a su vez, reduce el potencial para el bombeo, falla y pérdida de soporte del pavimento. Este procedimiento se clasifica comúnmente en tres categorías: convencional, delgado o ultra delgado (Ultra Thin Whitetopping).





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



Está basado en el espesor de la nueva capa de concreto que tendrá al iniciar su servicio. El convencional es el de mayor espesor, construido con 20 cm o más de concreto; el delgado posee dimensiones que oscilan entre 12 y 15 cm, mientras que el ultra delgado es construido comúnmente con 5 cm y 10 cm de espesor.

El primer pavimento recubierto con este sistema fue reportado como colocado en 1918, y ha sido empleado en cientos de proyectos. En la década de los noventas del siglo pasado, se realizaron nuevos desarrollos en su diseño y construcción, tales como la identificación del Ultra Thin Whitetopping, como un tipo de pavimento alternativo y en la última década ha vuelto a aparecer como una alternativa viable para la pavimentación una vez que se han realizados los estudios previos correspondientes. En el caso especial del Ultra Thin Whitetopping su diseño responde a la necesidad unir al concreto con el pavimento asfáltico existente de manera que las dos capas actúen como una sección compuesta en lugar de dos capas independientes.

Permitiendo así que el espesor del recubrimiento de concreto disminuya mientras que deja que se acomode el nivel de la carga de tráfico. En estos casos las juntas están a distancias más cortas (60 a 180 cm) en comparación a los otros dos sistemas ya que de esta manera se garantiza que las losas no presenten fisuras.

El Whitetopping se coloca comúnmente en pavimentos donde existe un espesor sustancial de pavimento asfáltico, tal como uno de profundidad completa. La American Concrete Pavement Association (ACPA) con sede en Washington y Chicago, generalmente recomienda que el espesor mínimo de asfalto sea, de 75 mm después del fresado. Cabe decir que esta misma dependencia afirma que bajo un buen diseño y una calidad supervisada de los elementos de concreto y el proceso constructivo apropiado se ha registrado una vida útil de hasta 30 años, en los cuales se ha generado un programa periódico de mantenimiento. Como con todos los tipos de pavimento comentan, la vida útil está en función de un número de variables de diseño, materiales, clima, tráfico y la tecnología de la construcción utilizada.



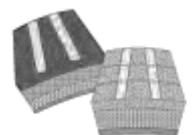
Ilustración 74 Carpeta Whitetopping

Los recubrimientos con Whitetopping no se recomiendan cuando el pavimento asfáltico está severamente deteriorado o cuando deben ser retiradas cantidades sustanciales del pavimento durante la rehabilitación. No es recomendable su colocación sobre pavimentos asfálticos con problemas en los materiales, tales como el descascarado del asfalto. Los pavimentos con muy poco deterioro son excelentes candidatos para los recubrimientos con Whitetopping. En caso de no desarrollarse los estudios convenientes o de no contar con una buena evaluación y ejecución del proceso constructivo, es común ver fisuras en las esquinas como problema recurrente en la

instalación del Ultra Thin Whitetopping. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que el espesor y el tipo de concreto son los parámetros predominantes que conducen a la velocidad de fisuración.

Paneles más alargados, empleados en secciones de Whitetopping de espesores mayores, sufren otros tipos de problemas, tales como la fisuración en la mitad de la losa y la falla. Sin embargo, está comprobado que esta tecnología ha sido usada efectivamente sobre pavimentos sujetos a todos los niveles de tráfico, desde carreteras de bajo volumen de tráfico hasta las de tipo urbano, interestatales, pistas laterales y principales de los aeropuertos, intersecciones. Los recubrimientos de Ultra Thin Whitetopping más delgados se emplean comúnmente sobre carreteras de volúmenes más bajos de tránsito, tales como calles residenciales.

Las intersecciones son ideales para la colocación del Whitetopping, dado que el descascamiento y el lavado de los pavimentos asfálticos son problemas comunes. Por último, debe recordarse que no se requiere de un equipo o maquinaria especializada para su colocación y que en la mayoría de los casos se emplean cimbras convencionales y pavimentadores de concreto, así como la regla vibradora.





Al igual que los pavimentos convencionales de concreto la sobrecarpeta sobre asfalto especifica su resistencia basándose en el módulo de ruptura del concreto, para tener un pavimento adecuado en cuanto a fatiga y durabilidad se deben tener resistencias de 41 a 50 kg/cm<sup>2</sup> a la flexión.

En el caso de una rehabilitación de este tipo resulta más conveniente buscar un alto grado de adherencia entre el asfalto y el concreto para que la sección estructural funcione como una sección compuesta. La adherencia se puede lograr realizando un fresado superficial al pavimento flexible existente y posteriormente una limpieza a fondo.

### Consideraciones relativas a los aviones

#### ¿A qué se le denomina avión?<sup>xlvi</sup>

Avión (del francés avión, y este como forma aumentativa del latín avis, ave), también es nombrado de diferentes formas entre las que figuran aeronave, aeroplano, aerodino, entre otras, cuentan con mayor densidad que el aire, dotado de alas y un espacio de carga capaz de volar, impulsado por ninguno, uno o más motores, el principio de su funcionamiento se basa en la fuerza aerodinámica que se genera sobre las alas, en sentido ascendente, llamada sustentación la cual se origina por la diferencia de presiones entre la parte superior e inferior del ala, producida por la forma del perfil alar.

Pueden clasificarse por su uso como aviones civiles (que pueden ser de carga, transporte de pasajeros, entrenamiento, sanitarios, contra incendios, etc.) y aviones militares (carga, transporte de tropas, cazas, bombarderos, de reconocimiento o espías, de reabastecimiento en vuelo, etc.). Otra manera para clasificarlos es en función de su planta motriz; aviones propulsados por motores a pistón, motores a reacción (turborreactor, turborreactor de doble flujo, turbohélice, etc.) o propulsores (cohetes).

### Estructura

Los aviones más conocidos y usados por el gran público son los aviones de transporte de pasajeros. NO todos los aviones tienen la misma estructura, aunque tienen muchos elementos comunes. Los aviones de transporte usan todos una estructura semimonocasco de materiales metálicos o materiales compuestos formada por un revestimiento, generalmente de aluminio que soporta las cargas aerodinámicas y de presión y que es rigidizado por una serie de elementos estructurales y una serie de elementos longitudinales.

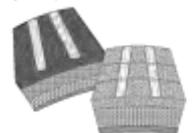
Los principales componentes de los aviones son:

**Superficies de sustentación:** Una superficie de sustentación es cualquier superficie diseñada para obtener una fuerza de reacción cuando se encuentra en movimiento relativo con respecto al aire que la rodea. Dos ejemplos de superficies de sustentación son las alas de los aviones o la hoja de una hélice.<sup>xlvii</sup>

- Alas: Las alas, constituidas por una superficie aerodinámica que le brinda sustentación al avión debido al efecto aerodinámico, provocado por la curvatura de la parte superior del ala (extradós) que hace que el aire que fluye por encima de esta se acelere y por lo tanto baje su presión (creando un efecto de succión), mientras que el aire que circula por debajo del ala (que en la mayoría de los casos es plana o con una curvatura menor y a la cual llamaremos intradós) mantiene la misma velocidad y presión del aire relativo, pero al mismo tiempo aumenta la sustentación ya que cuando este incide sobre la parte inferior del ala contribuye a la sustentación, fuerza que contrarresta la acción de la gravedad.

Las partes más importantes de un ala son:

- a) Borde de ataque. Es la parte del ala que encara al viento cuando el avión se encuentra en vuelo, normalmente tiene una forma redondeada.
- b) Borde de salida. Es la parte trasera del ala y es la última sección que pasa a través del aire, su forma normalmente es delgada y aplanada.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



c) Comba. Es la curvatura de un ala, va desde el borde de ataque hasta el borde de salida.

- Fuselaje: es el cuerpo del avión al que se encuentran unidas las alas y los estabilizadores tanto horizontales como verticales. Su interior es hueco, para poder albergar dentro a la cabina de pasajeros y la de mandos y los compartimentos de carga. Su tamaño, obviamente, vendrá determinado por el diseño de la aeronave.

**Superficies de control:** En determinadas partes de un vuelo la configuración del ala se hace variar mediante las superficies de control o de mando que se encuentran en las alas: los alerones, presentes en todo tipo de avión, más otros que no siempre se hallan presentes, sobre todo en aparatos más ligeros, aunque sí en los de mayor tamaño: son los flaps, los spoilers y los slats. Todas ellas son partes móviles que provocan distintos efectos en el curso del vuelo.

- Alerones: Los alerones son superficies móviles que se encuentran en los extremos de las alas y sobre el borde de salida de estas. Son los encargados de controlar el desplazamiento del avión sobre su eje longitudinal al crear una descompensación aerodinámica de las alas, que es la que permite al avión girar.

Además, y según su tamaño, las alas pueden llevar los siguientes dispositivos:

- Flaps: Son dispositivos hipersustentadores que se encuentran ubicados en el borde de salida del ala; cuando están retraídos forman un solo cuerpo con el ala. Estos son utilizados en ciertas maniobras (comúnmente el despegue y el aterrizaje), en las cuales se extienden hacia atrás y abajo del ala a un determinado ángulo, aumentando su curvatura.
- Spoilers: Su función es reducir la sustentación generada por el ala cuando ello es requerido, por ejemplo, para aumentar el ritmo de descenso o en el momento de tocar tierra.
- Slats: al igual que los flaps, son dispositivos hipersustentadores; la diferencia está en que los slats se encuentran ubicados en el borde de ataque, y cuando son extendidos aumentan aún más la curvatura del ala, impidiendo el desprendimiento de la capa límite aun con elevados ángulos de ataque; es decir, a velocidades reducidas.

En las alas también se encuentran los tanques de combustible. La razón por la cual están ubicados allí es para que no influyan en el equilibrio longitudinal al irse gastando el combustible. Sirven de contrapesos cuando las alas comienzan a generar sustentación. Sin estos contrapesos y en un avión cargado, las alas podrían desprenderse fácilmente durante el despegue. También en la mayoría de los aviones comerciales, el tren de aterrizaje principal se encuentra empotrado en el ala, así como también los soportes de los motores.

**Grupo motopropulsor:** Son los dispositivos cuya función es la de generar la tracción necesaria para contrarrestar la resistencia aerodinámica que se genera precisamente por la sustentación. Estos motores son largamente desarrollados y probados por su fabricante. En el caso de los aviones sin motor o planeadores, la tracción se obtiene por el componente de la gravedad según el coeficiente de planeo.

Dentro del grupo motopropulsor existe una funcionalidad llamada reversa que sirva para invertir el empuje del motor y permitir que frene con mayor eficacia durante la carrera de aterrizaje. Esta funcionalidad la poseen los aviones de grandes prestaciones equipados con motores a reacción o turbohélices. El piloto una vez que el avión ha tocado tierra sobre la pista y está rodando a gran velocidad, activa la reversa, un mecanismo mecánico hace que el aire de los motores que se desprendía hacia atrás, salga ahora en dirección contraria y contribuya al frenado del avión.

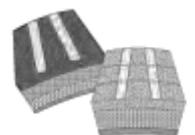
**Tren de aterrizaje:** Los trenes de aterrizaje son unos dispositivos, bien fijos (aviación ligera) o bien móviles, es la parte de cualquier aeronave encargada de absorber la energía cinética producida por el contacto entre la aeronave y la pista durante la fase de aterrizaje y despegue.

#### Función

Durante el aterrizaje, el tren debe absorber la energía cinética producida por el impacto. Los neumáticos son el primer elemento que absorbe tal impacto, pero no es suficiente; así el tren de aterrizaje debe poseer un sistema de amortiguación para poder disminuir el impacto. La velocidad de descenso de un avión en el aterrizaje, en el momento de impacto con el suelo, es decisiva para la absorción de trabajo de los amortiguadores.

El peso total del avión, su distribución sobre las ruedas principales y la proa ó popa, la velocidad vertical de aterrizaje, la cantidad de unidades de ruedas, las dimensiones y presión de los neumáticos y otros, son los factores que influyen sobre la amortiguación del choque y esta debe ser tal que la estructura del avión no esté expuesta a fuerzas excesivas.

Entonces, la función del amortiguador del tren de aterrizaje es reducir la velocidad vertical del avión a cero, de tal forma que la reacción del suelo nunca exceda de un cierto valor, generalmente un múltiplo del peso del avión, en el aterrizaje. Otra de las finalidades es permitir al avión que se desplace sobre tierra, tanto en carrera de despegue, aterrizaje, y trasladarse de un lugar a otro llamado comúnmente (TAXI) y para poder estar posado sobre tierra.





Los trenes de aterrizaje de los aviones pueden ser clasificados en:

- Trenes fijos. son los que, durante el vuelo se encuentran permanentemente expuestos a la corriente de aire. Se usan solamente en aviones relativamente pequeños, de baja velocidad donde el aumento de peso por la instalación de un sistema de retracción influirá desfavorablemente sobre el peso total y la ganancia en velocidad no mejoraría mucho las prestaciones.
- Trenes retráctiles. No están expuestos al aire sino que están escondidos en la parte estructural del avión. El piloto desde la cabina de mando con una palanca hace posible que el tren de aterrizaje pueda contraerse escondiéndose en el interior de la aeronave, así cuando el avión tiene que aterrizar el piloto con la misma palanca hace posible que el tren de aterrizaje baje y así la aeronave pueda aterrizar.

Disposición del tren de aterrizaje

- Tren convencional: compuesto por un tren principal debajo del ala o del fuselaje a la altura del ala y una rueda o patín de cola.

Dentro de sus ventajas está la baja resistencia que opone al tener una llanta pequeña a la hora del despegue lo que exige menor potencia del motor y menor gasto económico debido a su pequeño tamaño.

Por otro lado posee varios inconvenientes, entre ellos, la mala visibilidad del piloto, la necesidad de cierta sustentación para conseguir una posición horizontal y la posibilidad de accidente en el aterrizaje provocando el desequilibrio de la nave por un mal frenado.

Su uso actual está limitado a aviones acrobáticos, fumigadores o para labores de extinción.

- Tren triciclo: se diferencia del anterior en que posee un montante en la nariz del avión en vez de en la cola.

Esta configuración permite mayor visibilidad al piloto, tiene más estabilidad en los aterrizajes con viento cruzado, además de que elimina el peligro de capotaje y la necesidad de sustentación para elevar la nave a posición horizontal.

Debido a la facilidad de operación en tierra, es la configuración más utilizada.

- Tándem: Conjunto de ruedas colocadas prácticamente a la misma distancia en frente y detrás, las ruedas pueden retraerse en el fuselaje sin interrumpir el ala.
- **Presión de los neumáticos:** "La presión de los neumáticos varía entre 75 y 200 lb/in<sup>2</sup> (0.52 a 1.38 MPa) en función de la configuración del tren y del peso bruto. Se debería notar que la presión de los neumáticos ejerce menos influencia sobre las tensiones de los pavimentos a medida que aumenta el peso bruto"

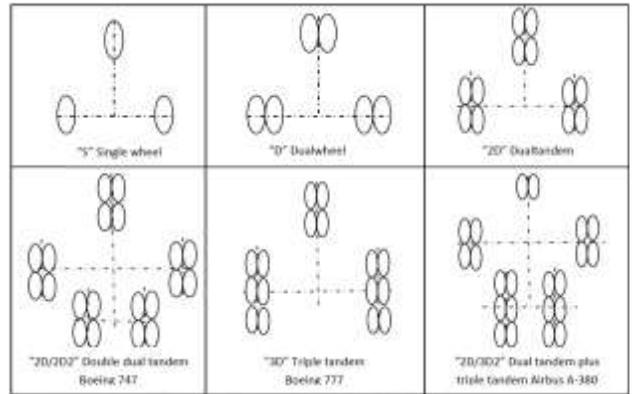


Ilustración 75 Tren de aterrizaje FAA

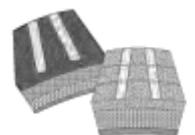
**Aviones que están en operación comercial en la ciudad de México.**

**Aeromar:**

Aeronave	Cantidad	Capacidad
ATR 42	14 aviones	48 pasajeros
ATR 72-600	2 aviones	68 pasajeros

**Aeroméxico:**

Aeronave	Cantidad	Capacidad
B787-9	1 aviones	274 pasajeros
B787-8	9 aviones	243 pasajeros
B777-200ER	4 aviones	277 pasajeros
B737-800	31 aviones	160 pasajeros
B737-700	19 aviones	124 pasajeros
EMB-190	30 aviones	99 pasajeros
EMB-175	11 aviones	86 pasajeros
EMB-170	11 aviones	76 pasajeros





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



ERJ-145	18 aviones	50 pasajeros
ATR-72	2 aviones	68 pasajeros

**Interjet:**

Aeronave	Cantidad	Capacidad
SUPERJET 100	93 aviones	22 pasajeros
AIRBUS 320	150 aviones	44 pasajeros
AIRBUS 321	150 aviones	2 pasajeros

**Magnicharters:**

Aeronave	Cantidad	Capacidad
Boeing 737-200	1 aviones	118 pasajeros
Boeing 737-300	10 aviones	140 pasajeros
Boeing 737-500	1 aviones	108 pasajeros

**VivaAerobus:**

Aeronave	Cantidad	Capacidad
Airbus A320 Neo	1 avión	165 pasajeros
Airbus A320-200	19 aviones	150 pasajeros

**Volaris:**

Aeronave	Cantidad	Capacidad
Aeronaves A319	16 aviones	124 pasajeros
Aeronaves A320	42 aviones	150 pasajeros
Aeronaves A321	6 aviones	181 pasajeros
Aeronaves A320neo	1 avión	150 pasajeros

**Características de las aeronaves.**

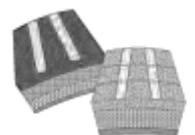
**ATR-42**

<b>Tripulación:</b> 2	Peso vacío: 11550 kg
<b>Capacidad:</b> 44-50 pas.	Peso útil: 4500 kg
<b>Longitud:</b> 22.67 m	Peso máximo al despegue: 18600 kg
<b>Envergadura:</b> 24.57 m	Planta motriz: 2x turbohélice Pratt & Whitney Canada PW127M.
<b>Altura:</b> 7,6 m (24,9 ft)	Potencia: 1 611 kW (2 160 HP; 2 190 CV) cada uno. Helices: 1x Hamilton Standard 568F por motor
<b>Superficie alar:</b> 54.50 m <sup>2</sup>	Peso vacío: 11550 kg



**ATR 72-600**

<b>Tripulación:</b> 2	Perfil alar: RA 1843 (NACA 43018 mod)12
<b>Capacidad:</b> 68 a 78 pasajeros	Peso vacío: 13 311 kg
<b>Longitud:</b> 27,166 m	Peso útil: 7500 kg
<b>Envergadura:</b> 27,050 m	Peso máx. al despegue: 22 800 kg 23 000 kg
<b>Altura:</b> 7,65 m	Planta motriz: 2x turbohélice Pratt & Whitney Canada PW127M.
<b>Superficie alar:</b> 61 m <sup>2</sup>	Helices: 1x Hamilton Standard 568F por motor. Diámetro de la hélice: 3,93 m





B787-9, B787-8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



Modelo	787-8	787-9
Tripulación	2 pilotos y 12 auxiliares de vuelo	
Capacidad	161 (3 clases) 247 (2 clases) 335 (alta densidad)	222 (3 clases) 283 (2 clases) 389 (alta densidad)
Longitud	56,7 m	62,8
Envergadura	60 m	
Altura	16.8m	
Peso vacío	117 480,42 kg	N/a
Peso máx. al despegue	227 930 kg	250 836 kg
Motores (x2)	General Electric GEnx o Rolls-Royce Trent 1000	



Ilustración 78 avión B787-9, B787-8

**B777-200ER**

Tripulación de cabina: Dos pilotos
Capacidad: 440 pasajeros
Longitud: 63.7m
Envergadura: 60.9m
Altura: 18.5m
Peso vacío: 134.800 kg
Peso máx. al despegue: 247.200 kg
Distancia de despegue: 2530m
Motores: P&W PW4077o RR Trent 877o GE90-77B



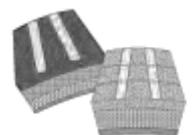
Ilustración 79 avión B777-200ER

**B737-200, B737-500, B737-700, B737-800**

Modelo:	B737-200	B737-500	B737-700	B737-800
Tripulación:	Dos (piloto y copiloto) y 4 auxiliares de Vuelo			
Capacidad:	118 (1 clase, densa) 104 (1 clase, estándar)	132 (1 clase, densa), 123 (1 clase, estándar)	149 (1 clase, densa), 140 (1 clase, estándar)	189 (1 clase, densa), 175 (1 clase, est), 162 (2 clases)
Longitud:	28,6 m	31,1 m	33,6 m	39,5 m
Envergadura:	28,3 m	28,9 m	35,7 m	
Altura:	11,3 m	11,1 m	12,5 m	
Peso vacío:	28 120 kg	31 300 kg	38 150 kg	41 415 kg
Peso máx. despegue	49 190 kg	60 550 kg	70 000 kg	79 000 kg
Carr desp peso máx.	1990 m	2470 m	2.480 m	2.450 m
Motores X2	Pratt & Whitney JT8D-7	CFM 56-3B-1	CFM 56-7B26	CFM 56-7B27



Ilustración 80 avión B737-200





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS



EMB-190, EMB-170, EMB-175

Modelo	EMB-170	EMB-175	EMB-190
tripulación	4 (piloto, copiloto, normalmente 2 auxiliares de vuelo)		
capacidad	70-80 pas	78-88 pas	98-114 pas
Longitud	29,90 m	31,68 m	36,24 m
envergadura	26,00 m	26,00 m	28,72 m
altura	: 9,67 m	: 9,67 m	10,28 m
Peso vacío:	21140 kg	21810 kg	28080 kg
Peso máx. al des:	35990 kg	37500 kg	50300 kg
motores:	2× turbofán G-E	2× turbofán G-E CF34	



Ilustración 81 avión EMB-190

ERJ-145

<b>Tripulación:</b> 3 (piloto, copiloto y auxiliar de vuelo)
<b>Capacidad</b> 50 pasajeros
<b>Longitud:</b> 29.9 m
<b>Envergadura:</b> 20 m (65,7 ft)
<b>Altura:</b> 6,8 m (22,2 ft)
<b>Peso vacío:</b> 11667 kg
<b>Peso cargado:</b> 17 100 kg
<b>Peso máximo al despegue:</b> 20 600 kg
<b>Planta motriz:</b> 2× Turbobán Rolls-Royce AE 3007.



