

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TEMA:

**“PISOS PERMEABLES CON PLASTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR,
COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL SALVADOR”**

PRESENTA:

Br. CHACON ARGUETA, NIXON LEONEL

Br. CHICAS RIVERA, ELMER LEONARDO

Br. MARTÍNEZ GUEVARA, CRISTOBAL

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

DOCENTE DIRECTOR:

ING. ARÍSTIDES MAURICIO PERLA LÓPEZ

OCTUBRE DE 2021

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Msc. ROGER ARMANDO ARIAS

VICERRECTOR ACADÉMICO:

ING. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ALARCÓN

FISCAL GENERAL:

LIC. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO:

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

VICEDECANO:

PhD. OSCAR VILLALOBOS

SECRETARIO:

Msc. ISRAEL LÓPEZ MIRANDA

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

ING. RIGOBERTO LÓPEZ

COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL:

Msc. GUILLERMO MOYA TURCIOS

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

Msc. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:

INGENIERO CIVIL

TEMA:

**“PISOS PERMEABLES CON PLASTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR,
COMO ALTERNATIVA DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE EN EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

Br. CHACON ARGUETA, NIXON LEONEL

Br. CHICAS RIVERA, ELMER LEONARDO

Br. MARTÍNEZ GUEVARA, CRISTOBAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. ARÍSTIDES MAURICIO PERLA LÓPEZ

DOCENTE DIRECTOR.

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2021

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

ING. ARÍSTIDES MAURICIO PERLA LÓPEZ

DOCENTE DIRECTOR

Msc. MILAGRO DE MARÍA ROMERO DE GARCÍA

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

DEDICATORIA

Agradezco a **Dios todopoderoso** por haberme dado la vida, inteligencia, sabiduría, la salud y por haberme guiado por el camino correcto durante todo el proceso de mi formación personal, espiritual, académica y profesional.

A mis abuelos: **Rosa Cándida Argueta** y **Francisco de Jesús Pereira**, por haber estado siempre apoyándome de manera incondicional en todas las etapas de mi vida.

A mi madre: **Elida Emeli Argueta**, por haber estado siempre apoyándome en todo, ya que sin su apoyo no habría logrado alcanzar mis metas.

A mis tíos y tías, quienes siempre me acompañaron y ayudaron en todas las fases y etapas a lo largo de mi vida. A todos los familiares y amigos que me han acompañado en este proceso de formación académica y que me brindaron consejos, apoyo moral, ayuda, amistad y de su tiempo.

A todos los docentes que compartieron su conocimiento, consejos, experiencias y amistad en mi formación académica y profesional.

A mis compañeros de tesis, quienes me ayudaron a realizar y terminar este trabajo de graduación, por su dedicación, empeño, inteligencia y deseo de superarse profesional y académicamente.

NIXON LEONEL CHACON ARGUETA.

DEDICATORIA

En primer lugar, a **Dios** por estar en cada uno de los momentos de mi vida, dándome salud y las fuerzas necesarias para vencer cada uno de los obstáculos y poder seguir constante en mi camino, que, aunque no ha sido fácil hoy veo como cada día estoy más pronto a disfrutar el fruto de mis sacrificios.

A mis padres **Leonardo Chicas y Mirian Rivera**, por siempre apoyarme y enseñarme los valores y principios necesarios para constituir en mi un ciudadano íntegro y útil para la sociedad; gracias a ellos he llegado a este punto en mi vida que si bien podría ser el éxito, hoy veo en retrospectiva y puedo afirmar que el éxito siempre ha sido parte de mí vida, de mi familia que a pesar de todas las dificultades en la mesa siempre se sirvió amor, fraternidad y las ganas de salir delante y ser mejor, que hoy confieso es la mejor herencia que puedo obtener. A mis hermanos **Kelvin Chicas y Martha Chicas** por mostrarme la determinación de no dejar nada a la suerte y que la libertad es el derecho de los egoístas; este logro también es de ustedes.

A mis amigos y compañeros que siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo en cualquier etapa del estudio, por proveerme de una amistad sincera y benevolente, hasta volverse una parte importante de mi diario vivir; y mostrarme que necesitar de otros más que una debilidad, demarca la valentía de aceptar las limitaciones humanas y el coraje de dejar reposar nuestros sueños en hombros amigos a fin de ver materializadas cada una de nuestras ambiciones.

A todos ustedes, gracias totales por contribuir a alcanzar este triunfo.

ELMER LEONARDO CHICAS RIVERA.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios todo poderoso por haberme permitido culminar mis estudios profesionales, dándome esperanza, fortaleza, sabiduría e inteligencia para poder superar todos los momentos difíciles que se presentaron a lo largo del camino.

A mi padre y madre, Rene Martínez, Justiniana Romero de Martínez, quienes han sido parte fundamental en este logro obtenido y quienes han sido motivo de inspiración para mí, a ellos les dedico este triunfo y puedo decir gracias por su inmenso apoyo y por siempre enseñarme los valores y principios necesarios para constituir una persona íntegra; gracias a ellos he llegado a este punto en mi vida.

A mis hermanos, quienes, con sus muestras de cariño y apoyo, me ayudaron a seguir estudiando y poder obtener este logro, no me resta más que decir gracias a todos ustedes.

A la Lic. Sandra Elizabeth Argueta, por ser parte de este proceso y haberme apoyado siempre, siendo motivo de inspiración a seguir adelante y alcanzar este triunfo, gracias por su inmenso cariño y siempre estar ahí cuando lo necesité.

A Nuestro asesor y Jurado Calificador por el apoyo brindado durante el proceso.

A mis amigos y compañeros de tesis Nixon y Leonardo, porque juntos nos hemos apoyado en diferente parte de nuestra carrera y nuestra vida.

CRISTOBAL MARTÍNEZ GUEVARA.

INDICE GENERAL

RESUMEN.	19
ABSTRACT.....	20
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO I:	23
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.1.1 Situación Problemática.....	24
1.1.2 Enunciado del Problema.....	25
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.....	26
1.3 OBJETIVOS.....	28
1.3.1 General.....	28
1.3.2 Específicos.....	28
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES	29
1.4.1 Alcances.....	29
1.4.2 Limitaciones.	30
1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
1.5.1 Tipo de Investigación.	31
1.5.1.1 Nivel de Investigación.	31
1.5.1.2 Variables de Estudio.	31
1.5.2 Área de Estudio.	33
1.5.3 Unidades de Análisis.	34
1.5.4 Procedimiento de Trabajo.....	35
1.5.4.1 Recolección de Información Relacionada a la Investigación.	35
1.5.4.2 Realización de Estudios.	36
1.5.4.3 Obtención de Resultados.....	39

