



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

**Diseño de pavimento asfáltico poroso para el aeropuerto Mariscal La Mar
de Cuenca**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Civil

AUTORES:

ANDREA GABRIELA CARVAJAL SIGUENCIA
C.I. 0302228846

OLGA CRISTINA QUISHPI MACHUCA
C.I. 0105366058

DIRECTOR:

ING. JAIME ASDRUBAL BOJORQUE IÑEGUEZ., PhD.
C.I. 0102857885

CUENCA – ECUADOR
MAYO 2018



RESUMEN

Las superficies de pavimento tradicionales incrementan las áreas impermeables pues al recibir grandes volúmenes de agua interrumpen el ciclo natural de flujo de agua ocasionando inundación y contaminación a los cuerpos acuáticos receptores. Una de las alternativas de drenaje son los pavimentos asfálticos porosos estos permiten la percolación del agua; retardando la escorrentía generada por la lluvia. Otro problema que presentan los pavimentos tradicionales es el hidroplaneo ocasionado por efecto del agua sobre la superficie, los neumáticos no tienen una adecuada adherencia. El objetivo del presente proyecto es estudiar dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos flexibles aplicados al Aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca, Ecuador; mediante dos metodologías: “AASHTO 93” y “THE SUDS MANUAL CIRIA” donde el contenido de vacíos debe controlarse para obtener un incremento de porosidad sin alterar la resistencia. Se determinó el diseño de la carpeta asfáltica para las condiciones estructurales e hidrológicas de la zona, el porcentaje óptimo de asfalto se calculó con el ensayo Marshall siendo 6.4% correspondiente a 2980 libras de estabilidad y 0.15 pulgadas de flujo con 18.74 % de vacíos; el periodo de diseño fue de 20 años dando como resultado 9 cm según ASSTHTO y 6 cm mediante THE SUDS MANUAL, se optó por el valor mínimo según la normativa internacional “Airport Pavement Desingn and Avaluation” de 10 cm. El presupuesto del pavimento poroso es de \$1034708.40 mientras que con el pavimento tradicional es de \$.1274306.40.

PALABRAS CLAVE

Asfalto, poroso, mezcla, agua, AASHTO 93, THE SUDS MANUAL CIRIA, diseño, vacíos.



ABSTRACT

Existing pavement surfaces increase waterproof areas because receiving large volumes of water interrupting the natural cycle of water flow causing flooding and pollution to aquatic bodies. One of the alternative techniques of drainage corresponds to the porous asphalt pavements, that allow the percolation of water; slowing down the runoff generated by the rain. Another problem that traditional pavements present is the hydroplaning caused by the effect of water on the surface, the tires do not have an adequate adhesion. The objective of this project is to study dosages in the laboratory for flexible porous pavements applied to Mariscal La Mar Airport in Cuenca, Ecuador; by means of two methodologies: "AASHTO 93" and "THE SUDS MANUAL CIRIA" where the content of voids must be controlled to obtain an increase of porosity without altering the resistance. The design of the asphalt binder was determined for the structural and hydrological conditions of the area, the optimum percentage of asphalt was calculated with the Marshall test being 6.4% corresponding to 2980 pounds of stability and 0.15 inches of flow with 18.74% of voids; the design period was 20 years resulting in 9 cm according to ASSTHTO and 6 cm using THE SUDS MANUAL, the minimum value was chosen according to the international regulation "Airport Pavement Desingn and Avaluation" of 10 cm. The budget of the porous pavement is \$ 1034708.40 while with the traditional pavement is \$.1274306.40.

KEYWORDS

Asphalt, porous, mix, water, AASHTO 93, THE SUDS MANUAL CIRIA, design, empty.



INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
KEYWORDS	3
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. ASPECTOS GENERALES.....	17
1.2. ANTECEDENTES	18
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.4. ALCANCE	20
1.5. JUSTIFICACIÓN	20
1.6. OBJETIVOS	21
1.6.1. OBJETIVO GENERAL.....	21
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.7. METODOLOGÍA	22
1.8. ZONA DE ESTUDIO	22
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. TIPOS DE MEZCLAS EN LOS PAVIMENTOS	24
Hormigón Asfáltico en Caliente.....	24
Hormigón Asfáltico en Frío	24
Pavimento Asfáltico Drenante	24
2.2. PAVIMENTO ASFÁLTICO POROSO	25
Asfalto.....	25
Agregados	25
Ventajas.....	26
Desventajas	26
2.3. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA MEZCLA (MÉTODO MARSHALL).....	27
2.4. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO EXISTENTE DE LA PISTA	29
2.5. MÉTODO AASHTO 93.....	30
Confiabilidad	32



Serviciabilidad.....	33
Módulo resiliente de la subrasante	34
Propiedades de los materiales.....	34
Drenaje	36
2.5 MÉTODO THE SUDS MANUAL	37
Sistemas de gestión de agua	38
Tasa de infiltración en la superficie porosa.....	40
Profundidad máxima de almacenamiento.....	42
Salida de la estructura del pavimento.....	43
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1. MATERIALES Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA.....	44
Diseño de la mezcla por el Método Marshall	45
3.2. DISEÑO AASHTO 93	55
Periodo de diseño (n):	55
Número de ejes equivalente	55
Confiabilidad.....	57
Serviciabilidad.....	57
Cálculo del módulo resiliente.....	57
Determinación del número estructural, coeficiente estructural y coeficiente de drenaje.....	58
Determinación del espesor de la capa de rodadura	59
3.3. DISEÑO POR EL MÉTODO THE SUDS MANUAL	60
Sistema de gestión de agua idóneo.....	60
Tasa de infiltración de la superficie porosa y Profundidad máxima de almacenamiento	64
Salida de la estructura del pavimento.....	68
3.4. PRESUPUESTO	69
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA	74



ANEXOS	78
ANEXO 1. MAPA DE UBICACION PROVINCIAL DEL ESTUDIO	78
ANEXO 2. MAPA DE UBICACION CANTONAL DEL ESTUDIO	79
ANEXO 3. MAPA DE UBICACION PARROQUIAL DEL ESTUDIO	80
ANEXO 4. VISTA SATELITAL DEL AEROPUERTO	81
ANEXO 5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO A (Material del Río Paute).....	82
ANEXO 6. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO B (Material de La Josefina).	83
ANEXO 7. ENSAYO DE DUREZA (PORCENTAJE DE DESGASTE)	84
ANEXO 8. ENSAYO SOBRE LA FORMA DE LA PARTÍCULA	85
ANEXO 9. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO NOMINAL, DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	86
ANEXO 10. ENSAYO RICE	88
ANEXO 11. ENSAYO MARSHALL 4% ASFALTO	89
ANEXO 12. ENSAYO MARSHALL 4.5% ASFALTO	90
ANEXO 13. ENSAYO MARSHALL 5% ASFALTO	91
ANEXO 14. ENSAYO MARSHALL 5.5% ASFALTO	92
ANEXO 15. ENSAYO MARSHALL 6% ASFALTO	93
ANEXO 16. ENSAYO MARSHALL 6.5% ASFALTO	94
ANEXO 17. ENSAYO MARSHALL 7% ASFALTO	95
ANEXO 18. ENSAYO MARSHALL 7.5% ASFALTO	96
ANEXO 19. VISCOSIDAD DINAMICA DEL AGUA LIQUIDA A VARIAS TEMPERATURAS (Goluber, 1959).	97
ANEXO 20. INTENSIDADES MAXIMAS-ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE ESTACIONES (INAMHI,1999).	100
ANEXO 21. INTENSIDADES MAXIMAS EN 24 HORAS (INAMHI,1999).	101
ANEXO 22. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C) (Aparicio,1999).	102
ANEXO 23. CRITERIO MARSHALL	103
ANEXO 24. MINIMUM LAYER THICKNESS FOR FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES	104



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la pista	23
Tabla 2. Franja granulométrica para mezcla drenante	25
Tabla 3. Espesores de la estructura del Pavimento.	29
Tabla 4. Tipos y características de las aeronaves.	30
Tabla 5. Estación Meteorológica	30
Tabla 6. Período de diseño	30
Tabla 7. Factor de distribución por direcció.....	31
Tabla 8. Factor de distribución por carril	32
Tabla 9. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras	32
Tabla 10. Valores de ZR para varios grados de confiabilidad	33
Tabla 11. Índice de serviciabilidad final.....	34
Tabla 12. Niveles del drenaje.....	36
Tabla 13. Coeficiente de drenaje para la base y subbase.....	37
Tabla 14. Orientación sobre la selección del tipo de sistema de gestión de agua	40
Tabla 15. Propiedades del cemento asfáltico.....	44
Tabla 16. Granulometría combinada de 2 agregados para obtener la óptima.	44
Tabla 17. Ensayos realizados en los agregados con sus correspondientes resultados.....	45
Tabla 18. Masas de agregados y asfalto para la mezcla.	46
Tabla 19. Cálculos para la determinación de la gravedad específica neta de la mezcla.....	48
Tabla 20. Resumen de los resultados obtenidos para contenido de asfalto.	51
Tabla 21. Determinación del porcentaje óptimo de asfalto con el Método NAPA.	55
Tabla 22. Porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo del porcentaje óptimo de asfalto.	55
Tabla 23. Número de vuelos de arribo y salida desde el año 2012 – 2016.....	56
Tabla 24. Cálculos del factor camión y tránsito promedio diario anual.....	57
Tabla 25. Valores de módulos elásticos de capas de pavimentos asfálticos	59
Tabla 26. Datos de campo.	60
Tabla 27. Datos ensayo de permeabilidad.	62
Andrea Carvajal Sigüencia – Olga Quishpi Machuca	7



Tabla 28. Resultados del ensayo de permeabilidad para la muestra #1.....	62
Tabla 29. Determinación del coeficiente de permeabilidad para la muestra #1.	62
Tabla 30. Resultados del ensayo de permeabilidad para la muestra #2.....	62
Tabla 31. Determinación del coeficiente de permeabilidad para la muestra #2.	62
Tabla 32. Resultados del ensayo de permeabilidad para la muestra #3.....	63
Tabla 33. Determinación del coeficiente de permeabilidad para la muestra #3.	63
Tabla 34. Viscosidad dinámica del agua	63
Tabla 35. Valores relativos de permeabilidad	64
Tabla 36. Ecuaciones de intensidad para la estación M-067(INAMHI).	65
Tabla 37. Intensidades máximas en 24 horas para la estación M-067	65
Tabla 38. Datos de diseño para TR de 5 años.....	65
Tabla 39. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 5 años.	65
Tabla 40. Datos de diseño para TR de 10 años.....	66
Tabla 41. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 10 años.	66
Tabla 42. Datos de diseño para TR de 15 años.....	66
Tabla 43. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 15 años.	67
Tabla 44. Datos de diseño para TR de 20 años.....	67
Tabla 45. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 20 años.	67
Tabla 46. Espaciamiento entre tuberías.....	68
Tabla 47. Caudal de infiltración de la subbase.....	68
Tabla 48. Presupuesto de la carpeta asfáltica diseñada y de la actual.....	70



INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Gráfica para encontrar el coeficiente estructural a_1 de la capa de rodadura	35
Ilustración 2. Gráfica para determinar a_2 con diferentes parámetros de la base granular	35
Ilustración 3. Gráfica para determinar a_3 con diferentes parámetros de la subbase.....	36
Ilustración 4 Sistema de pavimento asfáltico poroso Tipo A	38
Ilustración 5. Sistema de pavimento asfáltico poroso Tipo B	39
Ilustración 6 .Sistema de pavimento asfáltico poroso Tipo C	39
Ilustración 7. Experimento de Darcy. Flujo de agua a través de un empaquetamiento de arena	41
Ilustración 8. Granulometría combinada que se mantiene dentro de los límites de la franja.	45
Ilustración 9. Mezcla en caliente de los agregados con el betún asfáltico.	46
Ilustración 10. Montaje de los moldes para las briquetas.....	46
Ilustración 11. Varillado de la mezcla.....	47
Ilustración 12. Compactación de la mezcla.....	47
Ilustración 13. Briquetas terminadas.....	47
Ilustración 14. Material desmenuzado previo al ensayo.....	48
Ilustración 15. Colocación del material en el picnómetro.....	48
Ilustración 16. Proceso de extracción de vacíos de la mezcla.....	49
Ilustración 17. Pesaje de la muestra con el picnómetro lleno de agua.....	49
Ilustración 18. Pesaje en seco de las briquetas.....	50
Ilustración 19. Saturación de las briquetas, agua a $T=25^{\circ}$ C.....	50
Ilustración 20. Pesaje de las briquetas sumergidas.....	50
Ilustración 21. Ensayo de estabilidad y flujo.....	51
Ilustración 22. Porcentaje de vacíos total vs. Contenido de asfalto.....	52
Ilustración 23. Estabilidad vs. Contenido de asfalto.....	52
Ilustración 24. Flujo vs. Contenido de asfalto.....	53
Ilustración 25. Gravedad neta de la mezcla vs. Contenido de asfalto.....	53



Ilustración 26. Vacíos rellenos de asfalto vs. Contenido de asfalto.....	54
Ilustración 27. Vacíos de agregado mineral vs. Contenido de asfalto.....	54
Ilustración 28. Tasa de decrecimiento.....	56
Ilustración 29. Estructura de pavimento según el método AAASHTO 93.....	60
Ilustración 30. Extracción de muestras.....	61
Ilustración 31. Determinación de profundidad.....	61
Ilustración 32. Muestras en laboratorio.....	61
Ilustración 33. Estructura de pavimento según el método SUDS MANUAL.....	69



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Andrea Gabriela Carvajal Siguenca en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFÁLTICO PARA EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, mayo de 2018



Andrea Gabriela Carvajal Siguenca
C.I: 0302228846



CLÁUSULA DE LICENCIA Y AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Olga Cristina Quishpi Machuca en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **“DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFÁLTICO PARA EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA”**, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, mayo de 2018

Olga Cristina Quishpi Machuca
C.I: 0302228846



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Andrea Gabriela Carvajal Sigüencia, autora del trabajo de titulación “**DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFÁLTICO PARA EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA**”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, mayo de 2018

Andrea Gabriela Carvajal Sigüencia
C.I: 0302228846



CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Olga Cristina Quishpi Machuca, autora del trabajo de titulación **“DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFÁLTICO PARA EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA”**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, mayo de 2018

Olga Cristina Quishpi Machuca
C.I: 0105366058



AGRADECIMIENTOS

El agradecimiento más importante a Dios por permitirnos alcanzar nuestro mayor anhelo el de ser profesionales.

Un agradecimiento especial a nuestro tutor Ing. Jaime Bojorque Ñeguez por su voluntad, entrega, orientación y motivación. Ha sido un enorme privilegio poder contar con su guía y conocimientos.

Gracias la Universidad de Cuenca y a sus catedráticos que nos impartieron sus conocimientos durante estos años de estudio.

Se agradece a la Corporación Aeroportuaria de Cuenca “CORPAC” en la persona del Ing. Paul Idrovo por su crucial aporte en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Gracias a ASFALAR E,P de manera particular al Ing. Diego Merchán por brindarnos su tiempo y colaboración para ejecutar este proyecto.

De igual manera agradecemos al Ing. Ramón Valdivieso representante del Instituto Tecnológico de la Construcción por permitirnos el acceso a sus instalaciones sin mayor restricción, y a todo su personal por los servicios prestados.

Para finalizar quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera estuvieron vinculadas a este proyecto y aportaron con un granito de arena mil gracias.



DEDICATORIA

Por su fe, por su amor sin medida, por su apoyo total y por estar conmigo en cada paso de este camino que llega a su fin les dedico esta tesis querida madre Esperanza y hermana Cristina, saben que no me cansaré de agradecerles por convertirme en la persona que el día de hoy soy, a mis abuelos por su apoyo, a mis amigas y amigos que me han alentado.

GABRIELA

El amor, confianza e interés entregado día a día por mis Padres Olga y Rubén han permitido que culmine mi vida universitaria satisfactoriamente, a ellos les dedico esta tesis como eterno agradecimiento por motivarme y enseñarme a cumplir mis sueños; a mis hermanas Jenny, Paola y Valeria por brindarme su apoyo a mi abuelita Zoila, tío Ashi y ñaño Santy por darme ánimos siempre, a mi enamorado Jefferson y nuestra Pacita.

CRISTINA



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. ASPECTOS GENERALES

Las mezclas porosas o también llamadas drenantes son mezclas asfálticas que se usan como carpeta de rodadura, la principal característica es su alto contenido de vacíos que varía desde el 18% al 25% y están interconectados entre sí. Los vacíos permiten el paso del agua superficial a través de la estructura del pavimento facilitando la rápida evacuación hacia abajo y hacia las zonas laterales, mejorando la adherencia entre el neumático de los vehículos y el pavimento ya que se drena el agua superficial (Ramírez Castro, 2005).

El porcentaje de vacíos en este tipo de mezclas se logra mediante el uso de una granulometría especial, que consiste en un alto contenido de áridos gruesos (85% de la mezcla), poco fino y un aporte muy pequeño de polvo. Es necesario que para un buen desempeño se impermeabilice la capa subyacente con el fin de evitar posibles infiltraciones de agua que provocan fallas estructurales en el pavimento. El diseño geométrico es de vital importancia también ya que se debe asegurar el escurrimiento del agua a los drenes laterales y que el agua no se introduzca en la capas inferiores.

Estas mezclas ofrecen una gran gama de ventajas entre la cuales están (Campos Canessa, 2008): eliminación del hidroplaneo que ocurre cuando la capa de agua que se forma entre el neumático y el pavimento rompe el contacto entre ambos, ocasionando que el conductor pierde el control sobre su vehículo, la reducción del agua superficial durante periodos de lluvia que previene que se produzca el levantamiento como la pulverización del agua por el paso de los vehículos, reducen el ruido al paso de vehículos ya que absorben el sonido que se genera por el roce del neumático y el pavimento.

Como toda tecnología se presentan algunas desventajas entre las cuales se tiene: la colmatación de poros por acumulación de polvo, arena, materia orgánica u otros, es necesario mencionar que este fenómeno no afecta el funcionamiento como carpeta de rodadura tan solo sus propiedades drenantes. El mayor coste económico de las mezclas también resulta en una desventaja ya que se requiere de asfaltos modificados y áridos de una calidad superior a la normal, lo que eleva el costo de construcción y también el de mantenimiento de este tipo de obras (Campos Canessa, 2008).

Tomando en cuenta las ventajas de los pavimentos porosos, la presente investigación analiza el diseño óptimo de una mezcla asfáltica porosa para el Aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca, cumpliendo con las normas vigentes,



1.2. ANTECEDENTES

Los pavimentos porosos se desarrollan por primera vez en Estados Unidos en 1940 con el fin de mejorar la textura de la superficie y evitar el hidropilado sin considerar las ventajas múltiples que implica este sistema. Más tarde en 1968 en Francia se diseñó estos pavimentos y se comprobó que en un plazo de 10 años la estructura, a pesar de estar colmada de sedimentos, poseía excelente rugosidad y drenaje superficial (IMCYC, 2003).

Según Rodríguez Hernández (2008) en los años ochenta en España se desarrolló la primera metodología de diseño y control de pavimentos porosos con la intervención de la Dirección General de Carreteras y empresas privadas de la región y desde entonces se utiliza una capa de rodadura asfáltica drenante con espesores de 3 a 5 cm. En 1980, Reino Unido diseña los primeros aeropuertos siguiendo la metodología descrita por el Manual "THE SUDS CIRIA C697" con pavimentos asfálticos porosos bajo la forma de tratamiento superficial con capas de 2 cm. En Europa se introdujo la teoría de los pavimentos drenantes a finales de 1970, a partir de 1985 se generalizó su uso. Inicialmente, se diseñaron mezclas con un contenido de vacíos entre el 15 y 18% del volumen total de la mezcla asfáltica, pero la colmatación apareció muy rápido para esta configuración, por lo que actualmente se exige un porcentaje mínimo de 20% (Trujillo López & Quiroz Lasprilla, 2013).

En el ámbito local, no existen estudios sobre la aplicación de un pavimento asfáltico poroso debido a que en nuestro país y ciudad aún se sigue aplicando las técnicas de pavimentos asfálticos tradicionales. Como alternativa para aeropuertos y vías los pavimentos porosos pueden ser atractivos.

En cuanto al sitio de estudio que se trata del Aeropuerto Mariscal Lamar de Cuenca se conoce que éste surge tras la llegada de Pan-American Grace Airways (Panagra) en el año de 1940, los estudios y análisis indicaron que la pista rudimentaria básica que era usada en un principio para el aterrizaje de los primeros vuelos que se dieron hacia nuestra ciudad no funcionaba para el modelo del aeropuerto deseado. La zona que cumplía con los requerimientos y parámetros para el emplazamiento de la infraestructura aeroportuaria fue la ubicada entre las avenidas España y Elia Liut. Luego de la adquisición de los terrenos con la participación de la Alcaldía de aquella época se inicia la construcción del aeropuerto que contaba con una terminal similar a un domicilio de ahí su nombre "casa del aeropuerto" y una pista de lastre, finalmente, la inauguración fue el 13 de abril de 1941 (CORPAC, 2008).