Ilustración 82 avión ERJ-145

SUPERJET 100

<b>Tripulación:</b> 2
<b>Capacidad:</b> 88 (1-clase, densa), 78 (1-clase, estándar), 68 (2-clases, estándar)
<b>Longitud:</b> 26,44 m
<b>Envergadura:</b> 27,80 m
<b>Altura:</b> 10,28 m
<b>Peso máximo al despegue:</b> 42 280 kg
<b>Capacidad de carga máxima:</b> 9130 kg
<b>Motores (x 2):</b> PowerJet SaM146



Ilustración 83 avión SUPERJET 100

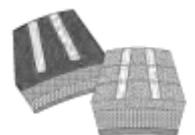
AIRBUS 320, AIRBUS 320-200

<b>Tripulación:</b> 2 pilotos y 4 auxiliares de vuelo
<b>Capacidad:</b> 1 clase: 164 (configuración típica)
<b>Longitud:</b> 37,6 m (123,3 ft)
<b>Envergadura:</b> 34,1 m (111,9 ft)
<b>Altura:</b> 11,8 m (38,6 ft)
<b>Peso vacío:</b> 42 600 kg (93 890,4 lb)
<b>Peso máximo al despegue:</b> 78 000 kg (171 912 lb) (62 500 kg sin combustible)
<b>Planta motriz:</b> 2× Turbobán Serie IAE V2500 o Serie CFM International CFM56-5

Ilustración 84 avión AIRBUS 320



TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS

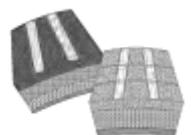


AIRBUS 321

<b>Tripulación: 2 pilotos y 4-6 Auxiliares de vuelo</b>
Capacidad: 1 clase: 199 (configuración típica), 220 (máximo) 2 clases: 185 (configuración típica)
Longitud: 44,5 m (146 ft)
Envergadura: 34,1 m (111,9 ft)
Altura: 11,8 m (38,6 ft)
Peso vacío: 48 500 kg (106 894 lb)
Peso máximo al despegue: 93 500 kg
Planta motriz: 2× Turbofan Serie IAE V2500



Ilustración 85 avión AIRBUS 321





# CAPITULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS





## CAPITULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

### Metodología de diseño para pavimentos de aeropistas.

La forma en que se diseñan los pavimentos ha ido evolucionando de manera importante de tal forma que han pasado a ser métodos semiempíricos, en los cuales se puede dimensionar de manera más adecuada a la demanda actual, se le conoce como método semiempírico a aquellos procedimientos que se manejan por medio de tablas, gráficas, ábacos y correlaciones para la realización directa de cálculos.

### Diseño de Pavimentos Flexibles.

A lo largo de este documento hemos aprendido que la finalidad de construir pistas aéreas con pavimento de cualquier tipo, es la de dotar al aeropuerto de una infraestructura con características que permitan dar el soporte adecuado a las cargas producidas por las aeronaves, por lo cual es de suma importancia que la construcción las mismas sea cuidada para obtener los espesores y características que dicte el diseño.

Para considerar que el diseño de nuestro pavimento esta siendo el más óptimo debemos seguir las normas establecidas por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Administración Federal de Aviación (FAA) ambos organismos son internacionales, en este documento nos enfocaremos especialmente a la metodología de la FAA, las normas de dicha institución establecen un método para el diseño y construcción de aeropistas de pavimento rígido y flexible.

Es importante identificar primero las variables que intervienen en el diseño de pavimentos sin importar el tipo, por lo cual para facilidad de identificación los agruparemos de la siguiente manera:<sup>xlviii</sup>

- Estructurales.
  - Cimentación: determinar la resistencia de los suelos, para lo cual hay que evaluar las propiedades mecánicas de los suelos.
  - Tipo de pavimento: de acuerdo con la elección del pavimento, el diseño y comportamiento del mismo será diferente.
- Transito.
  - Magnitud de las cargas: se considera importante para el diseño porque se diseña con el peso máximo de colaje.
  - Geometría del tren de aterrizaje.
  - Volumen de transito.
- Clima y condiciones regionales.
  - Conjunto de condiciones atmosféricas de la región, valores como temperatura, humedad, presión, nevadas régimen de lluvias, vientos y nubosidad.
- Costos del pavimento.
  - Costos de construcción.
  - Costos de conservación y mantenimiento.

### Diseño de pavimentos flexibles método de la FAA

Este método es uno de los más utilizados para el diseño de pavimentos flexibles, consta de una serie de curvas que sirven para determinar los espesores de las llamadas aéreas críticas, siendo estas por las cuales se desplaza la aeronave.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



Los parámetros más importantes de entrada para su diseño son los siguientes:

- Propiedades del suelo de la subrasante.
- Magnitud de las cargas.
- Geometría del tren de aterrizaje.
- Volumen de tránsito.

Para la evaluación geotécnica de la subrasante el método de diseño cuenta con una propia clasificación de suelos, se basa en la granulometría, el índice plástico, así como del límite líquido, por medio de este establece un VRS y así se determina también el uso o no de una subbase.

Suelo	Análisis mecánico				LL	IP	Subrasante		
	Ret. N 10	% Pasa No. 10					Buen drenaje	Drenaje pobre	
		Ret. No.40	Ret. 200	Pasa 200				No. H	H
<b>Gran</b>									
E-1	0-45	40-	60-	15-	25-	6-	FA	FA	F1
E-2	0-45	15-	85-	25-	25-	6-	FA	F1	F2
E-3	0-45			25-	25-	6-	F1	F2	F3
E-4	0-45			35-	35-	10-	F1	F3	F4
<b>FINO</b>									
E-5	0-55			45-	40-	15-		F3	F5
E-6	0-55			45-	40-	10-		F4	F6
E-7	0-55				45-	50-	10-30	F5	F
E-8	0-55			45-	60-	15-40		F6	FF8
E-9	0-55			45-	40-	30-		F7	F9
E-10	0-55			45-	70-	20-50		F8	F10
E-11	0-55			45-	80-	30		F9	F10
E-12	0-55			45-	80-			F10	F10
E-13									

Clasificación de suelos Método FAA.

Se ha encontrado una relación entre el tipo de suelo y el rango de valores típicos de CBR de subrasante:

SUBRASANTE	CBR
FA	20>
F1	16-20
F2	13-16
F3	11-13
F4	9-11
F5	8-9
F6	7-8
F7	6-7
F8	5-6
F9	4-5
F10	3-4

Relación CBR tipo de subrasante FAA.

En cuanto a la magnitud de las cargas, se considera para el diseño el peso máximo de despegue, que está en función del tipo de avión. Es importante considerar que el espesor del pavimento no solo está en función de magnitud de las cargas, si no también, de la frecuencia con las que se presenten, también debemos tener en cuenta que por las pistas circulan diferentes aeronaves cada una con características particulares, por lo cual con fines de diseño se debe trabajar con un solo avión que será nombrado como avión de diseño, que es aquel que requiere un mayor espesor de pavimento para su respectivo número de despegues.

**Tipo y geometría de los trenes de aterrizaje.**





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



El tren es aquella estructura de la aeronave que comprende a las ruedas, amortiguadores, soporte y todo aquel equipo que permita el apoyo de la aeronave cuando esta se encuentra en contacto con tierra. Cada aeronave tiene un tipo de tren diferente el cual soporta su peso y hace la transferencia de carga al pavimento, por lo tanto la respuesta del pavimento se hace con referencia las disposiciones de estos. Los tipos de trenes típicos son:

- Aeronaves de tren Sencillo (S): son aquellas las cuales sus trenes principales están conformados por una llanta.
- Aeronaves de tren Doble (D): Son aquellas las cuales sus trenes principales están conformados por dos llantas.
- Aeronaves de tren Tándem (2D): Son aquellas las cuales sus trenes principales están conformados por cuatro llantas cada uno.

La FAA tiene una nomenclatura estándar para los tipos de tren de aterrizaje:

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

*AC No: 150/5320-6E (2009) Airport Pavement Design and Evaluation*

Es importante saber que no siempre la aeronave mas pesa es la que más daño causa en el pavimento, puede ser que una aeronave de menos peso bruto tengas mayor efecto ya que las repeticiones en los pavimentos son lo que generan más impacto, es necesario disponer de los pronósticos de salidas anuales por tipo de aeronave para así obtener las de diseño, sin embargo el pronóstico de trafico mezcla diferentes tipos de aviones, trenes de aterrizaje, así como diferentes pesos, razón por la cual habrá que homogeneizarlos multiplicándolos por los siguientes factores de conversión.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



TO CONVERT FROM GEAR TYPE (N)	TO GEAR TYPE (M)	MULTIPLY TRAFFIC CYCLES BY
S	D	0.80
S	2D	0.51
S	3D	0.33
D	S	1.25
D	2D	0.64
D	3D	0.41
2D	S	1.95
2D	D	1.56
2D	3D	0.64
3D	S	3.05
3D	D	2.44
3D	2D	1.56
2D/2D2	D	1.56
2D/2D2	2D	1.00

AC No: 150/5335-5A (2006) STANDARDIZED METHOD OF REPORTING AIRPORT PAVEMENT STRENGTH - PCN

Una vez que se hayan agrupado los aviones en la misma configuración del tren de aterrizaje debe realizarse la conversión de salidas anuales a salidas equivalente con la siguiente expresión.

$$LOG(r1) = LOG(R2) * \sqrt{\frac{W2}{W1}}$$

Donde:

- R1= salidas anuales equivalente de la aeronave de cálculo.
- R2= salidas anuales expresadas en el tren de aterrizaje del avión de cálculo.
- W1= Carga sobre la rueda de la aeronave de cálculo.
- W2= carga sobre la rueda de la aeronave en cuestión.

**Calculo del espesor total de la estructura de pavimento**

Ya teniendo los tres datos de entrada para el cálculo de espesores de del pavimento asfaltico, se deberá proceder a la utilización de uno de los gráficos propuestos por el método, se debe recordar que existe una variedad de tablas disponibles para el cálculo de espesores, los cuales cambian en función del peso bruto de colaje de la aeronave de diseño. Para el uso de la gráfica se parte del eje horizontal superior que muestra los CBR, se parte a partir del CBR de la subrasante, y se traza una línea vertical recta hasta que esta tope con la curva que representa el peso máximo de despegue de la aeronave de diseño, después desde ese punto se traza una línea horizontal recta que se extienda hasta que tope con la curva que representa las salidas equivalentes anuales, y desde ese punto se traza hacia la parte inferior de la gráfica una línea recta vertical, la cual especificara el espesor de la estructura de pavimento en total.





### Zonas críticas

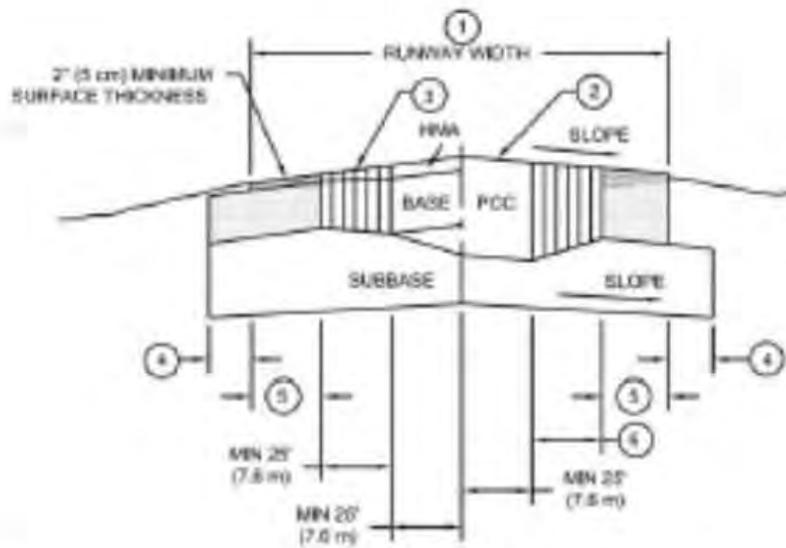
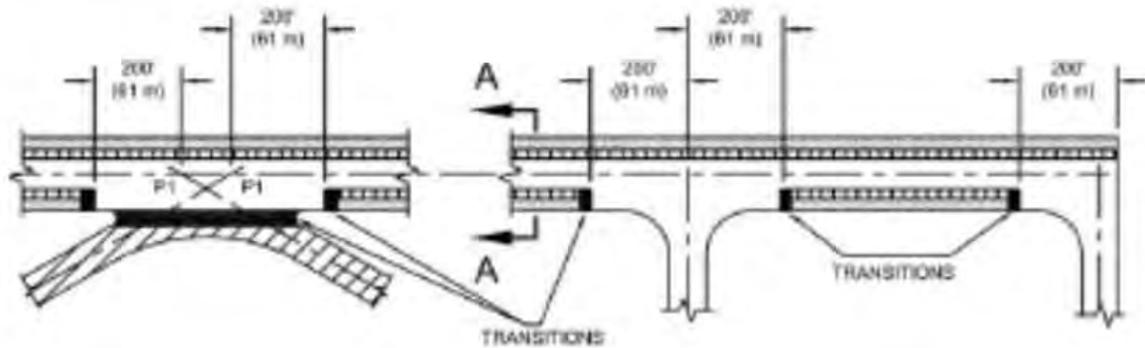
Para el cálculo del espesor de cada uno de los componentes del pavimento asfáltico se deberá Espesor de las capas base y rodadura: El espesor de la capas de base y rodadura se designa de la misma manera como hallo el espesor de la estructura en pavimento en general, por lo tanto se debe conocer en CBR de la sub-base, dirigirse a la misma gráfica con la cual se trabajó para el espesor total, extender una línea vertical recta desde el CBR hasta que la curva del peso máximo de despegue del avión de diseño, y desde ahí trazar una línea horizontal recta, hasta que tope con la curva que representa las salidas equivalentes anuales, desde ese punto volverá a trazarse una línea recta vertical que muestre el espesor de la capa de base y rodadura en la parte inferior de la gráfica. Espesor de la capa asfáltica: El espesor de la capa asfáltica se designa a partir de la nota que cada grafica trae consigo mismo.

Espesor de la Capa Sub-base: ya teniendo el espesor de la capa base y la capa de rodadura lo que se hace es tomar el espesor de la capa total del pavimento y restarle estas dos y así se obtendrá el espesor de la capa Sub-base.

### Zonas no críticas.

Espesor de capa asfáltica: El espesor de la capa asfáltica en zonas no críticas se designa en la nota que cada grafica trae consigo mismo. Espesor de la capa base y sub-base: Se toman los espesores de cada capa dado en la zona crítica y se multiplica por un factor de 0,9. Para los bordes se debe multiplicar la capa base por un factor de 0,7 y la sub-base deberá aumentar su espesor para facilitar su drenaje, así, como se muestra en la siguiente figura.





**NOTES:**

- ① RUNWAY WIDTH IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE ADVISORY CIRCULAR.
- ② TRANSVERSE SLOPES IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE ADVISORY CIRCULAR.
- ③ SURFACE, BASE, PCC, ETC. THICKNESS AS REQUIRED.
- ④ MINIMUM 12' (3.7 m) UP TO 36' (9.0 m) ALLOWABLE.
- ⑤ THIS DIMENSION WILL INCREASE FOR RUNWAYS WIDER THAN 150' (45.7 m).
- ⑥ WIDTH OF TAPERS AND TRANSITIONS ON RIGID PAVEMENTS SHALL BE AN EVEN MULTIPLE OF SLABS, MINIMUM ONE SLAB WIDTH.

**LEGEND:**

- FULL PAVEMENT THICKNESS (DESIGN USING 100% DEPARTURE TRAFFIC).
- PAVEMENT THICKNESS TAPERS TO OUTER EDGE THICKNESS.
- OUTER EDGE THICKNESS (DESIGN USING 1% DEPARTURE TRAFFIC).
- TRANSITION.
- DESIGN USING ARRIVAL TRAFFIC, HIGH SPEED TURNOFFS AND SIMILAR.



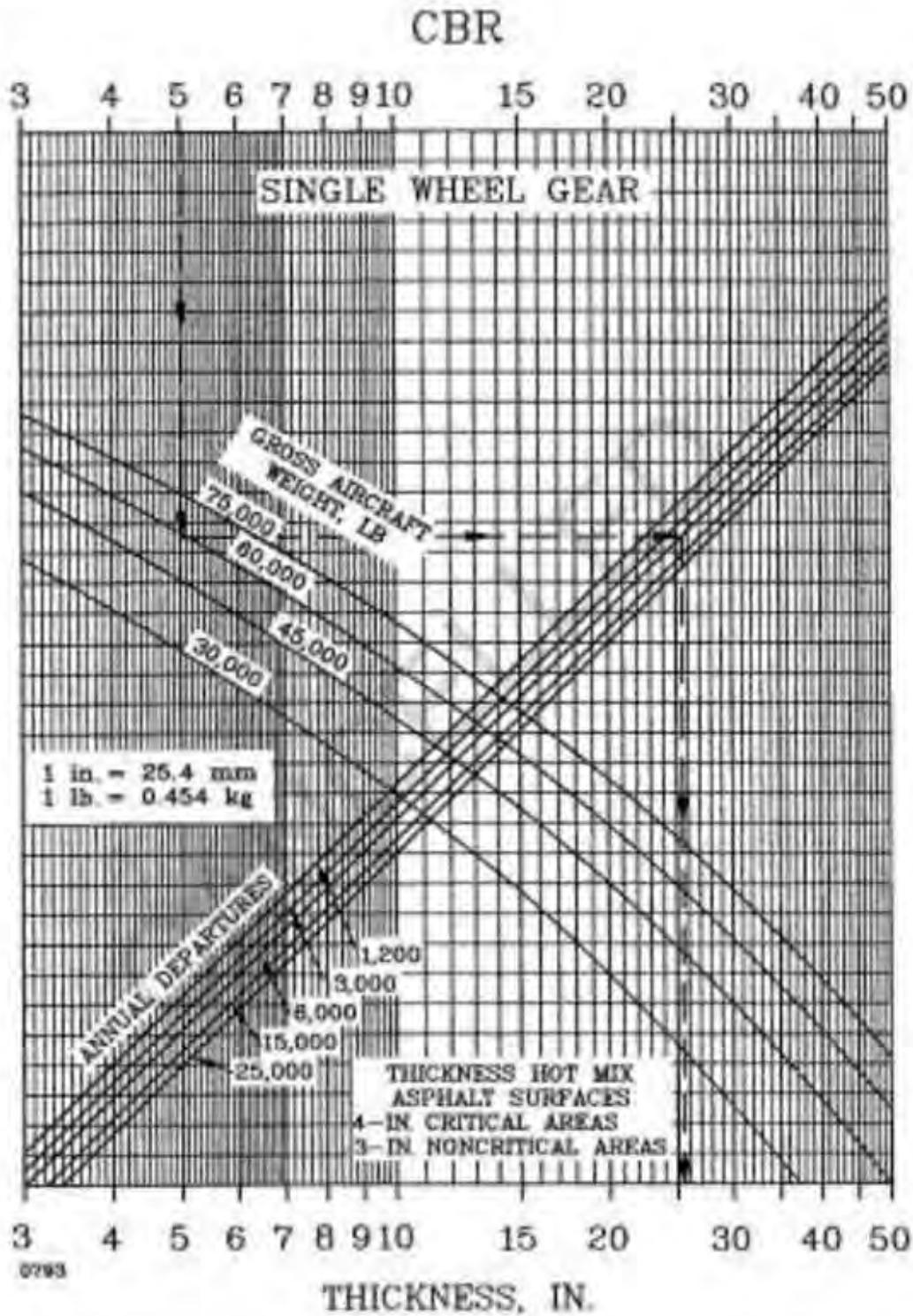


FIGURE 3-2 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, SINGLE WHEEL GEAR



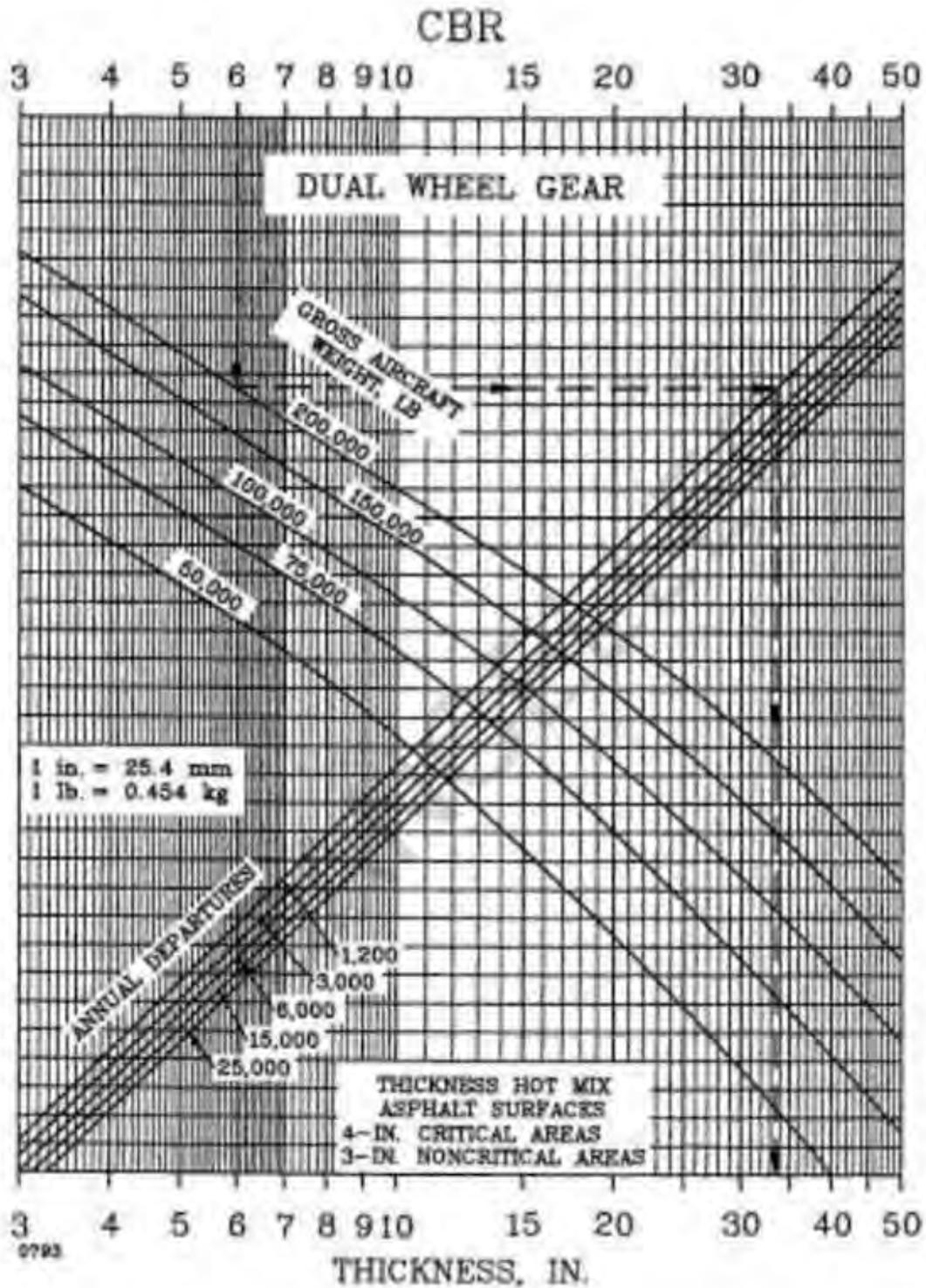


FIGURE 3-3 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, DUAL WHEEL GEAR