1.5.4.4 Conclusiones.....	39
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	42
2.1.1 Pisos Permeables.....	42
2.1.2 Pavimentos.....	43
2.1.3 Construcción Sostenible.....	44
2.2 MARCO TEÓRICO.....	45
2.2.1 Generalidades Sobre Pavimentos.....	45
2.2.1.1 Finalidad de Tipo Estructural.....	45
2.2.2 Carreteras Secundarias Según el Ministerio de Obras Públicas (MOP).....	45
2.2.3 Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico.....	46
2.2.4 Tipos de Pavimento.....	46
2.2.5 Pavimento Permeable o Modular.....	47
2.2.5.1 Pisos Permeables con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.....	48
2.2.5.2 Aplicaciones del Sistema de Piso Permeable con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.....	51
2.2.6 Concreto Permeable.....	56
2.2.6.1 Tasa de Filtración.....	58
2.2.6.2 Ventajas, Inconvenientes y Desafíos.....	59
2.2.6.3 Diseño Estructural.....	60
2.2.6.4 Diseño Hidrológico.....	65
2.2.7 Adoquines.....	65
2.2.7.1 Ventajas del Pavimento de Adoquines.....	67
2.2.7.2 Limitantes del Pavimento de Adoquines de Concreto.....	68
2.2.8 Pavimento Rígido.....	68
2.2.8.1 Tipología de Pavimentos Rígidos.....	70

2.2.8.2 Ventajas.....	71
2.2.9 Pavimento Flexible.....	72
2.2.9.1 Estructura Básica del Pavimento.....	72
2.2.9.2 Asfalto.....	74
2.2.10 Impactos Medioambientales en la Construcción.....	75
2.2.10.1 Impactos Ambientales en el Medio Abiótico.....	75
2.2.10.2 Caracterización en el Medio Biótico.....	78
2.2.11 Relación de la Construcción y el Desarrollo Sostenible.....	79
3.1 INTRODUCCIÓN.....	81
3.2 PISOS PERMEABLES CON REJILLAS DE PLÁSTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR.....	82
3.2.1 Análisis de la Condición del Proyecto.....	82
3.2.1.1 Ubicación Geográfica.....	82
3.2.1.2 Pendiente del Terreno.....	82
3.2.1.3 Suelo.....	83
3.2.2 Características de las Rejillas Plásticas para Pisos Permeables.....	85
3.3 ASPECTOS DEL USO DE LAS REJILLAS PARA PISOS PERMEABLES.....	86
3.3.1 Técnicos.....	86
3.3.1 Ambientales.....	91
3.3.2 Económicos.....	92
3.3.3 Hidrológicos.....	93
3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	95
3.4.1 Granulometría de Agregados (ASTM C-136).....	95
3.4.2 Peso Volumétrico de los Agregados (ASTM C 29).....	96
3.4.3 Gravedad Específica y Absorción de Agregados (ASTM C 127).....	101

3.4.4. Ensayo de Permeámetro de Carga Constante.....	102
3.5 PROCESOS CONSTRUCTIVOS	105
3.5.1 Preparación del Terreno (Sub-Rasante).....	105
3.5.2 Base, Sub-base Granular.....	107
3.5.3 Colocación de las Rejillas.....	110
3.5.4 Relleno de la Rejilla.	113
3.5.5 Construcción de Subdrenajes.....	115
3.6 REQUISITOS DE MANTENIMIENTO.	117
3.7 ESTIMACIÓN DE COSTOS.	124
3.7.1 Memoria de Cálculo de Materiales.....	124
3.7.1.1 Sistema de Pisos con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.	124
3.7.1.2 Pavimento de Concreto Permeable.	127
3.7.1.3 Pavimento de Concreto Hidráulico.....	130
3.7.1.4 Pavimento de Asfalto.....	134
3.7.1.5 Adoquinado.....	137
3.7.2 PRECIOS UNITARIOS.	140
3.7.2.1 Sistema de Pisos con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.	140
3.7.2.2 Concreto Permeable.....	144
3.7.2.3 Pavimento de Concreto Hidráulico.....	148
3.7.2.4 Pavimento de Asfalto.....	152
3.7.2.5 Adoquinado.....	157
4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ASPECTOS TÉCNICOS.....	163
4.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ASPECTOS ECONÓMICOS.....	168
4.2.1 Costos de Construcción y de Mantenimiento.....	172
4.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ASPECTOS AMBIENTALES.....	181

4.4 CUADROS COMPARATIVOS DE ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS.	186
4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PISOS PERMEABLES CON REJILLAS DE PLÁSTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR EN COMPARACIÓN AL CONCRETO PERMEABLE EN EL SALVADOR.	196
4.5.1. Sistema de Pisos Permeables con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.	196
4.5.2. Concreto Permeable.....	198
4.5.2.1 Proyectos más Importantes Realizados por Lafarge Holcim – El Salvador.	198
5.1 CONCLUSIONES	204
5.2 RECOMENDACIONES	205
BIBLIOGRAFÍA.....	206
ANEXOS.....	208
Anexo 1: Carta de Acceso al Laboratorio de Suelos y Materiales. UES-SAN MIGUEL	208

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil del sistema de pisos con rejillas de plástico reciclado y material granular.....	26
Figura 2. Sistema de rejillas de plástico en pisos permeables.....	27
Figura 3. Sistema de rejillas de plástico en pisos permeables.....	27
Figura 4. Área de estudio.	34
Figura 5. Proceso de metodología.....	40
Figura 6. Estructura en campo de un piso permeable.	42
Figura 7. Carretera de tierra.	43
Figura 8. Muro perimetral utilizando materiales sostenibles.	44
Figura 9. Sección tipo de un piso con rejillas plásticas.....	48
Figura 10. Estacionamiento de nave industrial, Municipio de Soyapango, San Salvador.....	49
Figura 11. Gestión habitual del agua lluvia.	49
Figura 12. Formas de gestión de la escorrentía superficial.	50
Figura 13. Superficie de piso con rejillas plásticas y material granular.....	52
Figura 14. Sección transversal típica de una ciudad mostrando como son generalmente las temperaturas.	56
Figura 15. Pavimentación de concreto permeable en ex-casa presidencial, El Salvador.....	57
Figura 16. Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros.....	58
Figura 17. Camino vehicular pavimentado con adoquines.	66
Figura 18. Estructura de pavimentos de adoquines.....	67
Figura 19. Sección transversal de una Estructura de un Pavimento Rígido.....	69
Figura 20. Juntas sin elementos de transferencia de carga.....	70
Figura 21. Juntas con elementos de transferencia de carga o dovelas.	71
Figura 22. Estructura de pavimento flexible.	73
Figura 23. Ubicación Geográfica del proyecto en estudio.....	82