A lo largo del tiempo se realizaron varias modificaciones al aeropuerto, pero en el año 2005 se hace notoria la necesidad de un cambio total de la infraestructura tanto física como administrativa; fue así como el 1ro de noviembre la Alcaldía creó la Corporación



Aeroportuaria de Cuenca (CORPAC) que se encargó de la ampliación, transformación, mejoramiento, administración y mantenimiento del aeropuerto. Es importante mencionar que en 2008 se realizó un mantenimiento de la capa asfáltica mediante recapeo de la misma, con el fin de incrementar la vida útil de la pista con proyección hasta el 2018 (CORPAC, 2008).

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Varios son los problemas que el aeropuerto ha presentado en la última década, una de las principales falencias ha sido la falta de un cerramiento desde la concepción de la estructura lo cual ha facilitado la entrada de personas, ocasionando el robo de luminarias y cables de electricidad, impidiendo así el correcto funcionamiento del mismo. El 15 de septiembre de 2008 se pararon las actividades para solucionar la falta de iluminación debido a este tipo de percances y además se aprovechó esta situación para brindar mantenimiento a la pista mediante una capa asfáltica de 6.35 cm de recapeo (Ríos, 2008).

Tras una evaluación realizada por la Empresa ASFALTAR E.P el 23 de septiembre de 2014 se arrojaron los siguientes resultados: existía un deterioro acelerado de la pista, presentaba fisuras con el riesgo de futuras infiltraciones de agua lluvia afectando la integridad estructural de las capas internas del pavimento, desprendimiento del material pétreo y pérdida del ligante asfáltico. La misma empresa sugirió que se realicen trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo a fin de solucionar estas problemáticas beneficiando al correcto funcionamiento de la pista, así como también la incorporación de micropavimento (CSM, 2015).

El 8 de febrero de 2016 se llevó a cabo el rejuvenecimiento de la pista lo que implicó el uso de un producto asfáltico sellante en toda la superficie. Fue necesario detener las actividades del aeropuerto durante dos días con el fin de resguardar el período de secado del sellante mediante luz natural. Todo este proceso fue necesario ya que la superficie del pavimento estaba desgastada, adicionalmente, se procedió a colocar la señalética en toda su extensión buscando resguardar la seguridad ocupacional de los usuarios (CSM, 2015).

El hecho más contemporáneo suscitado ocurrió el 28 de abril de 2016, en la mañana de este lluvioso día el avión Embraer 190 de la aerolínea pública TAME E.P. de matrícula PT-XNJ de fabricación brasileña perdió pista y se detuvo en la cabecera sur de las instalaciones a pocos metros de decenas de viviendas, la cola del avión quedó sobre el muro de la calle Nuñez de Bonilla, el avión que cubría la ruta Quito-Cuenca abordaba 86 pasajeros 5 tripulantes y un técnico, afortunadamente, todos los pasajeros



fueron evacuados y no existieron personas heridas ni fallecidas. La Junta Investigadora de Accidentes no proporcionó un informe de este percance, pero la Dirección General de Aviación Civil (DGAD) estableció que una de las posibles causas fue la aplicación del sellante asfáltico rejuvesal, pues éste produce deslizamiento en el aterrizaje cuando la pista está mojada o encharcada, problema que sí ocurre debido a grandes baches que se presentan en la extensión de la pista. Como medidas de mantenimiento correctivo se recomendó realizar el recapeo antes de la colocación de una base asfáltica, también la corrección de la pendiente longitudinal y transversal de la pista, debido a la gran cantidad de agua acumulada, se consideró necesario desenterrar los tubos de PVC existentes ya que se encontraban llenos de material que limita el funcionamiento de esta estructura. Por todo lo antes expuesto se considera oportuno el analizar una alternativa de diseño como es el caso de un pavimento asfáltico poroso que cumpla con todos los parámetros existentes en las normativas vigentes (Noticias del Ecuador, 2016).

1.4. ALCANCE

Este estudio, pretende desarrollar un modelo de pavimento asfáltico poroso aplicado al aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca, cumpliendo con los requerimientos estructurales y drenantes propios de esta infraestructura. El proyecto se llevará a cabo mediante dos metodologías de diseño: “Método AASHTO 93” donde el contenido de vacíos debe variar entre el 15 y 20% para obtener un incremento de la porosidad sin alterar la resistencia de la estructura y el “Método THE SUDS MANUAL” el cual se basa en las infiltraciones del suelo de la zona del pavimento. Los datos a utilizar serán facilitados por la Corporación Aeroportuaria de Cuenca, y recopilación en otras fuentes

Mediante este trabajo se espera obtener una modelación del comportamiento de las dosificaciones y con ello identificar el porcentaje óptimo de asfalto y el contenido de vacíos mediante el Método Marshall, con la finalidad de reducir gastos en obras de drenaje y aumentar la seguridad en la pista que son ventajas de este tipo de estructuras, también se pretende comparar las dos metodologías usadas a fin de determinar la mejor alternativa de diseño y demostrar la diferencia entre el diseño existente y el propuesto.

1.5. JUSTIFICACIÓN

Debido la necesidad de solventar los problemas de drenaje de la pista aeroportuaria de Cuenca se propone el desarrollar este estudio ya que ayudará a cumplir con los



requerimientos de seguridad y confort de los servicios que espera la Empresa CORPAC. Actualmente, gracias a los avances tecnológicos existentes, resulta preciso ampliar la visión de los diseños de pavimentos para aeropuertos en nuestro país, y porque no ser pioneros en el uso de nuevas técnicas y modelos para las pistas aéreas, en la región.

Resulta imperativo diseñar una nueva mezcla asfáltica que logre corregir los problemas que se han presentado en la pista del aeropuerto a lo largo del tiempo, en función de los materiales disponibles en la zona. Los métodos a usarse serán el “Método AASHTO 93” y el “Método THE SUDS MANUAL”. El primero es el más conocido al momento de diseñar pavimentos mientras que el segundo es un método que está orientado al cuidado ambiental generando sostenibilidad y es poco usado. Se realizarán ensayos en laboratorio ya que se cuenta con la disponibilidad de herramientas en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, además, la modelación se hará en base a los datos de la Empresa CORPAC.

A nivel local es menester investigar alternativas para mejorar el único aeropuerto con el que cuenta la ciudad de Cuenca ya que es importante para el desarrollo comercial y turístico de la región.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Investigar sobre los pavimentos asfálticos porosos, con la finalidad de garantizar sostenibilidad ambiental, obteniendo resultados económicos óptimos y realizar un estudio experimental para la infraestructura vial del Aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca- Ecuador

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar mediante el método AASHTO 93, el pavimento flexible poroso para el aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca.
- Realizar el diseño por el método THE SUDS MANUAL y realizar un análisis comparativo.
- Utilizar material del sector para todos los ensayos, con el fin de estudiar aspectos económicos.



- Analizar el diseño del pavimento actual del aeropuerto y proponer una dosificación de mezcla asfáltica porosa adecuada para las necesidades de la zona.

1.7. METODOLOGÍA

El modelado de las capas de rodadura de pavimento asfáltico poroso se basa principalmente las especificaciones brindadas por el Instituto Nacional de Vías - INVÍAS (Capítulo 4) del Ministerio de Transporte de Colombia. Además de algunas normativas que intervienen en el proceso de laboratorio como la NEVI, ASTM, AASHTO y la INEN que especifican los ensayos para evaluar los materiales que componen la mezcla.

Los métodos a utilizar en la dosificación de materiales son dos que se detallan a continuación:

El método de diseño AASHTO 93 fue desarrollado para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, para la aplicación del mismo en pavimentos drenantes bituminosos se tendrá presente que el porcentaje de vacíos de la mezcla debe ser mayor o igual al 20%, lo cual afecta directamente al drenaje que es uno de los parámetros de diseño de esta metodología.

THE SUDS MANUAL es un método que se fundamenta en el diseño de sistemas de infiltración, una de las mayores incertidumbres es determinar el coeficiente de infiltración del suelo, ya que éste varía con el tiempo. Por esta razón, se debe introducir un factor de seguridad en el procedimiento del diseño y así se podrá reducir el valor del coeficiente de infiltración.

Para el desarrollo de ambos métodos se cuenta con la información que posee la Empresa CORPAC sobre las mezclas que se diseñaron anteriormente, que son datos útiles para el modelado de las mezclas.

1.8. ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se desarrolló en el Aeropuerto Mariscal La Mar de Cuenca, ubicado a 2.532 metros sobre el nivel del mar con una temperatura referencial de 16°C, al norte de la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Totoracocha; en las coordenadas 2° 53' 22" S, 78° 59' 4" W (CORPAC, 2008). (Ver Anexo 1, 2, 3 y 4)

Las características de la pista se presentan en la Tabla 1 donde se indica el largo, ancho, área y pendiente de la pista, área de las ojeras y el tipo de la capa de rodadura:



Tabla 1. Características de la pista (CORPAC, 2008).

Largo	1900 m
Ancho	36 m
Área	68.400 m ²
Pendiente	± 0.82 %
Área de ojeras	18.446 m ²
Capa de rodadura	Pavimento Flexible

Adicionalmente, el aeropuerto cuenta con una plataforma de pavimento rígido de 250 m de largo por 50 m de ancho, paralela a 70 m del eje de la pista. La terminal es relativamente pequeña con 5.126 m² de construcción dividida en 2 plantas, siendo un edificio moderno.



CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presentan los tipos de mezclas en los pavimentos asfálticos, propiedades y condiciones de los pavimentos asfálticos porosos, metodología Marshall, características del diseño existente de la pista, así como también las pautas para las metodologías propuestas AASHTO 93 y THE SUDS MANUAL.

2.1. TIPOS DE MEZCLAS EN LOS PAVIMENTOS

Hormigón Asfáltico en Caliente

El hormigón asfáltico mezclado y colocado en caliente es el pavimento asfáltico de mayor calidad y se compone de áridos graduados unidos formando una masa sólida. Este tipo de mezcla para pavimentación se fabrica en una planta mezcladora central donde se calienta el asfalto y los áridos a una temperatura aproximada de 150°C, y se dosifica la mezcla y coloca en obras mientras está aún muy caliente (Rogers Martin & Wallace, 1962).

Hormigón Asfáltico en Frío

El hormigón asfáltico mezclado y colocado en frío es un tipo de pavimento ligeramente inferior al mezclado y colocado en caliente y se usa por lo general para reparaciones o para obras de pequeño volumen en las que no está justificado el transporte de una planta de aglomerado caliente. El hormigón asfáltico en frío es una combinación de áridos y materiales asfálticos líquidos (cutback) que se mezclan y colocan a la temperatura ambiente (Rogers Martin & Wallace, 1962).

Pavimento Asfáltico Drenante

Estas mezclas son dosificadas con el objetivo primordial de conseguir un gran número de vacíos interconectados entre sí, dentro del rango de 15 a 25% que permiten el drenaje del agua superficial y su correcta evacuación para evitar problemas de seguridad vial, que se generan en los pavimentos mojados. Este tipo de mezclas combinan el concepto tradicional de impermeabilizar la superficie de la carretera, trasladando esta función a la capa inferior o a la interface entre ambas, los pavimentos drenantes se clasifican en dos grandes grupos permeables y porosos, los permeables son hechos con bloques de material impermeable pero debido a la forma de colocación es posible dejar espacios vacíos entre sí que permiten que el agua drene; los pavimentos porosos infiltran agua en todo el material de la superficie, comúnmente se usan superficies de grava o hierba reforzada, grava de resina, hormigón poroso y asfalto poroso (Ramírez Castro, 2005).



2.2. PAVIMENTO ASFÁLTICO POROSO

La principal característica de los pavimentos porosos es su capacidad drenante, que facilita la evacuación del agua a comparación de los pavimentos convencionales. La mezcla está integrada por un cementante bituminoso, agregados gruesos uniformemente graduados y un bajo porcentaje de material fino (arena), obteniendo un porcentaje de vacíos que varía del 15 al 20% del volumen total de la mezcla (Trujillo López & Quiroz Lasprilla, 2013).

Los materiales empleados son:

Asfalto: Para mezclas asfálticas porosas el contenido de asfalto debe estar presente en un mínimo del 5.75% del volumen total de la mezcla, en el caso que la granulometría posea un tamaño máximo nominal de 3/8". Para tamaños mayores la cantidad del contenido de asfalto disminuye al 3%. Al momento de seleccionar el tipo de asfalto se recomienda un cemento asfáltico con una penetración 20 (AC-20) con la finalidad de mejorar las propiedades de resistencia y porosidad de la mezcla (NAPA, 2003).

Agregados: Los agregados que se usan en mezclas asfálticas porosas son los mismos que se usan en las mezclas tradicionales que según Ferguson (2010) éstos deben cumplir las normas de:

- Granulometría: A continuación, en la Tabla 2 se presenta la banda granulométrica que se usa en el diseño de mezclas porosas.

Tabla 2. Franja granulométrica para mezcla drenante (INVIAS, 2012).

	Tamiz (mm/U.S. Standard)						
Tipo de mezcla	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
Única	% Pasa						
	100	70-100	50-75	15-32	9-20	5-12	3-7
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4%			3%			1%

- Dureza (Norma ASTM C 535): El agregado debe ser capaz de soportar la abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla.
- Forma de la partícula (Norma ASTM D3398): Factor que afecta la trabajabilidad e influye en la cantidad de vacíos en la mezcla, se recomiendan agregados



angulares e irregulares que permiten que exista un mejor adherencia y resistencia.

- Textura de la superficie (Norma ASTM D3398): Influye principalmente en la adherencia y la resistencia del pavimento, es por ello que un agregado rugoso es el más idóneo.
- Limpieza (Norma AASHTO T112): Un agregado con impurezas, materiales finos (arcillas) afecta de manera negativa el comportamiento del pavimento.
- Afinidad con el cemento asfáltico (Norma ASTM D4126): Capacidad del agregado de recibir y conservar una capa de cemento asfáltico.
- Absorción (Norma ASTM D1557): Calidad de captar agua o asfalto, es necesaria esta información debido a que dependiendo del tipo de agregado se puede requerir de una mayor o menor cantidad de asfalto según sea el caso.

Ventajas

Según Jayasuriya et al; (2007) las ventajas más importantes de los pavimentos porosos son:

- Eficiente remoción de partículas contaminantes resultado de la escorrentía superficial (aceites y sedimentos).
- Disminución del volumen y velocidad de la escorrentía superficial, mitigando el hidroplaneo.
- No se requiere cunetas y pozos de revisión tradicionales.
- Incrementa la seguridad, pues favorece la adherencia entre pavimento – neumático.
- La deflexión de los pavimentos porosos es más tardía que los pavimentos convencionales.
- Su puesta en obra es más sencilla.
- Si un pavimento poroso sea ha diseñado adecuadamente retiene el 80% de sedimentos, 60% fósforo, 70% metales y 98 % de aceites de las aguas pluviales.
- Es fuente enriquecedora de los acuíferos.
- Facilita la vida vegetal de su entorno, maximizando el período de vida.

Desventajas

Según CIRIA (2001) las desventajas más notorias en los pavimentos porosos son:

- El mayor inconveniente es la colmatación de sus poros ocasionada por presencia de sólidos en la escorrentía superficial.
- Crecimiento de vegetación indeseada.



- No se recomienda en zonas que presentan una gran cantidad de sedimentos, terrenos con grandes pendientes y zonas donde se produzca hielo-deshielo por degradación de la estructura.
- La falta de capacitación de los técnicos genera desconfianza al tratarse de una nueva mezcla asfáltica.
- La adherencia es muy baja en los primeros meses, debido a la cantidad de ligante presente.
- La retención prolongada del agua puede ocasionar incremento de la temperatura, que una vez evacuada al cuerpo receptor afecta negativamente al hábitat acuático.

2.3. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE LA MEZCLA (MÉTODO MARSHALL)

Para el diseño de las mezclas se emplea generalmente el Método Marshall según ASTM D1559 (2011).

Para el desarrollo de la metodología es necesario:

- Que los materiales satisfagan los requerimientos de las especificaciones.
- Que los áridos estén dentro de las especificaciones granulométricas.
- Que se dispongan del suficiente material de áridos secos y clasificados según su tamaño.
- Que previamente se haya determinado el peso específico aparente de los áridos y el betún asfáltico que se usarán en la mezcla.

Se emplean probetas según la norma de las siguientes dimensiones: 6.35 cm de altura y 10.16 cm de diámetro. Con la finalidad de estimar el porcentaje óptimo de asfalto se realizan varias pruebas con diferentes porcentajes de asfalto, el incremento requerido entre cada porcentaje es de 0.5% y deben emplearse 2 contenidos por encima y 2 por debajo del valor óptimo. Para obtener resultados apropiados se deben preparar 3 briquetas para cada contenido de asfalto.

Los resultados permiten conocer el volumen de vacíos, la estabilidad y flujo de cada porcentaje de asfalto mediante el uso de las siguientes ecuaciones:

- Gravedad específica efectiva del agregado - Ensayo Rice (G_{se})

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm} - G_b}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

P_b = Porcentaje de asfalto,



G_{mm} = Gravedad teórica máxima,
 G_b = Gravedad específica del asfalto,
 P_{mm} = Porcentaje de mezcla máximo (100%).

- Volumen (V)

$$V = \text{Peso SSS} - \text{Peso en agua} \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde:

Peso SSS = Peso de la muestra saturada superficialmente seca,
 Peso en agua = Peso de la muestra sumergida en agua.

- Gravedad neta de la mezcla (G_{mb})

$$G_{mb} = \frac{P_a}{V} \quad (\text{Ecuación 3})$$

con:

P_a = Peso de la muestra seca.

- Gravedad específica teórica máxima (G_{mm})

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

con:

P_s = Porcentaje de árido.

- Porcentaje de vacíos (P_a)

$$P_a = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

- Vacíos de agregado mineral (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} * P_s}{G_{sb}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

con:

G_{sb} = Gravedad específica del agregado.

- Vacíos rellenos de asfalto (VFA)

$$VFA = 100 * \left(\frac{VMA - P_a}{VMA} \right) \quad (\text{Ecuación 7})$$



2.4. CARACTERISTICAS DEL DISEÑO EXISTENTE DE LA PISTA

La información brindada por CORPAC proviene de la más reciente evaluación estructural y funcional del pavimento desarrollada por PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA. (2017) donde se obtuvieron espesores de las capas en base a perforaciones de la estructura en diferentes abscisas en donde el espesor final tomado es el resultado del promedio de todas ellas. En la Tabla 3 se muestran los datos tanto del pavimento rígido como del flexible.

Tabla 3. Espesores de la estructura del Pavimento (PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA., 2016).

Abscisa	Espesores (cm)		
	Carpeta asfáltica	Losa de hormigón	Capa Granular
0+237	18	28	14
0+513	20	26	24
1+021	25	30	20
1+107	20	30	20
1+259.6	20	30	15
1+402	25	35	15
1+847	18	34	24
Promedio	21	30	19

La estructura del pavimento es mixta, la capa de rodadura está conformada por una primera capa de hormigón rígido de 30 cm de espesor según el promedio obtenido y una segunda capa asfáltica como reforzamiento de 21 cm de espesor promediado. Además, la evaluación estructural permitió determinar el CBR de la subrasante igual a 13,3%. La información mostrada abarca los trabajos de la última sustitución que se le dio a la carpeta asfáltica de la pista realizada en 2008 (PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA., 2016).

Mediante un estudio de sismica de refracción y análisis multicanal se determinó que en la zona superficial no existe presencia de agua y el nivel freático se encuentra a 7 metros de profundidad debido ya que aflora en esta zona material con alto contenido de humedad (GEO & GEO, 2015).

Información más reciente acerca del mantenimiento realizado en 2016 en la carpeta asfáltica de la pista indica trabajos de fresado y reasfaltado de la franja central únicamente (CONSULPROY, 2016).

A continuación, en la Tabla 4 se detalla el tipo de aeronave, peso y frecuencia de vuelos anuales a los que se ve expuesta la estructura de pavimento.



Tabla 4. Tipos y características de las aeronaves (CORPAC, 2018).

Aeronave	Peso máximo de despegue (kg)	Llegadas anuales	Salidas anuales	Total
A320	68544	269	269	538
A319	68544	1396	1396	2792
ATR – 45	22548	1056	1056	2112
Embraer 190	49152	205	205	410
Hércules C-130	70455	22	22	44

En la zona de estudio concurren la cuenca del río Paute y subcuenta del Tomebamba por esta razón la estación meteorológica considerada es la presentada en la Tabla 5.

Tabla 5. Estación Meteorológica. (INAMHI, 1999).