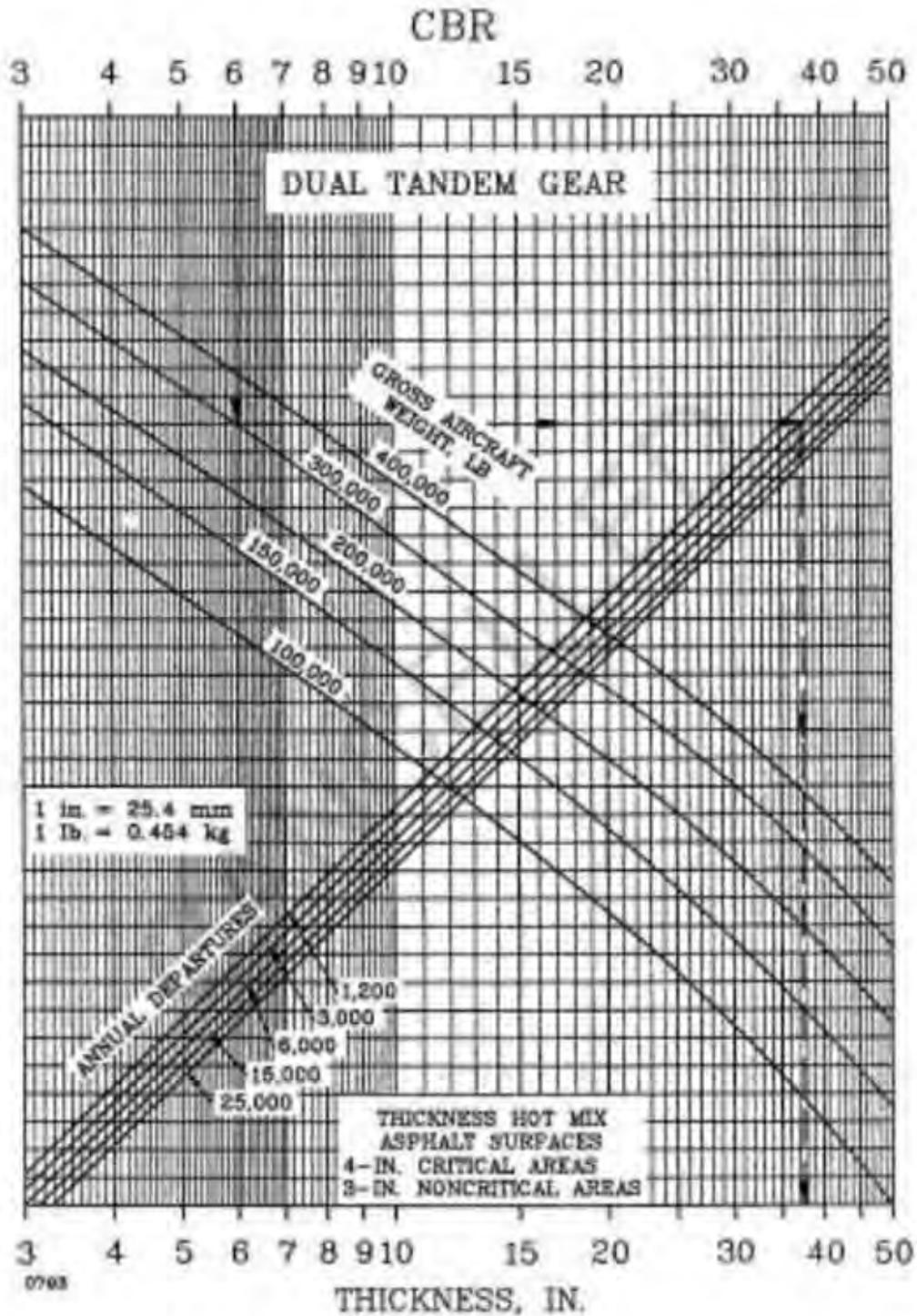


FIGURE 3-4 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, DUAL TANDIM GEAR



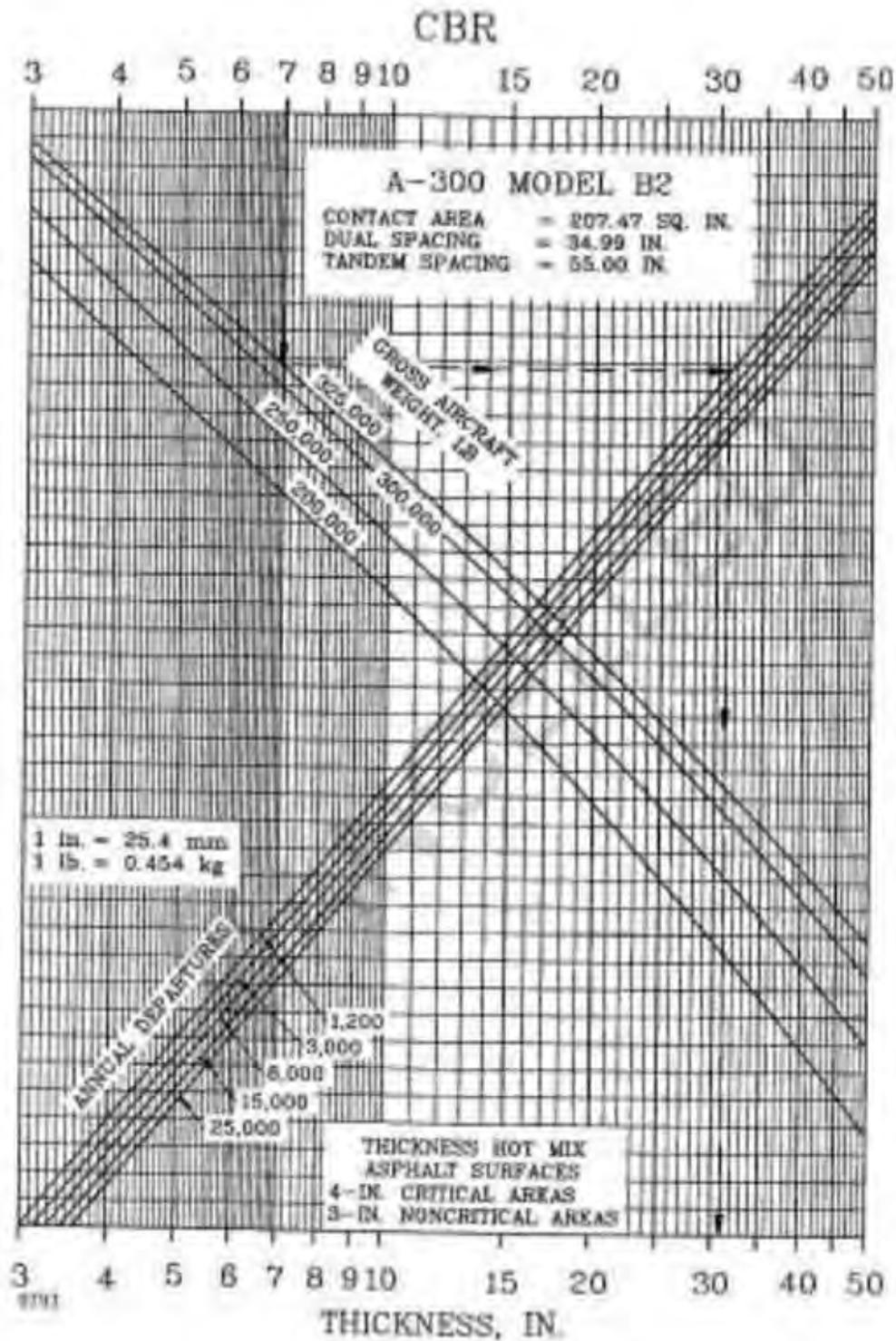


FIGURE 3-1 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, A-300 MODEL B2



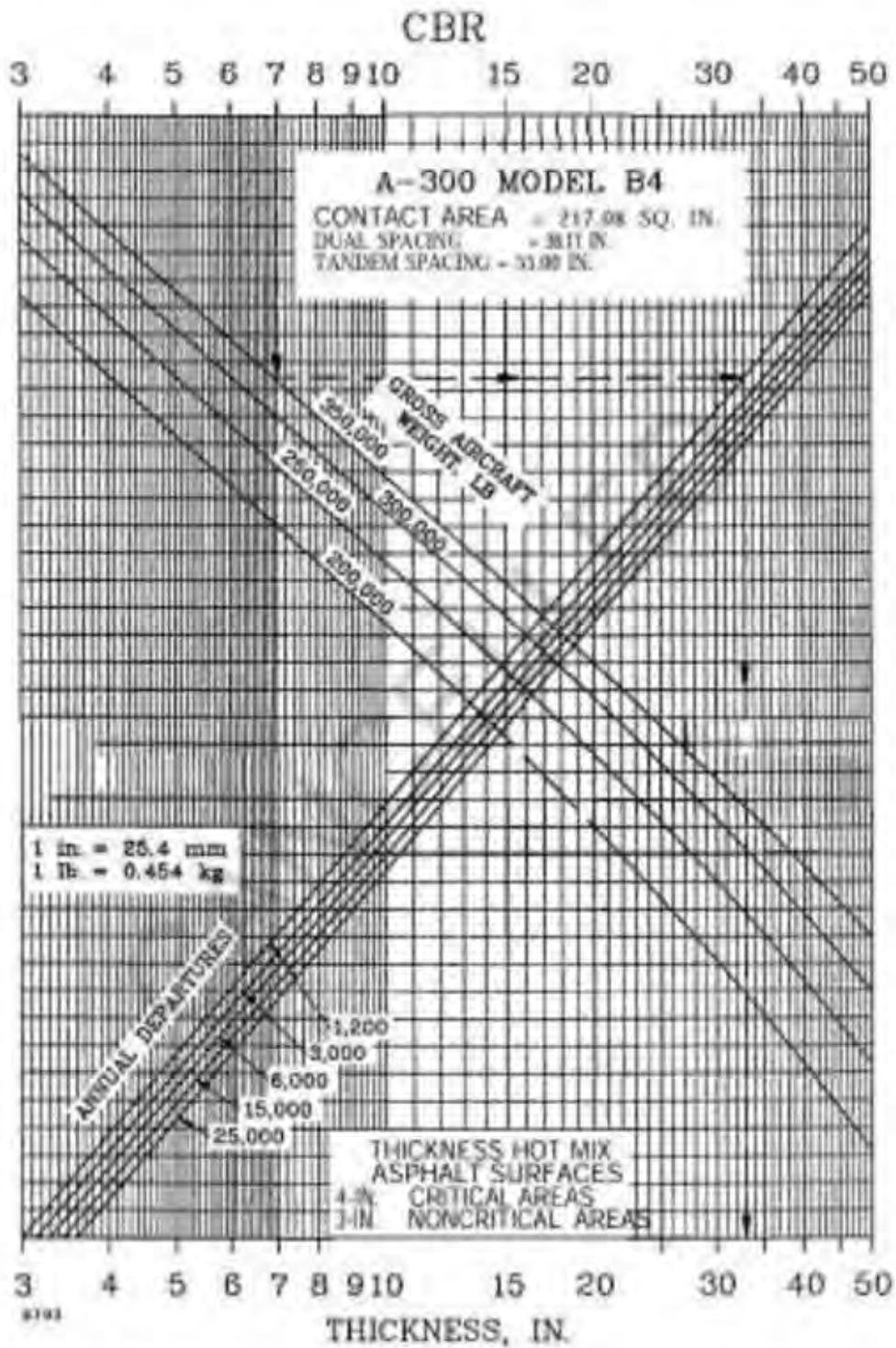


FIGURE 3-6 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, A-300 MODEL B4



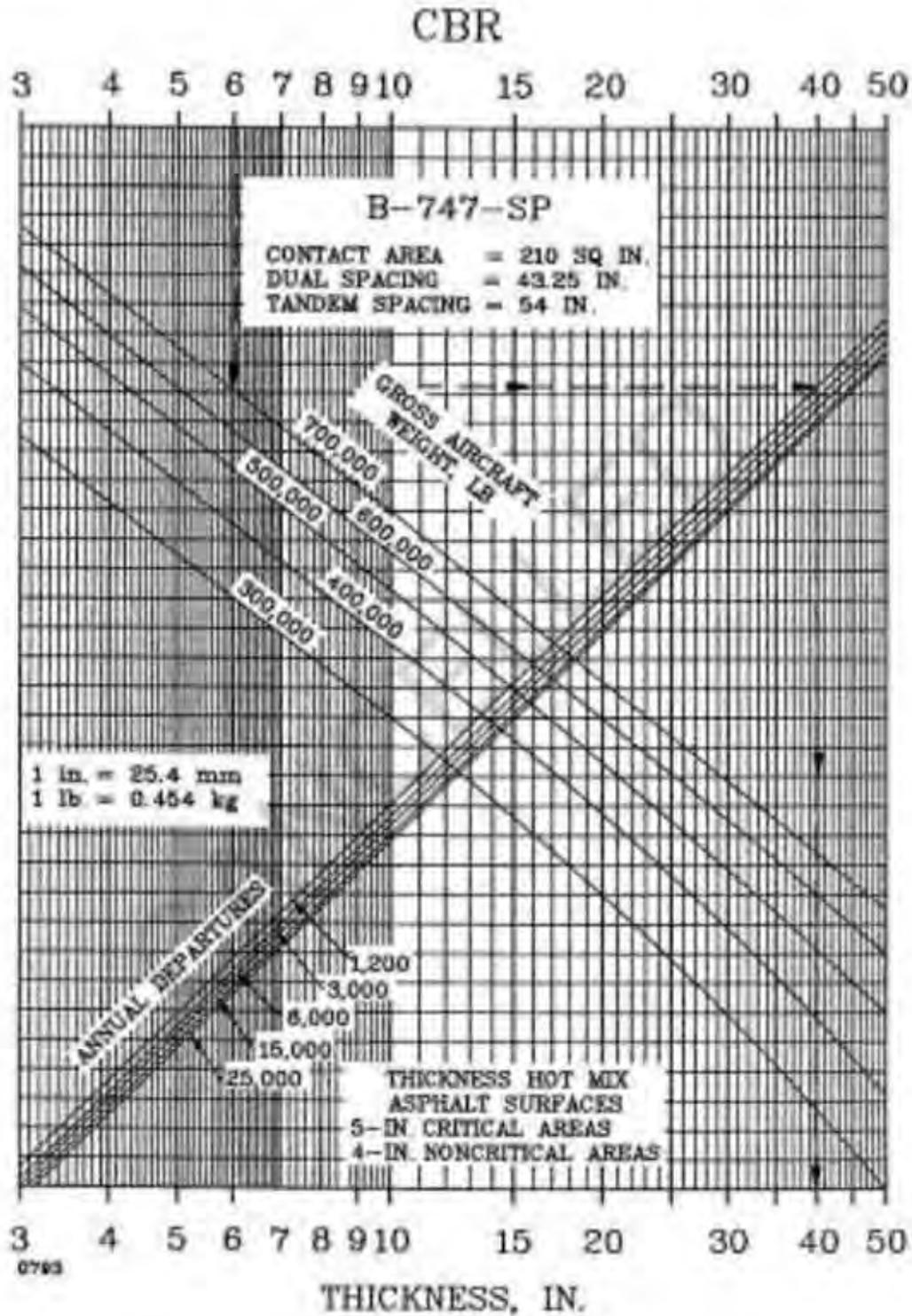


FIGURE 3-8 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, B-747-SP



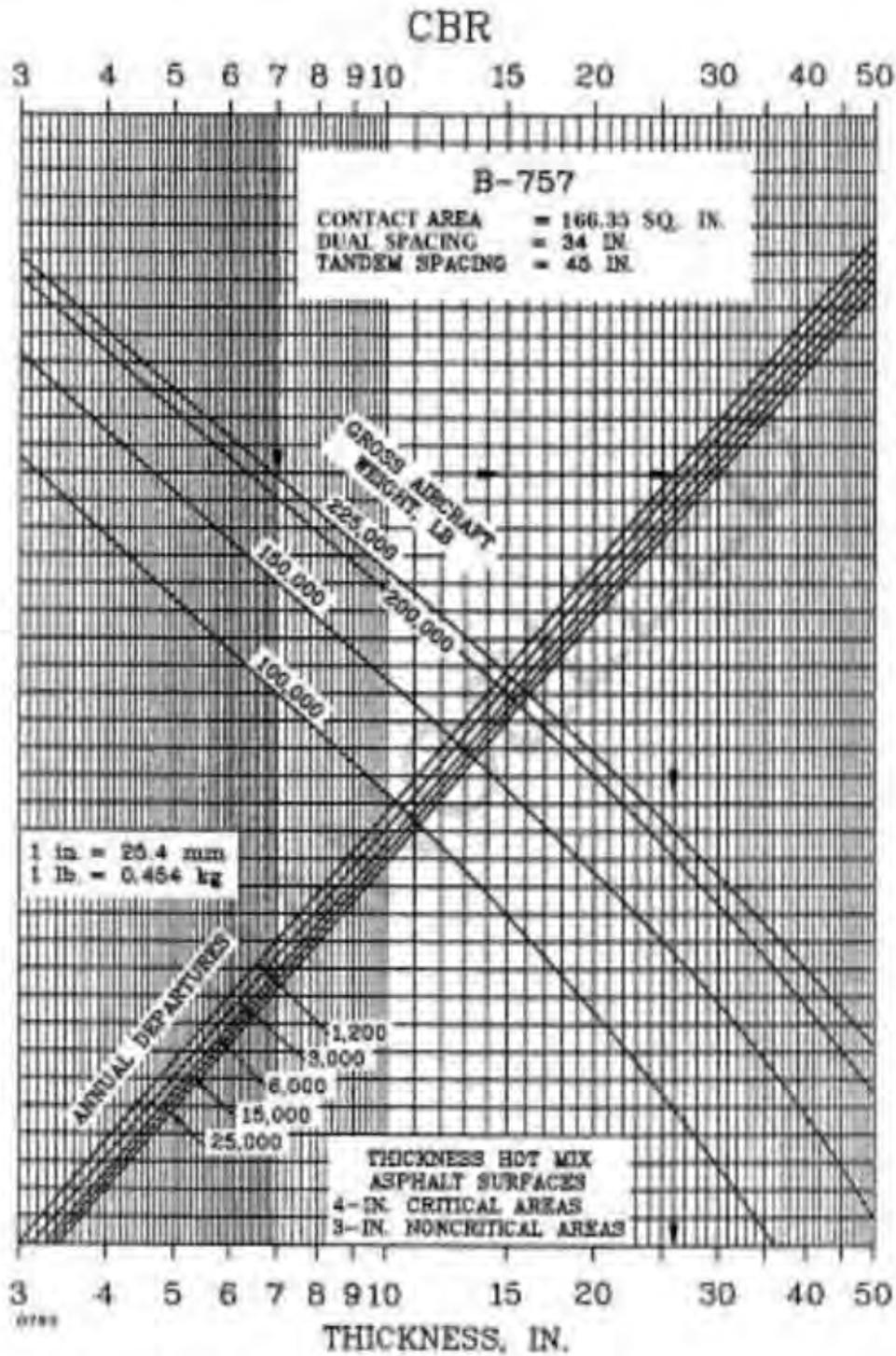


FIGURE 3-9 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, B-757



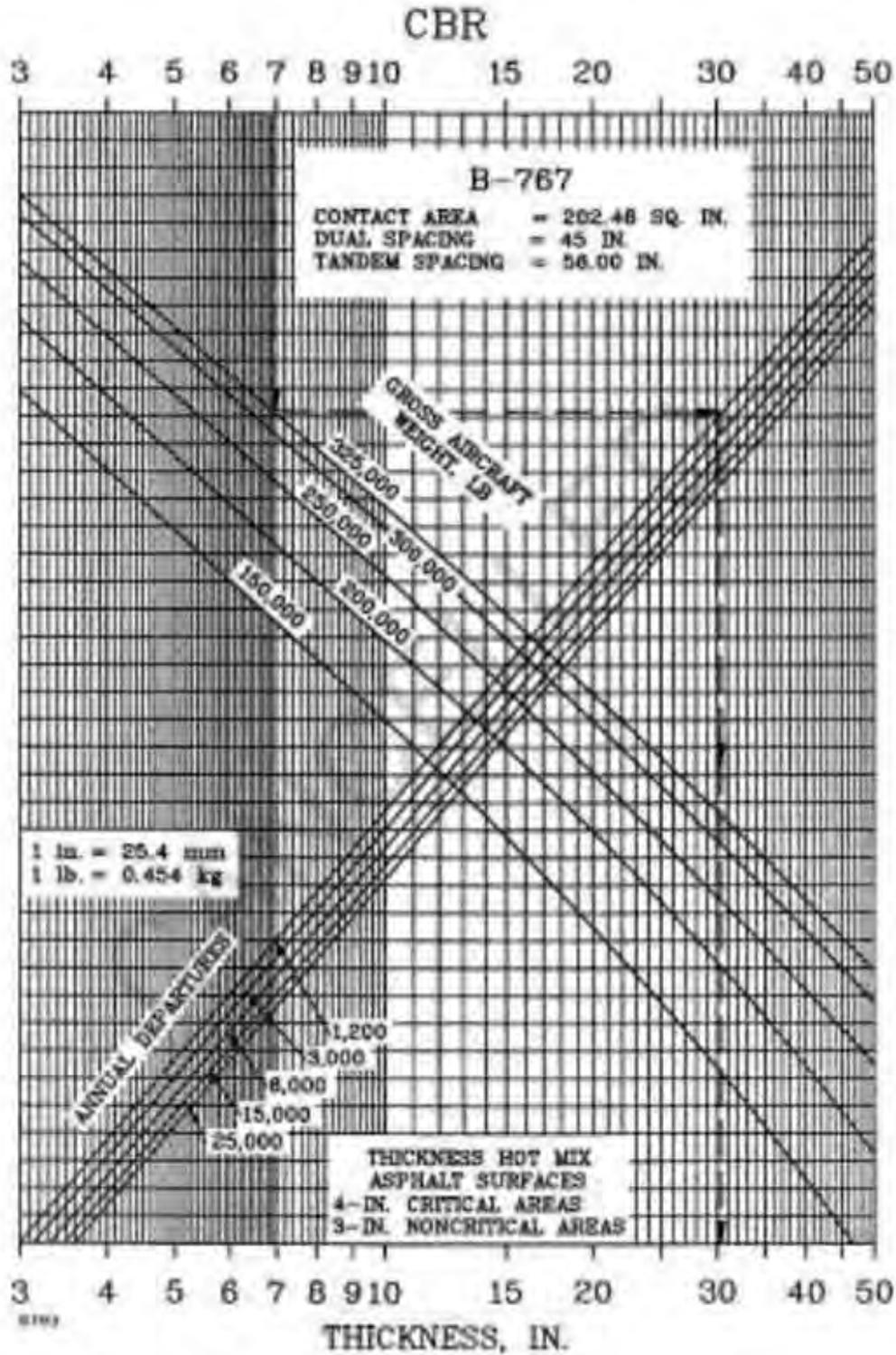


FIGURE 3-16 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, B-767





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



**Ejemplo de aplicación.**<sup>xlix</sup>

Por un estudio de suelos que se realizó a la subrasante se estimó un C.B.R de 6.2%

**Volumen de tráfico y aeronave de diseño.**

En la siguientes tablas se muestra el volumen de tráfico aéreo a utilizar para el diseño, cabe aclarar que los datos de la tabla provienen del Aeropuerto de Arauca el cual tiene una estimación de operaciones similar a las que va a tener el nuevo proyecto, se realiza de esta manera porque el aeropuerto de Hacaritama es un proyecto nuevo y no posee datos de operaciones.

TIPO DE AVION	VUELOS	%
E170	5066	46,56
D328	1943	17,86
E145	779	7,16
C170	1	0,01
AT45	552	5,07
AT42	146	1,34
JS41	2394	22,00
<b>TOTAL</b>	<b>10881</b>	<b>100,00</b>

TOTAL DE OPERACIONES 2009-2013 AEROPUERTO DE ARAUCA

TIPO DE AVION	VUELOS	%
E170	1013,2	46,56
D328	388,6	17,86
E145	155,8	7,16
C170	0,2	0,01
AT45	110,4	5,07
AT42	29,2	1,34
JS41	478,8	22,00

PROMEDIO DE OPERACIONES ANUALES 2009-2013 AEROPUERTO DE ARAUCA

Como se expuso en la explicación del método, no siempre la razón para realizar la toma de la aeronave de diseño es el peso máximo de despegue, si no, el número de salidas u operaciones que presente cada tipo de aeronave, por lo tanto, con respecto a los datos de la tabla anterior se designa como aeronave de diseño a la E 170. La siguiente tabla muestra los tipos de trenes de las aeronaves presentes y el peso máximo de despegue.

TIPO DE AVION	MAXIMO PESO DE DESPEGUE DE LA AERONAVE (MTOW)		TIPO DE TREN
	Kg	Lb	
E170	35990	79344,31	Ruedas dobles
D328	13990	30842,65	Ruedas dobles
E145	20600	45415,19	Ruedas dobles
C170	998	2200,21	Rueda simple
AT45	18597	41000	Ruedas dobles
AT42	22800	50265	Ruedas dobles
JS41	10886	23999,5	Ruedas dobles

MÁXIMO PESO DE DESPEGUE DE LA AERONAVE Y TIPO DE TREN.