Figura 24. Sección del sistema de pisos a base de rejillas de plástico en suelo impermeable y drenaje de salida del caudal filtrado.....	84
Figura 25. Perfil del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.	85
Figura 26. Permeámetro vertical de carga constante.....	103
Figura 27. Proceso de conformación de la subrasante.	106
Figura 28. Proceso de conformación de la subrasante.	106
Figura 29. Proceso de conformación de la subrasante.	107
Figura 30. Proceso de conformación de la subbase.	108
Figura 31. Conformación de subbase granular.	109
Figura 32. Compactación de la subbase granular.....	109
Figura 33. Colocación de rejillas sobre base granular.	110
Figura 34. Colocación de rejillas sobre base granular.	111
Figura 35. Corte de rejilla, para ajustarla al área donde se colocará.....	111
Figura 36. Compactación de la rejilla.	112
Figura 37. Sistema de rejillas instaladas, listas para el relleno con material granular.	112
Figura 38. Sistema de rejillas instaladas, listas para el relleno con material granular.	113
Figura 39. Sistema de pavimento permeable terminado y demarcación de estacionamientos.	114
Figura 40. Sistema de pavimento permeable listo para su funcionamiento.	114
Figura 41. Construcción de drenaje interno.	116
Figura 42. Conformación de la base después de construir el dren interior.	117
Figura 43. Sección transversal de remate de piedra.	137
Figura 44. Perfil típico del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.	165

Figura 45. Sección transversal de un pavimento de concreto hidráulico (rígido).....	165
Figura 46. Sección transversal de un pavimento de asfalto.	165
Figura 47. Sección transversal de un pavimento con adoquines.....	166
Figura 48. Porcentajes de precios unitarios por tipo de pavimento.	169
Figura 49. Esquema de deterioro de un pavimento a través de tiempo.....	172
Figura 50. Cambio típico el comportamiento de la escorrentía debido a la Urbanización.	182
Figura 51. Desarrollo de bajo impacto.	183
Figura 52. Efecto hidrológico, infiltración de agua a través de la estructura de pavimento. ...	184
Figura 53. Efectos hidrológicos contrastantes de pavimentos Permeables, e impermeables..	185
Figura 54. Proyecto de estacionamiento y calle perimetral, con rejillas para pavimentos permeables.....	196
Figura 55. Estacionamiento, en rejillas para pisos permeables.....	197
Figura 56. Prueba De Aplicación De Concreto Permeable – Estacionamiento UES, 13 De diciembre De 2016.	198
Figura 57. Concreto permeable en estacionamiento Walmart, Santa Ana.....	199
Figura 58. Instalación De Pavimento De Concreto Permeable - (Ex-Casa Presidencial). 10 De junio De 2019.	199
Figura 59. Construcción de pavimentos permeables en El Salvador.	200

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro resumen de variables.	32
Tabla 2. Espesores de capas de los pavimentos.	37
Tabla 3. Aspectos de estudio.	38
Tabla 4. Clasificación De Carreteras Secundarias.	46
Tabla 5. Clasificación de pavimentos permeables.	47
Tabla 6. Tipos de suelos y Valores medios de sus capacidades.	61
Tabla 7. Valores de densidades secas, CBR y Módulo de Reacción “K” para distintos tipos de Suelos.	62
Tabla 8. Tipología de mezclas asfálticas.	74
Tabla 9. Especificaciones técnicas de las rejillas.	85
Tabla 10. Módulos de Reacción de Subrasante —k” Compuesto.	89
Tabla 11. Categorías de la resistencia del suelo.	90
Tabla 12. Mínimos espesores de un pavimento permeable para varias condiciones de tráfico.	91
Tabla 13. Granulometría de agregados (ASTM C-136).	96
Tabla 14. Capacidad del depósito medidor (molde) en función del tamaño máximo nominal del agregado.	97
Tabla 15. Densidad del agua en función de la temperatura.	98
Tabla 16. Costo de adquisición de equipos.	120
Tabla 17. Resumen de precios estimados para 1 m ²	168
Tabla 18. Precios estimados para 40 m ²	170
Tabla 19. Precios estimados para cordón-cuneta y remate.	170
Tabla 20. Precios estimados para los diferentes tipos de pavimentos.	171
Tabla 21. Tabla de alternativas.	174

Tabla 22. Comparación De Alternativas.....	180
Tabla 23. Aspectos técnicos.....	186
Tabla 24. Aspectos Económicos.....	190
Tabla 25. Aspectos Medioambientales.....	192
Tabla 26. Descripción teórica de las diferencias entre el pavimento a base de rejillas y el concreto permeable.....	200

RESUMEN.

El presente documento describe la implementación de una alternativa de construcción en El Salvador, para calles de baja intensidad de tránsito, estacionamientos, caminos peatonales, etc.

Basada en los requerimientos necesarios presentados en las normativas vigentes, como la AASTHO o ACI-211, de la cual se rescatan los puntos importantes y aplicables al diseño y construcción, se trata de pisos permeables con rejillas plásticas y material granular, constituido por una capa base granular de al menos 25 cm de espesor, y una rejilla de 3.8 cm que se rellena con material granular de ½” a 3/8”, implantada sobre el terreno natural compactado.

Por ser una estructura permeable, permitiendo el paso del agua a través de su estructura, la permeabilidad fue un parámetro de interés, especialmente para la gestión de la escorrentía superficial, fue necesario verificar la granulometría de los materiales para conocer el porcentaje de vacíos. Al mismo tiempo se formularon criterios de interés, para determinar la idoneidad para su construcción comparada con otras alternativas, como el concreto permeable, esencialmente, el tipo de suelo, la permeabilidad, costos, construcción (constructabilidad) y mantenimiento.

Palabras claves. Pisos permeables, permeabilidad, costos, constructabilidad (procesos constructivos), mantenimiento.

ABSTRACT.

This document describes the implementation of a construction alternative in El Salvador, for streets with low traffic intensity, parking lots, pedestrian paths, etc. Based on the necessary requirements presented in current regulations, such as AASTHO or ACI-211, from which the important points applicable to design and construction are rescued, these are permeable floors with plastic grids and granular material, consisting of a layer granular base of at least 25 cm thick, and a 3.8 cm grid that is filled with granular material from 1/2" to 3/8", implanted on the compacted natural soil. Because it is a permeable structure, allowing the passage of water through its structure, permeability was a parameter of interest, especially for the management of surface runoff, it was necessary to verify the granulometry of the materials to know the percentage of voids. At the same time, criteria of interest were formulated to determine the suitability for its construction compared to other alternatives, such as pervious concrete, essentially, the type of soil, permeability, costs, construction (constructability) and maintenance.

Keywords. Permeable floors, permeability, costs, constructability (construction processes), maintenance.

INTRODUCCIÓN

Los pisos permeables representan una alternativa sostenible, que a través de los años se van desarrollando mejoras y tendencias en sus distintas formas de construcción y funcionamiento; debido a los efectos que se presentan por el cambio climático, la implementación de sistemas amigables con el medio ambiente como los sistemas de drenaje sostenible cada día cobran más importancia. Conocer y utilizar estos métodos genera un aporte al mejoramiento del medio ambiente y da respuesta a una de las principales causas de inundaciones urbanas en El Salvador; en donde el notable crecimiento tanto comercial y poblacional genera en gran parte la impermeabilización de suelos.

En la actualidad, existe la necesidad de crear nuevos materiales de construcción que sean amigables con el medio ambiente y a la vez económico, que puedan cumplir con las mismas funciones que un producto convencional.