Estación	Cód.	Nombre	Tipo	Coordenadas		Período
				Latitud	Longitud	
Meteorológica	H893	Cuenca- Aeropuerto	Pluviométrica	02 53 12 S	78 59 00 W	1964-1998

2.5. MÉTODO AASHTO 93

Para el diseño se consideran las siguientes variables:

Restricciones de tiempo

Se debe especificar el período de diseño de la estructura desde su construcción hasta su primera rehabilitación, y el período de análisis que hace referencia al tiempo que cualquier alternativa de diseño debe cubrir. En la Tabla 6 se muestra los períodos de diseño dependiendo el tipo de vía.

Tabla 6. Período de diseño (AASHTO, 1993).

Clasificación de la vía	Período de años
Urbana de alto volumen de tráfico	30 – 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 – 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 – 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 – 20

Tránsito

El método se fundamenta en el número de ejes equivalentes (N) de 18 kips en el carril de diseño (W_{18}), por lo que se debe calcular para las aeronaves dicho valor (Montejo Fonseca, 2002). Se calcula mediante la siguiente ecuación:



$$W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10}(MR) - 8.07$$

(Ecuación 8)

donde:

W_{18} (N)=Número estimado de ejes simples equivalentes (18 kips) en el carril de diseño durante el período de diseño,

Z_R = Valor de la desviación de la distribución normal,

S_o = Factor por el error en la estimación de tráfico y del comportamiento de la vía (0.35-0.45),

SN = Número estructural,

ΔPSI = Diferencia entre el índice de servicio final y el inicial,

MR = Módulo resiliente de la subrasante.

Cada uno de los valores de la Ecuación 8 se desarrolla a lo largo de esta sección. Para encontrar el espesor de las capas del pavimento es necesario el uso de la siguiente expresión matemática que permite determinar el valor de W_{18} .

$$W_{18} = TPD * \%V_C * F_D * F_L * F_{PROY} * F_E * 365 \quad (\text{Ecuación 9})$$

donde:

TPD = Tránsito promedio diario.

$\%V_C$ = Porcentaje de vehículos comerciales (aviones).

F_D = Factor de distribución por dirección. En la Tabla 7 se presenta los factores de distribución por dirección en relación al número de carriles en ambas direcciones de la vía

Tabla 7. Factor de distribución por dirección (AASHTO, 1993).

Número de carriles en ambas direcciones	F_D (%)
2	50
4	45
6	40

F_L = Factor de distribución por carril. En la Tabla 8 se presenta los factores de distribución por carril en relación al número de carriles en una sola dirección.



Tabla 8. Factor de distribución por carril (AASHTO, 1993).

Número de carriles en una sola dirección	F_L (%)
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

F_{PROY} = Factor de proyección del tránsito según el período de diseño.

$$F_{PROY} = \left[\frac{(1 + r)^n - 1}{\ln(1 + r)} \right] \quad (\text{Ecuación 10})$$

donde:

r = tasa de crecimiento anual,
 n = período de diseño en años.

F_E = Factor de equivalencia camión global.

$$F_E = \frac{\sum(TPD * F_{CAMIÓN})}{\# \text{vehículos}} \quad (\text{Ecuación 11})$$

donde:

$F_{CAMIÓN}$ = Factor camión, se obtiene en base al peso del avión y el vehículo estándar del ensayo (33200 lb),
 $\# \text{vehículos}$ = Número de vehículos.

Confiabilidad

La confiabilidad se relaciona con la seguridad de que la estructura construida se desempeñe de forma satisfactoria, tanto en el campo de tránsito como en el ambiental. Para ello se toma un coeficiente de confiabilidad dependiendo el tipo de vía, se ve en la Tabla 9.

Tabla 9. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras (AASHTO, 1993).

Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras		
Clasificación	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopista interestatal y otras	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95



Colectoras de Tránsitos	80 – 95	75 – 95
Carreteras locales	50 – 80	50 – 80

Definida la confiabilidad es posible calcular el valor de la desviación de la distribución normal. La Tabla 10 muestra los valores de la desviación según el porcentaje de confiabilidad:

Tabla 10. Valores de Z_R para varios grados de confiabilidad (AASHTO, 1993).

Confiabilidad	Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Serviciabilidad

La serviciabilidad se refiere a la suficiencia que posee un pavimento de servir al tránsito para el cual fue diseñado. El PSI es el índice de servicio presente y varía en una escala de 0 a 5; donde 0 es el mínimo valor a otorgarse a una carretera imposible de transitar y 5 el máximo valor si la carretera es perfecta. La AASHTO en su estudio encontró que 4.2 es un valor apropiado de serviciabilidad para pavimentos flexibles. La siguiente expresión permite obtener la variación del índice de servicio:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (\text{Ecuación 12})$$



donde:

P_o = Índice de servicio inicial,

P_t = Índice de servicio final. En la Tabla 11 se presenta el índice de serviciabilidad dependiendo el tipo de vía.

Tabla 11. Índice de serviciabilidad final (AASHTO, 1993)

P_t	Clasificación
3.00	Autopista
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

Módulo resiliente de la subrasante

Para el cálculo de módulo resiliente de la subrasante (MR) se requiere conocer el valor del CBR del suelo, existiendo las siguientes expresiones según corresponda (AASHTO, 1993):

- Suelos con $CBR \leq 10\%$: $MR = 1500 * CBR$ (Ecuación 13)
- Suelos $7.2 < CBR < 20$: $MR = 3000 * CBR^{0.65}$ (Ecuación 14)
- Suelos Granulares con $CBR > 20$: $MR = 4326 * \ln(CBR + 241)$ (Ecuación 15)

Propiedades de los materiales

La propiedad más importante de los materiales se refleja en el módulo de elasticidad de cada capa del pavimento. Con cada módulo se asigna un valor de coeficiente estructural de capa que permite el cálculo del número estructural mediante la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 \quad (\text{Ecuación 16})$$

donde:

a_i = Coeficiente estructural de la capa i ,

d_i = Espesor de la capa i ,

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa i .

Cada coeficiente representa la capacidad relativa de cada uno de los materiales para funcionar como parte estructural de la capa. Para el caso es necesario analizar el coeficiente de la carpeta de rodadura o concreto asfáltico mediante el empleo de la Ilustración 1 en base al módulo elástico del concreto asfáltico.

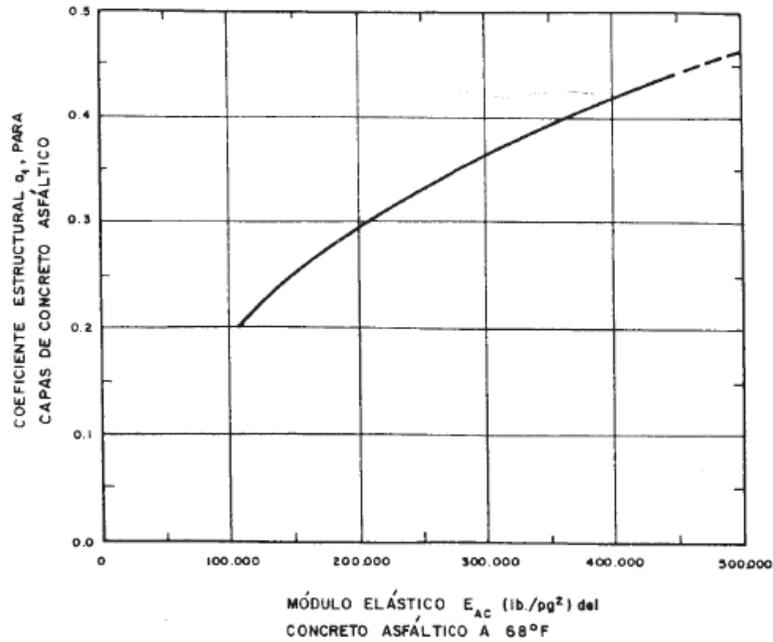


Ilustración 1. Gráfica para encontrar el coeficiente estructural a1 de la capa de rodadura (AASHTO, 1993).

Para el coeficiente estructural de la base se ocupa la Ilustración 2 utilizando el CBR de esta capa.

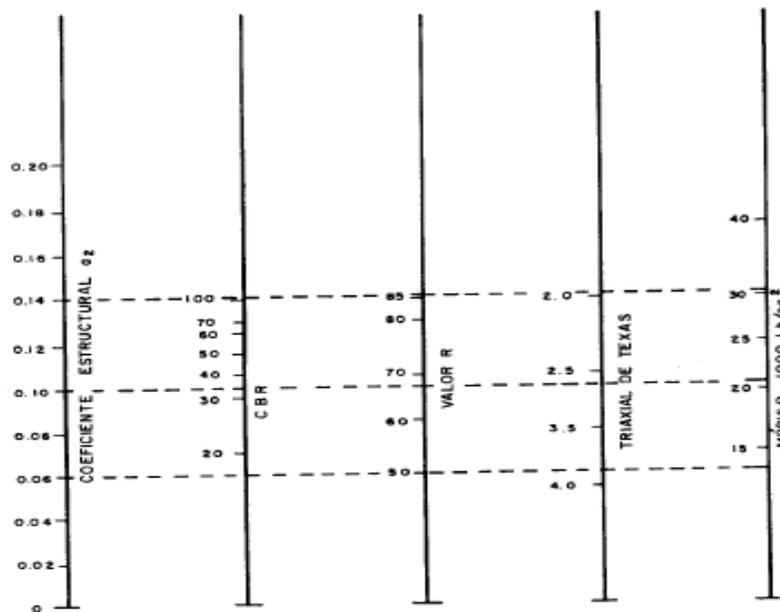


Ilustración 2. Gráfica para determinar a2 con diferentes parámetros de la base granular (AASHTO, 1993).

En el caso del coeficiente de la subbase se emplea la Ilustración 3 para determinar su valor.

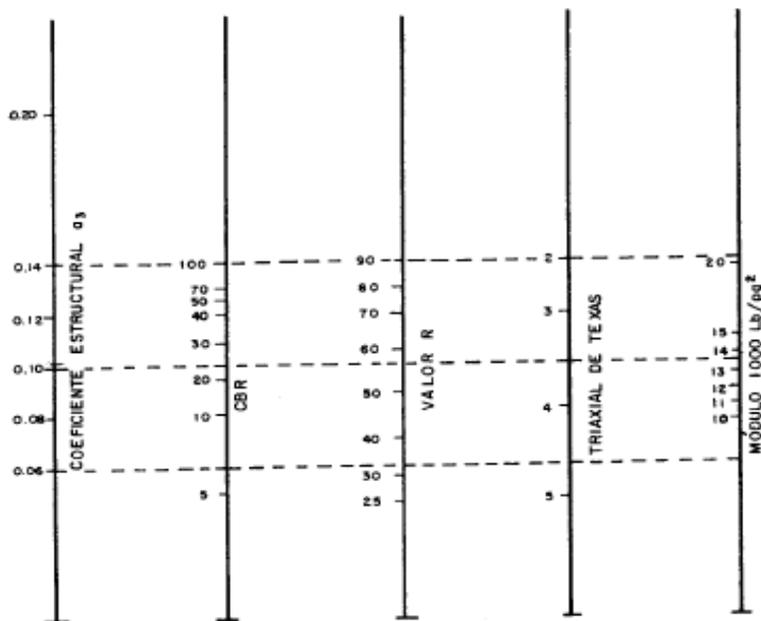


Ilustración 3. Gráfica para determinar a_3 con diferentes parámetros de la subbase (AASHTO, 1993).

Drenaje

El drenaje es uno de los aspectos principales del diseño puesto que en los pavimentos el deterioro de la estructura se produce en su gran mayoría por efecto del agua retenida, los pavimentos porosos presentan un nivel o calidad superior de drenaje. A continuación se presenta en la Tabla 12 los niveles del drenaje para el diseño según el método.

Tabla 12. Niveles del drenaje (AASHTO, 1993).

Calidad del drenaje	Término para la remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drena

Los siguientes valores de la Tabla 13 son los recomendados para el coeficiente de drenaje según la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo en el que la estructura está próxima a la saturación.



Tabla 13. Coeficiente de drenaje para la base y subbase (AASHTO, 1993).

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo de exposición de la estructura del pavimento a nivel de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Aceptable	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

2.5 MÉTODO THE SUDS MANUAL

A lo largo del tiempo la práctica habitual de drenaje urbano ha sido evacuar el agua rápidamente fuera de la ciudad, diseñando sistemas de alcantarillado que reciban toda el agua de escorrentía superficial, como consecuencia, los ríos han perdido su riqueza natural y su capacidad ante crecidas, mientras que los sistemas de alcantarillado son incapaces de absorber la cantidad de agua adicional producto de las nuevas zonas impermeables del desarrollo urbano (Gómez, Sánchez, Dolz, López, Nania, & Cabrera, 2004).

Son varios los problemas medioambientales generados por este deficiente y común drenaje que posee gran parte del área urbana mundial, frente a esta problemática surge el drenaje urbano sostenible con el interés de mejorar y proteger la calidad del agua, evitar inundaciones y permitir la recarga y el desarrollo urbano de zonas cuyo sistema de drenaje es próximo a saturarse (EPA, 1998).

El desarrollo urbano sostenible implica técnicas específicas referidas al drenaje urbano conocidas como SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) en Reino Unido, BMPs (*Best Management Practices*) en Estados Unidos o MPC (*Mejores Prácticas de Control*) en los países hispano hablantes (Jiménez, 1999).

Los sistemas de drenaje urbano sostenibles están diseñados para maximizar los beneficios que se obtienen del agua superficial que proviene de las precipitaciones o el afloramiento de aguas subterráneas, mediante los SUDS, se tiene una administración, calidad y servicio responsable del agua y apto para la biodiversidad (CIRIA, 2015).

Los pavimentos porosos son diseñados para satisfacer necesidades hidráulicas, siendo capaces de actuar efectivamente ante eventos de tormenta extremos y descargarlo de forma controlada a la subrasante o al sistema de drenaje provisto (CIRIA, 2015).

Existen cuatro aspectos dentro del diseño hidráulico del pavimento que son (CIRIA,2015):

Sistemas de gestión de agua

Los sistemas de gestión de agua que existen bajo una superficie de pavimento poroso dependen de las características y propiedades de la zona de estudio, según el manual de CIRIA existen 3 tipos que son:

- Sistema tipo A

El sistema tipo A es una estructura tal que toda la lluvia pasa a la subrasante, donde puede ser almacenada por un periodo de tiempo determinado, no habrá descarga del sistema a una alcantarilla o a algún curso de agua. Sin embargo, puede ser necesario diseñar un desbordamiento de emergencia para atender eventos extremos, la Ilustración 4 refleja este tipo de sistema.

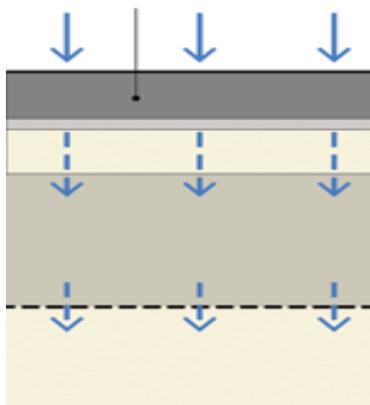


Ilustración 4 Sistema de pavimento asfáltico poroso Tipo A (CIRIA, 2015).

- Sistema tipo B

En un sistema tipo B (Ilustración 5), la proporción de lluvia que excede la capacidad de infiltración de la subrasante fluye hacia el sistema de drenaje receptor. Esto puede ocurrir por drenaje directo a través de la subbase o por transporte por medio de tuberías perforadas dentro o debajo de esta capa, las mantas de geocompuestos también pueden ser utilizadas para recoger y transportar agua por debajo de la capa subbase o pueden colocarse verticalmente en los bordes de la construcción para permitir la conexión a una tubería. Al evitar la acumulación de agua sobre la subrasante, los riesgos para la estabilidad del suelo se reducen.

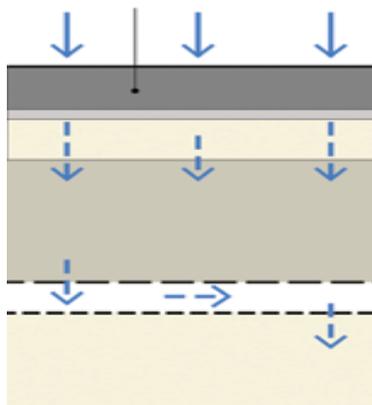


Ilustración 5. Sistema de pavimento asfáltico poroso Tipo B (CIRIA, 2015).

- Sistema tipo C

Es un sistema sin infiltración, cubierto por una membrana flexible e impermeable colocada en el subsuelo, este sistema es utilizado cuando se desea dar un uso no potable del agua y maximizar beneficios, además en sitios donde el subsuelo está contaminado y para evitar movilizar los contaminantes se impide este flujo, es utilizado en suelos con baja permeabilidad, baja resistencia, agua subterránea sensible, nivel freático inferior a 1 metro. La Ilustración 6 indica el sistema C.

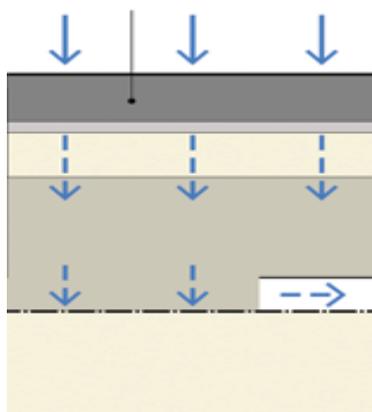


Ilustración 6 .Sistema de pavimento asfáltico poroso Tipo C (CIRIA, 2015).

Los pavimentos porosos se pueden usar en cualquier sitio, actualmente sus diseños son aplicados mayoritariamente en carreteras con volúmenes y velocidades de tráfico reducido, áreas de estacionamiento de automóviles, etc. Sin embargo, son capaces de soportar el tráfico de autopistas y aeropuertos teniendo en cuenta las consideraciones de diseño necesarias (Chaddock y Nunn, 2010).

La Tabla 14 recomienda el sistema de gestión de agua apropiado para un rango de condiciones de la subrasante.



Tabla 14. Orientación sobre la selección del tipo de sistema de gestión de agua. (Interpave 2010).

Orientación sobre la selección del tipo de sistema de gestión de agua				
Características del suelo		TIPO A	TIPO B	TIPO C
		Infiltración total	Infiltración Parcial	Sin Infiltración
Permeabilidad de la subrasante definido por el coeficiente de permeabilidad k (m/s)	1E-6 a 1E-3	✓	✓	✓
	1E-8 a 1E-6	×	✓	✓
	1E-10 a 1E-8	×	×	✓
Nivel freático menor a 1 metro		×	×	✓
Condiciones del suelo tales que la infiltración de agua no es recomendada (terrenos inestables)		×	×	✓

Nota: ✓(Recomendado), × (No recomendado).

Tasa de infiltración en la superficie porosa

- La tasa de infiltración superficial debe ser significativamente mayor que la intensidad de lluvia de diseño para evitar el encharcamiento de las aguas superficiales y el cálculo de la tasa de flujo de entrada debe incluir toda la escorrentía anticipada de áreas adyacentes. Por lo general, las capacidades de infiltración de las superficies permeables son significativamente mayores que la intensidad de lluvia y este no suele ser un factor limitante para el uso de pavimentos porosos. El mínimo valor de infiltración usado para este diseño es de 2500 mm/h (CIRIA, 2015). Para encontrar la tasa de infiltración es necesario determinar la intensidad de un evento de lluvia para un periodo de retorno requerido.
- A partir de los registros pluviográficos denominados pluviogramas o diagramas de precipitación acumulada a lo largo del tiempo, se calcula la intensidad de precipitación correspondiendo a 24 horas de registro continuo y a una altura equivalente a 10 mm de precipitación. Los límites de duración están fijados en 5 minutos y 24 horas ya que 5 minutos representa el menor intervalo que se puede leer en los registros pluviográficos, con precisión adecuada y 24 horas porque para duraciones mayores pueden ser utilizados datos observados en los pluviómetros (INAMHI,2012).
Para la obtención de la intensidad de precipitación se empleó el modelo de la ecuación planteado por Aparicio (1994), relacionando la intensidad diaria para un periodo de retorno con la duración del evento representado con la ecuación siguiente:

$$I_{TR} = \frac{k * Id_{TR}}{t^n} \quad (\text{Ecuación 17})$$

donde:

I_{TR} =Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno en mm/h,

$I_{d_{TR}}$ =Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h,

TR =Período de retorno,

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos,

k, m y n = Constantes de ajuste determinado aplicando mínimos cuadrados.

- La propiedad que el suelo presenta al permitir que el agua escurra a través de él es conocida como permeabilidad y su grado es expresado a través del coeficiente de permeabilidad (k). El estudio de la permeabilidad del suelo es fundamental en diversos problemas de ingeniería principalmente en el drenaje de pavimentos. La determinación de este parámetro está directamente asociado a la ley de Darcy, que establece la directa proporcionalidad entre los diversos factores geométricos y el flujo de agua (Braja M. Das, 1983).