Se procede a transformar todos los trenes con respecto al tren de la aeronave de diseño.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



Aeronave de diseño:	E170	Peso (Lb):	35990
TIPO DE AVION	SALIDAS	COEFICIENTE	Salidas equivalentes al tren de diseño
E170	1013,2	1	1013,2
D328	388,6	1	388,6
E145	155,8	1	155,8
C170	0,2	0,8	0,16
AT45 (ATR 42-500)	110,4	1	110,4
AT42 (ATR 42-500)	29,2	1	29,2
JS41	478,8	1	478,8

SALIDAS EQUIVALENTES AL TREN DE DISEÑO

Por último se transforman las salidas equivalentes al tren de diseño de cada aeronave, a las salidas equivalente anuales de la aeronave de diseño.

Aeronave de diseño:	E170	Peso (Lb):	79344	Carga por rueda (Lb):	18844,27	
Tipo De Avión	Salidas Equiv Al Tren De Dis.	Peso (LB)	Ruedas	Carga Por Rueda	Factor Peso 0,95%	Salidas Equiv Anuales
E170	1013,2	79344,3	4	19836,1	18844,3	1013
D328	388,6	30842,7	4	7710,7	7325,1	41
E145	155,8	45415,2	4	11353,8	10786,1	46
C170	0,2	2200,2	2	1100,1	1045,1	1
AT45 (ATR 42-500)	110,4	41000,0	4	10250,0	9737,5	29
AT72 (ATR 42-500)	29,2	50265,0	4	12566,3	11937,9	15
JS41	478,8	23999,5	4	5999,9	5699,9	30
<b>Salidas equivalentes anuales</b>				<b>1174</b>		

SALIDAS EQUIVALENTES ANUALES AL AVIÓN DE DISEÑO

**Calculo de espesor total de la estructura de pavimento.**

Como se ha dicho durante el documento, para el Cálculo de espesores se utilizan unos abanicos específicos dependiendo del tipo de tren de la aeronave de diseño, para el caso se utilizara el siguiente abanicos. Siguiendo los pasos que se detallaron en la explicación del modo de uso de la gráfica, se obtiene que con un CBR de 6,3, con un peso máximo de despegue de 79344,31 Lb y un equivalente de salidas anuales igual a 1174, se obtiene un espesor total de la estructura de pavimento igual a 21,5 Pulg (55 cm).

**Espesores de cada uno de los componentes de la estructura de pavimento.**

La sub-base tiene un CBR de 20 lo cual al llevarlo a la gráfica 6-1. Nos determina un espesor de capa de rodadura y base igual a 8,8Pulg (23 cm). Como el espesor total de la estructura de pavimento es igual a 21,5 Pulg (55 cm) obteneos que el espesor de la capa Sub-base es 55cm -23cm = 32 cm.

Como se especifica por la norma las zonas no criticas tendrá un espesor igual a la zona critica multiplicada por el factor 0,90 por lo que el espesor en esta zona será de 29 cm. La nota de la gráfica especifica que el espesor de la capa de rodadura es igual a 10 cm en zonas críticas, y en zonas no criticas de 8 cm. El espesor de la base se hallara tomando 23cm – 10 cm = 13 cm en zonas críticas, y para zonas no criticas será el





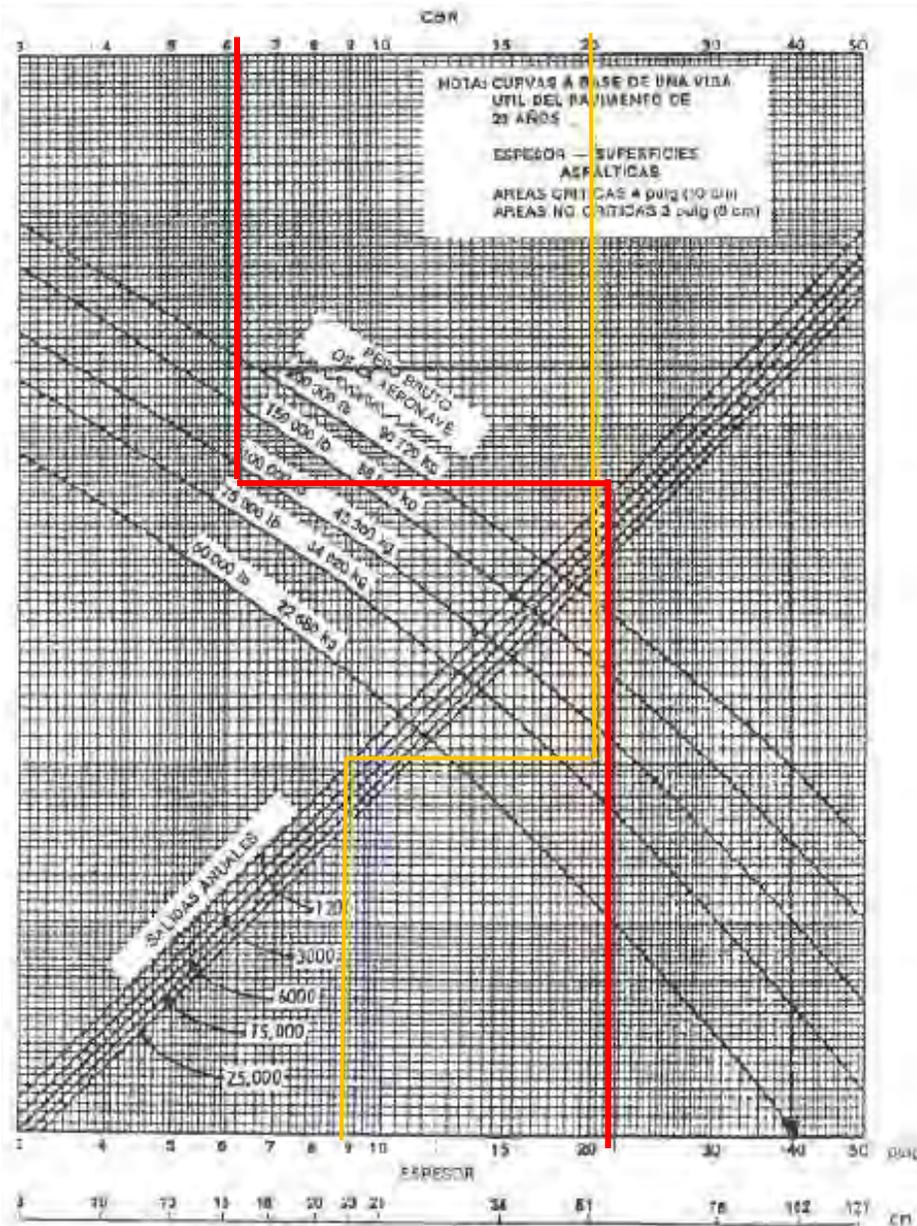
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



espesor de 13 cm por 0,9 a lo que el espesor en esta zona será de 11,7 cm. Se especifica e los espesores en la siguiente tabla.

Capa	Zona crítica. (cm)	Zona no crítica. (cm)
Capa de rodadura	10 8	10 8
Base	13 12	13 12
Sub-base	32 29	32 29

Espesores.





### Diseño pavimentos rígidos.<sup>1</sup>

Los pavimentos rígidos para aeropuertos se componen básicamente de concreto Portland, este tipo de pavimentos difieren mucho de los pavimentos flexibles, el diseño estructural de pavimentos de concreto es racional, a diferencia de los de tipo flexible que mezcla este con los tradicionales y algunos semiempíricos.

Al igual que para los pavimentos flexibles, la FAA ha desarrollado una metodología para el diseño de las estructuras de pavimentos rígidos, actualmente se cuentan con curvas de diseño para trenes de aterrizaje de ruedas simples, dobles y en tándem y para aviones de cabina ancha, las cuales requieren conocer previamente los siguientes parámetros de entrada:

- Resistencia del concreto a la flexión: el espesor requerido del pavimento de concreto está relacionado con la resistencia del concreto utilizado en el mismo, los principales esfuerzos soportados por el concreto son a la flexión.
- Módulo de la subrasante (valor K), es una constante elástica del material que soporta el pavimento y un valor de resistencia del material de apoyo.
- Peso bruto de la aeronave de diseño.
- El número decolajes equivalentes.

El uso correcto de las curvas de diseño permite calcular el espesor necesario del concreto, garantizando el correcto funcionamiento durante la vida útil del mismo; los demás espesores de las capas inferiores de la estructura del pavimento se deben calcular por separado.

### La utilización de las curvas de cálculo es la siguiente:

1. Con el valor de la resistencia a la flexión del concreto, la ordenada izquierda de la curva de cálculo se registra con la resistencia del concreto a la flexión.
2. Se traza una proyección horizontal hasta intersectarla línea del modulo de fundación pertinente.
3. Se traza una proyección vertical a partir del punto hasta el peso bruto de la aeronave de cálculo.
4. Se traza una proyección horizontal hasta la ordenada derecha que indica las salidas anuales, se lee el espesor del pavimento a partir de la línea de salida anual pertinente. El espesor del pavimento indicado se refiere únicamente a la capa de rodadura.

### Los requisitos de la capa de de cimentación del pavimento rígido.

Se requiere un espesor mínimo de 4" (10 cm) de cimienta, debajo de todos los pavimentos rígidos excepto como se indica en la siguiente tabla:

Clasificación del suelo	Buen avenamiento		Mal avenamiento	
	Sin heladas	Con heladas	Sin heladas	Con heladas
GW	X	X	X	X
GP	X	X	X	
GM	X			
GC	X			
SW	X			

Condiciones en que no se requiere capa de cimentación.

Se puede utilizar una cimentación con un espesor superior a las 4", esto aumentara el modulo de reacción del terreno y permite reducir el espesor requerido del concreto necesario lo cual se traduce en un diseño más económico. La siguiente lista es de materiales adecuados para la capa de cimentación de los pavimentos rígidos:

- Capa de cimentación de grava
- Capa de firme asfáltico
- Capa de firme árido
- Capa de firme árido machacado





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS



- Capa de firme de cemento sobre el terreno
- Capa de firme tratada con cemento

El espesor del pavimento indicado se refiere únicamente a la capa de rodadura.

**Aéreas críticas y no críticas.**

Las curvas de cálculo se utilizan para determinar el espesor del concreto en las aéreas críticas. El espesor  $0.9T$  para las aéreas no críticas se aplica al espesor de la losa de concreto. Para la sección de espesor variable del borde adelgazado y la sección de transición, se aplica la reducción al espesor de la losa de concreto. El cambio de espesor en las transiciones deberá llevarse a cabo en toda la longitud o anchura de toda la losa.





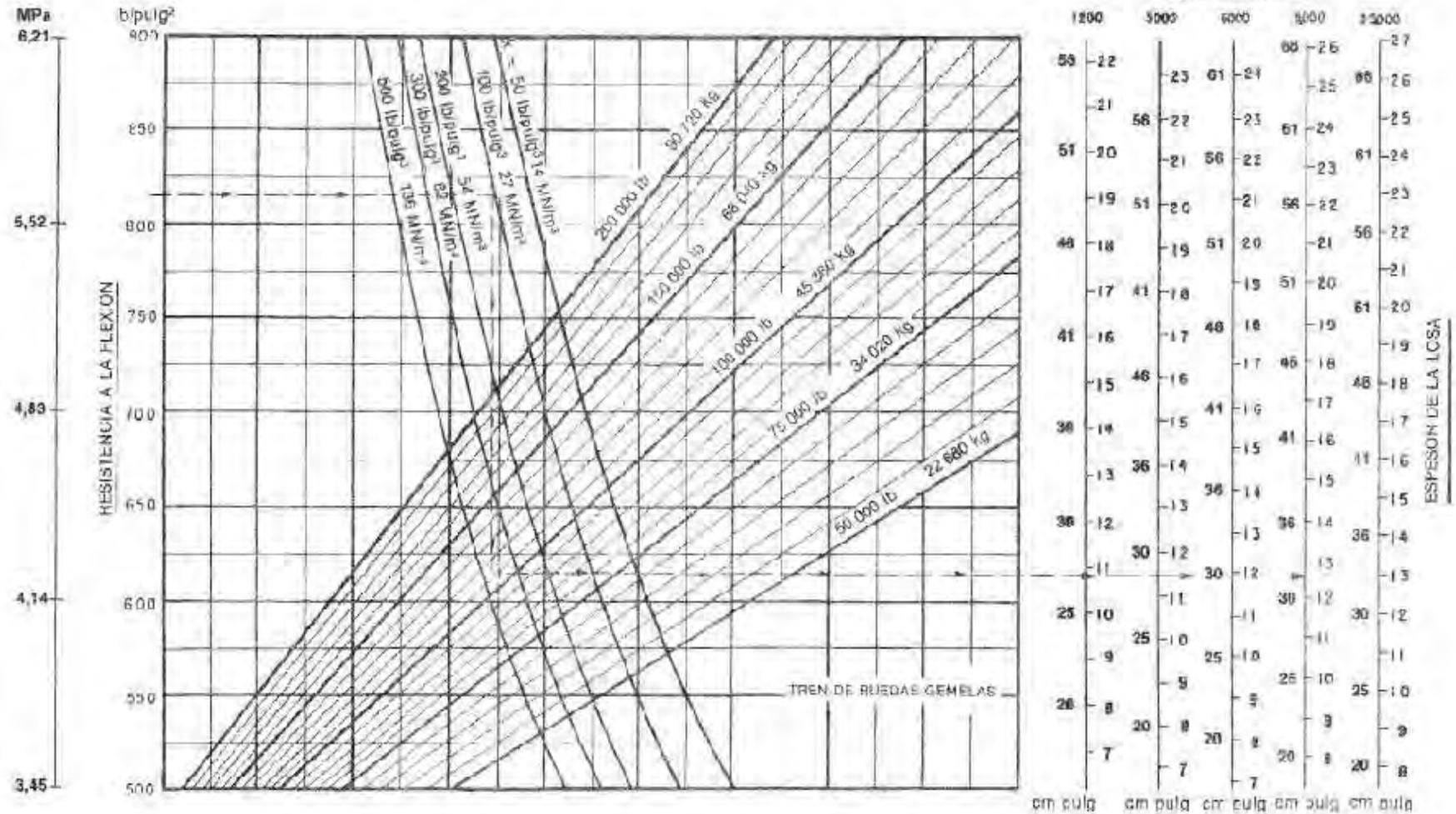


Figura 4-47. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - tren de ruedas gemelas





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

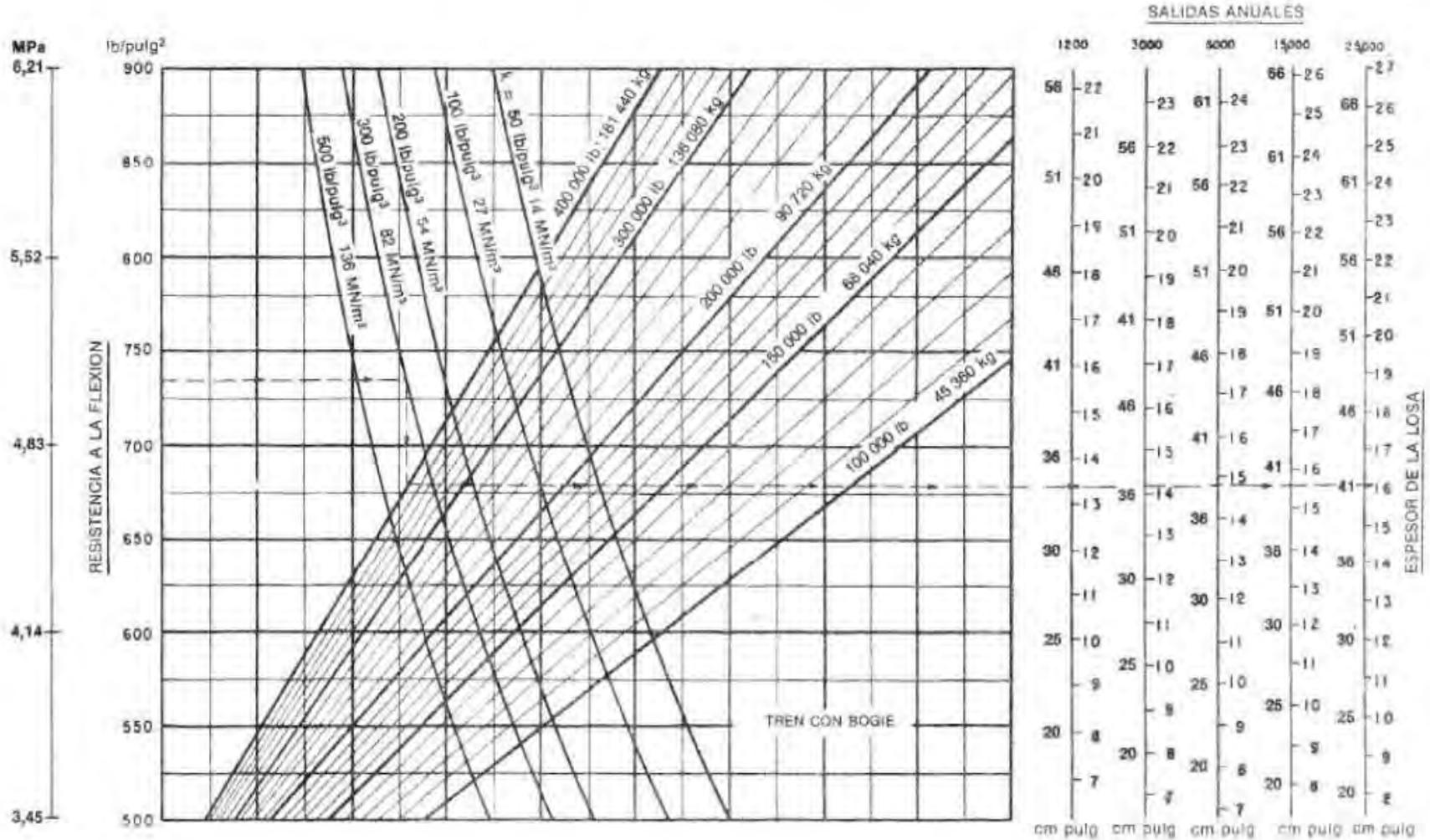


Figura 4-48. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - tren de bogie



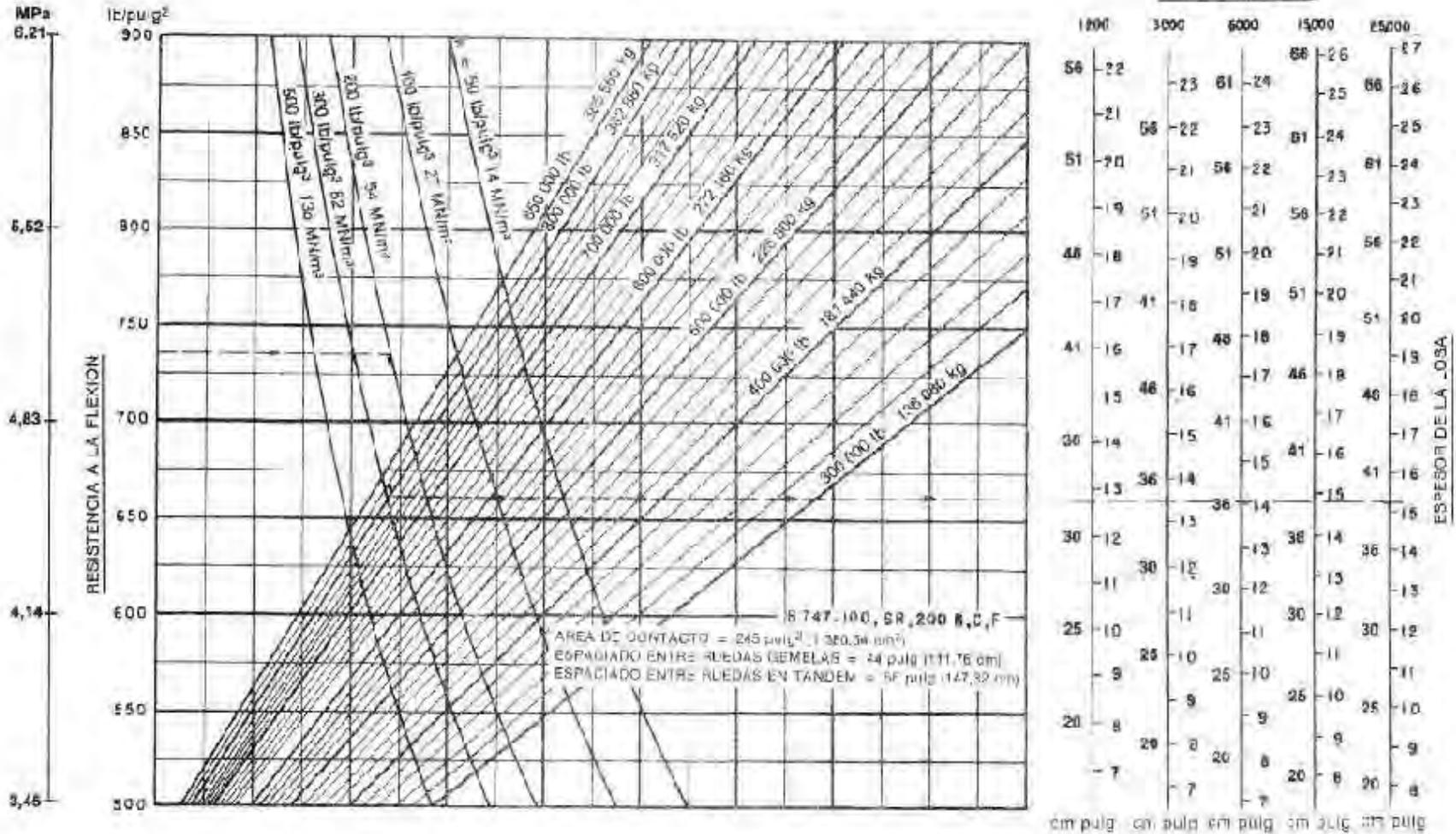


Figura 4-43. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - B-747-100, SR, 200 S, C, F