Por tanto, en la investigación se indaga sobre un material en forma de rejilla de plástico reciclado, que fusionándose con material granular se obtiene un piso permeable que se convierte en una nueva alternativa de construcción dentro de los sistemas permeables.

A diario se considera que los plásticos son elementos de corta vida y que dejan gran cantidad de residuos. Esto hace que las cualidades que tienen los plásticos para satisfacer los requisitos de larga duración se vean desplazadas. En El Salvador un gran porcentaje de desechos de plásticos producidos comenzó a acumularse en el ambiente, esto debido a la resistencia de los plásticos a la corrosión, la intemperie y la lenta degradación por microorganismos.

Existe cierta variedad de sistemas sostenibles que pueden ser implementados en la construcción en El Salvador y una de ellas puede ser el sistema de rejillas en pisos permeables para diferentes estructuras como; estacionamientos o vías de bajo tráfico, es por ello que en la

investigación se estudia el un proyecto donde es implementado el sistema de rejillas en pisos permeables, ya que representa una nueva alternativa de construcción sostenible en el país que ayuda a reducir los impactos ambientales.

Por todo lo aquí expuesto, es que la investigación está enfocada a la realización de un estudio de los pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular, comparado al concreto permeable y concreto convencional, en aspectos técnicos, económicos y ambientales. Donde el trabajo que se presenta está estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo I se plantea el problema, su contextualización, se generan las interrogantes y se establecen los objetivos de la investigación.

El capítulo II presenta el contexto teórico el cual contiene los antecedentes de la investigación, las bases teóricas que contempla y los términos que se involucran en la investigación.

En el capítulo III se muestra la ejecución de ensayos, y procedimientos constructivos del sistema de rejillas para pisos o pavimentos permeables, así como los precios unitarios comparados a otros sistemas de pavimentos.

El capítulo IV contiene análisis de resultados, donde se realiza una comparación teórica de los aspectos técnicos, económicos y ambientales del sistema de rejillas para pisos o pavimentos permeables con plástico reciclado y material granular, concreto permeable y concreto convencional.

El capítulo V contiene las Conclusiones y Recomendaciones resultantes de la investigación a partir de todos los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Situación Problemática

La construcción de pavimentos impermeables en carreteras de baja intensidad de tráfico tales como, vías secundarias y terciarias, estacionamientos comerciales, parques, caminos peatonales o vías ciclísticas, aceras; trae consigo considerables problemas en la gestión del agua lluvia y a su vez en las condiciones de drenaje aguas abajo.

Sin embargo, en los últimos años como país subdesarrollado se ha experimentado un creciente uso en áreas urbanas como respuesta al desarrollo tanto urbano como comercial, se han elegido estructuras de concreto asfáltico, hidráulico y adoquines en la construcción de áreas con poco tránsito, son las estructuras que por el procedimiento de elaboración y colocación afectan al medio ecológico superficial como las únicas alternativas de aplicación, lo que claramente genera fenómenos como inundaciones, erosiones por la acumulación de volumen de escorrentías, afectación en mantos acuíferos por la disminución en la capacidad de infiltración, que afectan directamente a las comunidades y al medio ambiente.

El concreto permeable se ha implementado en la construcción de pavimentos para ayudar a reducir los problemas de escurrimientos superficiales, específicamente de cantidad y calidad del agua, que se tienen en los sistemas de drenaje pluvial y combinado. Pero su utilización es baja debido a que sus diseños de mezcla o estudios de implementación aún son desconocidos para cierto porcentaje de constructores en nuestro país.

Ante la problemática de acumulación del agua en la superficie del piso o pavimento, durante periodos de lluvia, genera hidroplaneo de los vehículos, y seguramente el colapso de los sistemas de drenajes debido al volumen de la escorrentía superficial, por lo que, como una alternativa a la solución a este problema, no se plantea una gestión total y sistemática del agua,

sino que se busca impedir que se acumule en la superficie, logrando que cierto porcentaje sea infiltrado al subsuelo y el resto llevándolo a los sistemas de drenajes mediante una estructura permeable con rejillas de plástico y material granular.

1.1.2 Enunciado del Problema.

La falta de fundamentación técnica e investigación en la evaluación, aplicación y construcción de pavimentos con rejillas de plástico y material granular en carreteras con baja intensidad de tránsito, estacionamientos, etc. Son argumentos usados para no realizar prácticas constructivas con un enfoque medioambiental, por lo que es importante incentivar y dar a conocer nuevas alternativas de construcción en estas áreas, a fin de mitigar el impacto que se ha generado en los últimos años.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación justifica el estudio de un sistema de pisos permeables que funciona mediante rejillas de plástico reciclado de 0.31 m^2 ensambladas entre sí que poseen orificios que son rellenados con material granular (ver figura 1); recalcando que no es un sistema de pavimento que necesite la relación agua cemento o algún tipo de aditivo, lo convierte en un sistema de pisos innovador y sostenible, que prevé tener la capacidad de funcionar en distintas estructuras tales como, vías de bajo tráfico, estacionamientos, aceras, etc.

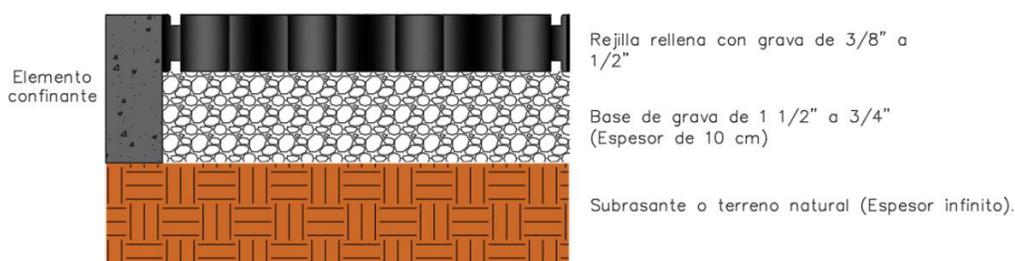


Figura 1. Perfil del sistema de pisos con rejillas de plástico reciclado y material granular.

Fuente: Elaboración Propia.

Considerando la posibilidad de utilizar el sistema, cuyo fin investigativo principal consiste en describir el piso permeable con plástico reciclado, como una alternativa de construcción sostenible en El Salvador, evitando así la impermeabilización total del suelo y eventuales inundaciones en las zonas urbanas de las principales ciudades del país.

Partiendo de las causas del problema se encuentra la forma y estilo de vida de la sociedad actual, el manejo de los recursos de manera desmedida y sin conciencia medio ambiental, debe influir en la toma de decisiones de obras y proyectos.



Figura 2. Sistema de rejillas de plástico en pisos permeables.



Figura 3. Sistema de rejillas de plástico en pisos permeables.

Como materia prima de la rejilla, se tiene al plástico que es reciclado para la elaboración de la misma; el plástico es un producto que contiene un alto rango de material sintético y semi-sintético y su gran desventaja consiste en que tarda 500 años aproximadamente en descomponerse y de la producción mundial anual de plástico solo un 9% es reciclado según la Organización de las Naciones Unidas.