De acuerdo a la Ilustración 7, el agua fluye de un punto de mayor presión a menor presión, la carga hidráulica total es la suma de la carga por posición (Z) y por presión (P). El intervalo en la que la ley Darcy es aplicable, expresa que la velocidad del flujo es directamente proporcional al gradiente hidráulico y a un coeficiente de permeabilidad del suelo k , por lo tanto, se aplica en suelos con flujos laminares, mediante la Ecuación 18.

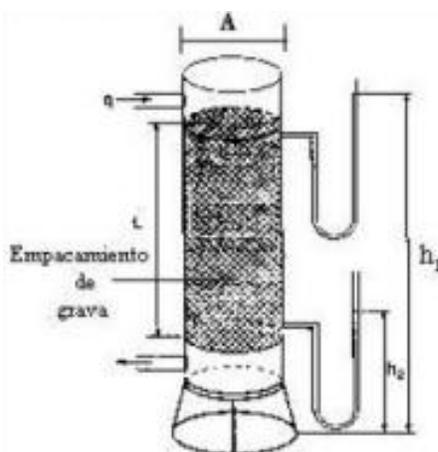


Ilustración 7. Experimento de Darcy. Flujo de agua a través de un empaquetamiento de arena (Economides,1994)

$$V = k * \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad (\text{Ecuación 18})$$



donde:

V = Velocidad del flujo en m/s,
 k = Coeficiente de permeabilidad en m/s,
 $\frac{\Delta h}{\Delta l}$ = Gradiente hidráulico (i).

- Para determinar el coeficiente de permeabilidad de la subrasante del aeropuerto se realizó el ensayo de permeabilidad a través del permeámetro de carga constante según ASTM D 2434-68 (2006).

Este ensayo determina el coeficiente de permeabilidad mediante un método de cabeza constante para un flujo laminar de agua a través de suelos granulares, la muestra de suelo de área transversal A y longitud L , es confinada en un tubo, se somete a una carga hidráulica h , la cual permanece constante, el agua fluye a través de la muestra, después que se ha establecido una tasa constante de flujo se mide la cantidad de agua que pasa en el tiempo t , representada por la ecuación 19.

$$k = \frac{Q * L}{A * h} \quad (\text{Ecuación 19})$$

donde:

Q = Caudal de infiltración ($Q = V/t$) en cm^3/s .
 L = Longitud de la muestra entre piedras porosas en cm.
 h = Carga de agua en cm.

Profundidad máxima de almacenamiento

Según Woods-Ballard et al; (2007), el diseño del sistema de infiltración para un evento de lluvia particular se relaciona con la máxima profundidad a partir del procedimiento descrito a continuación. Se asegura que la lluvia infiltrara a través de la superficie hecha de asfalto poroso debido a las características de los materiales que la componen. La máxima profundidad de agua que debe ser almacenada por un pavimento asfáltico poroso se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$H_{max} = \frac{d}{n} * [R * (I - k)] \quad (\text{Ecuación 20})$$

donde:

H_{max} = Profundidad máxima de agua que puede ser almacenada en el pavimento poroso,
 d, I = Duración e intensidad de lluvias con el periodo de retorno requerido en la ubicación del sitio ($h, \text{m/h}$),



R = Relación entre el área de drenaje y la zona de infiltración, $R=1$ para pavimentos porosos,
 n = Porosidad de la mezcla (volumen de vacíos/volumen total),
 k = Coeficiente de infiltración en (m/h).

Salida de la estructura del pavimento

Para que el almacenamiento en la base o subbase funcione de manera efectiva, el sistema requiere controles de flujo para evitar riesgo de constricción inapropiada e inundaciones potenciales, para el cálculo del sistema de drenaje se usó la siguiente metodología de Cedergren (1974), representada en la ecuación siguiente:

$$q = k * \frac{h}{b} * 2 \quad (\text{Ecuación 21})$$

donde:

q = Intensidad máxima de lluvia (m/s),
 k = Coeficiente de permeabilidad de la subrasante (m/s),
 h = Profundidad máxima de agua almacenada en la base o subbase (m),
 $2b$ = Distancia entre las tuberías (m).

En el cálculo de la capacidad de flujo de la subbase se usó el Método Racional, descrito en la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{c * I * A}{360} \quad (\text{Ecuación 22})$$

donde:

Q = Capacidad de flujo de la subbase (m³/s),
 I = Intensidad de la lluvia de diseño (mm/h),
 A = Área de diseño (Ha)

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo presenta la selección de los materiales para la mezcla asfáltica porosa, la obtención del porcentaje óptimo de asfalto, los espesores determinados con los métodos AASHTO 93 y SUDS MANUAL.

3.1. MATERIALES Y DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POROSA.

Asfalto AC-20: El cemento asfáltico utilizado para esta mezcla fue AC-20 proporcionado por la Empresa ASFALTAR EP. las características de este ligante se describen en la Tabla 15.

Tabla 15. Propiedades del cemento asfáltico (ASFALTAR EP, 2018).

Propiedades del cemento asfáltico AC-20	Especificaciones
Viscosidad dinámica a 60 °C	2000+/-400
Viscosidad cinemática a 135 °C	300
Penetración a 25 °C	60
Punto de inflamación	232
Solubilidad	99

Granulometría seleccionada: Fue necesario mezclar dos tipos de agregados (bases) para así poder encontrar el material idóneo para la mezcla que cumpliera con las especificaciones de la Tabla 2. Se muestra los porcentajes en los que contribuyó cada tipo de material en la Tabla 16.

Tabla 16. Granulometría combinada de 2 agregados para obtener la óptima.

Tamiz	A % Pasa	% A	B % Pasa	% B	Granulometría. Combinada
3/4"	100	51	100	49	100.00
1/2"	72	36.72	100	49	85.66
3/8"	48	24.48	76	37.24	61.84
No.4	24	12.24	31	15.19	27.13
No.10	16	8.16	14	6.86	14.73
No.40	11	5.61	9	4.41	10.20
No.200	7	3.57	4	1.96	5.62

Se empleó el método de mínimos cuadrados y se determinó que se debe ocupar el 51% del material A y el 49% del B para conseguir la granulometría deseada. En la Ilustración 8 se observa como la combinación obtenida se mantiene dentro de los límites de la franja granulométrica:

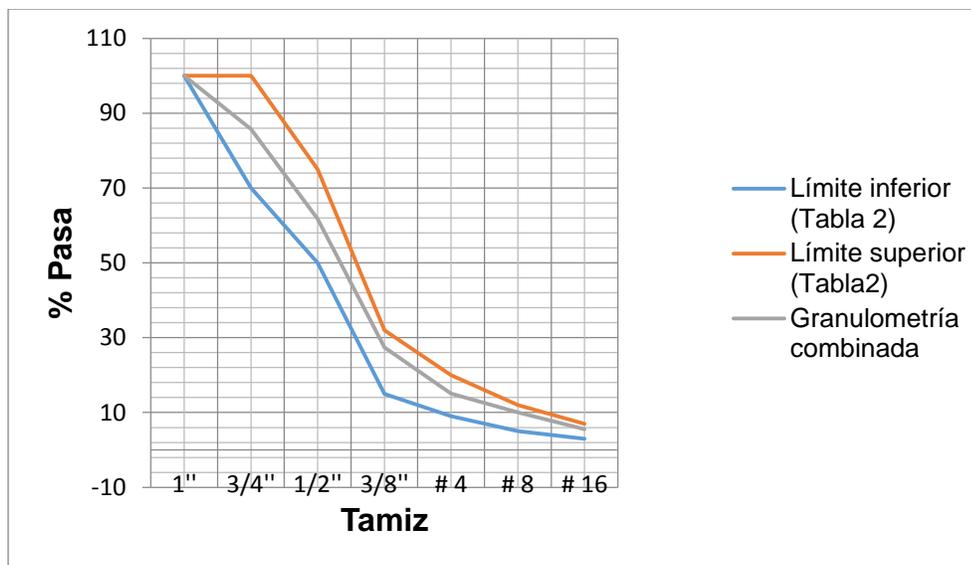


Ilustración 8. Granulometría combinada que se mantiene dentro de los límites de la franja.

El material A proviene de la planta de ASFALTAR EP. ubicada en el sector El Descanso y fue extraído del río Paute, mientras que el material B pertenece a la Cantera Tomebamba y fue obtenido de las minas ubicadas en el sector de la Josefina. Las granulometrías de los tipos de áridos usados se encuentran en los Anexos 5 y 6.

- Los resultados de los ensayos que se realizaron en los agregados se presentan en la Tabla 17; se incluyen los Anexos 7, 8 y 9.

Tabla 17. Ensayos realizados en los agregados con sus correspondientes resultados.

Ensayo	Resultado
Dureza	15%
Forma de la partícula (planas y alargadas)	8%
Absorción	2.43%
Densidad	2632.77 Kg/m ³
Diámetro nominal	3/8"

Diseño de la mezcla por el Método Marshall

A partir del diámetro nominal del agregado utilizado y según NAPA (2003) el porcentaje de asfalto adecuado estará en un rango de 5.50%-6.50%, por tal razón los contenidos de asfalto en el diseño fueron de 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% y 7.5%. En la Tabla 18 se muestran la cantidad de agregado necesario de cada tamiz (cada paso contiene la corrección por absorción correspondiente) así como también la cantidad de asfalto.

Tabla 18. Masas de agregados y asfalto para la mezcla.

% Asfalto	Asfalto (gr)	Agregados (gr)					
		1/2"	3/8"	N.4	N.10	N.40	N.200
4	240.00	931.70	1397.50	2453.00	566.10	377.40	220.3
4.5	270.00	926.80	1390.20	2440.20	563.20	375.40	219.1
5	300.00	921.90	1382.90	2427.30	560.20	373.50	217.9
5.5	330.00	917.10	1375.60	2414.60	557.30	371.60	216.7
6	360.00	912.30	1368.30	2401.80	554.40	369.60	215.6
6.5	390.00	907.40	1361.00	2389.10	551.40	367.70	214.5
7	420.00	902.60	1353.80	2376.30	548.50	365.70	213.3
7.5	450.00	897.70	1346.50	2363.50	545.50	363.70	212.2

En las siguientes ilustraciones se indica el procedimiento llevado a cabo para la elaboración de las briquetas. La Ilustración 9 muestra el mezclado de los agregados con el betún líquido.



Ilustración 9. Mezcla en caliente de los agregados con el betún asfáltico.

La Ilustración 10 indica el armado de los moldes precalentados.



Ilustración 10. Montaje de los moldes para las briquetas.

En la Ilustración 11 se aprecia el varillado (25 veces, dos capas) de la mezcla previamente a ser compactada.



Ilustración 11. Varillado de la mezcla.

La Ilustración 12 indica la compactación de la mezcla para obtener las briquetas.



Ilustración 12. Compactación de la mezcla.

Se observan las briquetas terminadas en la ilustración 13.



Ilustración 13. Briquetas terminadas.

Para obtener la gravedad específica neta de la mezcla se realizó el ensayo RICE (ASTM D2041), en las instalaciones del Instituto Tecnológico de la Construcción de la Prefectura del Azuay, los datos obtenidos se presentan en la Tabla 19; en el Anexo 10 se tienen los datos de laboratorio.

Tabla 19. Cálculos para la determinación de la gravedad específica neta de la mezcla.

% Asfalto	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
Peso seco (gr)	2222	2196	2179	2133	2085	2213	2125	2184
Peso total (gr)	17539.5	17537.5	17503.5	17494.9	17461.3	17520.1	17491.6	17523.2
Peso picnómetro (gr)	16243							
Gmm	2.401	2.436	2.372	2.421	2.406	2.365	2.425	2.416

Se muestran las fotos del procedimiento realizado del RICE en las siguientes ilustraciones. En la Ilustración 14 se observa el material frío y desmenuzado listo para ser ensayado.



Ilustración 14. Material desmenuzado previo al ensayo.

El material se coloca en el picnómetro como se muestra en la Ilustración 15.



Ilustración 15. Colocación del material en el picnómetro.

En la Ilustración 16 se observa el picnómetro con el material y agua ($T 25^{\circ} C$) y como se extrae el aire de la mezcla mediante la bomba de vacíos.



Ilustración 16. Proceso de extracción de vacíos de la mezcla.

Terminada la extracción de aire (1 hora aproximadamente) se llena el picnómetro con agua y se pesa como lo indica la Ilustración 17.



Ilustración 17. Pesaje de la muestra con el picnómetro lleno de agua.

De igual manera se procedió a ensayar las briquetas elaboradas en el mismo laboratorio para encontrar los porcentajes de vacíos de las mezclas, estabilidades y flujos para cada porcentaje de asfalto y obtener así el contenido óptimo. Se presenta los resultados para cada porcentaje de asfalto en los Anexos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

Las ilustraciones indican el procedimiento utilizado para determinar las propiedades indicadas en los anexos para cada porcentaje de asfalto.

En la Ilustración 18 se observa el pesaje de las briquetas secas.



Ilustración 18. Pesaje en seco de las briquetas.

Se saturan las briquetas con agua a una $T = 25^{\circ}C$ por un período de 5 min. como muestra la Ilustración 19.



Ilustración 19. Saturación de las briquetas, agua a $T=25^{\circ}C$.

La Ilustración 20 indica el pesaje de las briquetas una vez saturadas y sumergidas en agua, para determinar su volumen.



Ilustración 20. Pesaje de las briquetas sumergidas.

Se observa el ensayo de estabilidad y flujo en la Ilustración 20.



Ilustración 21. Ensayo de estabilidad y flujo.

La Tabla 20 contiene un resumen de la estabilidad, fluencia, vacíos rellenos de asfalto, porcentaje de vacíos, gravedad neta de la mezcla y vacíos en el agregado mineral para los diferentes porcentajes de asfalto.

Tabla 20. Resumen de los resultados obtenidos para contenido de asfalto.

Asfalto (5%)	4.0	4.5	5.0	6.0	6.5	7.0	7.5
Estabilidad (lbs)	1779.14	2166.23	2426.96	2853.56	3051.20	2441.77	2291.44
Fluencia (1/100)"	11.05	11.72	13.17	15.14	15.63	16.43	18.47
VFA (%)	28.57	31.48	34.16	39.20	40.06	41.29	42.80
Pa (%)	21.81	20.98	20.25	19.23	19.06	18.71	18.20
Gmb	1.905	1.913	1.919	1.916	1.920	1.928	1.940
VMA (%)	30.53	30.59	30.75	31.57	31.79	31.86	31.80

Las ilustraciones 22, 23, 24, 25, 26 y 27 son el resultado del ensayo Marshall, que sirven para analizar gráficamente estas propiedades, dichas ilustraciones contienen los puntos que representa los valores calculados y la curva de ajuste polinómico entre ellos.

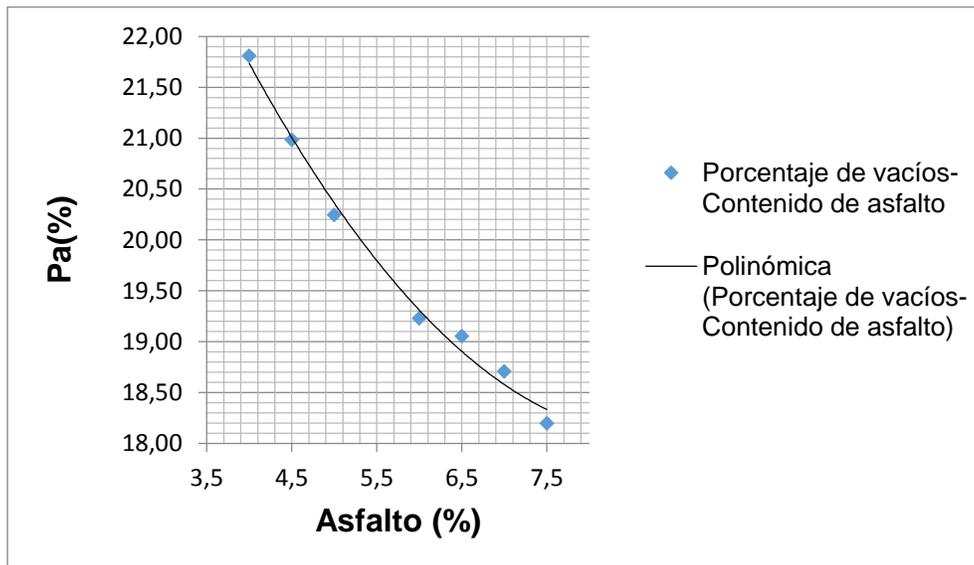


Ilustración 22. Porcentaje de vacíos total vs. Contenido de asfalto.

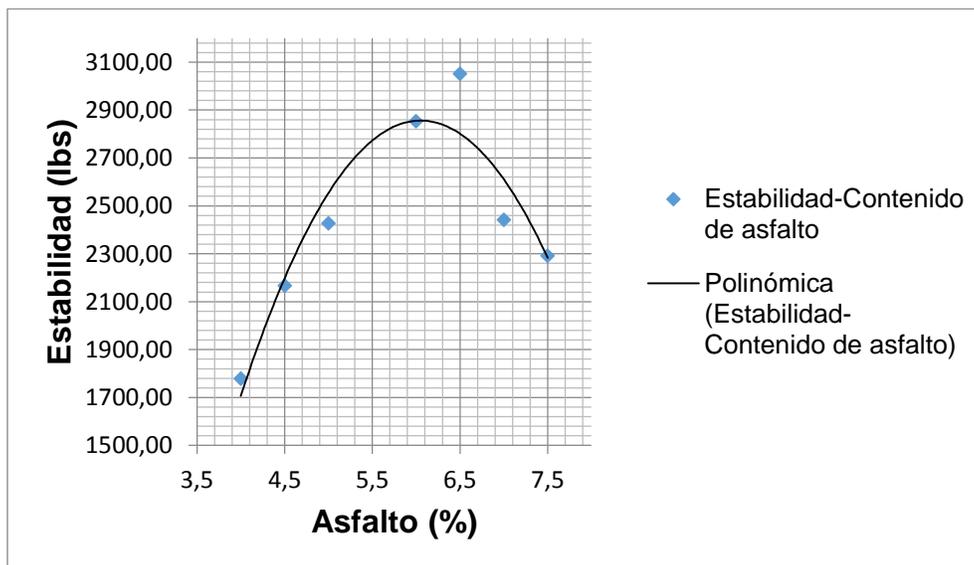


Ilustración 23. Estabilidad vs. Contenido de asfalto.

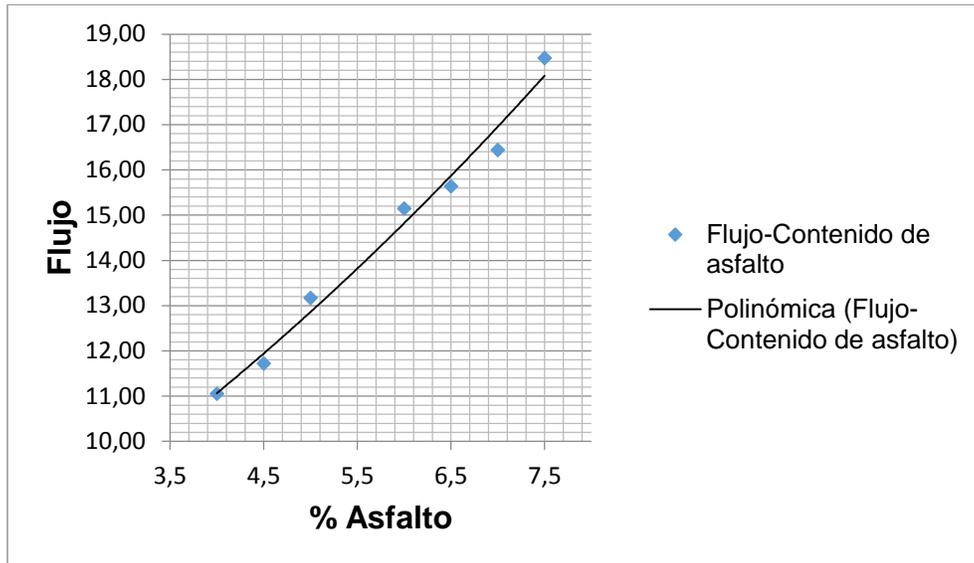


Ilustración 24. Flujo vs. Contenido de asfalto.