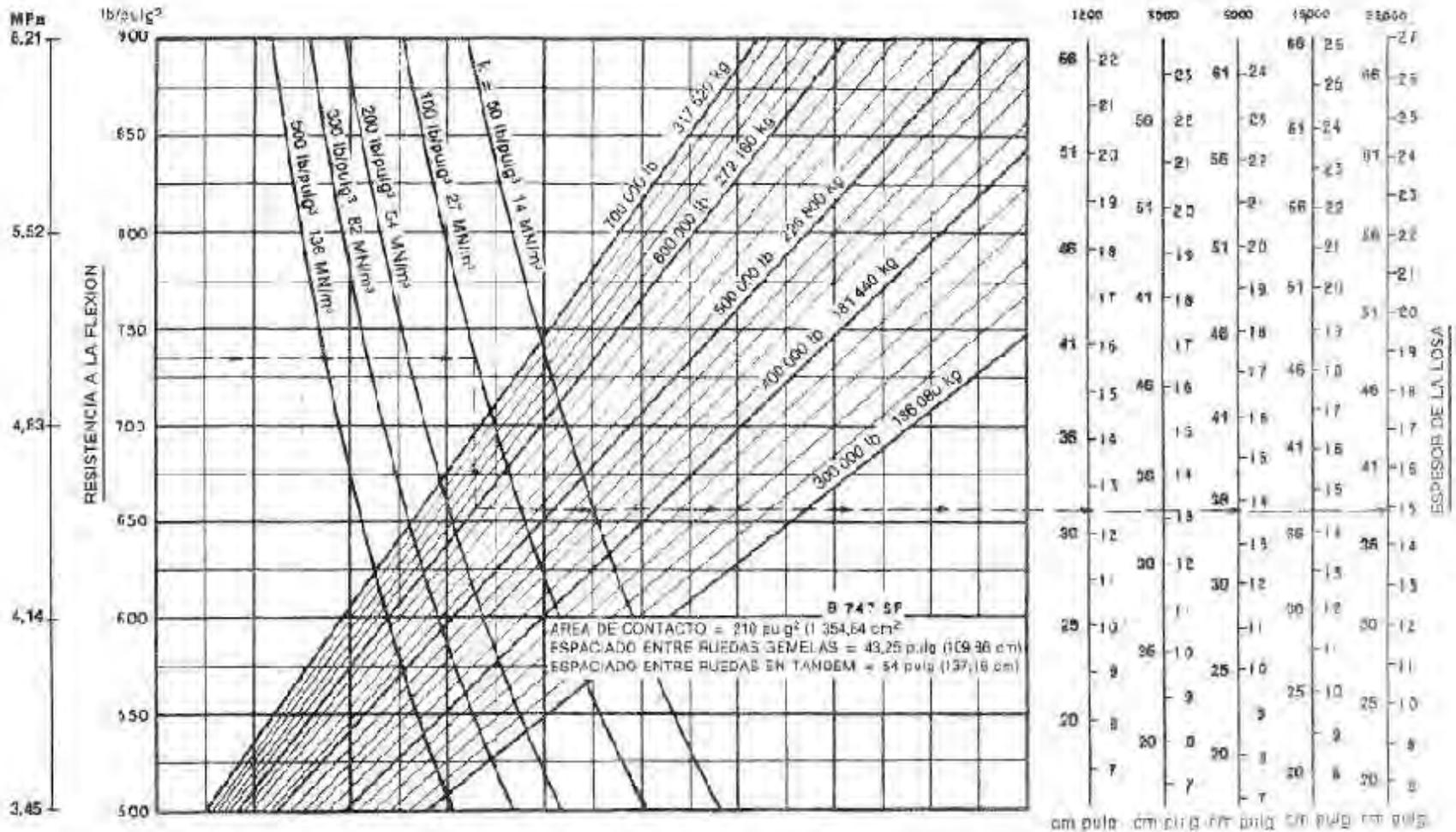


Figura 4-50. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - B-747-SP





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

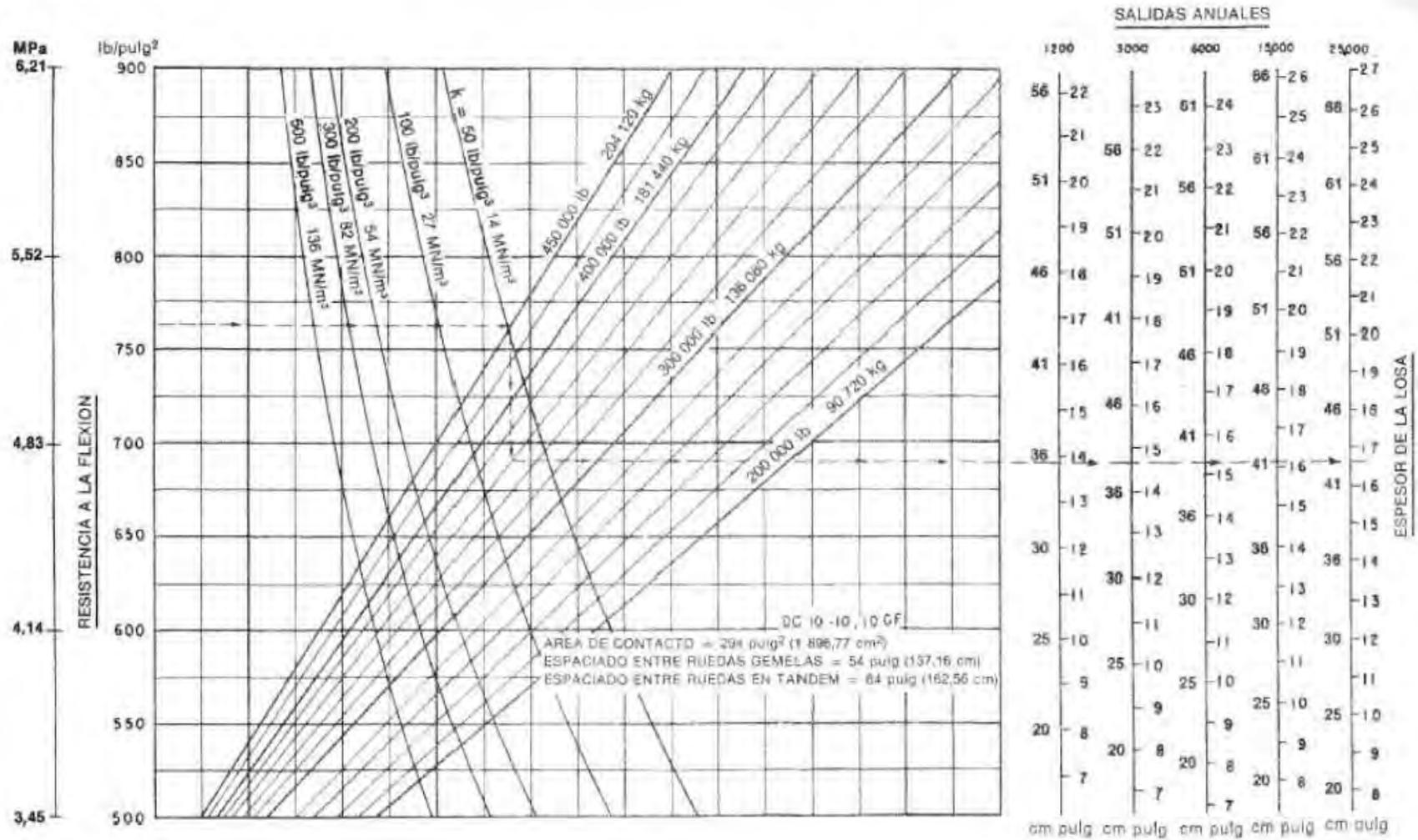


Figura 4-51. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - DC 10-10, 10CF



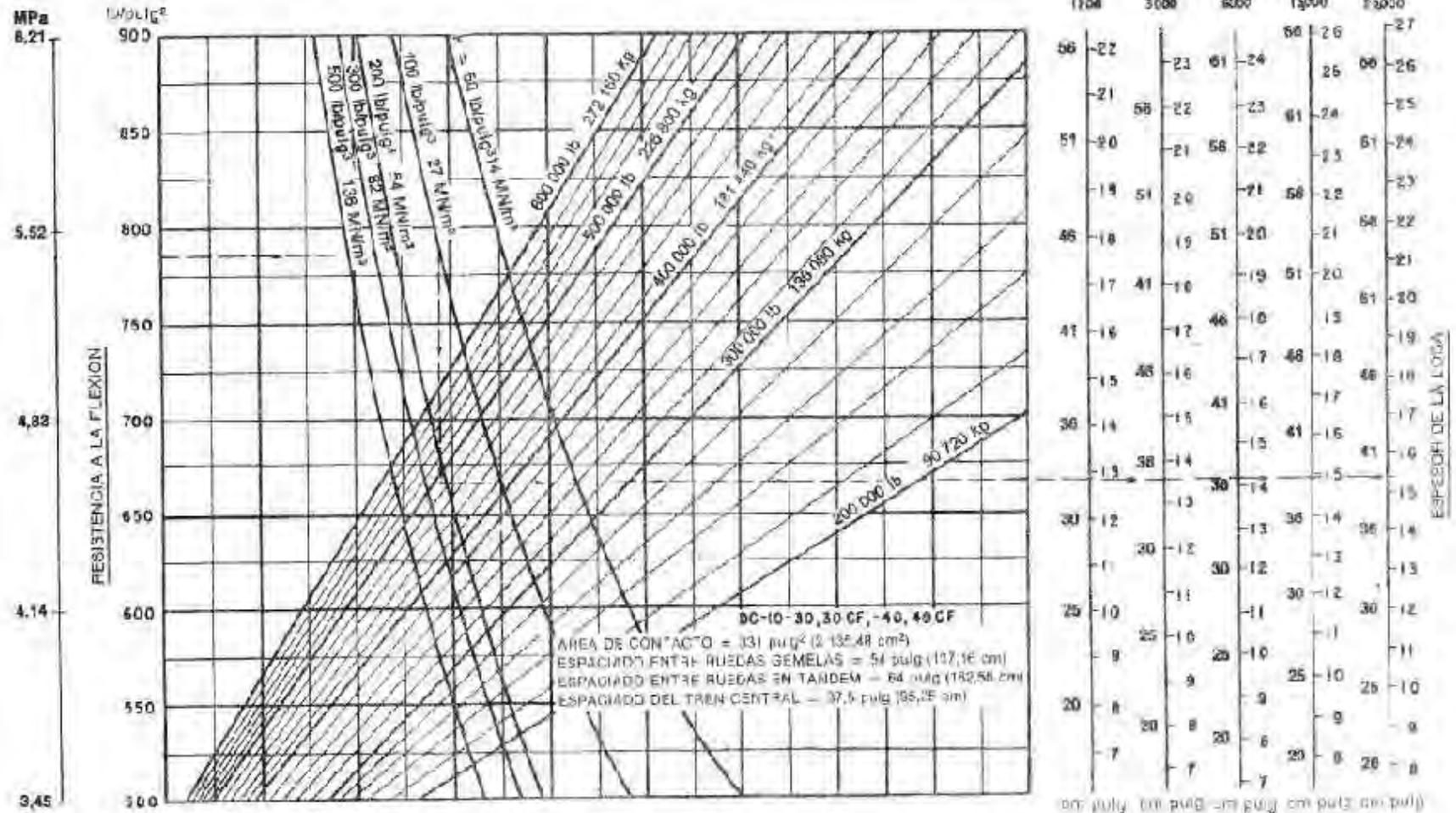
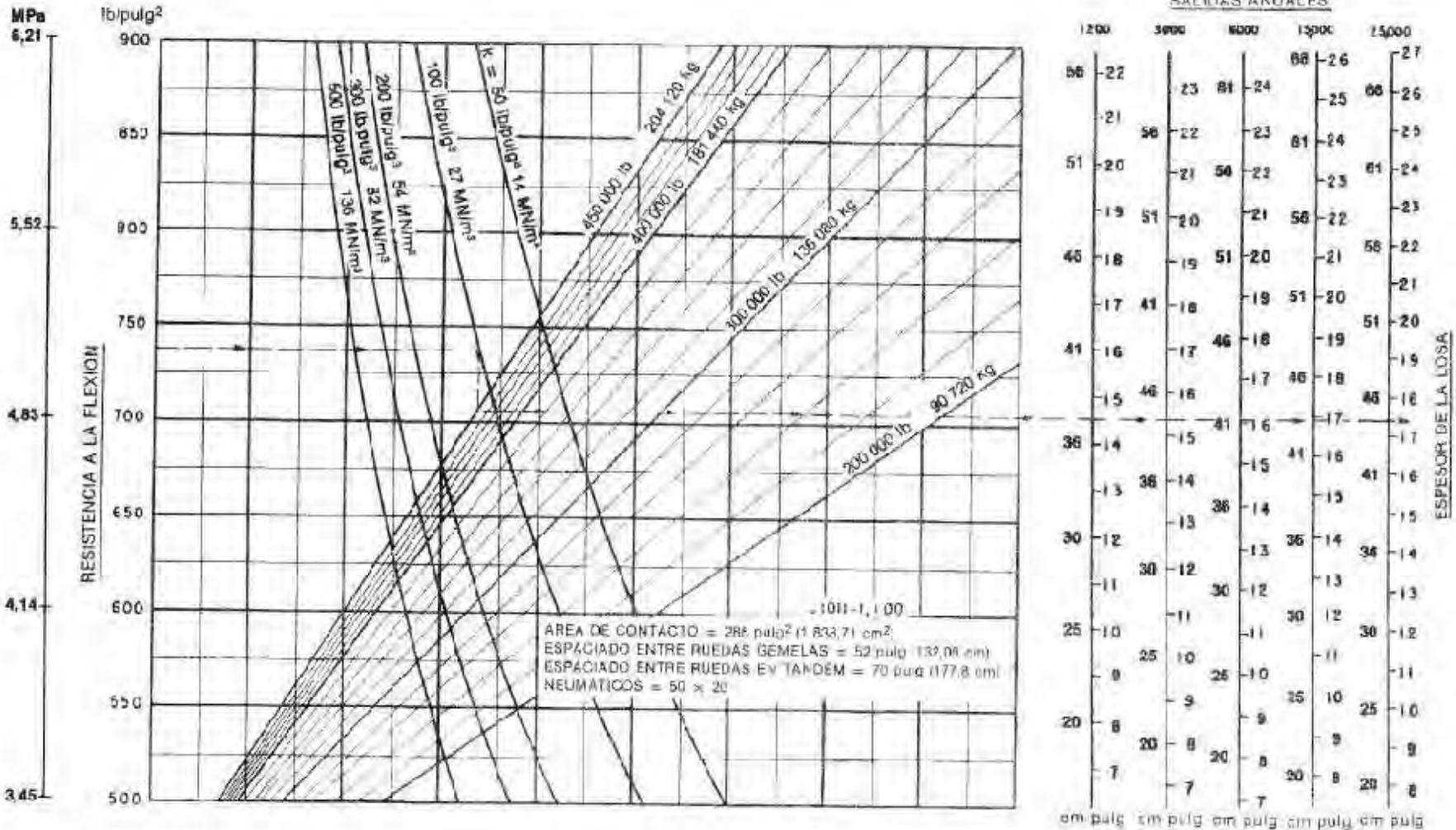


Figura 4-52. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - DC 10-30, 30CF, 40, 40CF







UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
 INGENIERÍA CIVIL  
 CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

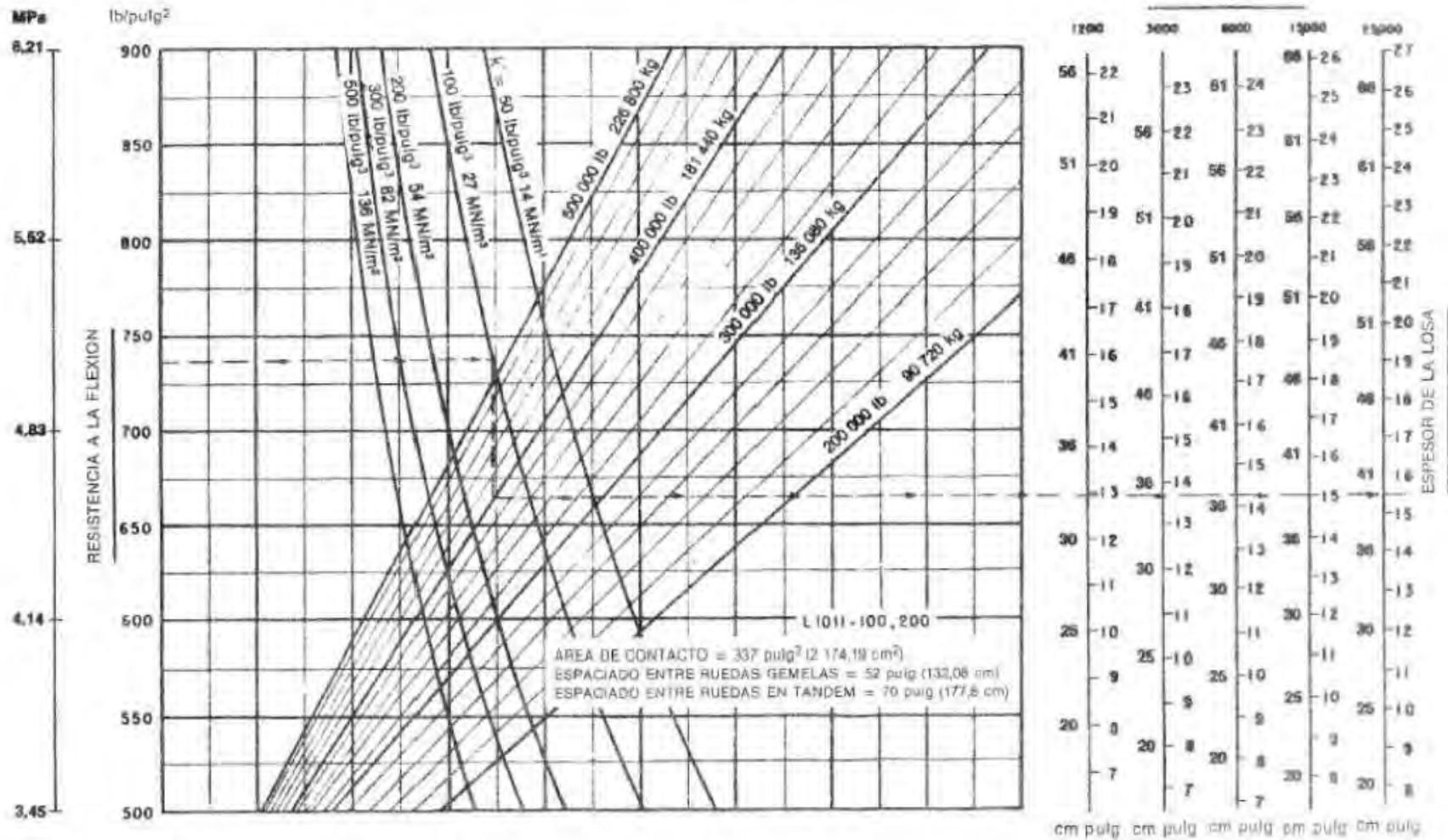


Figura 4-54. Curvas de cálculo de pavimentos rígidos - L-1011-100, 200

TESIS PRESENTADA POR:  
 MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





### Capa de cimentación estabilizada.<sup>ii</sup>

La capa de cimentación estabilizada se requiere en todos los pavimentos rígidos para aeronaves de más de 45,000kg. La ventaja estructural de una sección de pavimento con capa de cimentación estabilizada se refleja en el modulo de reacción del terreno de fundación, asignado al cimiento.

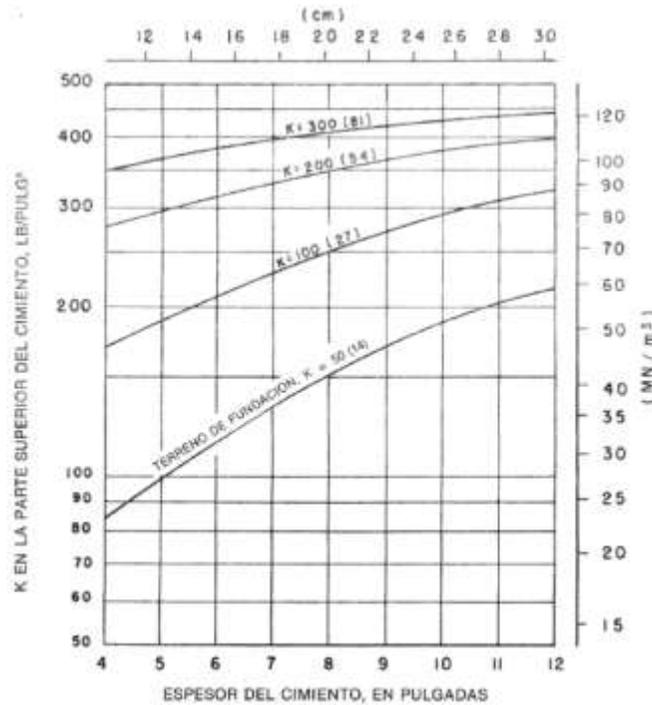


Figura 4-55. Efecto de la capa de cimentación estabilizada sobre el módulo del terreno de fundación

### Ejemplo de aplicación.

Supongamos que se debe calcular un pavimento rígido para una aeronave de tren con Bogie que posee un peso bruto de 350 000 lb, que ha de hacer 6000 salidas anuales equivalentes.

La cifra de salidas anuales equivalente comprende 1200 salidas anuales b-7474 con peso bruto de 780, 000 lb el modulo de terreno de fundación de 100 lb/pulg<sup>3</sup>con mal avenamiento y penetración de helada es de 17 pulg. El factor de que ha de calcularse de una pista primaria que requiere un 100% de protección contra helada. El terreno de fundación es CL. Los cálculos de mezcla del concreto indican un resistencia a flexión de 650 lb/pulg<sup>2</sup> que puede lograrse fácilmente con los áridos del lugar.

El peso bruto de la aeronave de cálculo determina el uso de una capa de cimentación estabilizada supongamos qu sea de utilizar una capa de cimentación estabilizada con cemento, con espesor de 6 pulg. Empleando la fig4.55, un espesor de 6 pulg probablemente aumentara el modulo de cimientto de 100lb/pg<sup>3</sup> a 210lb/pg<sup>3</sup> la utilización de la figura 4--48 (curva de cálculo de Bogie) con los datos de cálculo, da un pavimento de concreto con un espesor de 16.6 pulg (42cm). Que sería redondeado a 17pulg (43cm), con a penetración de helada es solo de 18 pulg (45 cm) el espesor combinado del pavimento de hormigón y de la capa de cimentación estabilizada es de 23 pulg (58cm) no se necesita ninguna protección contra helada.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS



# CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





## CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS



Ilustración 86 Bacheo

El mantenimiento se puede definir como la función de preservar, reparar y restaurar una vialidad conservándola en condiciones de uso seguro, conveniente y económico, que pueden ser de tipo físico como bacheo, llenado de juntas, etc. así como las acciones de servicio de tránsito, entre las que se incluyen las marcas de pintura, la construcción de cercas, retiro de basura esparcida. Los trabajos de rehabilitación no se consideran como mantenimiento, pero las actividades periódicas de rutina antes y después lo son.

Los programas de mantenimiento están diseñados para compensar los efectos del clima, crecimientos orgánicos, desgaste y daños provocados por el tránsito, así como el deterioro debido a los efectos del envejecimiento, fallas de materiales y errores en la construcción.<sup>lii</sup>

La importancia del mantenimiento, tiene su justificación en la necesidad de proteger la inversión realizada al construir la pista y con esto provocar mayor seguridad del sistema aéreo, en términos generales para un pavimento, se pueden manejar dos tipos de fallas, que son las funcionales y las estructurales.

Establecer un Plan de Inspección, y como consecuencia un Plan de mantenimiento, es fundamental para la operación, la durabilidad y la economía del aeropuerto. Considerando que reparaciones importantes no sólo exigen inversiones costosas sino el cierre, total o parcial, de infraestructuras.



Ilustración 87 mantenimiento

Un Plan de Inspección debe incluir al menos: <sup>liii</sup>

- Terraplenes y desmontes.
- Drenaje.
- Márgenes de pistas y calles, y zonas antichorro.
- Pavimentos.
- Ayudas visuales.

De los terraplenes y desmontes debe inspeccionarse periódicamente y cada vez que se produzca un fenómeno meteorológico, como precipitaciones importantes o vientos de gran velocidad, su estado: cárcavas, descalces, erosiones, etc. que pueden causar inestabilidad y como consecuencia derrumbes o corrimientos, así como arrastre de materiales a las zonas de operación de las aeronaves.

El drenaje ha de inspeccionarse metódicamente ya que su estado es importante para la vida útil del sistema de pistas y calles. Alejar las aguas de los pavimentos lo antes posible para evitar aumento de la humedad o la formación de capas de agua que pueden producir hidroplaneo es fundamental.

Los márgenes laterales y las zonas de impacto del chorro de los motores han de estar en el mejor estado posible y limpio de cualquier elemento suelto que puede ser absorbido por los motores. Ello exige una inspección prácticamente continua, con barridos y reparaciones superficiales. Pavimentar o estabilizar estas partes del área de movimiento es una buena solución, teniendo en cuenta además que deben ser capaces





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS

de soportar la carga de una aeronave que eventualmente se salga de la pista o calle y de los vehículos de servicio de tierra, algunos como las cisternas con cargas importantes.