En la actualidad en El Salvador el pavimento más común que representa una construcción sostenible es el concreto permeable ya que es el más conocido y utilizado en algunos proyectos de construcción.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General.

- ✓ Describir el comportamiento del sistema de rejillas de plástico reciclado y material granular en pisos permeables como alternativa de construcción sostenible en El Salvador.

1.3.2 Específicos.

- ✓ Especificar los procesos constructivos en pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.
- ✓ Analizar la implementación del sistema de rejillas en pisos permeables en comparación al concreto permeable en El Salvador.
- ✓ Establecer un análisis de aspectos ambientales sobre la construcción del Sistema de rejillas en pisos permeables y sus posibles medidas de compensación.
- ✓ Demostrar las ventajas del sistema de rejillas en pisos permeables respecto a pavimentos de concreto hidráulico y pavimento asfáltico en aspectos técnicos y económicos.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances.

- Los procesos constructivos para el sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular, se especificaron en base a un proyecto de estacionamiento comercial y calle perimetral desarrollado en el municipio de Soyapango, departamento de San Salvador, El Salvador.
- Se obtuvieron los costos directos por metro cuadrado (m^2) del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular concreto permeable, adoquinados, concreto hidráulico y mezcla asfáltica.
- Se compararon los aspectos técnicos, económicos entre el concreto permeable y el sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.
- Se describió por medio del estudio de rejillas en Pisos Permeables una alternativa para reducir el impacto generado por la impermeabilización, que poseen los suelos en base al proyecto de estacionamiento comercial y calle perimetral desarrollado en el municipio de Soyapango, departamento de San Salvador, El Salvador.

1.4.2 Limitaciones.

- Poca información acerca de investigaciones de alternativas en materiales reciclados y construcción sostenible en El Salvador.
- Se presentó la implementación del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular aplicado solamente a un estacionamiento comercial y calle perimetral como proyecto de referencia, desarrollado en el municipio de Soyapango, departamento de San Salvador, El Salvador
- Para la comparación del concreto permeable y el sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular, debido a la falta de investigaciones locales para el sistema de rejillas de plástico, respecto a sus propiedades ambientales, técnicas y económicas, se tomaron los valores proporcionados por la ficha técnica brindada por el distribuidor.
- Para la evaluación de alternativas y costos, se realizaron los cálculos únicamente para un estacionamiento comercial y calle perimetral.
- La investigación no abordó el diseño geométrico de pisos o pavimentos, sino que únicamente se tomaron los datos de entrada de la tesis **“Diseño, proceso constructivo y evaluación de un pavimento rígido de concreto permeable”** presentada por Marlon Ebiezer Vigil Sánchez en la Universidad de El Salvador, escuela de Ingeniería Civil presentada en Mayo de 2012.

1.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Tipo de Investigación.

La presente investigación es de tipo: *DESCRIPTIVA*.

Se considera como una investigación descriptiva enfocada a describir el sistema de rejillas de plástico que conforman el piso permeable específicamente elaborado de plástico reciclado y material granular en donde se estudia las ventajas respecto a otros sistemas de pavimento más convencionales, generando así un análisis demostrativo.

1.5.1.1 Nivel de Investigación. La presente investigación tiene un nivel Cualitativo ya que se tiene la medición de aspectos de estudios previos de tipos de pavimentos que cumplan con los estándares, reglamentos y referencias bibliográficas, que permitan generar una comparación. Donde los espesores de los pavimentos (concreto hidráulico, asfáltico y adoquines), están basados en el método de diseño proporcionado por la AASHTO 1993 (AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993), en el caso del concreto permeable se toma de referencia los criterios mencionados en el ACI 211 considerados para vías secundarias y terciarias.

1.5.1.2 Variables de Estudio. Las variables de estudio nos darán un breve análisis de cómo se evaluarán los aspectos del sistema de rejillas plásticas, de acuerdo con los reglamentos utilizados.

Actualmente no existe mayor investigación que demuestre como determina el comportamiento del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico y material granular, y lo que se encuentra únicamente son documentos que estandarizan, los procedimientos de diseño, constructivos y la incorporación de materiales a emplear para la construcción, como lo es la AASTHO, normas ASTM y el ACI 211- sección para sistemas permeables.

Por lo que el término “comportamiento” que se utiliza en este documento, se limita a describir este sistema como un piso permeable seguro y funcional que admite cargas que no superan los 1000 vehículos por día, con velocidades máximas de 40 km/h, la rejilla presenta 80 % de área permeable y es elaborada con plástico reciclado, por lo que mitiga en impacto medioambiental, que se puede generar con otros sistemas de pavimentos.

Finalmente se tiene la facilidad constructiva (constructabilidad), que involucra, recurso humano (mano de obra), equipos utilizados en su construcción, y estos factores están asociados con los costos de construcción y de mantenimiento.

Tabla 1. Cuadro resumen de variables.

Variable	Definición operacional	Indicador	Análisis
Permeabilidad	Capacidad de un material para que un fluido fluya a través del mismo	Tasa de permeabilidad en cm/s.	Permeámetro vertical de carga constante
		Porosidad	
Costos	Estimar el valor económico que representa la construcción del sistema de rejillas plásticas con material granular, en los pisos permeables.	Costos por unidad de área (\$/m ²).	Formatos (análisis de precios unitarios)

Mantenimiento	Determinar los requisitos mínimos de mantenimiento para el sistema, en cuanto a mantenimiento preventivo y correctivo.	Cantidad Costos Tiempo	Formatos (lista de verificación)
Constructabilidad (Facilidad de construcción)	Es una práctica que se realiza en los proyectos para lograr que lo que está planeado sea fácilmente construible basado en una optimización del sistema de costos, calidad, mantenimiento.	Recurso humano Equipos y herramientas. Calidad.	Observación mediante el análisis de los procesos constructivos y el análisis de costos.

Fuente. Elaborado por grupo de tesis.

1.5.2 Área de Estudio.

El proyecto en donde se implementó este sistema de rejillas para pisos permeable es un estacionamiento y calle perimetral de una nave industrial (ALMACONSA, EL SALVADOR), en el municipio de Soyapango, ubicado al centro del departamento y área metropolitana de San Salvador, la capital de El Salvador y que cuenta con una capacidad superficial de 7 500 m².



Figura 4. Área de estudio.

Fuente: Google Maps.

1.5.3 Unidades de Análisis.

La unidad de análisis en la presente investigación son las siguientes:

- ✓ Sistema de rejillas de plástico reciclado en Pisos Permeables.
- ✓ Pavimento permeable
- ✓ Concreto hidráulico.
- ✓ Mezcla Asfáltica
- ✓ ASTM C-127 Ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso.
- ✓ ASTM C-29 Método de ensayo de densidad bruta (peso unitario) y vacíos en los agregados.
- ✓ Prueba de infiltración con carga constante.

1.5.4 Procedimiento de Trabajo.

El plan consistió en un proceso sistemático de revisión bibliográfica, estudio de los criterios de diseño, formulación de los procesos constructivos, elaboración y análisis de resultados, como se detalla a continuación.