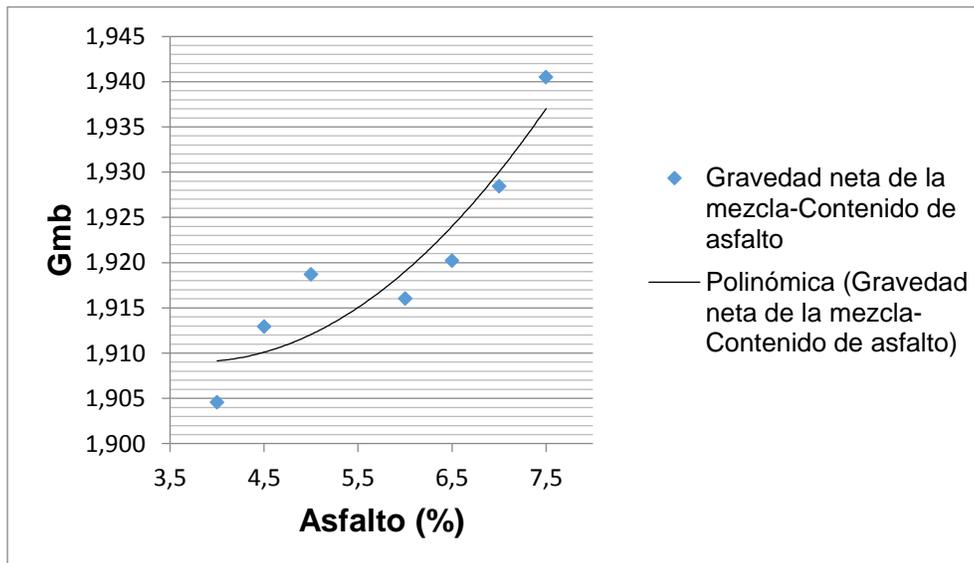


Ilustración 25. Gravedad neta de la mezcla vs. Contenido de asfalto.

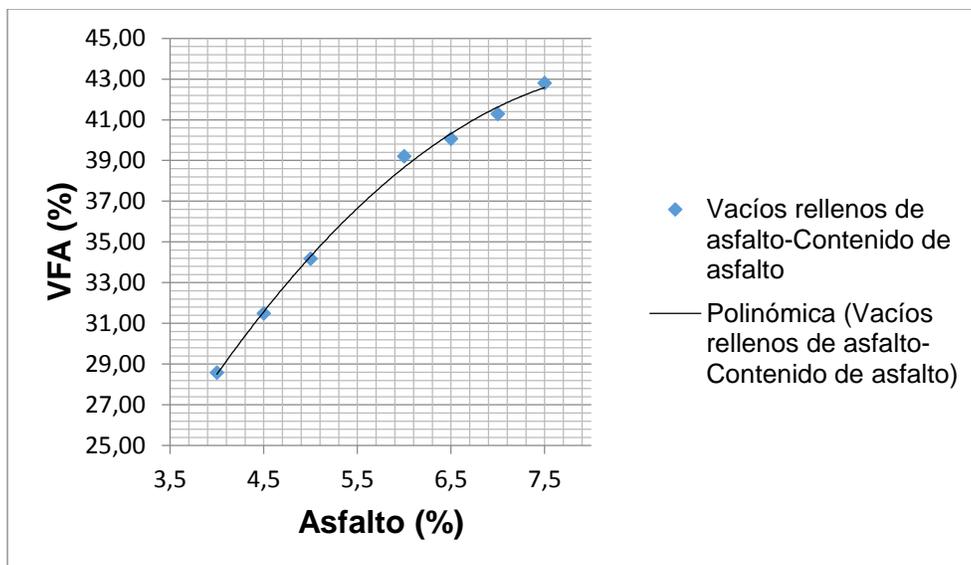


Ilustración 26. Vacíos rellenos de asfalto vs. Contenido de asfalto.

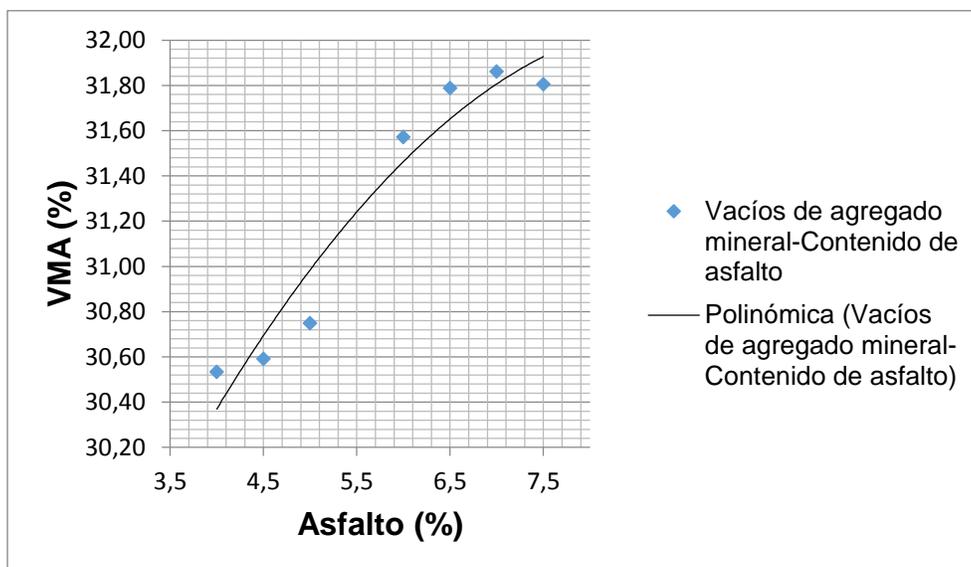


Ilustración 27. Vacíos de agregado mineral vs. Contenido de asfalto.

El porcentaje óptimo de asfalto se determinó mediante el Método del Instituto del Asfalto (AIM), para asfaltos convencionales el porcentaje ideal de vacíos el del 4% ya que su rango va del 3% al 5%, como el pavimento diseñado es poroso el rango varia del 18% al 25% es por ello que se consideró analizar el porcentaje de asfalto a partir del 20% de vacíos. La Tabla 21 muestra la determinación del porcentaje óptimo de asfalto.



Tabla 21. Determinación del porcentaje óptimo de asfalto con el Método NAPA.

Parámetro	Asfalto (%)	Comentario
Pa 20%	5.19	Obtenido de la Ilustración 20.
Estabilidad máxima	6.50	Obtenido de la Ilustración 21.
Gravedad neta máxima	7.50	Obtenido de la Ilustración .23
Porcentaje óptimo de asfalto	6.40	

El porcentaje óptimo de asfalto es de 6.40% y en la Tabla 22 se muestra el porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo para dicho porcentaje.

Tabla 22. Porcentaje de vacíos, estabilidad y flujo del porcentaje óptimo de asfalto.

Porcentaje de vacíos (%)	19.05
Estabilidad (lbs)	2980
Flujo (1/100)"	15.5

3.2. DISEÑO AASHTO 93

Periodo de diseño (n):

El periodo de diseño seleccionado es de $n = 20$ años (Tabla 6), es decir que el diseño se proyectó para el año 2047.

Número de ejes equivalente

- Porcentaje de vehículos comerciales: Las aeronaves se consideraron como vehículos comerciales por lo tanto se tiene un 100% de vehículos comerciales.
- Factor de distribución por dirección: De la Tabla 7 para el diseño de una vía con 2 carriles en ambas direcciones se obtuvo $F_D = 50\%$.
- Factor de distribución por carril: De la Tabla 8 para el diseño de un solo carril por dirección se obtuvo $F_L = 100\%$.
- Factor de proyección: Se requería conocer la tasa de crecimiento anual para ello se usó la Tabla 29 que contiene diferentes valores de la tasa de crecimiento dependiendo el TPD semanal:

El TPDs es de 123 vehículos comerciales (aviones) por lo tanto $r = 6.0$ (caso más crítico de crecimiento).

Ahora mediante la ecuación 10 se obtuvo el valor del factor de proyección:

$$F_{PROY} = \left[\frac{(1 + 0.06)^n - 1}{\ln(1 + 0.06)} \right] = 37.878$$

No se emplearon los datos proporcionados por CORPAC (2008) debido a que la tasa de crecimiento resulta en un valor negativo que no es lo ideal para un diseño de proyección vial, a continuación en la Tabla 23 se proporcionan los datos del número de vuelos desde 2012 hasta 2016 conjuntamente con la Ilustración 28 que muestra la gráfica de la tasa de decrecimiento de dichos datos:

Tabla 23. Número de vuelos de arribo y salida desde el año 2012 – 2016 (CORPAC, 2018)

AÑO	TPDA (aviones)
2012	8840
2013	7004
2014	6239
2015	5406
2016	5896

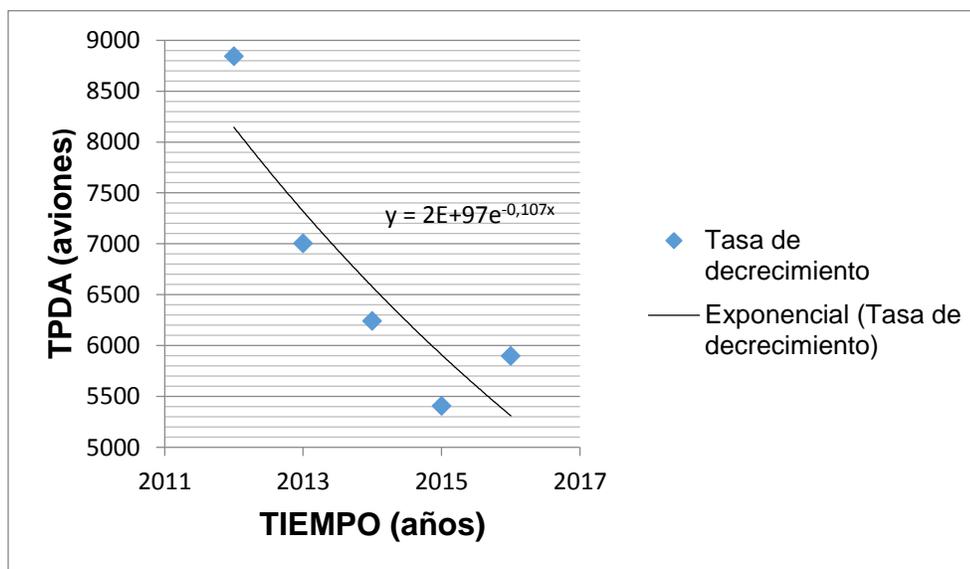


Ilustración 28. Tasa de decrecimiento.

- Factor de equivalencia: Primero se determinó el factor camión (FC) para cada tipo de aeronave mediante la división del peso máximo de despegue para el peso del vehículo estándar del ensayo AASHTO (18000 lb). Con los datos del tráfico promedio diario anual de la Tabla 4 se obtuvo el total del tráfico, y se multiplicó cada $TPDA$ por el FC que le correspondía. Todos los cálculos realizados se muestran en la Tabla 24.



Tabla 24. Cálculos del factor camión y tránsito promedio diario anual.

Aeronave	Peso máximo de despegue (kg)	W18 (lb)	FC	TPDA	TPDA * F.C
A320	68544	33200	425.61	538	228980.47
A319	68544		425.61	2792	1188315.01
ATR – 45	22548		4.98	2112	10526.03
Embraer 190	49152		112.54	410	46141.00
Hércules C-130	70455		475.10	44	20904.43
TOTAL				5896	1494866.94

Para encontrar el valor de F_E se emplea la ecuación 11:

$$F_E = \frac{1'494866.94}{5896} = 253.54$$

Con todos los valores conocidos de la ecuación 9 se determinó el número estimado de ejes equivalentes, de la Tabla xx se toma el TPDA de 2016:

$$N = (5896) * (1) * (0.5) * (1) * (37.878) * (253.54) = 28'311285$$

Confiabilidad

De la Tabla 9 se tomó un valor medio de la confiabilidad para autopista interestatal y otras de 90%. Con este valor en la Tabla 10 el valor de la desviación de la distribución normal es de -1.282.

Serviciabilidad

Para el índice de serviciabilidad se usó el valor de la AASHTO de 4.2 y para el índice final según la Tabla 11 se tomó el de 2.25 para calles comerciales e industriales (se consideró esto debido al parecido con la funcionalidad de la pista). Según la ecuación 12 la variación del índice de servicio es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 3.0 = 1.2$$

Cálculo del módulo resiliente

- Subrasante: Se sabe que la subrasante tiene un $CBR = 13.3\%$, el módulo resiliente obtenido mediante la ecuación 16 es de:

$$MR_{SUBRASANTE} = 3000 * (13.3)^{0.65} = 16130 \text{ psi}$$

- Subbase: Para el caso de la subbase la NEVI-12 (2013) recomienda un $CBR = 30\%$, en el presente diseño se decidió utilizar las capas existentes por lo cual la capa de hormigón y la capa de material granular pasan a conformar la subbase.



$$MR_{SUBBASE} = 4326 * \ln(30 + 241) = 24235psi$$

- Base: Para el diseño se tomó la capa existente de pavimento flexible que según PROMANVIAL (2016) el $CBR = 65.7\%$.

$$MR_{BASE} = 4326 * \ln(65.7 + 241) = 24770 psi$$

Determinación del número estructural, coeficiente estructural y coeficiente de drenaje

- Subbase

Número estructural: Se determinó primero el número estructural de la subrasante (SN_3) mediante la ecuación 8, se realizaron varias pruebas hasta encontrar un número que satisfaga el valor de W_{18} calculado anteriormente.

Datos:

$$W_{18} = 28'311285$$

$$Z_R = -1.282$$

$$S_o = 0.40$$

$$\Delta PSI = 1.2$$

$$MR_{SUBRASANTE} = 24282.892 psi$$

$$SN_3 = 4.80$$

Coeficiente estructural: De la Ilustración 3 con el valor de $CBR = 30\%$ se tiene que $a_3 = 0.11$.

Coeficiente de drenaje: La información brindada por CORPAC (2018) sobre el drenaje lo define con una calidad muy pobre y dos meses al año la pista está próxima a la saturación:

$$\%t = \frac{30}{365} * 100 = 8.22\%$$

Mediante las Tablas 12 y 13 se obtuvo que $m_3 = 0.55$.

- Base

Coeficiente estructural: Para ello se empleó la Ilustración 2 con el valor de $CBR = 65.7\%$ se tiene que $a_2 = 0.13$.

Coeficiente de drenaje: Se usó el mismo obtenido de la subbase $m_2 = 0.55$.

- Capa de rodadura

Coeficiente estructural: Para el coeficiente a_1 se utilizó el módulo de elasticidad del concreto asfáltico $E = 450000 psi$ y pobresegún el estudio realizado por Córdova Rizo



(2013) para pavimentos porosos según que se presenta a continuación en la Tabla 25 está dentro de los límites de la norma.

Tabla 25. Valores de módulos elásticos de capas de pavimentos asfálticos (INVIAS, 2012)

Material	Rango (psi)		Valor típico (psi)
	Desde	Hasta	
Concreto asfáltico	200000	450000	350000
Base estabilizada con asfalto	100000	400000	200000
Base estabilizada con cemento	500000	1000000	800000
Base granular	20000	50000	35000
Subbase granular	10000	20000	15000
Subrasante	3000	15000	7000

Luego con el valor E en la Ilustración 1 se obtuvo $a_1 = 0.45$.

Determinación del espesor de la capa de rodadura

De la ecuación 16 se obtuvo el espesor de la capa si se conoce que la base tiene un espesor de 20 cm (7.87 pulg) y la subbase de 49 cm (19.29 pulg).

$$d_1 = \frac{SN_3 - d_2^* a_2 m_2 - d_3^* a_3 m_3}{2a_1} = \frac{4.8 - (7.87)(0.13)(0.55) - (19.29)(0.11)(0.55)}{(2)(0.45)}$$

$$d_1 = 3.41 \text{ pulg} = 8.66 \text{ cm} \sim 9 \text{ cm (real)}$$

En la Ilustración 29 se observa la estructura de pavimento calculada.

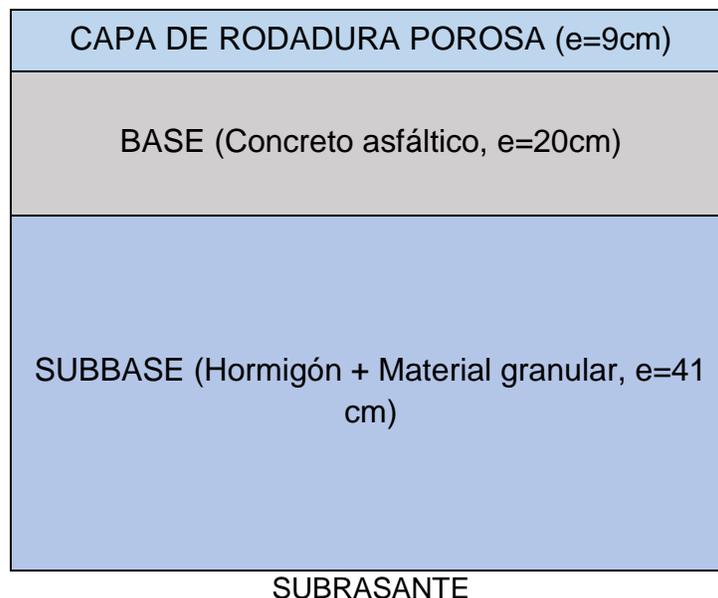




Ilustración 29. Estructura de pavimento según el método AAASHTO 93.

3.3. DISEÑO POR EL MÉTODO THE SUDS MANUAL

Para el desarrollo de este trabajo se tomó como guía el Manual de la organización CIRIA (C753-THE SUDS MANUAL -V3) desarrollada en Reino Unido regida y aprobada por BSI (British Standards Institution) cuyas pautas son la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de drenaje sostenible, en particular se consideró el apartado D capítulo 20, referido a pavimento poroso.

Sistema de gestión de agua idóneo

La selección del sistema de gestión de agua se determinó a través de la orientación dada por la Tabla 14, como depende de la permeabilidad de la subrasante, nivel freático, contaminantes presentes y condiciones de infiltración se presentan los resultados de cada una de estas propiedades.

- Permeabilidad de la Subrasante

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se extrajeron muestras de suelo a nivel de la subrasante, según la tabla 3 que contiene el espesor promedio de la estructura del pavimento, la profundidad mínima para la extracción fue 0.70 metros, las muestras se extrajeron en diferentes abscisas y a diferentes profundidades, se detalla esta información en la Tabla 26 e imágenes siguientes (Ilustración 29, 30 y 31).

Tabla 26. Datos de campo.

Muestra	Borde de la pista	Abscisa	Profundidad (m)
1	Izquierdo	0+300	0.70
2	Derecho	0+950	0.80
3	Izquierdo	1+650	0.90

En la Ilustración 30 se observa la extracción de las muestras para el ensayo de permeabilidad tomadas de los bordes cercanos a la pista.



Ilustración 30. Extracción de muestras.

Cada excavación se realizó a la altura que se encuentra el suelo por debajo de las capas de concreto asfáltico, hormigón y base granular como se muestra en la Ilustración 31.



Ilustración 31. Determinación de profundidad.

La Ilustración 32 indica las 3 muestras siendo analizadas en laboratorio.



Ilustración 32. Muestras en laboratorio.



En la Tabla 27 se describen los datos comunes del ensayo (altura del estrato colocado entre las dos piedras porosas, diámetro interno del tubo del permeámetro, área del estrato, carga de agua) para todas las muestras.

Tabla 27. Datos ensayo de permeabilidad.

Altura (m)	Diámetro (m)	Área (m ²)	Carga de agua (m)	Temperatura del agua (°C)
0.071	0.061	0.0029	0.591	18

Se presentan los resultados de laboratorio y caculos de las muestras 1, 2 y 3 correspondientemente en la Tabla 28, 29, 30, 31, 32 y 33.

- MUESTRA #1

Tabla 28. Resultados del ensayo de permeabilidad para la muestra #1.

Volumen (cc)	20	30	40
Tiempo (s)	73.34	95.14	146.99
	77.66	97.77	157.58
	81.33	101.86	161.37
Promedio (s)	77.44	98.26	155.31

Tabla 29. Determinación del coeficiente de permeabilidad para la muestra #1.

Tiempo (s)	Volumen (cc)	Caudal (cc/s)	k(cm/s)	k promedio (m/s)
77.44	20	0.258	0.00106	1.12514E-05
98.26	30	0.305	0.00125	
155.31	40	0.257	0.00105	

- MUESTRA #2

Tabla 30. Resultados del ensayo de permeabilidad para la muestra #2.

Volumen (cc)	20	30	40
Tiempo (s)	32.56	52.38	77.52
	32.57	52	84.67
	33.17	53.28	85.21
Promedio (s)	32.77	52.55	82.47

Tabla 31. Determinación del coeficiente de permeabilidad para la muestra #2.

Tiempo (s)	Volumen (cc)	Caudal (cc/s)	k(cm/s)	k promedio (m/s)
32.77	20	0.610	0.00250	2.28321E-05



52.55	30	0.570	0.00234
82.47	40	0.485	0.00199

- MUESTRA #3

Tabla 32. Resultados del ensayo de permeabilidad para la muestra #3.

Volumen (cc)	20	30	40
Tiempo (s)	74.28	96.12	151.23
	75.13	98.74	159.85
	79.25	102.8	163.21
Promedio (s)	76.22	99.22	158.10

Tabla 33. Determinación del coeficiente de permeabilidad para la muestra #3.