Las ayudas visuales deben revisarse, y si es posible disponer de un sistema de autoc comprobación eléctrico. Las señales han de estar visibles especialmente las de identificación y delimitación.



Ilustración 88 limpieza de drenaje

### Inspección de pavimentos.<sup>iv</sup>

La inspección de pavimentos ha de planearse según varios niveles. Debe haber una inspección visual frecuente que permita detectar los deterioros o fallos evidentes; una inspección rutinaria periódica, cada 6, 12 ó 24 meses dependiendo de los parámetros que se quieren comprobar; e inspecciones rigurosas como consecuencia del resultado de las anteriores.

En el Plan de Inspección, además de las características que deben vigilarse, es conveniente que se incluyan formularios impresos que faciliten el trabajo sistemático, incluso por personal poco experto, y eviten omisiones. Deben ser lo más sencillos posibles, como por ejemplo una representación de la pista cuadrículada en la que se puedan anotar o dibujar las anomalías advertidas: fisuras, desconchones, peladuras, vertidos, contaminantes, vegetación, roderas, manchas de grasas o hidrocarburos, residuos del caucho de las ruedas, etc. De esta manera, el técnico verá fácilmente la entidad de los deterioros y su localización para una nueva inspección.

### La rehabilitación

Es la actividad necesaria para “devolver” a la estructura de pavimento las condiciones de soporte de carga cercanas con las que inicialmente se construyó así como su nivel de servicio en términos de seguridad y comodidad.

Un pavimento puede presentar dos tipos de rehabilitación,

- Superficial
- Estructural.

La información con la cual se podría contar, es la siguiente:

- El diseño del pavimento original. Los espesores de las capas construidas, junto con cualquier cambio en los diseños especificados del pavimento. Los resultados de los procesos y los ensayos de control de calidad desarrollados durante la construcción.
- Las medidas de rehabilitación superficial, resuelven problemas que se encuentran confinados a las capas superiores del pavimento, usualmente dentro de los 100 mm., inconvenientes que están relacionados con el envejecimiento del asfalto y con el agrietamiento que se origina en la superficie debido a factores térmicos.

La rehabilitación para resolver problemas de la estructura del pavimento normalmente se trata como una solución a largo plazo. Al resolver los problemas estructurales, debe recordarse que la estructura del pavimento es la que tiene fallas y no necesariamente los materiales que la forman.

La densificación de los materiales granulares es de hecho, una forma de mejoramiento, debido a que a mayor densidad de un material, mejoran sus características de resistencia, sin embargo, la densificación causa problemas en las capas superiores, especialmente en aquellas construidas con materiales ligados. El





objetivo de la rehabilitación estructural es maximizar el valor de recuperación del pavimento existente. Esto infiere que el material que se ha densificado no debe alterarse.

Una Rehabilitación Superficial, se orienta a la colocación, sobre la superficie existente de una carpeta delgada (espesores inferiores a los 35 mm.) de mezcla asfáltica en caliente o en frío. Ésta es la solución más simple a un problema, debido a que el tiempo requerido para completar los trabajos es corto y existe un impacto mínimo sobre los usuarios de la vía. El fresado y conformación de material granular, es muy utilizado en los casos en los que se requiere aumentar la capacidad portante del pavimento.

Una Rehabilitación Estructural puede orientarse a una reconstrucción total. Ésta es la opción elegida cuando se combina la rehabilitación con una decisión de mejoramiento que demanda un cambio significativo en la vía.

Entre las operaciones más utilizadas para rehabilitación estructural se encuentran:

- Reconstrucción total. Esta es la opción elegida cuando se combina la rehabilitación con una decisión de mejoramiento que demanda un cambio significativo en la carretera. La reconstrucción esencialmente implica todo y comenzar de nuevo. Cuando se tiene altos volúmenes de tráfico es preferible construir una vía alterna, para evitar problemas con el tráfico.
- Construcción de capas adicionales (sean de materiales granulares o de mezclas asfálticas) sobre la superficie existente. Con frecuencia la colocación de capas asfálticas gruesas donde los volúmenes de tráfico son altos es la solución más fácil para los problemas estructurales. Sin embargo, como ya se indicó, un incremento en el nivel superficial trae acarreado problemas de escurrimiento en drenajes y en accesos.

### Reconocimiento y auscultación de pavimentos

Cuando se ha detectado algún defecto o dentro de un plan sistemático preventivo se llevan a efecto operaciones de reconocimiento y medición de características de los pavimentos y pavimentos más rigurosos que una simple inspección.

Los diversos métodos pueden agruparse en:

- Destructivos.
- No destructivos.

Y por la manera de hacer las medidas pueden ser:

- Estáticos.
- Casi estáticos.
- Dinámicos.



Ilustración 89 métodos dinámicos

Los primeros conllevan realizar ensayos o tomas de muestras mediante la rotura de una parte de los pavimentos, los segundos utilizan metodologías basadas en la medición de parámetros sin necesidad de alterar las estructuras existentes.



Ilustración 90 ensayo destructivo

Los ensayos de tipo destructivo persiguen, en general, medir de manera directa alguna propiedad, como la resistencia, capacidad de carga o composición; los no destructivos estiman a partir de mediciones de Deformaciones o de velocidades de propagación de ondas o radiaciones las características del paquete de pavimento utilizando modelos matemáticos.

En los pavimentos rígidos es necesario cortar un trozo en todo su espesor, y conformar de él una probeta para su ensayo a compresión. A falta de datos, puede suponerse que el esfuerzo a flexión es 0,1 del de compresión; si existiera duda, sería necesario extraer una probeta para su ensayo a flexotracción de dimensiones mínimas 0,10 x 0,10 x 0,40 m y preferiblemente de 0,15 x 0,15 x 0,60 m.





### Fallas en pavimentos flexibles y rígidos

- La falla funcional: es aquella que presentan los caminos cuando las deformaciones superficiales son mayores a las tolerables. Pueden ser de muy variados tipos como las siguientes: ondulaciones transversales ligeras y continuas, desmoronamiento de la carpeta, etc.
- La falla estructural: implica la destrucción o falla de alguna o algunas capas del pavimento y puede deberse a lo siguiente: la carga que ha soportado es mayor a la que se calculó para su vida útil, en otras ocasiones puede presentarse prematuramente, debiéndose principalmente a espesores reducidos, materiales de mala calidad a menudo combinados con un mal drenaje y una baja compactación, lo podemos encontrar de la siguiente manera: grietas en la carpeta en forma de piel de cocodrilo, desprendimiento del pétreo, asentamientos de gran amplitud, calavereo, etc.



Ilustración 91 reparaciones pavimentos

### Fallas en el pavimento flexible.<sup>iv</sup>

**Piel de cocodrilo:** La piel de cocodrilo es una serie de fisuras interconectadas, causadas por fatiga de la superficie de concreto asfáltico bajo carga repetida de tránsito. La fisuración comienza debajo de la superficie (o base estabilizada) donde se producen altas tensiones y deformación por efecto de las cargas transmitidas por las ruedas.



Ilustración 92 Piel de cocodrilo

Las fallas presentadas se determinan por grado de afectación:

- Grado de severidad bajo: Grietas muy finas longitudinales que corren paralelas unas a otras y ninguna o sólo muy pocas grietas se interconectan. En las grietas no se presentan desprendimientos de material.
- Grado de severidad medio: El grado medio de severidad de las fallas de piel de cocodrilo está definido por un patrón bien definido de fallas de interconexión, donde todas las piezas permanecen en su lugar de manera segura (buena fijación de agregados entre las piezas).
- Grado de severidad alto: En este nivel, las redes de fisuras han crecido de tal manera, que las piezas están bien definidas con desprendimiento de material en sus esquinas; algunas de las piezas desprendidas pueden causar un peligro potencial de FOD. Foreign Objects Damage (Daños por objetos extraños)

La forma en que se mide es la siguiente: En metros cuadrados.



Ilustración 93 Exudación

**Exudación:** La exudación es una película de material bituminoso, en la superficie del pavimento, que crea una superficie brillante, en la que se puede producir reflejo, generalmente muy pegajosa. La exudación se genera por una excesiva cantidad de asfalto o alquitrán, en la mezcla o por bajo contenido de vacíos, o por ambas. Ocurre cuando el asfalto llena los vacíos en la mezcla durante temperaturas elevadas y luego se expande hacia la superficie del pavimento.

No se definen grados de severidad Y la forma en que se mide es en metros cuadrados.

**Fisura de bloque:** Las fisuras en bloques, son fisuras interconectadas que dividen el pavimento en piezas aproximadamente rectangulares. El rango de tamaños de los bloques es de 0.3m x 0.3m a 3m x 3m. Las fisuras de bloque son causadas principalmente por contracción del asfalto y variaciones de temperatura durante el día. La aparición de fisuras en bloque, indica que el asfalto se ha rigidizado significativamente.



Ilustración 94 Fisura de bloque

Las fisuras en bloque ocurren normalmente en grandes áreas, pero algunas veces





sólo aparecerán en áreas sin tránsito de aeronaves. Este tipo de patología se diferencia de la piel de cocodrilo, dado que esta última, forma piezas pequeñas, de muchos lados y ángulos agudos. Además esta patología, es causada por la repetición de cargas debido al tránsito de aeronaves, por lo que sólo aparecen en áreas sometidas al paso de estas.

- Grado de severidad bajo: Los bloques se definen por grietas con poco o ningún desprendimiento de material (los lados de las grietas son verticales), evitando el peligro potencial de FOD, Foreign Objects Damage. Las grietas que no están rellenas y tienen aproximadamente 6 mm, o un ancho promedio menor, y las grietas que se encuentran selladas, que presentan un estado satisfactorio
- Grado de severidad medio: Los bloques se definen por grietas selladas o vacías, que tienen un moderado desprendimiento, grietas no selladas que no tienen desprendimiento o es mínimo, pero tienen un ancho promedio mayor a 6mm aproximadamente; o por grietas selladas mayores a 6 mm, que no tienen desprendimiento o este es mínimo, pero se encuentran selladas en condiciones insatisfactorias.
- Grado de severidad alto: Los bloques están bien definidos, por grietas con un alto grado de desprendimiento de material, causando un peligro concreto de FOD.

El agrietamiento por bloque se mide en metros cuadrados

**Ondulación:** La ondulación, es una serie de valles y picos con poca separación entre sí, que se presentan a lo largo del pavimento a intervalos regulares, generalmente menos de 1,5m. Los picos o crestas son perpendiculares a la dirección del tránsito. La acción del paso de las aeronaves, combinada con una superficie o base inestable, pueden causar este tipo de fallas.



- Grado de severidad bajo:
  - ✓ Pista y rodajes de alta velocidad = < 6mm.
  - ✓ Rodajes y plataformas = < 13mm
- Grado de severidad medio:
  - ✓ Pista y rodajes de alta velocidad = 6 a 13mm.
  - ✓ Rodajes y plataformas = 13 a 25mm
- Grado de severidad alto:
  - ✓ Pista y rodajes de alta velocidad = >13mm.
  - ✓ Rodajes y plataformas = >25mm

La ondulación es medida en m<sup>2</sup>.



**Depresión:** Las depresiones están localizadas en áreas de superficies pavimentadas, que tienen elevaciones ligeramente menores, que aquellas del pavimento que las rodea. Hay casos, en que las depresiones pequeñas no se aprecian a menos que llueva, debido a la acumulación de agua y a la creación áreas de "baños para aves". Las depresiones pueden también ser localizadas, sin que llueva, a causa de las manchas que deja el agua acumulada, en el pavimento. Las depresiones pueden ser causadas por asentamientos del terreno de fundación o se pueden producir, por deficiencias en la etapa de construcción. Las depresiones causan desniveles, que acumulan agua y si son profundas, pueden causar hidroplaneo.

- Grado de severidad bajo:
  - ✓ Pista y rodajes de alta velocidad = 3 a 13mm.
  - ✓ Rodajes y plataformas = 13 a 25mm
- Grado de severidad medio:
  - ✓ Pista y rodajes de alta velocidad = 13 a 25mm.
  - ✓ Rodajes y plataformas = 25 a 51mm
- Grado de severidad alto:
  - ✓ Pista y rodajes de alta velocidad = >13mm.
  - ✓ Rodajes y plataformas = >25mm





Las depresiones son medidas en m<sup>2</sup>

**Erosión por ráfaga de los motores:** causa áreas oscuras sobre el pavimento, debido que el ligante bituminoso ha sido quemado o carbonizado. Las áreas quemadas pueden variar en profundidad hasta aproximadamente 13 mm

No hay niveles de severidad definidos, basta con indicar que existe erosión por chorro.

La erosión por ráfaga de los motores de las aeronaves, es medida en m<sup>2</sup>.

**Reflexión de juntas:** Estas fallas ocurren únicamente en pavimentos asfálticos construidos sobre un pavimento de losas de hormigón. Las fisuras por reflexión de juntas son causadas principalmente por el movimiento de las losas de hormigón, por debajo de la superficie asfáltica, ante los cambios térmicos y de humedad, sin relacionarse con la carga a la que son sometidos. Sin embargo el tránsito de carga, puede causar la rotura del asfalto cerca de las fisuras, causando desprendimiento de material y un peligro potencial de FOD. Si el pavimento es fragmentado a lo largo de la fisura, ésta se considera desgranada

- Grado de severidad bajo: Las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento de material, pueden estar selladas o no. Si la fisura no está sellada, debe tener un ancho medio de 6.4 mm o menos. Si lo está, para considerarla de bajo nivel de severidad, esta puede ser de cualquier ancho pero su relleno, debe estar en condición satisfactoria
- Grado de severidad medio: Grado de severidad medio Debe existir alguna de las siguientes condiciones:
  - ✓ Las fisuras tienen desprendimiento de material moderado, pueden estar selladas o no selladas y pueden ser de cualquier ancho.
  - ✓ Las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento del material, pero el relleno está en condición insatisfactoria.
  - ✓ Las fisuras no están rellenas o lo están ligeramente, pero el ancho de la fisura es mayor a 6.5 mm.
  - ✓ Las fisuras leves se presentan en forma aleatoria, cercanas a las fisuras por reflexión, o en las esquinas formadas por estas.
- Grado de severidad alto: Las fisuras tienen un gran desprendimiento de material, pueden estar selladas o no selladas y tener cualquier ancho.

La falla es medida en metros lineales, tomándose su longitud mayor como parámetro de comparación. La longitud y la severidad de cada fisura deberían ser identificadas y registradas

**Fisuras longitudinales y transversales:** Las fisuras longitudinales son paralelas al eje de pista o rodaje. Ellas pueden ser causadas por:

- Fallas en las fajas constructivas del pavimento.
- Contracción de la superficie del asfalto, debido a bajas temperaturas o rigidización del asfalto, o una fisura refleja, que se produce debajo de la superficie en uso, estas incluyen fisuras en la losa de concreto.

Las fisuras transversales, se extienden a través del pavimento en ángulos rectos al eje de pista o rodaje o dirección establecida. Estos tipos de fisuras usualmente, no se producen por una repetición de carga.

- Grado de severidad bajo: Las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento de material (poco o ningún peligro de FOD). Pueden estar selladas o no. Las fisuras no selladas, tendrán un ancho medio de 6mm o menos. Las que se encuentran selladas, para considerarlas de bajo nivel de severidad, pueden ser de cualquier ancho pero su sellado debe estar en condición satisfactoria.
- Grado de severidad medio: Deben existir una de las siguientes condiciones:
  - ✓ Las fisuras tienen un desprendimiento de material moderado (algún peligro de FOD), pueden ser selladas o no y ser de cualquier ancho.
  - ✓ Las fisuras tienen poco o ningún desprendimiento de material, pero el material de relleno está en condición insatisfactoria.
  - ✓ Las fisuras no están selladas o lo están ligeramente, pero el ancho de la fisura es mayor a 6.5 mm.
  - ✓ Las fisuras leves se presentan, en forma aleatoria cercanas a las fisuras principales o en las esquinas formadas por estas.
- Grado de severidad alto: Las fisuras tienen un gran desprendimiento de material (existe real peligro de FOD), puede estar selladas o no y tener cualquier ancho.



Ilustración 97 Fisuras longitudinales y transversales





Ilustración 98 Deterioro por derrame de combustible

**Deterioro por derrame de combustible:** Es el deterioro o ablandamiento de la superficie pavimentada, causada por un derrame de combustible, aceite o un solvente hidrocarburo

No hay niveles de severidad. Es suficiente indicar que el derrame de combustible existe.

La falla es medida en metros cuadrados. Una mancha no es una falla hasta que no haya pérdida de material o el ligante se haya ablandado. Si la rigidez es aproximadamente la misma a la de los pavimentos que lo rodean, y no se ha perdido el material, no hay que registrar la falla.

**Bacheos:** Un bache es considerado un defecto, sin importar si se encuentra en perfecto estado de mantenimiento o no cumple los estándares correspondientes.

- Grado de severidad bajo: El bache está en buenas condiciones y no genera inconvenientes a la circulación de aeronaves
- Grado de severidad medio: El bache está parcialmente deteriorado y afecta de alguna manera la calidad en la circulación de las aeronaves. Se considera nivel de severidad medio, si el bache presenta un moderado deterioro y existe potencial peligro de FOD, o se dan ambas condiciones a la vez.
- Grado de severidad alto: El bache está muy deteriorado y afecta la calidad de circulación de forma significativa o tiene un alto peligro potencial de FOD.



Ilustración 99 Bacheos

El bache se debe medir en metros cuadrados

**Agregados pulidos:** El desgaste de los agregados es producido por efecto del tránsito de las aeronaves. El agregado pulido está presente cuando la porción de agregados, que se presentan sobre el asfalto es muy pequeña, no hay rugosidad o las partículas angulares del agregado pierden su resistencia al deslizamiento (rozamiento)

No se definen niveles de severidad. Sin embargo, el efecto del pulido sobre el agregado deberá ser claramente identificable, condición que se verifica al tocar la superficie del agregado y este se presenta suave al tacto.

La falla es medida en metros cuadrado

**Peladura y efecto de la intemperie:** La peladura y efecto de la intemperie, están siempre en la superficie de desgaste del pavimento, causados por el desprendimiento de agregados y pérdida de la capacidad ligante del asfalto. Ellas pueden indicar que el asfalto de liga se ha rigidizado significativamente.

- Grado de severidad bajo: Los agregados o el ligante ha comenzado a desgastarse, causando poco o ningún peligro potencial de FOD. La baja severidad se registra cuando el agregado superficial, está expuesto a una profundidad de  $\frac{1}{4}$  del diámetro del agregado grueso.
- Grado de severidad medio: Los agregados y/o el ligante, presentan desgaste, causando algún peligro potencial de FOD. La textura superficial es moderadamente áspera. La severidad media se registra cuando el agregado superficial está expuesto a una profundidad de  $\frac{1}{2}$  del diámetro del agregado grueso.
- Grado de severidad alto: Los agregados y/o el ligante presentan un importante desgaste, causando un alto peligro potencial de FOD. La textura superficial es severamente rugosa y picada o con agregados sueltos (piedras) o asfalto de liga rigidizado, triturado y suelto. La alta severidad se registra en áreas donde la capa superior del agregado se ha desprendido a causa de la fricción.

**Ahuellamiento:** El ahuellamiento se produce por la depresión de la superficie del pavimento, en la zona de tránsito del tren de aterrizaje de la aeronave. El pavimento es levantado a lo largo de los lados donde ocurre el ahuellamiento. El ahuellamiento es notable luego de lluvias, cuando las zonas de tránsito del tren de la aeronave quedan llenas de agua. El ahuellamiento puede ser producido por una deformación permanente,





en alguna capa del pavimento o de la misma subrasante. Es usualmente causada por la consolidación o por el desplazamiento lateral de los materiales, debido a la acción de las cargas del tránsito. Un ahuellamiento importante puede conducir a una falla estructural del pavimento. Rutting

- Grado de severidad bajo:
  - ✓ Pistas y rodajes de alta velocidad 6 a 13mm
- Grado de severidad medio
  - ✓ Pistas y rodajes de alta velocidad 13 a 25mm:
- Grado de severidad alto:
  - ✓ Pistas y rodajes de alta velocidad >25mm

El ahuellamiento es medido en metros cuadrados de superficie y su nivel de severidad queda determinado por la profundidad media del ahuellamiento.

**Empuje por losas de concreto:** Los pavimentos de Concreto de Cemento Pórtland (PCC), ocasionalmente incrementan su longitud en los extremos donde se juntan con el pavimento asfáltico (comúnmente denominados crecimientos del pavimento). Este crecimiento empuja al pavimento asfáltico, generando problemas de engrosamiento y fisuras. El “crecimiento” de las losas de Hormigón es causado por una apertura gradual de las juntas dilatación, a medida que estas se rellenan con materiales incomprensibles, que le impiden el trabajo de dilatación.

- Grado de severidad bajo: Cuando se produce un ligero empuje, y no se han producido roturas en el pavimento asfáltico. Diferencial de altura = < 20 mm
- Grado de severidad medio: Cuando se produce un empuje significativo, causando una moderada rugosidad y una pequeña rotura en el pavimento de concreto asfáltico. Diferencial de altura = 20 a 40 mm
- Grado de severidad alto: Cuando se produce un importante empuje, causando una severa rugosidad o rotura del pavimento asfáltico. Diferencial de altura = > 40 mm

La falla es medida en metros cuadrados de la superficie del pavimento engrosado, causado por el empuje.

**Fisuras por resbalamiento o deslizamiento:** Son fisuras con forma de luna creciente o medialuna, tienen dos puntos apuntando en la dirección del tránsito. Ellas son producidas cuando las ruedas frenan o giran causando un deslizamiento y deformación en la superficie del pavimento. Esto ocurre usualmente cuando existe una baja resistencia superficial de la mezcla o una deficiente adherencia (ligadura) entre la superficie y la siguiente capa de la estructura del pavimento. No se definen niveles de severidad. Se debe detectar la existencia de fisuras por deslizamiento.

La falla es medida en metros cuadrados.

**Hinchamiento:** Esta falla está caracterizada por un hinchamiento de la superficie pavimentada. Un hinchamiento puede ocurrir puntualmente en un área localizada o en onda gradual en un área mayor. Ambos tipos de hinchamiento pueden estar acompañados por fisuras. Esta patología es usualmente causada por la acción del congelamiento de la subrasante o por hinchamiento de los suelos, pero a veces un pequeño hinchamiento puede ocurrir también sobre la superficie de un recrecimiento asfáltico (sobre un pavimento de hormigón PCC), como resultado de un estallido o reventón en las losas de hormigón (PCC).



Ilustración 100 Hinchamiento

- Grado de severidad bajo: El hinchamiento es apenas visible y tiene un efecto despreciable sobre la calidad de la circulación. El nivel de severidad leve o bajo puede no siempre ser observable, pero su existencia puede ser confirmada mediante la circulación de un vehículo sobre el área en estudio. Diferencial de altura = < 20 mm





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS



- Grado de severidad medio: El hinchamiento puede ser observado sin dificultad y tiene un importante efecto sobre la calidad en la circulación sobre la superficie pavimentada. Diferencial de altura = 20 a 40 mm
- Grado de severidad alto: El hinchamiento puede observarse fácilmente y tiene un efecto severo sobre la calidad en la circulación de las aeronaves, sobre la superficie pavimentada. Diferencial de altura = > 40 mm

Y la forma de medición es la siguiente: El área afectada con hinchamiento es medida en metros cuadrados.

#### LIMPIEZA DEL CAUCHO DE LOS NEUMÁTICOS

El impacto en la zona de toma de contacto deja huellas de caucho en el pavimento que llegan a hacer la superficie deslizante, por lo que periódicamente hay que hacer una limpieza. Los métodos usuales son:

- Por chorro de agua a gran presión.
- Por chorro de aire caliente a gran presión.
- Por proyección de granalla.
- Por medios químicos.
- Por chorro de agua con disolventes a gran presión.
- Por chorro de arena y agua a presión.