1.5.4.1 Recolección de Información Relacionada a la Investigación. Fuentes

Primarias. Las fuentes de información primarias utilizada para esta investigación se basa en información y estudios realizados por diversas instituciones y la empresa proveedora en el país lo que proporcionara una mayor ampliación en conocimiento:

- MP Consultoría y Construcción

Fuentes Secundarias

La información que se obtiene de la fuente primaria, se completa con datos útiles y relevantes de investigaciones previamente elaboradas, recalando que se utilizará para desarrollar las unidades de análisis. Algunas investigaciones se describen a continuación:

- “Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la zona oriental de El Salvador” Realizada en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador, El Salvador 2013.
- “Diseño, proceso constructivo y evaluación de un pavimento rígido de concreto permeable” presentada por Marlon Ebiezer Vigil Sánchez en la Universidad de El Salvador, escuela de Ingeniería Civil presentada en mayo de 2012.
- “Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano” Realizada en la facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá 2011.

1.5.4.2 Realización de Estudios. Se realizaron visitas de campo en cada fase de los procesos constructivos del piso permeable con plástico reciclado y material granular, durante la ejecución del proyecto en la ubicación descrita anteriormente, examinando cada uno de los indicadores de la investigación. Dentro de los cuales se encuentran los estudios para caracterización de los materiales:

Pruebas de laboratorio para agregados del sistema de piso permeable.

AGREGADOS GRUESOS

- ASTM C-127 Método de ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso.
- ASTM C-29 Método de ensayo de densidad bruta (peso unitario) y vacíos en los agregados.
- Ensayo de permeámetro de carga constante.
- **Selección de las estructuras de los tipos de pavimentos, basados en las Guías de diseño AASHTO 93, para el análisis de costos.**

Tabla 2. Espesores de capas de los pavimentos.

<p>Pisos permeables con rejillas de plástico y material granular.</p> <ul style="list-style-type: none">• Capa de rodadura: 3.8 cm• Base: 25 cm <p>Concreto permeable.</p> <ul style="list-style-type: none">• Capa de rodadura: 15 cm (con 15 % de vacíos)• Base: 40 cm <p>Concreto hidráulico.</p> <ul style="list-style-type: none">• Capa de rodadura: 18 cm• Base: 20 cm <p>Carpeta Asfáltica.</p> <ul style="list-style-type: none">• Capa de rodadura: 7 cm• Base: 20 cm• Subbase: 20 cm <p>Adoquinado:</p> <ul style="list-style-type: none">• Capa de rodadura: 10 cm• Capa de arena: 3 cm• Base: 20 cm

Fuente. Elaborado por grupo de tesis.

ASPECTOS DE ESTUDIO

- **ECONOMICOS**

Mediante la realización de estimación de costos y mantenimiento para cada pavimento.

- **TÉCNICOS**

Enfocados a las características técnicas de diseño en espesores del sistema de rejillas así mismo de los demás pavimentos.

- **AMBIENTALES**

Mediante la comprobación de que el sistema de rejillas en pisos permeables es capaz de reducir impactos ambientales.

Tabla 3. Aspectos de estudio.

Tipo de pavimento	Aspecto		
	Económico	Técnico	Ambiental
Rejillas de Plástico en Pisos Permeables.	Costo Inicial para cada pavimento	Topografía (límites de pendientes transversales y longitudinales).	Contenido de vacíos.
Concreto permeable	(construcción). Mantenimiento	Composición de estructura necesaria.	Permeabilidad en pavimento.
Concreto hidráulico	mediante vida útil estimada.		Afectación en aspectos
Mezcla asfáltica		Materiales.	ambientales.

1.5.4.3 Obtención de Resultados. La etapa cuenta con la depuración de los datos obtenidos en las visitas de campo y los estudios realizados a la obra; por tanto es posible generar análisis comparativos entre el concreto permeable y el sistema de rejillas en pisos permeables; así mismo casos como lo son: pavimento rígido, pavimento flexible, obtendremos resultados en aspectos ambientales, técnicos y económicos; por medio de la realización de los diferentes estudios descritos y la recopilación en fuentes de información para completar todos los objetivos planteados en la presente investigación.

1.5.4.4 Conclusiones. Fase final de la investigación, donde después de la verificación de los datos obtenidos; se realizó las conclusiones y recomendaciones sobre el sistema de “Pisos Permeables Con Rejillas De Plástico Reciclado Y Material Granular Como Alternativa De Construcción Sostenible En El Salvador”, tomando en cuenta todos los objetivos propuestos en el inicio de la investigación y las posibles consideraciones y recomendaciones que el estudio de la investigación demanda.

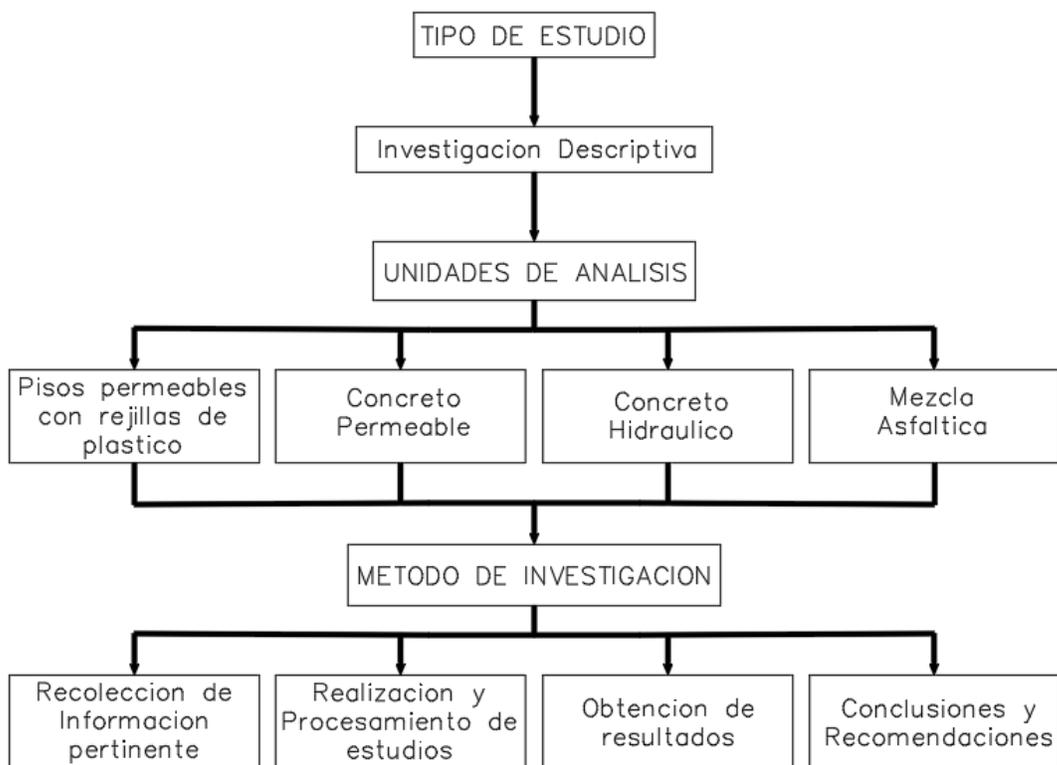


Figura 5. Proceso de metodología.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Pisos Permeables.