Tiempo (s)	Volumen (cc)	Caudal (cc/s)	k(cm/s)	k promedio (m/s)
76.22	20	0.262	0.00107	1.12055E-05
99.22	30	0.302	0.00124	
158.10	40	0.253	0.00104	

El promedio del coeficiente de permeabilidad de los tres ensayos realizados es de 1.51E-05 (m/s).

Tal como la normativa indica, es necesario encontrar el factor de corrección de temperatura (f_c) para la viscosidad del agua a 20°C, mediante la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{\mu_t}{\mu_{20}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

donde:

μ_t = Viscosidad dinámica del agua a temperatura X °C,

μ_{20} = Viscosidad dinámica del agua a T 20°C

Los valores de la viscosidad dinámica del agua de la Tabla 34 fueron tomados del Anexo 19.

Tabla 34. Viscosidad dinámica del agua (Goluber, 1959).

T (°C)	Viscosidad (kg/m*s)
18	0.001054
20	0.001003



El factor de corrección es de 1.051, dando como resultado el coeficiente de permeabilidad $k_{20}=1.59E-05$.

A partir de la Tabla 35 de permeabilidad relativa según Terzaghi & Peck la permeabilidad de la subrasante es muy poco permeable.

Tabla 35. Valores relativos de permeabilidad (Terzaghi & Peck, 1980).

Permeabilidad relativa	Coeficiente de permeabilidad (m/h)
Muy permeable	>3.6
Moderadamente Permeable	3.6 a 0.036
Poco permeable	0.036 a 0.00036
Muy poco permeable	0.00036 a 0.0000036
Impermeable	< 0.00000036

- Nivel freático

El nivel freático se encuentra a 7 metros, según información detallada en el capítulo 2.

- Condiciones de estabilidad del suelo

Según el Informe de Geo&Geo, referente a los riesgos geológicos presentes en la zona aeroportuaria no existe peligro sísmico o es muy bajo ya que según el mapa de riesgo sísmico el área de estudio se encuentra en la zona II, en cuanto a peligro volcánico mediante la información del mapa de amenazas volcánicas potenciales el lugar no está afectado por el vulcanismo activo y finalmente desde el aspecto geodinámico se presenta inestabilidad únicamente en los taludes , por tanto se considera que existe inestabilidad en el suelo.

Después de realizar este análisis de características del lugar y compararlo con la Tabla 14, es posible implementar cualquier tipo de sistema de gestión de agua ya que las propiedades de la zona no restringen ninguno, pero desde el punto de vista de seguridad necesaria para el diseño se escogió un sistema sin infiltración (TIPO C)

Tasa de infiltración de la superficie porosa y Profundidad máxima de almacenamiento

Para determinar la tasa de infiltración de la superficie porosa se utilizó información del Estudio de lluvias intensas realizado por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en 1999, se escogió esta información ya que cuenta con registros de precipitaciones máximas para 5,10,15,30,60,120,360 y 1440 minutos siendo el periodo considerado desde 1964 a 1998, es decir 34 años analizados para obtener este informe hidrológico completo y sobre todo ecuaciones de intensidad representativas y confiables.



Se usaron las ecuaciones de intensidades máximas del cuadro N 32 del estudio de lluvias que se adjunta en el Anexo 20, la Tabla 36 presenta las ecuaciones representativas para la estación de interés.

Tabla 36. Ecuaciones de intensidad para la estación M-067(INAMHI).

Código	Estación	Duración	Ecuación de intensidad (mm/h)
M-067	Cuenca-Aeropuerto	5min<50min	$I_{TR} = 104.32 * t (-0.4041) * Id_{TR}$
		50min<1440min	$I_{TR} = 717.47 * t (-0.8982) * Id_{TR}$

En las ecuaciones de la tabla anterior se involucra la intensidad diaria para un periodo de retorno dado (Id_{TR}), para lo cual se adjuntan las intensidades máximas en 24 horas tomadas del Anexo 21, expuestas en la Tabla 37.

Tabla 37. Intensidades máximas en 24 horas para la estación M-067 (INAMHI).

Código	Estación	TR(años)	5	10	15	20
M-067	Cuenca-Aeropuerto	Id_{TR}	2.2	2.5	2.76	2.9

A continuación, se presentan los resultados de alturas máximas de la capa de rodadura asfáltica para cada periodo de retorno.

- Periodo de retorno de 5 años: Los datos se encuentran en la Tabla 38 y los resultados calculados en la Tabla 39.

Tabla 38. Datos de diseño para TR de 5 años.

TR	5
Id_{TR}	2.2
k (mm/h)	57.110
Porosidad	0.187
Hmax (m)	0.0297

Tabla 39. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 5 años.

d(min)	d(h)	Intensidad	Hmax (mm)
5	0.083	119.766	27.862
10	0.167	90.508	29.703
15	0.250	76.830	26.307
20	0.333	68.398	20.078
25	0.417	62.500	11.984
30	0.500	58.061	2.537
35	0.583	54.554	-7.954
40	0.667	51.688	-19.285



50	0.833	47.012	-44.903
60	1.000	39.910	-91.778

La altura máxima para la capa de rodadura para TR de 5 años es de 2,9 centímetros.

- Periodo de retorno de 10 años: Los datos se encuentran en la Tabla 40 y los resultados calculados en la Tabla 41.

Tabla 40. Datos de diseño para TR de 10 años.

TR	10
Id_{TR}	2.5
k (mm/h)	57.110
Porosidad	0.1874
Hmax(m)	0.0406

Tabla 41. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 10 años.

d(min)	d(h)	Intensidad	Hmax (mm)
5	0.083	136.098	35.124
10	0.167	102.850	40.680
15	0.250	87.307	40.284
20	0.333	77.725	36.668
25	0.417	71.023	30.934
30	0.500	65.978	23.661
35	0.583	61.994	15.202
40	0.667	58.737	5.789
50	0.833	53.423	-16.395
60	1.000	45.353	-62.736

La altura máxima para la capa de rodadura para TR de 10 años es de 4.68 centímetros.

- Periodo de retorno de 15 años: Los datos se encuentran en la Tabla 42 y los resultados calculados en la Tabla 43.

Tabla 42. Datos de diseño para TR de 15 años.

TR	15
Id_{TR}	2.76



k (mm/h)	57.110
Porosidad	0.1847
Hmax(m)	0.0531

Tabla 43. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 15 años.

d(min)	d(h)	Intensidad	Hmax (mm)
5	0.083	150.252	42.024
10	0.167	113.547	50.926
15	0.250	96.386	53.163
20	0.333	85.808	51.792
25	0.417	78.409	48.049
30	0.500	72.840	42.583
35	0.583	68.441	35.787
40	0.667	64.846	27.922
50	0.833	58.966	8.376
60	1.000	50.059	-38.173

La altura máxima para la capa de rodadura para TR de 15 años es de 5.32 centímetros.

- Periodo de retorno de 20 años: Los datos se encuentran en la Tabla 44 y los resultados calculados en la Tabla 45.

Tabla 44. Datos de diseño para TR de 20 años.

TR	20
$I_{d_{TR}}$	2.9
k (mm/h)	57.110
Porosidad	0.1874
Hmax(m)	0.0597

Tabla 45. Resultados de profundidades máximas de asfalto para TR de 20 años.

d(min)	d(h)	Intensidad	Hmax (mm)
5	0.083	157.874	45.463
10	0.167	119.306	56.124
15	0.250	101.276	59.780
20	0.333	90.161	59.648
25	0.417	82.386	57.022
30	0.500	76.535	52.585
35	0.583	71.913	46.751



40	0.667	68.135	39.795
0	0.833	61.970	21.930
60	1.000	52.609	-24.365

La altura máxima para la capa de rodadura para TR de 20 años es de 5.97 centímetros.

Salida de la estructura del pavimento

Para determinar la distancia de las tuberías de drenaje se utilizó la ecuación 21, la intensidad de lluvia utilizada es de 101,27 mm/h que es la correspondiente a la profundidad de la capa de rodadura definida como la óptima (5.97 cm), la altura total de base y subbase se consideró la del diseño actual, la información referida a este cálculo se presenta en la Tabla 46.

Tabla 46. Espaciamiento entre tuberías.

q (m/s)	2.81323E-05
k (m/s)	1.58639E-05
h (m)	0.70
b (m)	0.7895

La distancia entre tuberías utilizada será de 1 metro por facilidad constructiva

Para el cálculo de diámetro de la tubería de drenaje se procede a determinar la capacidad de flujo de la subbase a partir del método racional de la ecuación 22, en donde los datos y resultados obtenidos se presentan en la Tabla 47.

Tabla 47. Caudal de infiltración de la subbase.

c	0.825
I (mm/h)	101.276
A (Ha)	7.092
Q (m ³ /s)	1.645

El coeficiente de escorrentía (c), se obtuvo del Anexo 22 que indica que el coeficiente para pavimentos asfálticos es de 0.70 a 0.95 se optó por la media de estos valores. Se utilizó una velocidad de 1 m/s en la tubería para evitar sedimentos en las paredes, en donde el diámetro determinado es de 10.24 cm, según el catálogo de tuberías PVC se define utilizar tuberías de diámetro nominal 4 pulgadas es decir 10.5 cm.

En la Ilustración 33 se observa los espesores de la capas de la estructura de pavimento calculada en el diseño THE SUDS MANUAL.

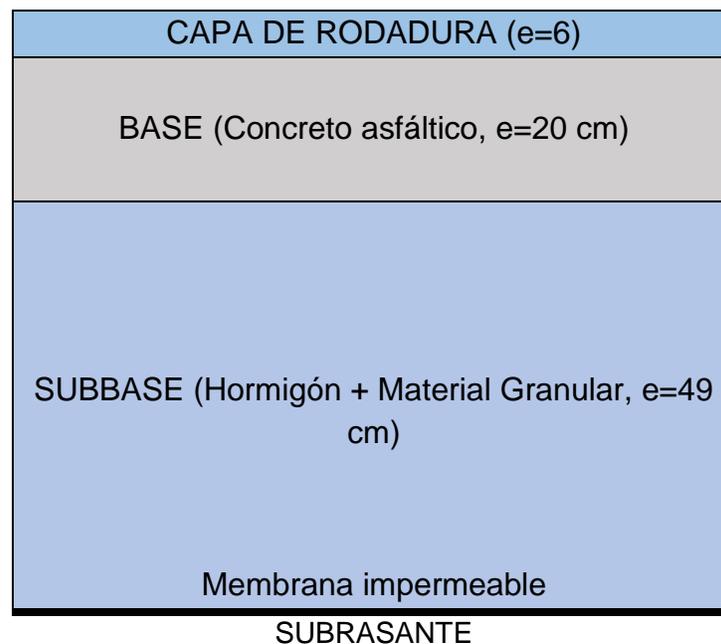


Ilustración 33. Estructura de pavimento según el método SUDS MANUAL

3.4. PRESUPUESTO

Para determinar el presupuesto se eligió la capa de rodadura de mayor espesor de los dos métodos (10 cm) tomando en cuenta la seguridad del diseño, los precios unitarios son datos del Ing. Javier Córdova Rizo (Guayaquil) y hacen referencia a la planta de producción de hormigones asfálticos de la Municipalidad de Guayaquil debido a que en nuestra ciudad no se diseñan mezclas porosas. En la Tabla 48 se presenta los resultados presupuestarios del diseño existente y el propuesto para un espesor de 10 cm.



Tabla 48. Presupuesto de la carpeta asfáltica diseñada y de la actual.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
405-5C	Capa de rodadura de hormigón asfáltico drenante mezclado en planta (e=6cm)	m ²	177480	\$5.83	\$1034708.40
405-5B	Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta(e=6cm)	m ²	177480	\$7.18	\$1274306.40



CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Este estudio tuvo como objetivo diseñar la capa de rodadura de pavimento asfáltico poroso para el Aeropuerto Mariscal La Mar de la ciudad de Cuenca, utilizando dos metodologías de diseño ASSHTO 93 Y THE SUDS MANUAL CIRIA, teniendo en cuenta aspectos estructurales e hidrológicos con el fin de eliminar los problemas de drenaje existentes y promover el diseño de pavimentos permeables.
- Según los resultados obtenidos se puede comentar lo siguiente:

La granulometría combinada expuesta en la Tabla 16, está dentro de la franja granulométrica para pavimentos porosos normalizada por el Instituto Nacional de Vías de Colombia (INVIAS), para su obtención fue necesario combinar dos tipos de materiales uno de la cantera Tomebamba (La Josefina) y otro del campamento de ASFALTAR E.P (El Descanso).

Mediante el ensayo Marshall el contenido óptimo de asfalto fue de 6.4%, correspondiente a una estabilidad de 2980 libras y 15.5 pulgadas de flujo, al analizar estos resultados con los criterios de diseño Marshall, el porcentaje de vacíos supera el límite como se esperó por ser de un pavimento poroso, la estabilidad excede en 1.65 veces. Este resultado se considera aceptable debido a que no se trata de un pavimento típico (3% - 5% de vacíos). La mezcla muestra gran elasticidad ya que posee mayor cantidad de asfalto que material fino por ello no se debe desechar la mezcla al no estar dentro de los límites permitidos según el criterio Marshall.

Partiendo de que el tamaño máximo nominal del agregado es de 3/8" se requiere como mínimo que la mezcla tenga 5.75% de asfalto, y como el porcentaje (6.4%) supera el valor referencial cumpliendo satisfactoriamente con este requisito.

Los porcentajes de porosidad fueron 18.20%, 18.71%, 19.06%, 19.23%, 19.96%, 20.25% 20.98% y 21.81 para los porcentajes de asfalto: 7.5%, 7%, 6.5%, 6%, 5.5%, 5%, 4.5% y 4% respectivamente. Es evidente que la cantidad de asfalto es inversamente proporcional al contenido de vacíos debido a la capacidad ligante del asfalto AC-20. Además, es importante mencionar que cada porcentaje de vacíos está dentro del rango del pavimento poroso (18%-25%).



Es importante que los agregados de la mezcla brinden una gravedad específica superior a 2000 kg/m^3 ya que esta propiedad es fundamental en la obtención del porcentaje de vacíos deseados. Se logró conseguir material con esta propiedad dentro de la provincia en las canteras ubicadas en el sector de La Josefina.

Se diseñó la capa de rodadura para un periodo de retorno de 20 años resultado de esto el espesor por el método estructural 9 cm, mientras que el método hidrológico da como resultado un espesor de 6 cm, siendo el estructural 1.5 veces mayor se justifica este resultado debido a que en el diseño mediante ASSHTO 93 se consideró el peso del tráfico parámetro determinante del espesor de la capa de rodadura, mientras que el THE SUDS MANUAL se enfoca en drenar el agua superficial. Al analizar los espesores calculados con la normativa Internacional "Airport Pavement Design and Evaluation" los espesores no cumplen con el mínimo establecido que es de 10 cm, por esta razón el espesor final será de 10cm.

En la metodología ASSHTO se toma en cuenta el módulo elástico propio de un pavimento poroso ya que es diferente al de un pavimento tradicional, este es mucho más elástico y deformable. Mientras que el método SUDS el parámetro que define la porosidad de un pavimento está en función de la tasa de infiltración de la capa de rodadura factor en el que interviene la porosidad de 18.74% (porcentaje de vacíos de la cantidad óptima de asfalto).

La permeabilidad de la subrasante de la zona de estudio es de $1.58 \times 10^{-5} \text{ m/h}$ que la define como un suelo muy poco permeable es por ello que se utilizó un sistema de gestión de agua total que permite que el agua drenada no infiltre en la subrasante por esta condición, condición fundamental en el diseño hidrológico.

El costo de la capa de rodadura del pavimento asfáltico poroso (405-5C) según el catálogo de precios del Departamento de Obras Públicas de Guayaquil es de \$. 5.83 por m^2 lo que da un precio total de \$.1034708.40, por otra parte, la capa de rodadura de mezcla densa asfáltica del diseño existente con un espesor de dimensión tiene un costo de \$. 1274306.40.

- La aplicación propuesta genera un desgaste a tempranas edades (5 años) por la porosidad de la capa, pero es necesario recalcar su especial propiedad de drenaje que reduce considerablemente el fenómeno de splash&spray e hidroplaneo.



- Como experiencia inicial el ligante asfáltico utilizado fue AC 60-70 ya que es el más común en el medio, obteniéndose que las mezclas elaboradas con dicho asfalto a pesar de ser porosas tenían el inconveniente de presentar estabilidades demasiado altas (baja resistencia) es por eso que se cambió por un ligante modificado con aditivos que mejora la adherencia entre los agregados y el ligante. El asfalto seleccionado fue el AC-20 que elevó la resistencia de la mezcla al brindarle mayor consistencia evitando el escurrimiento del ligante.

RECOMENDACIONES

- Se espera que esta investigación sea la precursora de futuros estudios de mezclas drenantes aplicados a aeropuertos y carreteras, se intenta innovar las técnicas tradicionales de diseño de pavimentos asfálticos en la ciudad y porque no en el país.
- En el campo civil es necesario crear una conciencia medioambiental, a través de este estudio se buscó demostrar cómo se puede usar un sistema de drenaje sostenible en cualquier tipo de infraestructura.
- El módulo de elástico empleado se tomó de un estudio geotécnico de pavimentos drenantes ya que en la ciudad no se cuenta con los equipos necesarios para realizar este ensayo.
- Según el criterio Marshall no existen parámetros para evaluar una mezcla drenante, pues hace referencia únicamente a mezclas tradicionales que poseen de un porcentaje de vacíos del 3% al 5%, por lo que se sugiere analizar los límites permisibles de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos llenos de asfalto para pavimentos porosos.

La limitación de este trabajo fue la falta de normativa nacional para la construcción de pavimentos porosos en aeropuertos razón por la que se utilizó el manual INVIAS (Normativa Colombiana), además que en el país no existen aún aeropuertos que tengan este tipo de pavimento asfáltico, se sugiere que el Ministerio de Transporte y Obras Públicas adicione a la normativa actual una sección para mezclas permeables y porosas.

- Es importante proporcionar una pendiente en la capa de rodadura tal que permita la infiltración en la estructura posterior del pavimento impidiendo que el agua vaya directamente a los sistemas de drenaje laterales.



BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). AASHTO Guide for Design of Paviment Structures. Washington: AASHTO PUBLISHER. 626 pp.
- AASHTO. (2007). AASHTO T 112 - Clay lumps and friable particles in aggregate. En AASHTO STANDARDS (6). Whashington: AASHTO PUBLISHER.
- Aparicio Mijares. (1999). Fundamentos de Hidrologia de Superficie. Limusa, México.
- ASFALTAR. (2016). Productos y Servicios. 2018, de ASFALTAR E.P Sitio web: <http://www.asfaltarep.gob.ec/www/index.php/home-2>
- ASTM. (2003). ASTM C 535 - Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. En STANDARDS TEST METHOD(3). West Conshohocken: ASTM PUBLISHER.
- ASTM. (2007). ASTM D 1557 - Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort. En STANDARDS TEST METHOD (14). West Conshohocken: ASTM PUBLISHER.
- ASTM. (2011). ASTM D 1559 - Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. En STANDARDS TEST METHOD (10). West Conshohocken: ASTM PUBLISHER.
- ASTM. (2003). ASTM D 2041 - Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures. En STANDARDS TEST METHOD (4). West Conshohocken: ASTM PUBLISHER.
- ASTM. (2007). ASTM D 3398 - Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture. En STANDARDS TEST METHOD (5). West Conshohocken: ASTM PUBLISHER.



- ASTM. (2012). ASTM D 4126 - Standard Specification for Vapor-Degreasing Grade and General Solvent Grade 1,1,1-Trichloroethane. En STANDARDS TEST METHOD (11). West Conshohocken: ASTM PUBLISHER.
- Braja M. Das. (1983). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Mexico, D.F.
- Campos Canessa, J. A. (2008). Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2008/campos_jc/sources/campos_jc.pdf
- CIRIA C523. (2001). THE SUDS Manual. Construction Industry Research and Information Association. Londres.
- CIRIA C753. (2015). Sustainable urban drainage systems, best practice manual for England, Scotland, Wales and Northern Ireland. Construction Industry Research and Information Association. Londres.
- CONSULPROY. (2016). Fresado y Reasfaltado de la pista del Aeropuerto . Cuenca.
- CORPAC. (2008). Datos técnicos. Cuenca: Corporación Aeroportuaria de Cuenca.
- CSM. (12 de Mayo de 2015). Detectan fisuras en pista de Aeropuerto. El Mercurio.
- Daniel Castro, Joseba Rodríguez, Jorge Rodríguez, Francisco Ballester. (2005). Sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). España.
- Eduardo Ríos. (2008). Arranca el repapeo de la pista de aterrizaje del aeropuerto. El Tiempo, 2B.
- EPA (1999) Preliminary Data Summary of Urban Store Water Best Management Practices. Office of Water, United States Environmental Protection Agency. Washington DC, EEUU. EPA-821-R-99-012.
- Ferguson, B. K. (2010). Porous pavements in North America: experience and importance. *NOVATECH 2010*.
- GEO & GEO. (2015). Estudio integral de estabilidad de taludes en el extremo 23 de la pista, catastro total del sistema de drenaje aeroportuario y análisis técnico



de la carpeta asfáltica en el área de movimiento del aeropuerto Mariscal Lamar de la ciudad de Cuenca. Cuenca.