Ilustración 101 limpieza del caucho de los neumáticos

#### Fallas en el pavimento rígido concreto hidráulico.<sup>lvi</sup>

**Estallidos:** Generalmente ocurren en climas cálidos debido a expansiones adicionales del hormigón. Los estallidos usualmente se presentan en las juntas o fisuras transversales que no son lo suficientemente anchas para permitir la expansión de las losas de hormigón. El ancho insuficiente puede deberse a la infiltración de material no compresible en el espacio de la junta o a un cierre gradual de la junta debido a la expansión del hormigón producida por las reacciones alcalino-silicias del agregado. Cuando la presión debida a la expansión no puede ser liberada, un movimiento localizado hacia arriba en los bordes de la losa (pandeo) o una fragmentación.

- Grado de severidad bajo: Diferencia en elevación.
  - ✓ Pistas y calles de rodaje de alta velocidad = <13 mm.
  - ✓ Plataformas y otras calles de rodaje = 6 a 25 mm
- Grado de severidad medio: Diferencia en elevación.
  - ✓ Pistas y calles de rodaje de alta velocidad = 13 a 25 mm.
  - ✓ Plataformas y otras calles de rodaje = 25 a 51 mm
- Grado de severidad alto: Diferencia en elevación.
  - ✓ Pistas y calles de rodaje de alta velocidad = Inoperable.
  - ✓ Plataformas y otras calles de rodaje = Inoperable

Y la forma en que se miden es la siguiente, un estallido normalmente ocurre en una junta o fisura transversal. En una fisura, una losa debe ser contabilizada, en una junta, la falla debe ser contabilizada en dos losas. Registrar el estallido en una losa solo si la falla es evidente. La severidad de la falla puede ser diferente en losas adyacentes. Si un estallido ha sido reparado con un bacheo, la severidad se establece determinado la diferencia de elevación entre las dos losas

#### Rotura de esquina

Una rotura de esquina se manifiesta con una fisura que intercepta las juntas a una distancia menor o igual a la mitad de la longitud de las losas en ambos sentidos, medida desde la esquina de la losa. Una rotura en esquina se diferencia de un desprendimiento en esquina en que la fisura se extiende verticalmente a la superficie del pavimento y en todo el espesor del mismo. En un desprendimiento de



Ilustración 102 Rotura de esquina



esquina la fisura intercepta la junta a un ángulo cualquiera. La combinación de repetición de cargas con la pérdida de soporte y los esfuerzos ondulatorios normalmente causan las roturas de esquina.

- Grado de severidad bajo: La fisura tiene desprendimiento leve o ninguno (no hay peligro de FOD).
  - ✓ Si la fisura no está sellada su ancho promedio no debe ser mayor a  $1/8"$  (3 mm).
  - ✓ Si la fisura está sellada puede ser de cualquier espesor pero el material de sello debe estar en buenas condiciones.
  - ✓ El área entre la fisura y la esquina no está fisurada.
- Grado de severidad medio: Se presenta alguna de las siguientes condiciones:
  - ✓ La fisura sellada o abierta presenta desprendimientos moderados (potencial moderado de FOD).
  - ✓ Una fisura no rellenada presenta un ancho que varía entre 3 a 25 mm.
  - ✓ Una fisura rellenada presenta desprendimientos leves o no tiene desprendimientos pero tiene el material de relleno en malas condiciones.
  - ✓ El área entre la rotura de esquina y las juntas se encuentra levemente fisurada. Levemente fisurada quiere decir que una fisura de severidad baja divide el área en dos piezas.
- Grado de severidad alto: Se presenta alguna de las siguientes condiciones:
  - ✓ Fisura rellenada o abierta con serios desprendimientos y es definitivamente un FOD potencial.
  - ✓ Una fisura sin relleno que tiene un ancho medio mayor a 25 mm, creando un daño potencial para las ruedas de las aeronaves.
  - ✓ El área entre la rotura de esquina y las juntas está severamente e fisurada.

Y la forma de medirlo es la siguiente una losa con este tipo de falla debe ser contabilizada si presenta una rotura de esquina, contiene más de una rotura de la misma severidad, o si contienen dos o más roturas de diferentes severidades. Para dos o más roturas, el máximo grado de severidad debe ser registrado. Por ejemplo, una losa con roturas de esquina con severidades leves y medias debe ser contabilizada como una losa con rotura de esquina de severidad media.



**Fisuras longitudinales, transversales y diagonales:** Estas fisuras, que dividen a la losa en dos o tres piezas, normalmente se deben a una combinación de repetición de cargas, esfuerzos ondulatorios y esfuerzos de retracción. Las fisuras de baja severidad se deben normalmente al alabeo y fricción y no se consideran fallas estructurales menores.

- Grado de severidad bajo: La fisura tiene leves desprendimientos. Si la fisura está abierta, su espesor medio es menor a Aproximada ente 3 mm, la fisura puede ser de cualquier espesor si está debidamente rellenada con un sellador en buenas condiciones. La losa queda dividida en tres piezas con fisuras de baja severidad.
- Grado de severidad medio: Se presenta alguna de las siguientes condiciones:
  - ✓ La fisura sellada o abierta presenta desprendimientos moderados (potencial moderado de FOD).
  - ✓ Una fisura no rellenada presenta un ancho que varía entre 3 a 25 mm.
  - ✓ Una fisura rellenada presenta desprendimientos leves o no tiene desprendimientos pero tiene el material de relleno en malas condiciones.
  - ✓ La losa está dividida en tres piezas por dos o más fisuras, por lo menos una de las cuales es de media severidad.
- Grado de severidad alto: Se presenta alguna de las siguientes condiciones:
  - ✓ Fisura rellenada o abierta presenta serios desprendimientos y es definitivamente un FOD potencial.
  - ✓ Una fisura sin relleno tiene un ancho medio mayor a 25 mm, creando un daño potencial para las ruedas de las aeronaves.
  - ✓ La losa está dividida en tres piezas por dos o más fisuras, por lo menos una de las cuales es de alta severidad.

Una vez que la severidad ha sido identificada, la falla es registrada para una losa. Las fisuras utilizadas para definir y clasificar roturas de esquina, fisuras de durabilidad ("D"), bacheos, fisuras por retracción y desprendimientos no deben ser registradas como fisuras longitudinales, transversales o diagonales.

**Fisura "D" de durabilidad:** La fisura "D" usualmente aparece como una secuencia o tendencia de fisuras en proximidad o paralela a una junta o a una fisura lineal. Está causada por la incapacidad del concreto de soportar factores ambientales como los ciclos de hielo y deshielo, congelamiento y descongelamiento, debido a agregados expansivos variables. Este tipo de fisuramiento puede llevar eventualmente a la desintegración del concreto a una





distancia de 300 a 600 mm de la junta o la fisura.

- Grado de severidad bajo Se caracteriza por fisuras superficiales localizadas en una o dos esquinas o a lo largo de una junta sin representar peligro de FOD.
- Grado de severidad medio: Las fisuras superficiales se han propagado en un área limitada de la losa con desintegración y riesgo de FOD mínimos y se identifican desprendimientos de la superficie
- Grado de severidad alto: Las fisuras se han propagado en un área considerable de la losa con desintegración del pavimento y riesgo de FOD.

Cuando esta patología se presenta en una losa con un grado de severidad, esta es contabilizada como Fisura "D". Si más de un nivel de severidad es detectado, la losa es contabilizada con la más alta severidad registrada. Por ejemplo una losa con severidad baja y media, esa losa es contabilizada con severidad media.



Ilustración 105 Daño en el sellado de juntas

**Daño en el sellado de juntas:** El daño en el sello de juntas se refiere a cualquier condición que permita la acumulación de suelo o piedras en las juntas o que permita la infiltración de agua a la sub base. La acumulación de material incompresible en la junta restringe la expansión de las losas y puede resultar en desintegración, desprendimiento y alabeo del pavimento. Un sello de juntas flexible adherido a las paredes de la junta protege a la junta de la acumulación de materiales incompresibles y la infiltración de agua y la debilitación del terreno de fundación sosteniendo a la losa.

Tipos típicos de daño en el sello de juntas son:

1. Retiro del sello
  2. Expulsión del sello
  3. Crecimiento de hierbas
  4. Endurecimiento del sello
  5. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa
  6. Falta o ausencia de sello en la junta
- Grado de severidad bajo El sellador se encuentra, de manera general, en buenas condiciones y los daños enunciados precedentemente se han manifestado levemente, el material sigue en contacto con los bordes del concreto a pesar de ya no estar adherido a los mismos. Esta condición es característica si se puede introducir la hoja de un cuchillo entre el sellador y el borde del concreto sin mucha resistencia.
  - Grado de severidad medio El sellador de juntas se encuentra en condiciones regulares con daños moderados. El sellador requiere ser reemplazado dentro los próximos dos años. Se identifica cualquiera de las siguientes condiciones:
    - ✓ El sellador está en la junta pero permite el paso del agua por aberturas de no más de 3 mm de ancho. Si la hoja de un cuchillo no se puede introducir fácilmente entre el sellador y el borde concreto esta situación no existe.
    - ✓ El bombeo de desperdicios es evidente en la junta.
    - ✓ El sellador está oxidado y "sin vida" pero plegable (como una cuerda), y generalmente llena la junta.
    - ✓ La vegetación en la junta es obvia pero no oscurece la junta.
  - Grado de severidad alto El sellador de junta se encuentra en condiciones pobres en toda la losa inspeccionada con uno o más de los daños ocurriendo en un grado severo. El sellado debe ser reemplazado inmediatamente. El daño en el sellado de juntas es severo o si más del 10% excede el criterio establecido en la descripción o si más del 10% del sellador se ha perdido.

Y la forma de medición es la siguiente El daño en el sello de juntas no se contabiliza en base a cada losa, más bien se lo califica en función a las condiciones de toda la unidad de muestra inspeccionada.

**Parches, bacheos menores:** El parche es un área del pavimento que ha sido reemplazada por un material de relleno, cuya superficie no supere 0,5 m<sup>2</sup>.

- Grado de severidad bajo El parche está funcionando de manera adecuada o con leve deterioro.
- Grado de severidad medio El parche tiene desprendimiento o deterioro moderado, o ambos, en sus bordes. El material de relleno se puede remover con considerable esfuerzo representando un peligro potencial menor de FOD.
- Grado de severidad alto Parche deteriorado por desprendimiento en sus bordes o fisuramiento en su superficie que hacen necesario su reemplazo.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACION DE PAVIMENTOS



Y la forma de medición es la siguiente Si uno o más parches y/o bacheos tienen un nivel de severidad, la losa se computa con el correspondiente grado de severidad. Una losa con dos o más bacheos, con diferentes niveles de severidad, se considera el de mayor grado.

**Parches, bacheos mayores:** El parche es un área del pavimento que ha sido reemplazada por un material de relleno, especialmente debido a cortes efectuados en el pavimento para el paso de instalaciones. Un corte para las instalaciones, se refiere al material utilizado para rellenar el área en el que se ha removido el pavimento original a causa de una instalación subterránea posterior. Superficie mayor a 0,5m<sup>2</sup>.

- Grado de severidad bajo: El parche está funcionando de manera adecuada o con leve deterioro.
- Grado de severidad medio: El parche tiene desprendimiento o deterioro moderado, o ambos, en sus bordes. El material de relleno se puede remover con considerable esfuerzo representando un peligro menor de FOD.
- Grado de severidad alto: Parche deteriorado por desprendimiento en sus bordes o fisuramiento en su superficie, o ambos, con riesgo evidente de FOD, que hace necesario su reemplazo

Y la forma de medición es la siguiente: Si uno o más parches y/o bacheos en un área, que ha sido reemplazada por un material de relleno, debido a cortes efectuados en el pavimento, para el paso de instalaciones, la losa se computa con el correspondiente grado de severidad. Una losa con dos o más bacheos, con diferentes niveles de severidad, se considera el de mayor grado.

**Perdidas repentinas:** Una pérdida repentina se manifiesta por una pequeña pieza del pavimento que se desprende a causa de los ciclos de hielo y deshielo, en combinación con agregados expansivos. Las pérdidas repentinas varían aproximadamente entre 25 y 100 mm en diámetro y entre 13 y 51 mm de profundidad.

No están definidos niveles de severidad para las pérdidas repentinas, sin embargo, su densidad debe alcanzar un mínimo de tres desprendimientos, por metro cuadrado en toda el área de la losa, antes de ser consideradas como una patología.

Y la forma de medición en que se mide es la siguiente: Más de tres desprendimientos por losa.

**Bombeo:** El bombeo se caracteriza por la expulsión de agua y material del subsuelo o la sub-base a través de juntas o fisuras del pavimento, causada por la deflación de la losa al recibir la carga del tránsito de las aeronaves. A medida que el agua es expulsada, transporta partículas de grava, arena, arcilla, o limo, resultando en una pérdida progresiva del soporte para el pavimento que puede llevar al fisuramiento. Manchas en la superficie y la presencia de material de la sub-base o del subsuelo próximo a las juntas del pavimento son evidencia del bombeo. El bombeo próximo a las juntas, indica un sellado de juntas en pobres condiciones y/o la presencia de aguas subterráneas.

No se definen grados de severidad, para la medición se considera que una junta con bombeo entre dos losas, se deben considerar que las dos losas están afectadas. Si una junta alrededor de una losa tiene el efecto del bombeo, una losa es adicionada por cada junta que tiene bombeo.

**Desprendimiento superficial, mapa de fisuras, fisuras erráticas:** Un mapa de fisuras o fisuras erráticas, esta patología se refiere a una red de fisuras poco profundas que se extienden solo a través de la superficie superior del hormigón. Las fisuras erráticas resultan usualmente por un curado inapropiado y/o acabado del hormigón y puede llevar al desprendimiento y desgranamiento superficial de la superficie. El desprendimiento superficial es la desintegración de la capa de rodadura. El desprendimiento superficial también puede ocurrir a causa de una superficie debilitada por un curado o acabado inadecuado, y por





ciclos de hielo y deshielo. La reacción alcalinosilicia es otra causa de esta patología, asociada con el desprendimiento superficial. El deterioro se produce por la reacción expansiva entre los agregados reactivos y las soluciones alcalinas en el hormigón.

- Grado de severidad bajo El mapa de fisuras o las fisuras erráticas se manifiestan en un área significativa de la losa. No existe desprendimiento superficial y el pavimento se encuentra en buenas condiciones. La tendencia de la fisura debe estar claramente definida. Las fisuras deben mostrar señales de desgaste individualmente. Las fases iniciales de esta patología son descartadas. La severidad media es una indicación de desprendimiento superficial potencial en el futuro.
- Grado de severidad medio Losa con desprendimiento superficial en aproximadamente 5% de su superficie y con posible riesgo de FOD.
- Grado de severidad alto Losa con desprendimiento superficial de más del 5% de su superficie y riesgo evidente de FOD.

Y la forma de medición es la siguiente: Si existen dos o más niveles de severidad en una losa, la losa se debe considerar con el máximo grado de severidad que tiene.

**Asentamientos y fallas:** Los asentamientos o fallas son diferencias de elevación en una junta o fisura, causados por una patología de la losa o consolidación no uniforme del material de la subbase o del subsuelo. Esta condición puede ser el resultado de la pérdida de material fino, elevación de la losa debido a congelamiento, la pérdida de los elementos para la transferencia de cargas, barras de transferencia de cargas, o suelos expansivos

- Grado de severidad bajo Diferencia en elevación.
  - ✓ Pistas y calles de rodaje = <6mm.
  - ✓ Plataformas = 3 a 13 mm
- Grado de severidad medio Diferencia en elevación.
  - ✓ Pistas y calles de rodaje = 6 a 13 mm.
  - ✓ Plataformas = 13 a 25 mm
- Grado de severidad alto Diferencia en elevación.
  - ✓ Pistas y calles de rodaje = >13 mm.
  - ✓ Plataformas = >25 mm

Y la forma en que se mide es la siguiente, el asentamiento o falla entre dos losas, se debe contabilizar una losa con esta patología. Se debe usar una regla o nivel, como ayuda para medir la diferencia de elevación entre losas. Las diferencias de elevación, producto de la construcción del pavimento, no son consideradas fallas. Cuando existan estas diferencias, atribuidas a la construcción, el lado más elevado de la junta, puede ser aserrado hasta encontrar el nivel más bajo de la losa.

**Losa fragmentada, cuarteada, destrozada:** Fisuras que se interceptan. Una losa fragmentada se define como aquella en la que las fisuras que se interceptan la dividen en cuatro o más piezas. Esto se debe a sobrecargas y/o un soporte inadecuado de la fundación. Si todas las piezas o fisuras están contenidas dentro una rotura de esquina, entonces la patología debe ser identificada como una rotura en esquina severa.

Las fallas presentadas se determinan por grado de afectación:

- Grado de severidad bajo: La losa está dividida en cuatro o cinco piezas predominantemente definidas por fisuras de baja severidad.
- Grado de severidad medio: La losa está dividida en cuatro o cinco piezas por fisuras en las que por lo menos el 15% tiene un grado medio de severidad (no fisuras con grado alto de severidad), o la losa está partida en seis o más piezas, con fisuras que en un 85% son de baja severidad.
- Grado de severidad alto A este nivel de severidad se define la losa como fragmentada a y/o destrozada:
  - ✓ La losa está dividida en cuatro o cinco piezas siendo algunas o todas las fisuras de alto grado de severidad
  - ✓ La losa está dividida en seis o más piezas con más del 15% de sus fisuras consideradas de media o alta severidad.



Ilustración 106 Losa fragmentada





Y la forma de medición es la siguiente: Por metro cuadrado y/o losa

**Fisuras por retracción:** Las fisuras por retracción son normalmente delgadas y se extienden algunos centímetros y no en la longitud total de la losa. Se forman durante el acabado y curado del hormigón y no se extienden a través del espesor total de la losa, no se definen grados de severidad, solo hay que especificar que existe la patología de fisuras por retracción. Se mide de la siguiente forma, Si una o más fisuras por retracción existen en una losa, la losa debe ser contabilizada como losa con fisuras de retracción.

**Desprendimiento en la junta:** El desprendimiento en la junta, es una rotura del pavimento a una distancia que no excede de 0,6m desde la junta. El desprendimiento de la junta usualmente no se extiende a través del espesor de la losa e intercepta la junta en un ángulo. El desprendimiento en la junta frecuentemente es el resultado de tensiones excesivas en la junta o fisura causadas por infiltración de materiales incompresibles. El concreto débil en la junta, ocasionado por sobre cargas combinado con las cargas de tránsito, es otra causa para el desprendimiento. El desprendimiento en la junta también puede deberse a la inadecuada alineación de las barras de transferencia, que pueden prevenir el desplazamiento de la losa, ya sea a causa de una inadecuada instalación de las barras o una inadecuada preparación para su deslizamiento. Una condición de desgaste se refiere al desplazamiento de material desde su posición inicial. El desprendimiento se refiere a que el material puede o no haberse perdido.

- Grado de severidad bajo: Desprendimiento de más de 0.60 m de longitud:
  - ✓ El desprendimiento está dividido en no más de tres piezas por fisuras de baja y media severidad, con riesgo de FOD mínimo o inexistente.
  - ✓ La junta está levemente desgastada con riesgo de FOD mínimo o inexistente. Los desprendimientos de menos de 0.60m se dividen en piezas o se fragmentan sin representar riesgo de FOD. Levemente desgastada significa que el borde superior de la junta se ha desprendido con un ancho no mayor a 25mm y a una profundidad no mayor a 13 mm. El material se ha perdido y la junta tiene un riesgo de FOD menor.
- Grado de severidad medio: Desprendimiento de más de 0.60m de longitud:
  - ✓ El desprendimiento está dividido en más de tres piezas por fisuras de baja y media severidad;
  - ✓ El desprendimiento está dividido en no más de tres piezas con una o más fisuras severas y riesgo potencial de FOD.
  - ✓ La junta está moderadamente desgastada con algo de riesgo potencial de FOD. Los desprendimientos de menos de 0.60m se dividen en piezas o se fragmentan con algunas de las piezas sueltas o ausentes, causando un considerable riesgo de FOD y daño a las ruedas de las aeronaves. Moderadamente desgastada significa que el borde superior de la junta se ha desprendido con un ancho no mayor a 25mm y a una profundidad no mayor a 13 mm. El material se ha perdido en su mayoría y la junta tiene algo de riesgo de FOD.
- Grado de severidad alto Desprendimiento de más de 0.60m de longitud:
  - ✓ El desprendimiento está dividido en más de tres piezas por fisuras de alta severidad con elevado riesgo de FOD y altas posibilidades de tener piezas dislocadas y sueltas.
  - ✓ la junta está severamente desgastada con alto riesgo potencial de FOD.

Y la forma de medición es la siguiente: Si el desprendimiento está localizado a lo largo y en el borde de la losa, es contabilizada como un desprendimiento.





# ANEXO 1





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
ANEXO 1 SOBRE PRUEBAS DE LABORATORIO



### ANEXO 1

El siguiente anexo va con referencia a las normatividad de la SCT sobre pruebas de laboratorio mencionadas en el capítulo 2 en el cual solo se mencionan los procedimientos de cada ensayo realizado en laboratorio y campo.

#### Sobre muestreo para materiales para terracería:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 01. Muestreo de materiales para terracerías
- Clave: **M-MMP-1-01/03**

#### Sobre clasificación de suelos y rocas:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- TÍTULO: 02. Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos
- Clave: **M-MMP-1-02/03**

#### Sobre secado y disgregado de materiales:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 03. Secado, disgregado y cuarteo de muestras
- Clave: **M-MMP-1-03/03**

#### Sobre contenido de agua:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 04. Contenido de agua
- Clave: **M-MMP-1-04/03**

#### Sobre densidad relativa:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 05. Densidades relativas y absorción
- Clave: **M-MMP-1-05/03**

#### Sobre granulometría:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 06. Granulometría de materiales compactables para terracerías
- Clave: **M-MMP-1-06/03**

#### Sobre límites de consistencia:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 07. Límites de consistencia
- Clave: **M-MMP-1-07/03**

#### Sobre compactación:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
ANEXO 1 SOBRE PRUEBAS DE LABORATORIO



- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 09. Compactación AASHTO
- Clave: **M-MMP-1-09/06**

Sobre las pruebas de laboratorio para obtener el CBR o VRS.:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y Prueba de materiales
- *Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías*
- Título: 11. Valor soporte de california (CBR) y expansión (EXP) en laboratorio
- Clave: **M-MMP-1-11/13**

Sobre CBR en el sitio:

- Libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales
- Parte: 1. Suelos y materiales para terracerías
- Título: 12. Valor soporte de california (cbr) en el lugar
- Clave: **M-MMP-1-12/08**

A continuación se nombran la normatividad que está involucrada con diferentes capas del pavimento.

Sobre materiales para terraplén:

- Libro: CMT. Características de los materiales
- Parte: 1. Materiales para terracerías
- Título: 01. Materiales para terraplén
- Clave: **N-CMT-1-01/02**

Sobre materiales para terracería:

- Libro: CMT. Características de los materiales
- Parte: 1. Materiales para terracerías
- Título: 02. Materiales para subyacente
- Clave: **N-CMT-1-02/02**

Sobre materiales para subrasante:

- Libro: CMT. Características de los materiales
- Parte: 1. Materiales para terracerías
- Título: 03. Materiales para subrasante
- Clave: **N-CMT-1-03/02**

Sobre materiales para mezclas asfálticas:

- Libro: CMT. Características de los materiales
- Parte: 4. Materiales para pavimentos
- Título: 04. Materiales pétreos para mezclas asfálticas
- Clave: **N-CMT-4-04/02**

Por su parte la clasificación internacional utilizada por la FAA se base en normas propias y se apoya en las de distintas instituciones de investigación las siguientes son algunas:





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
ANEXO 1 SOBRE PRUEBAS DE LABORATORIO



**Normativa AASTHO:**

- Determinación de materia orgánica en los suelos de Wet combustión, AASHTO T-194.
- Ensayos de placa, AASHTO T 222.
- Módulo de reacción del suelo, AASHTO T 222.