Los pisos permeables son superficies que, al mismo tiempo que son aptas para el paso de peatones o de tráfico rodado, permiten al agua la filtración vertical a su través, abriendo la posibilidad a que ésta se infiltre en el terreno pudiendo recargar los acuíferos o bien sea captada y retenida en capas sub-superficiales para su posterior reutilización o evacuación.

Con las superficies permeables, además de atenuar el caudal de escorrentía también se mejora la calidad del agua debido a la eliminación de aceites, grasas, metales, sólidos en suspensión que suelen estar presentes en el agua lluvia transportada después de arrastrarlos del pavimento.

Los pisos permeables se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la capa más inferior, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado.



Figura 6. Estructura en campo de un piso permeable.

Fuente: sudsostenible.com

2.1.2 Pavimentos.

Son estructuras de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos:

- ✓ Con seguridad
- ✓ Con el costo óptimo de operación
- ✓ Superficie uniforme
- ✓ Resistencia a la repetición de cargas
- ✓ Resistencia a la acción del medio ambiente

Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación.



Figura 7. Carretera de tierra.

Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños.

2.1.3 Construcción Sostenible.

El concepto de Construcción Sostenible está basado en el desarrollo de un modelo que permita a la construcción civil enfrentar y proponer soluciones a los principales problemas ambientales de la actualidad aplicando la moderna tecnología y creando edificaciones y proyectos que atiendan a las necesidades de sus usuarios de manera eficiente, ecológica y operativa, minimizando los impactos ambientales actuales en el sector de la construcción.



Figura 8. Muro perimetral utilizando materiales sostenibles.

Si analizamos a la construcción sostenible, esta implica temáticas tales como el diseño y la gestión de edificios, eficiencia de materiales, técnicas y procesos constructivos, eficiencia energética y de otros recursos, operación y mantenimiento del edificio, productos y tecnologías monitorización a largo plazo, respeto a normas éticas, entornos socialmente viables, participación ciudadana, seguridad y salud laboral, modelos financieros innovadores, mejora de las condiciones del entorno, llevándonos a seguir las pautas y avances en la inclusión de los principios generales del desarrollo sostenible.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 Generalidades sobre Pavimentos.

Un pavimento puede ser definido como una estructura que se diseña y se forma mediante un conjunto de capas construidas sobre el suelo de fundación, con la finalidad de ser utilizado como una superficie apta para el libre tránsito de vehículos de tipo liviano, pesado y comercial.

Los pavimentos sirven para fines estructurales, funcionales, y de seguridad, los cuales se detallan a continuación.

2.2.1.1 Finalidad de Tipo Estructural. El pavimento va a distribuir las cargas de las ruedas de los vehículos sobre áreas suficientemente amplias como para evitar tensiones (superiores a su capacidad) en la capa inferior del pavimento.

Las cargas de la rueda sobre la superficie del pavimento se aplican en un área reducida, causando grandes tensiones. Sin embargo, estas tensiones van disminuyendo con la profundidad: el nivel de tensiones disminuye desde la capa superior a la inferior en las estructuras de pavimento.

2.2.2 Carreteras Secundarias Según el Ministerio de Obras Públicas (MOP).

La sección tipo de diseño de estas carreteras es de 9.50 m, que corresponden a una superficie de rodamiento de 6.5m (3.25m por carril) y hombros de 1.5m.

A continuación, se presenta la tabla 4, en la que se indican las especificaciones que deben cumplir las Carreteras Secundarias, establecidas por el MOP.

Tabla 4. Clasificación De Carreteras Secundarias.

CLASIFICACIÓN SECUNDARIA			
CRITERIO DE DISEÑO	TERRENO	TERRENO	TERRENO
	PLANO	ONDULADO	MONTAÑOSO
Velocidad de diseño (Km/h)	80	70	50
Pendiente máxima (%)	5	6	8

Fuente MOP.

2.2.3 Pavimentos de Baja Intensidad de Tráfico.

El tráfico en este tipo de caminos está limitado (según la mayoría de metodologías de diseño) a valores máximos de 1 millón de repeticiones de carga equivalente a 8.2 toneladas en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento. Por lo que cualquier camino con valores de ESAL s menores o iguales a 1 millón es considerado de baja intensidad de tráfico.

2.2.4 Tipos de Pavimento.

Hoy en día los pavimentos pueden clasificarse de dos formas:

- ✓ Según la forma en que la estructura de estos atiende y transmite cargas aplicadas sobre su superficie.
- ✓ De acuerdo al material que compone su capa de rodadura

Según la forma en que la estructura de pavimento transmite las cargas aplicadas sobre él, estos se dividen en:

- ✓ Pavimentos rígidos
- ✓ Pavimentos flexibles

Según el material que compone su capa de rodadura los pavimentos pueden ser:

- ✓ Pavimentos permeables o modulares

✓ Pavimento de concreto hidraulico

✓ Pavimento de concreto asfaltico

2.2.5 Pavimento Permeable o Modular.

Son pavimentos, continuos o modulares, que dejan pasar el agua a su través. Permiten que esta se infiltre por el terreno o sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior reutilización, almacenamiento o evacuación. Si el firme se compone de varias capas, todas ellas han de tener permeabilidades crecientes desde la superficie hasta el subsuelo.

En resumen, analizando los distintos tipos posibles de firmes permeables, estos se pueden clasificar en dos categorías fundamentales según su pavimento permeable.

Por tanto, la clasificación propuesta (ver tabla 5) para las superficies permeables en función del tipo de pavimento permeable con el que estan contruidos se realiza en dos categorías fundamentales claramente diferenciadas:

Tabla 5. Clasificación de pavimentos permeables.

SEGÚN EL PAVIMENTO PERMEABLE		SEGÚN DESTINO AGUA
PAVIMENTOS PERMEABLES DISCONTINUOS	A. CÉSPED O GRAVA CON REFUERZOS	1. Infiltración
PAVIMENTOS PERMEABLES CONTINUOS	B. ADOQUINES CON RANURAS	2. Almacenamiento
PAVIMENTOS PERMEABLES CONTINUOS	C. MEZCLA BITUMINOSA POROSA	3. Drenaje diferido
PAVIMENTOS PERMEABLES CONTINUOS	D. HORMIGÓN POROSO	

2.2.5.1 Pisos Permeables con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular. Es el tipo de piso modular permeable formado de plástico reciclado que tiene su funcionalidad como una capa de rodadura; es una rejilla robusta (3.8 cm de espesor) fabricada con polipropileno reciclado post industrial y posee una resistencia hasta de 60 toneladas por metro cuadrado por tanto se recomienda para vías secundarias de baja velocidad, parqueos de bodegas industriales, caminos de terracería y muchas otras aplicaciones.