- Gómez M, Sánchez H, Dolz J, López R, Nania L, Cabrera E, Espert V, García-Serra J, Malgrat P, Puertas J (2004) Curso de Hidrología Urbana. 5ª ed. Universitat Politècnica de Catalunya, España. 389 pp.
- Harry R. Cedergren. (1974). Drainage of highway and airfield pavements. 18 de noviembre de 2017, de Malabar Florida Krieguer Sitio web: <http://www.worldcat.org/title/drainage-of-highway-and-airfield-pavements-by-harry-r-cedergren/oclc/301709133>
- IMCYC. (2003). Pavimentos Permeables. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C, 3-5. México D.C.
- INAMHI (1992). Información fuente de pluviografía y pluviometría de 178 estaciones meteorológicas representativas del Territorio Nacional. Quito, Ecuador.
- INAMHI. (1999). Estudio de lluvias intensas. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Vías. 2012. SECCIÓN 4: Pavimentos asfálticos. En INVIAS (4, 440) Colombia: MT.
- Jiménez (1999) Contaminación por escorrentía urbana. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Colección SEINOR No. 22. Madrid, España.
- Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. (1955). Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Barcelona España: El Ateneo S.A.
- Montejó Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. AGORA EDITORES. 480pp. Colombia.
- NAPA. (2003). *Porous Asphalt Pavements for Stormwater Management*. Maryland.
- Noticias del Ecuador. (28 de Abril de 2016). Sitio Web: <http://www.ecuadorenvivo.com/>



- PROMANVIAL CONSULTING CIA. LTDA. (2016). Evaluacion Estructural y Funcional del pavimento del taxiway y del runway Aeropuerto Mariscal Lamar. Cuenca.
- Ramírez-Castro, L., Arce-Jiménez, M., Elizondo-Arrieta, F., & Jiménez-Acuña, M. (2005). Mezclas Drenantes.
- Trujillo Lopez y Quiroz Lasprilla. (2013). Pavimentos porosos utilizados como sistemas alternativos al drenaje urbano. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

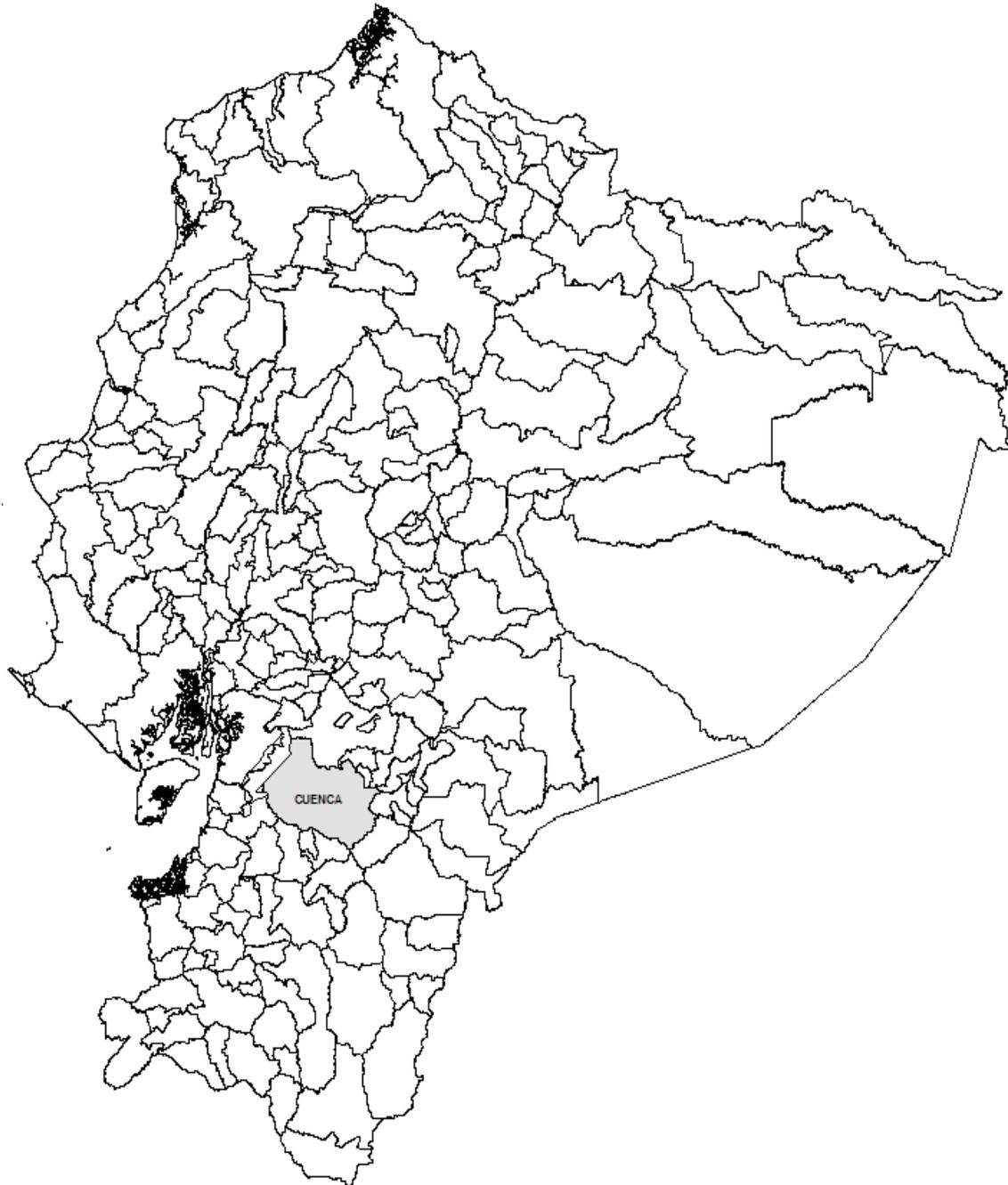


ANEXOS

ANEXO 1. MAPA DE UBICACION PROVINCIAL DEL ESTUDIO DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA



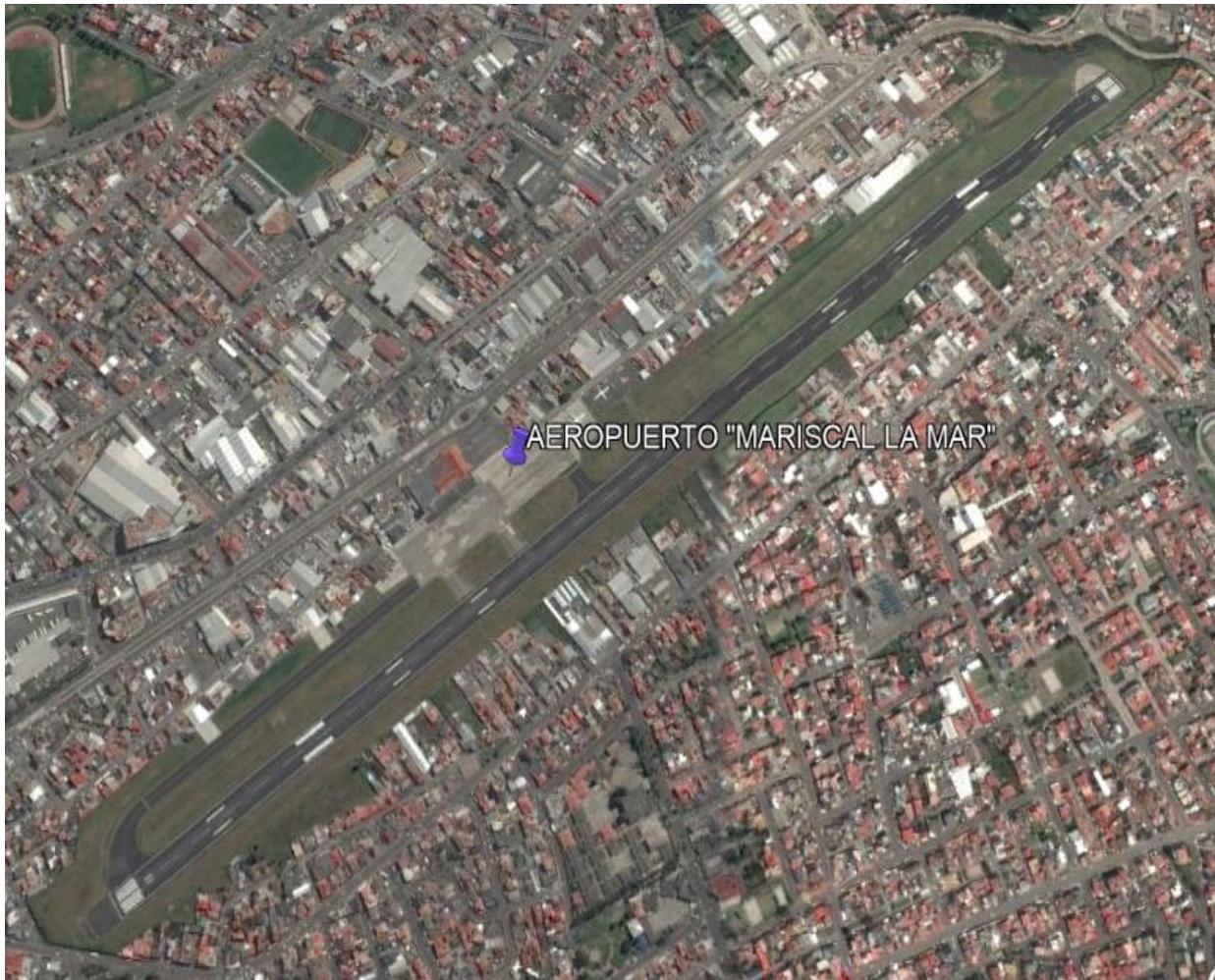
**ANEXO 2. MAPA DE UBICACION CANTONAL DEL ESTUDIO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA**



**ANEXO 3. MAPA DE UBICACION PARROQUIAL DEL ESTUDIO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA**



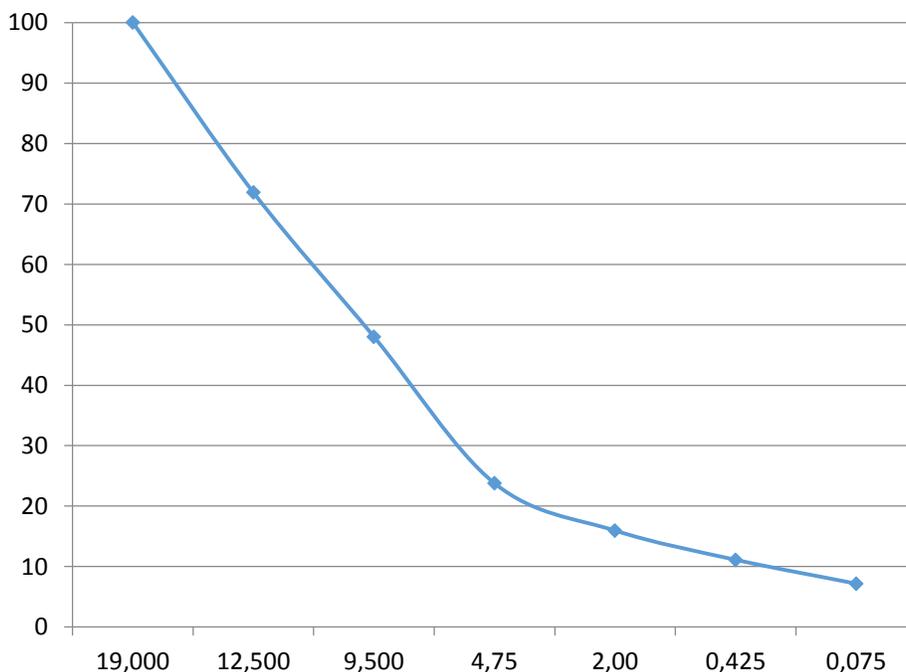
ANEXO 4. VISTA SATELITAL DEL AEROPUERTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



**ANEXO 5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO A (Material del Río Paute).
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA**



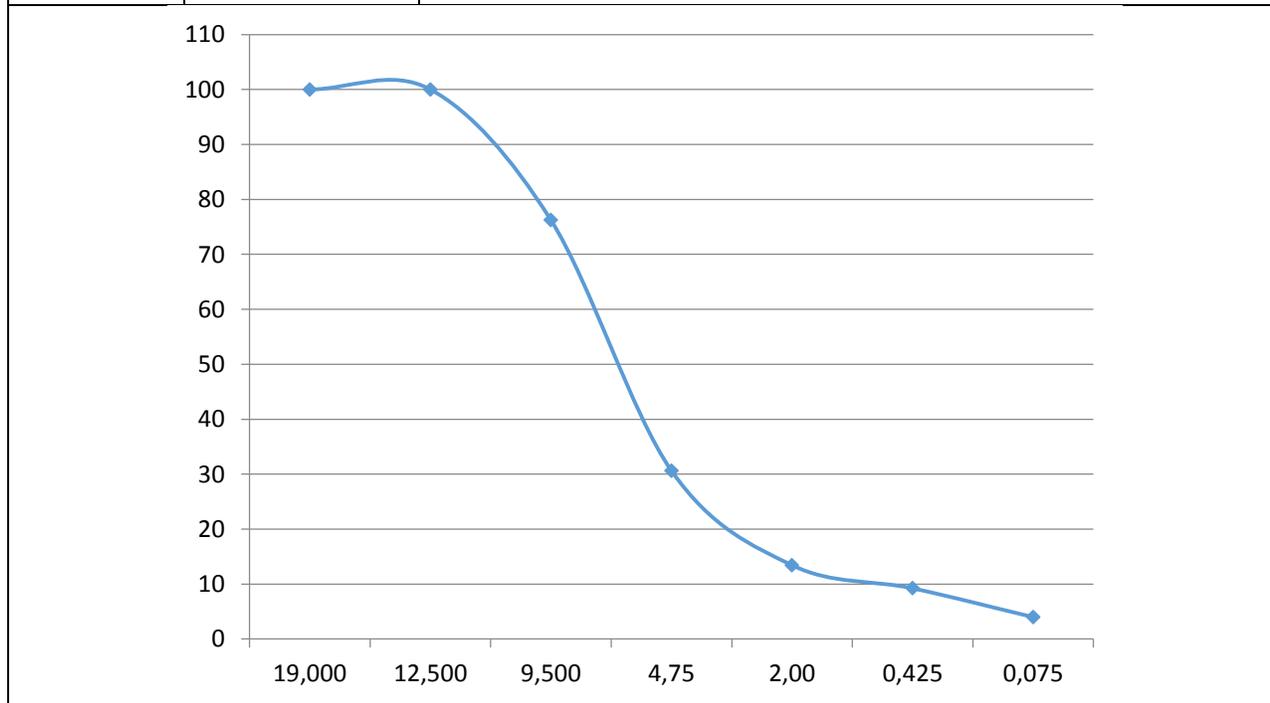
UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería					
Ubicación: Material del Río Paute – Planta de ASFALTAR					
Realizado por: Carvajal Andrea – Quishpi Olga					
No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.000	0	0	0	100
1/2"	12.500	2810.70	2810.70	28.11	71.89
3/8"	9.500	2387.10	5197.80	23.87	48.02
No.4	4.75	2423.90	7621.70	24.24	23.78
No.10	2.00	782.30	8404.00	7.82	15.96
No.40	0.425	483.20	8887.20	4.83	11.13
No.200	0.075	394.60	9281.80	3.95	7.18
FONDO		718.20	10000.00	7.18	0
Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.34	mm	Grava	76.22	%
D30:	6.32	mm	Arena	16.60	%
D60:	11.16	mm	Finos	7.18	%
Cu:	32.85				
Cc:	10.54				



**ANEXO 6. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO B (Material de La Josefina).
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA**



UNIVERSIDAD DE CUENCA Facultad de Ingeniería					
Ubicación: Material de las minas de La Josefina – Cantera Tomebamba					
Realizado por: Carvajal Andrea – Quishpi Olga					
No. Tamiz	Diámetro (mm)	Masa retenida (gr)	Masa acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.000	0	0	0	100
1/2"	12.500	0	0	0	100
3/8"	9.500	2377.20	2377.20	23.77	76.23
No.4	4.75	4561.10	6938.30	45.61	30.62
No.10	2.00	1717.90	8656.20	17.18	13.44
No.40	0.425	420.40	9076.60	4.20	9.23
No.200	0.075	523.80	9600.40	5.24	4.00
FONDO		399.60	10000.00	4.00	0
Coeficiente de uniformidad y curvatura			Fracciones		
D10:	0.76	mm	Grava	69.38	%
D30:	4.68	mm	Arena	26.62	%
D60:	8.25	mm	Finos	4.00	%
Cu:	10.87				
Cc:	3.50				



ANEXO 7. ENSAYO DE DUREZA (PORCENTAJE DE DESGASTE)
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Granulometría de las muestras de ensayo					
Tamaños de tamiz		Masas de las diferentes fracciones (gr)			
Pasa tamiz	Retenido en tamiz	Granulometrías			
		A	B	C	D
37.5 (1 ^{1/2} ")	25.0 (1")				
25.0 (1")	19.0 (3/4")	1250 ± 25			
19.0 (3/4")	12.5 (1/2")	1250 ± 25			
12.5 (1/2")	9.5 (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5 (3/8")	6.3 (1/4")	1250 ± 10	2500 ± 10	2500 ± 10	
6.3 (1/4")	4.75 (No.4)			2500 ± 10	
4.75 (No.4)	2.36 (No. 8)				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Determinación de la carga por número de esferas de acero		
Granulometría	Número de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Datos del ensayo	
Peso inicial (gr)	5018
Peso final (gr)	4266
Porcentaje de desgaste (%)	14.99

Nota: Los valores resaltados corresponden a los determinados para el ensayo.