**Criterios Instalaciones unificada (UFC):**

- Manual de diseño de pavimentos de aeródromos, UFC 3-260-02.

**Basic asfalto Manual de emulsión:**

- Portland Cement Association; y el Manual del Instituto de Asfalto serie MS-19

**Normatividad propia de la FFA:**

- Normas geométricas para el pavimento Longitudes, anchos, grados y pendientes, AC 150 / 5300-13.
- Medición, Construcción y Mantenimiento, presenta información sobre superficies resistentes al deslizamiento, AC 150 / 5320-12.
- Ensayos no destructivos AC 150 / 5370-11.
- Drenaje superficial Diseño, AC 150 / 5320-5.
- Normas de construcción de aeropuertos, AC 150 / 5370 - 10.

**Sociedad americana para pruebas de materiales ASTM:**

- Práctica Estándar para la Descripción e Identificación de Suelos (Procedimientos Visuales Manuales), ASTM D 2488.
- Clasificación unificada de suelos USC, ASTM D 2487.
- Ensayos de corte directo, ASTM D 3080.
- Norma Sistema Unificado de clasificación de suelos, ASTM D 2487.
- Las pruebas de laboratorio de RBC, ASTM D 1883.h
- Las pruebas de campo de RBC, ASTM D 4429.
- Método de Prueba Estándar para CBR (California Bearing Ratio) de suelos en su lugar, ASTM DQ4429-04.
- Método de Prueba Estándar para CBR (California Coeficiente de Cojinete) de Laboratorio Compacto Suelos, ASTM D 1883.
- Método de prueba estándar para el análisis de tamaño de partícula de Suelos, (ASTM D 422).
- Método de prueba estándar para la permeabilidad de los suelos granulares (cabeza constante), ASTM D 2434.
- Método de prueba para factores de encogimiento de los suelos por el método de mercurio, ASTM D 427.
- Métodos de prueba estándar para el límite de líquido, límite de plástico e índice de plasticidad de los suelos, ASTM D 4318.
- Métodos de Prueba Estándar Para las características de compactación de laboratorio del suelo usando esfuerzo estándar (12400 ft-Lbf / ft<sup>3</sup> (600 kN-m / m<sup>3</sup>)), método ASTM D 698.
- Práctica estándar para la preparación seca de muestras de suelo para el análisis de tamaño de partículas y Determinación de las constantes del suelo, ASTM D 421.
- Práctica estándar para tubos de paredes delgadas Muestreo de suelos para fines geotécnicos, ASTM D 1587.
- Prueba Estándar Métodos de compactación de laboratorio Características del suelo con esfuerzo modificado (56.000 ft-Lbf / ft<sup>3</sup> (2.700 kN-m / m<sup>3</sup>)), ASTM Método D 1557.
- Pruebas de campo de paletas, ASTM D 2573.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
GLOSARIO



# GLOSARIO



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS



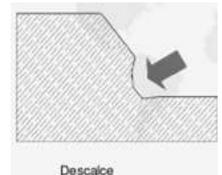


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
GLOSARIO



## GLOSARIO

- **Aeródromo.**- Campo de vuelo de pequeño tamaño y con servicios, como pueden ser la disponibilidad de taxis, alquiler de vehículos, y otros, incluso de aduanas, reducidos o inexistentes. Igualmente, en el caso de la aviación militar, un aeródromo es, normalmente, un aeropuerto en el que no existen aeronaves basadas de forma permanente.
- **Aerolíneas.**- Líneas aéreas, o aerolíneas, son aquellas organizaciones que se dedican al transporte de pasajeros o carga, y, en algunos casos, animales, por avión.
- **Aeropuerto.**- Los aeropuertos son las terminales en tierra donde se inician y concluyen los viajes de transporte aéreo en aeronaves. Las funciones de los aeropuertos son varias, entre ellas el aterrizaje y despegue de aeronaves, embarque y desembarque de pasajeros, equipajes y mercancías, reabastecimiento de combustible y mantenimiento de aeronaves, así como lugar de estacionamiento para aquéllas que no están en servicio. Los aeropuertos sirven para aviación militar, aviación comercial o aviación general.
- **ASA.**- Aeropuerto y Servicios Auxiliares
- **Base.**- Es una capa intermedia entre la subbase y la carpeta del pavimento, generalmente constituida por agregados pétreos convenientemente graduados y compactados, pudiendo contener además un agente estabilizador. Aunque hay diversos estabilizadores, el de uso más generalizado es el cemento hidráulico.
- **Bituminoso.**- son sustancias de color negro, sólidas o viscosas, dúctiles, que se ablandan por el calor y comprenden aquellos cuyo origen son los crudos petrolíferos como también los obtenidos por la destilación destructiva de sustancias de origen carbonoso.
- **Calles de rodaje.**- Una pista de carreteo, pista de rodaje, pista de taxi o calle de rodaje (del inglés taxiway) es parte de la infraestructura del "lado de aire" (del inglés airside), la cual permite conectar las zonas de hangares y terminal con la pista de aterrizaje. Dependiendo del país, la terminología para referirse a los mismos elementos varía sustancialmente y por eso recibe tantos nombres. Usualmente están pavimentadas en asfalto u hormigón, aunque los aeródromo más pequeños y menos importantes utilizan a veces grava o hierba.
- **Capotar.**- Dar vuelta de campana por la proa, al despegar o al aterrizar.
- **Cárcava.**- Las cárcavas son los socavones producidos en rocas y suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia. Estas producen la llamada erosión remontante. Se producen tan sólo en el sustrato de tipo arcilloso, si hay dos o más cárcavas que avanzan paralelas en línea recta se llama rills.
- **Carpeta:** Es la superficie constituida por elementos de hormigón, fabricados in situ p prefabricados, sobre la cual transitan personas y/o vehículos
- **Cemento Portland.**- El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada hormigón. Es el más usual en la construcción y es utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón (llamado concreto en Hispanoamérica). Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.
- **Concreto hidráulico.**- El concreto hidráulico es una combinación de cemento Pórtland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.
- **Consolidación.**- Se denomina consolidación de un suelo a un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo. Producen asentamientos, es decir, hundimientos verticales, en las construcciones que pueden llegar a romper si se producen con gran amplitud.
- **Cribado.**- Pasar una materia por una criba para separar las partes finas y las gruesas o para limpiarla de impurezas.
- **Decolaje.**- Despegue de un avión
- **Descalce.**- Se le denomina así al erosionamiento en la cara de un talud, que genera inestabilidad.
- **Empenaje.**- El elemento estabilizador de un avión es la cola, en conjunto se llama empenaje. por lo general, está situado en la parte posterior del avión y se compone estructuralmente de dos elementos: el estabilizador horizontal y el estabilizador vertical.
- **Faneríticas.**- Es un tipo de textura de las rocas ígneas en el que es posible para observar los cristales individuales a simple vista. Estas rocas se hablan comúnmente de grano grueso. Esta textura está formada por un enfriamiento lento del magma profundo, haciendo que los minerales constituyentes grupo puede.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
GLOSARIO



- **Félsico.**- Se denominan félsicos a los minerales, rocas y magmas ricos en elementos ligeros como el silicio, oxígeno, aluminio, sodio y potasio. La palabra surge de la combinación de feldespatos y sílice. Los minerales félsicos son normalmente de color claro y tienen una densidad relativa inferior a 3.
- **FOD.**- Foreign Objects Damage (Daños por objetos extraños)
- **GAP.**- Grupo Aeroportuario del Pacífico
- **Hidroplaneo.**- (más raramente, acuaplaneo o aquaplaning) es la situación en la que un vehículo atraviesa en la carretera a cierta velocidad una superficie cubierta de agua, llevándolo a una pérdida de tracción y control del mismo por parte del conductor.
- **Máficos.**- La palabra deriva de la contracción de "magnesio" y "férico". La mayoría de los minerales máficos son de color oscuro y su densidad relativa es mayor que 3. Son ejemplos de minerales máficos el olivino, el piroxeno, el anfíbol y la biotita. Son rocas máficas el basalto y el gabro
- **Pernoctar.**- Pasar la noche en algún lugar fuera de la vivienda habitual, en especial cuando se viaja
- **Plataformas.**- La rampa aeroportuaria o plataforma es parte de un aeropuerto. Es normalmente la zona donde los aviones son estacionados, descargados y cargados, repostados o embarcados. Aunque el uso de la plataforma está cubierto por regulaciones, como iluminación en los vehículos, es normalmente más accesible para los usuarios que la pista de aterrizaje o la calle de rodaje. Sin embargo, la plataforma no está normalmente abierta al público general y se requiere estar en posesión de una licencia para tener garantizado el acceso.
- **Popa.**- En la denominación que se le da a la parte trasera de un barco o avión. Extremo opuesto a la proa
- **Porfídica.**- Cuando la roca ígnea posee dos tamaños (más raramente tres) de grano marcadamente distintos. Los cristales de mayor tamaño reciben el nombre de fenocristales y los cristales considerablemente menores que los engloban se denominan matriz.
- **Presión Litostática.**- Es la presión que ejerce una columna de roca situada sobre un punto. Depende de la densidad y del espesor de la columna de roca. Es un tipo de presión que actúa por igual en todas las direcciones. Si tenemos en cuenta que el espesor de la corteza continental no es igual que el de la corteza oceánica, resulta que las presiones a las que están sometidas las rocas tampoco son iguales.
- **Proa** Se denomina también proa al tercio anterior del avión o buque.
- **Propiedades Índice de los Suelos:** Se conocen como propiedades índice de los suelos la densidad, porosidad, relación de vacíos, gravedad específica, contenido de humedad, límites de Atterberg y algunos otros parámetros descriptivos generales, similares a éstos.
- **Rasante.**- Corresponde a la línea de contacto del elemento incorporado al terreno.
- **Semimonocasco.**- En aviación, se refiere a un tipo de construcción empleada en la actualidad, deriva de la palabra monocasco e igualmente de este tipo de construcción. Se caracteriza por emplear un recubrimiento delgado, denominado piel, soportado por diferentes componentes estructurales como son las cuadernas que dan forma a las diferentes secciones transversales del fuselaje y por larguerillos que son elementos longitudinales unidos a las cuadernas, haciendo de este tipo de construcción un todo, que actúa de forma conjunta disminuyendo la fatiga del material, y al usar elementos transversales continuos, permite crear formas complejas de curvas compuestas, ya que el revestimiento es delgado.
- **Subbase.**- Es una capa, generalmente constituida por agregados pétreos convenientemente graduados y compactados, construida sobre la subrasante, y sobre la cual puede construirse la base cuando sea necesaria.
- **Subrasante.**- Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.
- **Suprayacentes.**- La definición de suprayacente es que yace por encima de algo. Que se ubica por arriba de algo en especial
- **Subsuperficiales.**- Debajo de la superficie





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
CONCLUSIONES



# CONCLUSIONES



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





## CONCLUSIONES

La importancia de un documento como este reside en que debemos cumplir con pavimentos que nos permitan llevar a cabo las actividades de los aviones sin comprometer las actividades aéreas, cumpliendo con diferentes características que hemos ido analizando en el documento.

En el capítulo 1 trate de dar datos básicos sobre la geología que nos ayudan a entender un poco sobre las rocas y esta información está conectada directamente con los materiales de construcción que usamos día al día, cosa de vital importancia a la hora de estudiar las características de los suelos y de los materiales con los que interactuamos en la etapa de construcción. En el capítulo dos apreciamos las pruebas de laboratorio que son importantes para la elaboración de las pistas aéreas dichas pruebas no solo nos ayudan a saber las características de los materiales si no también su comportamiento mecánico en diferentes condiciones. El capítulo 3 nos da a conocer las características de los pavimentos que podemos usar en la construcción de las aeropistas ya sean rígidos o flexibles cada uno ofrece diferentes ventajas y desventajas ante el otro, también conocimos en este capítulo las características de las aeronaves que operan en México, ya que es el reto al que nos enfrentamos al diseñar los pavimentos. El capítulo 4 es de suma importancia para darle sentido a esta tesis porque es donde conocemos las características sobre cómo se diseña, obtenemos los ábacos y las metodologías de la FAA, el capítulo 5 es el último pero no pasa a tener una importancia menor ya que se trata de cuando ya está en operación el pavimento que diseñamos y construimos que características debe cumplir para tener un desempeño satisfactorio en las diferentes condiciones ambientales, climáticas y de operación.

Considero que al final de este documento he cumplido cabalmente con el objetivo que nos propusimos al inicio, llevando de manera clara y sencilla la información a quien tiene el interés de aprender un poco más sobre los pavimentos aeronáuticos, analizando las etapas de desarrollo del diseño, construcción, revisión, así como también la parte no menos importante de las pruebas de laboratorio antes de la construcción y después, en la operación de las mismas.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
BIBLIOGRAFÍA



# BIBLIOGRAFÍA



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





## BIBLIOGRAFÍA

### INTRODUCCION

- <https://www.aicm.com.mx/aicm/acerca-del-aicm/breve-historia>
- <https://www.aicm.com.mx/wp-content/uploads/2013/08/Reestructuracion-del-Sistema-Aeroportuario-Mexicano.pdf>
- <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos>
- <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/conceptos-basicos>



### CAPITULO 1 INTRODUCCION A LA GEOLOGIA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS:

- FUNDAMENTOS DE LA GEOLOGIA, REED AND WICANDER & JAMES S.
- GEOLOGIA PARA INGENIEROS, FGH BLYTH, MH DE FREITAS
- CIENCIAS DE LA TIERRA, INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA FÍSICA TARBUCK., Y LUTGENS
- GEOLOGÍA FÍSICA, LONGWELL Y FLINT
- MECÁNICA DE SUELOS TOMO I JUÁREZ B., E. Y RICO A.
- MECÁNICA DE SUELOS TOMO II JUÁREZ B., E. Y RICO A.
- MECÁNICA DE SUELOS TOMO III JUÁREZ B., E. Y RICO A.
- GEOLOGIA APLICADA, OSCAR PLAZA DIEZ.

### CAPITULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES

- MECÁNICA DE SUELOS TOMO I JUÁREZ B., E. Y RICO A.
- MECÁNICA DE SUELOS TOMO II JUÁREZ B., E. Y RICO A.
- MECÁNICA DE SUELOS TOMO III JUÁREZ B., E. Y RICO A.
- MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES SCT.
- CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES, SCT.

### CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS.

- MANUAL DE DISEÑO DE AERÓDROMOS, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL OACI.
- DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO, FABIOLA ABIGAIL DELGADO EGOÁVIL, CANDY QUISPE VILLAVERDE.
- DEL ARTE EN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS, DIANA MARCELA ALBARRACIN CRISTIANO, CRISTHIAN HUMBERTO PEREZ CAMARGO.
- ADVISORY CIRCULAR AC No: 150/5370-10G, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION.
- APUNTES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS, ING JOSE SANTOS ARRIAGA SOTO.
- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA AEROPUERTOS, ING. ESP. JULIÁN RODRIGO QUINTERO GONZÁLEZ.
- APUNTES DE PAVIMENTOS Y TERRACERIAS, ING JOSE SANTOS ARRIAGA SOTO.
- MEJORES PRÁCTICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CON CEMENTO PÓRTLAND (PAVIMENTO RÍGIDO PARA AEROPUERTOS), IPRF FUNDACIÓN DE INVESTIGACIONES DE PAVIMENTOS INNOVADORES
- PAVIMENTOS, M. EN I. MIGUEL ANGEL TAPIA GARCIA.



### CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN  
INGENIERÍA CIVIL  
BIBLIOGRAFÍA



- MANUAL DE DISEÑO DE AERÓDROMOS, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL OACI.
- ADVISORY CIRCULAR AC No: 150/5370-10G, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION.
- PASANTIA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES AEROPORTUARIOS POR EL METODO FAA, JUAN DAVID BARRAGÁN MOYA
- DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA AEROPUERTOS, DIEGO EDUARDO HOYOS G.
- DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO, FABIOLA ABIGAIL DELGADO EGOÁVIL, CANDY QUISPE VILLAVERDE.
- TESIS: SUPERVISION Y CONTROL DE LA OBRA RODAJE GOLFO 2° ETAPA Y OBRAS COMPLEMENTARIAS AEROPUERTO INTERNACIONAL BENITO JUAREZ, CIUDAD DE MEXICO. ACUÑA SOLIS ARTURO, MARTINEZ ALBAÑIL ISRAEL.
- APUNTES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS, ING JOSE SANTOS ARRIAGA SOTO.
- APUNTES DE PAVIMENTOS Y TERRACERIAS, ING JOSE SANTOS ARRIAGA SOTO.

### CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

- ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS EN AEROPUERTOS DE MÉXICO, GONZÁLEZ SAUCEDO BENJAMÍN, RODRIGUEZ PARRA MIRIAM.
- PATOLOGIA DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES, MARIA FERNANDA BENAVIDES, NARHEN VIDALES MARIN, DIEGO ARMANDO POSADA, HAYDERTH FAJARDO, RAFAEL MORERA LEON
- APUNTES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS, ING JOSE SANTOS ARRIAGA SOTO.



TESIS PRESENTADA POR:  
MARCO ANTONIO CAMACHO PALACIOS





# REFERENCIAS





## REFERENCIAS

### CAPITULO 1 INTRODUCCION A LA GEOLOGIA Y EL COMPORTAMIENTO DE SUELOS:

- i <http://www.vanguardia.com.mx/mexicoespotenciaaeronauticamundial-2286579.html>
- ii <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/principales/aeropuerto-internacional-de-la-ciudad-de-mexico>
- iii <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/principales/aeropuerto-internacional-de-guadalajara>
- iv <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/principales/aeropuerto-internacional-de-monterrey>
- v <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/principales/aeropuerto-internacional-de-cancun>
- vi <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/principales/aeropuerto-internacional-de-tijuana>
- vii <http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/aeropuertos/todos-los-aeropuertos-en-mexico>
- viii Diseño de estructuras de pavimento flexible para aeropuertos Ing. Esp. Julián Rodrigo Quintero González pag7-12
- ix [https://es.wikipedia.org/wiki/Pista\\_de\\_aterrizaje](https://es.wikipedia.org/wiki/Pista_de_aterrizaje)
- x Diseño del pavimento de un aeropuerto, Fabiola Abigail Delgado Egoávil, Candy Quispe Villaverde, paginas 22-25
- xi <https://es.wikipedia.org/wiki/Geolog%C3%Ada>
- xii Fundamentos de geología, Reed Wicander & James s Monroe, pagina 15
- xiii Fundamentos de geología, Reed Wicander & James s Monroe, paginas 76- 79
- xiv Fundamentos de geología, Reed Wicander & James s Monroe, paginas 140-142
- xv Fundamentos de geología, Reed Wicander & James s Monroe, paginas 159- 167
- xvi Fundamentos de geología, Reed Wicander & James s Monroe, paginas 246- 247
- xvii [https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Unificado\\_de\\_Clasificaci%C3%B3n\\_de\\_Suelos](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Unificado_de_Clasificaci%C3%B3n_de_Suelos)
- xviii [http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n\\_AASHTO](http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_AASHTO)

### CAPITULO 2 PRUEBAS DE LABORATORIO Y ESTUDIOS PRELIMINARES

- xix Pavimentos y Terracerías Ing. José Santos Arriaga Soto paginas 39-40
- xx <http://www.arqhys.com/construccion/suelos-humedad.html>
- xxi [https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites\\_de\\_Atterberg](https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmites_de_Atterberg)
- xxii <http://apuntesingenierocivil.blogspot.mx/2011/03/i-analisis-granulometrico-introduccion.html>
- xxiii <http://www.arqhys.com/construccion/densidad-solidos-suelo.html>
- xxiv <http://blogramcodes.blogspot.mx/2012/08/que-es-el-cbr.html>
- xxv <http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-11-08.pdf>
- xxvi <http://ingenieriareal.com/uso-de-la-prueba-equivalente-de-arena/>
- xxvii [https://www.academia.edu/6083784/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS](https://www.academia.edu/6083784/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_LAB_DE_PAVIMENTOS)
- xxviii <https://es.scribd.com/document/327347620/Prueba-de-Placa>
- xxix [https://www.academia.edu/6083784/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS](https://www.academia.edu/6083784/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_LAB_DE_PAVIMENTOS)
- xxx [https://www.academia.edu/6083784/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS](https://www.academia.edu/6083784/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_LAB_DE_PAVIMENTOS)
- xxxi [https://www.repsol.com/pe\\_es/productos\\_y\\_servicios/productos/peasfaltos/productos/casfalticos/](https://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/casfalticos/)
- xxxii [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)
- xxxiii <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/10577/Capitulo5.pdf>
- xxxiv <http://html.rincondelvago.com/viscosimetro-saybolt.html>
- xxxv [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)
- xxxvi [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)
- xxxvii [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)
- xxxviii [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)
- xxxix [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)
- xl [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_DE\\_PRACTICAS\\_DE\\_%20LAB\\_DE\\_PAVIMENTOS.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_DE_PRACTICAS_DE_%20LAB_DE_PAVIMENTOS.pdf)

### CAPITULO 3 PAVIMENTOS FLEXIBLE Y RÍGIDOS.

- xli <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5751/Tesis%20Dise%C3%B1o%20de%20Pavimentos%20para%20Aeropistas.pdf?sequence=1>
- xlii [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_130\\_181\\_83\\_1178.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_130_181_83_1178.pdf)
- xliiii Diseño del pavimento de un aeropuerto, Fabiola Abigail Delgado Egoávil, Candy Quispe Villaverde, paginas 8-12
- xliiii Diseño de pavimentos para aeropistas Gabriela GarciaSaldivar, paginas 34-35
- xliiii DISEÑO DE PAVIMENTOS, Ing. José Santos Arriaga Soto Paginas 85-88
- xliiii <http://documents.mx/documents/aviones-56686002dc8c0.html>
- xliiii <https://es.wikipedia.org/wiki/Avi%C3%B3n>





## CAPÍTULO 4 DISEÑO DE PAVIMENTOS

xlviii DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA AEROPUERTOS, DIEGO EDUARDO HOYOS G.

xliv MANUAL DE DISEÑO DE AERÓDROMOS, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL OACI.

i MANUAL DE DISEÑO DE AERÓDROMOS, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL OACI.

ii MANUAL DE DISEÑO DE AERÓDROMOS, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL OACI.

## CAPÍTULO 5 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS

lii DISEÑO DE PAVIMENTOS, Ing. José Santos Arriaga Soto Paginas 57-59

liii ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS EN AEROPUERTOS DE MÉXICO, GONZÁLEZ SAUCEDO BENJAMÍN, RODRIGUEZ PARRA MIRIAM, Estrategias Generales para Optimizar el Mantenimiento de los Pavimentos

liiv ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS EN AEROPUERTOS DE MÉXICO, GONZÁLEZ SAUCEDO BENJAMÍN, RODRIGUEZ PARRA MIRIAM, Estrategias Generales para Optimizar el Mantenimiento de los Pavimentos

lv ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS EN AEROPUERTOS DE MÉXICO, GONZÁLEZ SAUCEDO BENJAMÍN, RODRIGUEZ PARRA MIRIAM, Estrategias Generales para Optimizar el Mantenimiento de los Pavimentos

lvi ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR EL MANTENIMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS EN AEROPUERTOS DE MÉXICO, GONZÁLEZ SAUCEDO BENJAMÍN, RODRIGUEZ PARRA MIRIAM, Estrategias Generales para Optimizar el Mantenimiento de los Pavimentos