ANEXO 8. ENSAYO SOBRE LA FORMA DE LA PARTÍCULA
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Medidor de espesores		Espesor (mm)	Medidor de espesores		Longitud (mm)
Tamiz (mm)			Tamiz (mm)		
Pasa	Retiene		Pasa	Retiene	
38.1	25.4	17.15	38.10	25.40
25.4	19.1	13.34	25.40	19.10	39.90
19.1	12.7	9.53	19.10	12.70	28.50
12.7	9.51	6.68	12.70	9.51	20.10
9.51	6.35	4.78	9.51	6.35	14.20

Determinación de partículas aplanadas			
Tamiz ½"		Tamiz 3/8"	
Piezas escogidas	150.00	Piezas escogidas	150.00
Masa total de la muestra (gr)	1145.60	Masa total de la muestra (gr)	482.31
Masa que pasa (gr)	91.13	Masa que pasa (gr)	38.25
% de p. aplanadas	7.95	% de p. aplanadas	7.93

Determinación de partículas alargadas			
Tamiz ½"		Tamiz 3/8"	
Piezas escogidas	150	Piezas escogidas	150
Masa total de la muestra (gr)	1056.20	Masa total de la muestra (gr)	325.28
Masa que pasa (gr)	85.51	Masa que pasa (gr)	25.40
% de p. alargadas	8.10	% de p. alargadas	7.81

Tamiz ½"		Tamiz 3/8"	
Partículas aplanadas %	7.95	Partículas aplanadas %	7.93
Partículas alargadas %	8.10	Partículas alargadas %	7.81
Promedio	8.03	Promedio (%)	7.87
% De partículas aplanadas y alargadas : 8			

**ANEXO 9. DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO NOMINAL, DENSIDAD Y
ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA**



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Normativa: INVÍAS (2013)

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Tamaño nominal (mm)	Porcentaje que pasa							
	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
37.5 a 4.75	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	0 a 5	-----	-----
25 a 12.5	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----	-----	-----
25 a 9.5	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-----	-----
25 a 4.75	100	95 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 10	0 a 5	-----
19 a 9.5	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-----	-----
19 a 4.75	-----	100	90 a 100	-----	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-----
12.5 a 4.75	-----	-----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-----
9.5 a 2.36	-----	-----	-----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Tamaño máximo nominal (mm)	Cantidad mínima de muestra (Kg)
12.5 o menor	2
19	3
37.5	4
50	5
63	8

Árido Grueso



Datos	Peso			
Peso muestra en S.S.S	2193	gr	2.193	Kg
Peso picnómetro+agua+vidrio	4632	gr	4.632	Kg
Peso muestra S.S.S+picnómetro+agua+vidrio	6036	gr	6.036	Kg
Peso muestra seca	2165	gr	2.165	Kg
Cálculos				
Densidad	2737.12		Kg/m ³	
%Absorción	1.29		%	

Árido Fino				
Datos	Peso			
Peso muestra en S.S.S	2095	gr	2.095	Kg
Peso picnómetro+agua+vidrio	4632	gr	4.632	Kg
Peso muestra S.S.S+picnómetro+agua+vidrio	5918	gr	5.918	Kg
Peso muestra seca	2049	gr	2.049	Kg
Cálculos				
Densidad	2526.42		Kg/m ³	
%Absorción	2.24		%	

ANEXO 10. ENSAYO RICE
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Datos de laboratorio			
% Asfalto	Peso seco (gr)	Peso muestra +picnómetro+agua+vidrio (gr)	Peso picnómetro +agua+ vidrio (gr)
4	2222	17539.5	16243
4.5	2196	17537.5	
5	2179	17503.5	
5.5	2133	17494.9	
6	2085	17461.3	
6.5	2213	17520.1	
7	2125	17491.6	
7.5	2184	17523.2	

ANEXO 11. ENSAYO MARSHALL 4% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	4		
Peso al aire (gr)	1127.34	1142.37	1104.47
Peso SSS (gr)	1206.00	1215.49	1182.43
Peso en agua (gr)	613.80	618.05	600.5
Volumen (m ³)	592.200	597.440	581.930
Gmb	1.904	1.912	1.898
Gmb promedio	1.905		
Gmm (RICE)	2.436		
Pa (%)	21.85	21.50	22.08
Pa promedio (%)	21.811		
VMA (%)	30.567	30.259	30.775
VMA promedio (%)	30.53		
VFA (%)	28.523	28.942	28.246
VFA promedio (%)	28.570		
Estabilidad sin corregir (lbs)	2024.5	2294.3	2215.9
Flujo (1/100)"	10.75	11.40	11.00
Flujo promedio (1/100)"	11.05		
Factor de corrección	0.81	0.81	0.83
Estabilidad corregida (lbs)	1639.85	1858.383	1839.2
Estabilidad promedio (lbs)	1779.14		

ANEXO 12. ENSAYO MARSHALL 4.5% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	4.5		
Peso al aire (gr)	1129.55	1198.36	968.87
Peso SSS (gr)	1211.11	1274.11	1045.7
Peso en agua (gr)	628.88	653.97	526.59
Volumen (m ³)	582.230	620.140	519.110
Gmb	1.940	1.932	1.866
Gmb promedio	1.913		
Gmm (RICE)	2.421		
Pa (%)	19.86	20.18	22.91
Pa promedio (%)	20.983		
VMA (%)	29.609	29.886	32.280
VMA promedio (%)	30.592		
VFA (%)	32.911	32.477	29.041
VFA promedio (%)	31.476		
Estabilidad sin corregir (lbs)	2517.8	2723.7	2338.9
Flujo (1/100)"	11.75	12.00	11.40
Flujo promedio (1/100)"	11.72		
Factor de corrección	0.83	0.76	1
Estabilidad corregida (lbs)	2089.774	2070.012	2338.9
Estabilidad promedio (lbs)	2166.23		

ANEXO 13. ENSAYO MARSHALL 5% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	5		
Peso al aire (gr)	1075.06	1095.13	1124.71
Peso SSS (gr)	1148.14	1170.70	1203.51
Peso en agua (gr)	582.45	602.48	620.25
Volumen (m ³)	565.690	568.220	583.260
Gmb	1.900	1.927	1.928
Gmb promedio	1.919		
Gmm (RICE)	2.406		
Pa (%)	21.00	19.89	19.85
Pa promedio (%)	20.25		
VMA (%)	31.406	30.437	30.400
VMA promedio (%)	30.748		
VFA (%)	33.120	34.657	34.718
VFA promedio (%)	34.165		
Estabilidad sin corregir (lbs)	2802.7	2817.2	2949.1
Flujo (1/100)"	13.0	13.10	13.4
Flujo promedio (1/100)"	13.17		
Factor de corrección	0.86	0.86	0.83
Estabilidad corregida (lbs)	2410.322	2422.792	2447.753
Estabilidad promedio (lbs)	2426.96		

ANEXO 14. ENSAYO MARSHALL 5.5% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	5.5		
Peso al aire (gr)	1065.63	1097.45	1186.34
Peso SSS (gr)	1146.27	1183.82	1271.23
Peso en agua (gr)	588.54	611.93	658.07
Volumen (m ³)	557.730	571.890	613.160
Gmb	1.911	1.919	1.935
Gmb promedio	1.921		
Gmm (RICE)	2.401		
Pa (%)	20.42	20.07	19.41
Pa promedio (%)	19.96		
VMA (%)	31.401	31.102	30.534
VMA promedio (%)	31.012		
VFA (%)	34.984	35.475	36.432
VFA promedio (%)	35.630		
Estabilidad sin corregir (lbs)	3062.5	3124.4	3210.3
Flujo (1/100)"	13.6	14.1	14.5
Flujo promedio (1/100)"	14.07		
Factor de corrección	0.89	0.86	0.76
Estabilidad corregida (lbs)	2725.625	2686.984	2439.828
Estabilidad promedio (lbs)	2617.479		

ANEXO 15. ENSAYO MARSHALL 6% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	6		
Peso al aire (gr)	1061.74	1162.76	1104.06
Peso SSS (gr)	1140.94	1244.82	1183.58
Peso en agua (gr)	594.94	619.30	615.85
Volumen (m ³)	546.000	625.520	567.730
Gmb	1.945	1.859	1.945
Gmb promedio	1.916		
Gmm (RICE)	2.372		
Pa (%)	18.03	21.64	18.02
Pa promedio (%)	19.23		
VMA (%)	30.552	33.613	30.548
VMA promedio (%)	31.571		
VFA (%)	40.994	35.619	41.002
VFA promedio (%)	39.205		
Estabilidad sin corregir (lbs)	3027.3	3554.5	3539.4
Flujo (1/100)"	14.8	15.5	15.1
Flujo promedio (1/100)"	15.14		
Factor de corrección	0.93	0.76	0.86
Estabilidad corregida (lbs)	2815.389	2701.42	3043.884
Estabilidad promedio (lbs)	2853.56		

ANEXO 16. ENSAYO MARSHALL 6.5% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	6.5		
Peso al aire (gr)	1077.32	1188.34	1119.64
Peso SSS (gr)	1176.52	1260.4	1219.16
Peso en agua (gr)	610.57	644.38	638.43
Volumen (m ³)	565.950	616.020	580.730
Gmb	1.904	1.929	1.928
Gmb promedio	1.920		
Gmm (RICE)	2.365		
Pa (%)	19.76	18.68	18.73
Pa promedio (%)	19.06		
VMA (%)	32.379	31.473	31.511
VMA promedio (%)	31.787		
VFA (%)	38.983	40.642	40.570
VFA promedio (%)	40.065		
Estabilidad sin corregir (lbs)	3687.3	3806.5	3722.4
Flujo (1/100)"	15.30	16.0	15.60
Flujo promedio (1/100)"	15.63		
Factor de corrección	0.86	0.76	0.83
Estabilidad corregida (lbs)	3171.078	2892.94	3089.592
Estabilidad promedio (lbs)	3051.20		

ANEXO 17. ENSAYO MARSHALL 7% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	7		
Peso al aire (gr)	1102.96	1134.78	1165.94
Peso SSS (gr)	1192.42	1221.15	1270.83
Peso en agua (gr)	622.43	629.26	667.67
Volumen (m ³)	569.990	591.890	603.160
Gmb	1.935	1.917	1.933
Gmb promedio	1.928		
Gmm (RICE)	2.425		
Pa (%)	18.43	19.18	18.51
Pa promedio (%)	18.71		
VMA (%)	31.628	32.258	31.698
VMA promedio (%)	31.861		
VFA (%)	41.731	40.538	41.595
VFA promedio (%)	41.288		
Estabilidad sin corregir (lbs)	2906.3	3001.8	3069.8
Flujo (1/100)"	16.1	16.5	16.7
Flujo promedio (1/100)"	16.43		
Factor de corrección	0.86	0.81	0.78
Estabilidad corregida (lbs)	2499.42	2431.46	2394.44
Estabilidad promedio (lbs)	2441.77		

ANEXO 18. ENSAYO MARSHALL 7.5% ASFALTO
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería

Ubicación: Laboratorio del Instituto Tecnológico de la Construcción.

Realizado por : Carvajal Andrea-Quishpi Olga

Características de los equipos			
Probetas		Martillo	
Espesor (mm)	64	Peso (gr)	4535
Diámetro (mm)	103	Altura de caída (mm)	457.20

Briqueta	1	2	3
Asfalto (%)	7.5		
Peso al aire (gr)	1139.65	1124.62	1162.56
Peso SSS (gr)	1218.37	1197.74	1240.13
Peso en agua (gr)	626.45	615.30	648.57
Volumen (m ³)	591.920	582.440	591.560
Gmb	1.925	1.931	1.965
Gmb promedio	1.940		
Gmm (RICE)	2.416		
Pa (%)	18.84	18.61	17.16
Pa promedio (%)	18.20		
VMA (%)	32.336	32.142	30.934
VMA promedio (%)	31.804		
VFA (%)	41.742	42.116	44.539
VFA promedio (%)	42.799		
Estabilidad sin corregir (lbs)	2652.7	2864.1	2899.3
Flujo (1/100)"	17.9	18.5	19.0
Flujo promedio (1/100)"	18.47		
Factor de corrección	0.81	0.83	0.81
Estabilidad corregida (lbs)	2148.69	2377.2	2348.43
Estabilidad promedio (lbs)	2291.44		

**ANEXO 19. VISCOSIDAD DINAMICA DEL AGUA LIQUIDA A VARIAS
TEMPERATURAS (Goluber, 1959).**
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA



Viscosidad dinámica del agua líquida a varias temperaturas	
Temperatura ° C	Viscosidad dinámica kg/(m*s)
0	0.001792
1	0.001731
2	0.001674
3	0.00162
4	0.001569
5	0.00152
6	0.001473
7	0.001429
8	0.001386
9	0.001346
10	0.001308
11	0.001271
12	0.001236
13	0.001202
14	0.00117
15	0.001139
16	0.001109
17	0.001081
18	0.001054
19	0.001028
20	0.001003
21	0.000979
22	0.000955
23	0.000933
24	0.000911
25	0.000891
26	0.000871
27	0.000852
28	0.000833
29	0.000815
30	0.000798
31	0.000798
32	0.000781
33	0.000749
34	0.000734
35	0.00072
36	0.000705



37	0.000692
38	0.000678
39	0.000666
40	0.000653
41	0.000641
42	0.000629
43	0.000618
44	0.000607
45	0.000596
46	0.000586
47	0.000576
48	0.000566
49	0.000556
50	0.000547
51	0.000538
52	0.000529
53	0.000521
54	0.000512
55	0.000504
56	0.000496
57	0.000489
58	0.000481
59	0.000474
60	0.000467
61	0.00046
62	0.000453
63	0.000447
64	0.000434
65	0.000428
66	0.000428
67	0.000422
68	0.000416
69	0.00041
70	0.000404
71	0.000399
72	0.000394
73	0.000388
74	0.000383
75	0.000378
76	0.000373
77	0.000369



78	0.000364
79	0.000359
80	0.000355
81	0.000351
82	0.000346
83	0.000342
84	0.000338
85	0.000334
86	0.00033
87	0.000326
88	0.000322
89	0.000319
90	0.000315
91	0.000311
92	0.000308
93	0.000304
94	0.000301
95	0.000298
96	0.000295
97	0.000291
98	0.000288
99	0.000285
100	0.000282

ANEXO 20. INTENSIDADES MAXIMAS-ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE ESTACIONES (INAMHI,1999).

DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA

Código	Estación	Duración	Ecuación
M-066	Ambato	5 min < 34 min	$I_{TR} = 197.86 * t (-0.5556) * Id_{TR}$



		34 min < 1440 min	$I_{TR} = 616.96 * t (-0.885) * Id_{TR}$
M-067	Cuenca Aer.	5 min < 50 min	$I_{TR} = 104.32 * t (-0.4041) * Id_{TR}$
		50 min < 1440 min	$I_{TR} = 717.47 * t (-0.8982) * Id_{TR}$
M-068	Tiputini Aer.	5 min < 33 min	$I_{TR} = 46.934 * t (-0.2596) * Id_{TR}$
		33 min < 1440 min	$I_{TR} = 269.14 * t (-0.7622) * Id_{TR}$
M-072	Machala Aer.	5 min < 30 min	$I_{TR} = 43.085 * t (-0.3912) * Id_{TR}$
		30 min < 1440 min	$I_{TR} = 94.664 * t (-0.6276) * Id_{TR}$
M-073	Taura	5 min < 49 min	$I_{TR} = 42.22 * t (-0.1828) * Id_{TR}$
		49 min < 1440 min	$I_{TR} = 643.99 * t (-0.8852) * Id_{TR}$
M-074	Manta Aer	5 min < 185min	$I_{TR} = 51.584 * t (-0.3842) * Id_{TR}$
		185 min < 1440 min	$I_{TR} = 1019.5 * t (-0.9502) * Id_{TR}$
M-079	Sucúa	5 min < 23 min	$I_{TR} = 54.246 * t (-0.4596) * Id_{TR}$
		23 min < 1440 min	$I_{TR} = 89.858 * t (-0.6234) * Id_{TR}$
M-105	Otavalo	5 min < 65 min	$I_{TR} = 193.83 * t (-0.6062) * Id_{TR}$
		65 min < 1440 min	$I_{TR} = 642.16 * t (-0.8917) * Id_{TR}$
M-107	Cahuasqui	5 min < 230min	$I_{TR} = 110.85 * t (-0.4943) * Id_{TR}$
		230 min < 1440 min	$I_{TR} = 3197.1 * t (-1.1077) * Id_{TR}$
M-120	Cotopaxi	5 min < 13 min	$I_{TR} = 112.97 * t (-0.6248) * Id_{TR}$
		13 min < 1440 min	$I_{TR} = 125.39 * t (-0.6621) * Id_{TR}$
M-131	San Pablo Atenas	5 min < 113 min	$I_{TR} = 97.275 * t (-0.5344) * Id_{TR}$
		113 min < 1440 min	$I_{TR} = 365.64 * t (-0.8115) * Id_{TR}$
M-138	Paute	5 min < 49 min	$I_{TR} = 163.15 * t (-0.5018) * Id_{TR}$
		49 min < 1440 min	$I_{TR} = 2477.3 * t (-0.4041) * Id_{TR}$
M-139	Gualaceo	5 min < 35 min	$I_{TR} = 104.32 * t (-1.077) * Id_{TR}$
		35 min < 1440 min	$I_{TR} = 147.98 * t (-0.4279) * Id_{TR}$
M-141	El Labrado	5 min < 41 min	$I_{TR} = 882.9 * t (-0.9351) * Id_{TR}$
		41 min < 1440 min	$I_{TR} = 177.26 * t (-0.5938) * Id_{TR}$
M-142	Naraguro	5 min < 197 min	$I_{TR} = 466.46 * t (-0.843) * Id_{TR}$
		197 min < 1440 min	$I_{TR} = 87.477 * t (-0.5798) * Id_{TR}$
M-146	Cariamanga	5 min < 50 min	$I_{TR} = 69.036 * t (-0.335) * Id_{TR}$
		49 min < 1440 min	$I_{TR} = 510.71 * t (-0.849) * Id_{TR}$

ANEXO 21. INTENSIDADES MAXIMAS EN 24 HORAS (INAMHI,1999).
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA

Código	Estación	Altitud (m)	Tr (años)				
			5	10	15	20	50
M-066	Ambato Aero.	2515	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6



M-067	Cuenca	2516	2.2	2.5	2.76	2.9	3.5
M-068	Tiputini Aero.	219	4.04	4.92	6.08	6.99	7.93
M-072	Machala Aero.	4	4.7	5.7	7.1	8.3	9.7
M-073	Taura	17	4.01	4.64	5.37	5.86	6.37
M-074	Manta Aero.	12	3.97	5.05	6.4	7.39	8.36
M-079	Sucua Aero.	995	3	3.4	3.8	4.2	4.5
M-105	Otavalo	2550	1.7	1.8	2	2.1	2.2
M-107	Cahuasqui -FAO	2335	1.7	1.8	2	2.1	2.2
M-120	Cotopaxi-Minitrak	3590	1.7	1.9	2.2	2.4	2.7
M-131	Sn. Pablo de Atenas	2750	2.5	2.9	3.3	3.7	4.1
M-138	Paute	2289	1.7	1.9	2	2.1	2.2
M-139	Gualaceo	2230	1.9	2.2	2.5	2.7	2.9
M-141	El Labrado	3335	1.4	1.7	2	2.3	2.7
M-142	Saraguro	2525	2.3	2.8	3.4	3.8	4.3
M-146	Cariamanga	1960	3	3.2	3.5	3.6	3.8
M-148	Celica	1984	3.3	3.9	4.6	5.1	5.6
M-159	La Naranja	520	3.2	3.5	4	4.3	4.7
M-162	Chone	182	2.94	3.18	3.42	3.58	3.73
M-167	Jama	46	4	5.12	6.51	7.54	8.55
M-169	Julcuy	263	2.95	3.37	3.82	4.1	4.36
M-180	Zaruma	1100	3.1	3.4	3.8	4.1	4.5
M-185	Machala UTM	13	3.86	4.53	5.37	6	6.62
M-219	Pisayamo	3580	1.7	1.9	2	2.1	2.1
M-224	San Lorenzo	5	6.2	7.1	8.4	9.3	10.2
M-261	La Clementina	20	5.01	5.49	6.11	6.58	7.01
M-335	La Chorrera	3165	2.4	2.8	3.2	3.5	3.7
M-360	Tandapi	1120	2.98	3.32	3.75	4.07	4.39
M-426	Cuenca Ricaurte	2545	2.2	2.6	3	3.4	3.7
M-494	Arajuno	9	5.1	5.6	6.2	6.7	7.2
M-502	El Pangui	820	2.7	3.1	3.4	3.6	3.9
M-606	Quito U.Central	2870	1.9	2	2.2	2.2	2.3

ANEXO 22. COEFICIENTE DE ESCORRENTIA (C) (Aparicio,1999).
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
zona comercial	0.7	0.95



vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0.5	0.7
zonas residenciales unifamiliares	0.3	0.5
zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0.4	0.6
zonas residenciales multifamiliares densas	0.6	0.75
zonas residenciales semiurbanas	0.25	0.4
zonas industriales espaciadas	0.5	0.8
zonas industriales densas	0.6	0.9
Parques	0.1	0.25
zonas deportivas	0.2	0.35
estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0.2	0.4
zonas suburbanas	0.1	0.3
calles asfaltadas	0.7	0.95
calles hormigonadas	0.7	0.95
calles adoquinadas	0.7	0.85
Aparcamientos	0.75	0.85
Techado	0.75	0.95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0.05	0.1
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0.1	0.15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0.15	0.2
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0.13	0.17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0.18	0.22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0.25	0.35

ANEXO 23. CRITERIO MARSHALL
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO
MARISCAL LA MAR DE CUENCA

Criterio	Tráfico					
	Bajo ^A		Medio ^B		Alto ^C	
	mín	máx	mín	máx	min	máx
Número de golpes por cara	35		50		75	
Estabilidad, N	3336		5338		8006	



Flujo, 0.25 mm	8	18	8	16	8	14
Vacíos de Aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacíos de Agregado Mineral, %	Ver Tabla 3. 812-07					
Vacíos Llenos de Asfalto, %	70	80	65	78	65	75
^A ESALs < 10,000						
^B ESALS entre 10,000 y 1,000,000						
^C ESLAs > 1,000,000						

TNM (mm)	VMA mínimo, %		
	Vacios de Aire de Diseño, %		
	3.0	4.0	5.0
4.75	16	17	18
9.5	14	15	16
12.5	13	14	15
19.0	12	13	14

ANEXO 24. MINIMUM LAYER THICKNESS FOR FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES
DISEÑO DE PAVIMENTO POROSO ASFALTICO PARA EL AEROPUERTO MARISCAL LA MAR DE CUENCA

Layer Type	FAA	Maximum Airplane Gross Weight
------------	-----	-------------------------------



	Specification Item	Operating on Pavement, lbs (kg)		
		<12,500 (5670)	<100,000 (45360)	≥100,000 (45360)
HMA Surface	P-401, Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements	3 in (75mm)	4 in (100mm)	4 in (100mm)
Stabilized	P-401 or P-403; P-304; P306	Not Required	Not Required	5 in (125mm)
Crushed Aggregate Base	P-209, Crushed Aggregate Base Course	3 in (75mm)	6 in (150mm)	6 in (150mm)
Aggregate Base	P-208, Aggregate Base Course	3 in (75mm)	Not Used	Not Used
Subbase	P-154, Subbase Course	4 in (100mm)	4 in. (100mm) (if required)	4 in. (100mm) (if required)