Los pavimentos permeables forman parte del conjunto de medidas que pueden llevarse a cabo para atender criterios de sustentabilidad ambiental en materia de construcción de infraestructura para el transporte, en particular los relacionados con la conservación, el aprovechamiento y manejo de las aguas lluvias.

El piso permeable con plástico reciclado y material granular que se aborda en el documento, es de tipo modular, que permite el paso del agua, evacuando el agua por medio de la superficie de rodadura. El escurrimiento es captado y retenido en su espesor, para su posterior conducción o infiltración si el terreno de subrasante lo permite.

Es un sistema compuesto por rejillas de plástico 100 % reciclado que se ensamblan entre sí y se rellenan con grava o pasto para lograr pisos o pavimentos firmes y permeables, para bajas velocidades con gran capacidad de carga o aplicaciones peatonales. Además, es una solución armónica con el paisaje arquitectónico.

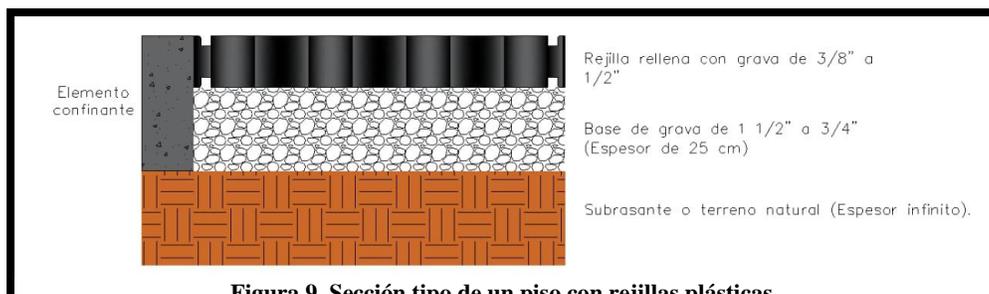


Figura 9. Sección tipo de un piso con rejillas plásticas.



Figura 10. Estacionamiento de nave industrial, Municipio de Soyapango, San Salvador.

Este tipo de pavimento permite usar materiales granulométricamente uniforme (alto porcentaje de vacíos) y que no pierda la capacidad soporte de la capa gracias al confinamiento tridimensional que aporta la rejilla, incluso en estado saturado.

El pavimento de concreto permeable es la competencia directa de este sistema de piso, y el objetivo de este sistema es generar zonas donde el agua se infiltre o se almacene amortiguando la cantidad de agua lluvia precipitada y aumentando los tiempos de concentración de la misma.

¿Cómo funcionan?

El agua pasa a través de la superficie hacia el material de relleno en la sub-base, esto permite el almacenamiento, tratamiento, transporte y la infiltración de agua. Tanto la superficie como la subbase del pavimento permite el paso del agua.



Figura 11. Gestión habitual del agua lluvia.

Grandes problemas actuales del drenaje.

- Desconexión de la planificación hidráulica con la urbanística: **problemas de cantidad.**

- Impacto en los medios receptores: **descargas de sistemas unitarios.**

Control de la cantidad de agua.

- Estos sistemas son una aplicación excelente para la reducción de cantidad de agua. El volumen de agua almacenado depende del volumen de huecos del relleno permeable o de la sub-base, y del área y la profundidad del material de relleno. El volumen de agua puede ser infiltrado a capas inferiores del suelo, evacuado por un desagüe subterráneo, o recogido para su posterior utilización.
- Por ejemplo, el sistema con una base de 25 cm de espesor y 46 % de vacíos puede almacenar 0.12 m^3 de agua en 1 m^2 ((Espesor) x (% de vacíos) x (área) = $0.25 \text{ m} \times 0.46 \times 1 \text{ m}^2$).

El sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular como una oportunidad al cambio de paradigmas.

El drenaje convencional puede dar lugar a una gestión ineficiente (económica y ambientalmente).

Existen maneras alternativas de gestionar el agua lluvia en los proyectos de un modo más holístico e integrado



Figura 12. Formas de gestión de la escorrentía superficial.

Filosofía de sistema de sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.

Es una técnica de gestión de aguas pluviales en las construcciones que persigue reproducir o restituir los procesos hidrológicos previos al desarrollo (infiltración, almacenamiento, etc.) integrando estratégicamente elementos de control de escorrentía.

Obstáculos en la transición.

- Insuficiente conocimiento de la construcción de estos sistemas
- La legislación no adopta con suficiente rapidez el avance en materia de nuevas alternativas constructivas.
- Escepticismo respecto del funcionamiento y eficacia del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.
- Aceptación y entendimiento por parte de los propietarios.

2.2.5.2 Aplicaciones del Sistema de Piso Permeable con Pejillas de Plástico Reciclado y Material Granular. Se describe el funcionamiento del sistema de rejillas para pisos permeables cuenta con una capa subyacente de material grueso triturado (grava) que funciona como reservorio, recoge las aguas lluvias y las almacena hasta que se infiltren en el subsuelo. El uso de este sistema de pavimento requiere del análisis de las condiciones a las cuales se encontrará sometido con el fin de prever el comportamiento del mismo mediante simulaciones de laboratorio.

Superficies de rodadura.

El sistema de rejillas de plástico con material granular puede ser utilizado como una superficie de rodadura para estacionamientos vehiculares o pequeños tramos de vías carreteras.

El uso proyectado en El Salvador tiene varias aplicaciones. Esto debido a tres factores:

1. El Salvador frecuentemente ocurren muchas tormentas que producen una rápida acumulación de Volúmenes de agua lluvia, el uso del Piso Permeable reduce el volumen de esorrentía.
2. El agua retenida en el sitio recarga los mantos acuíferos; y
3. El costo efectivo de utilizar el sistema de rejillas para pisos permeables respecto a pavimentos convencionales es altamente mejorado con la disminución o eliminación de algunos materiales como el cemento o alcantarillado de agua lluvia.

Estacionamientos vehiculares.

El concepto de utilizarlo para estacionamientos vehiculares es de aprovechar la gran cantidad de agua lluvia precipitada y además de la esorrentía al área adyacente del lugar de estacionamiento.



Figura 13. Superficie de piso con rejillas plásticas y material granular.

¿Cuándo utilizar pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular?

La utilización de sistemas permeables es una práctica que permite la gestión de aguas lluvias, reduciendo la escorrentía superficial y en ocasiones la necesidad de alcantarillados de gran magnitud a pesar de ello es un sistema que presenta ventajas e inconvenientes como cualquier otra alternativa constructiva.

- Permite el paso natural de la corriente de agua, permite que ésta vaya directamente hacia el subsuelo.
- Elimina el encharcamiento superficial.
- Contribuye a una economía circular cerrando los ciclos de los productos.
- Apoya la conservación de recursos.
- Reduce y optimiza los requerimientos de drenaje en la construcción.
- Su costo de construcción es bastante competitivo.
- Ayuda a mejorar la recarga del agua subterránea y el crecimiento de árboles y vegetación, además de favorecer la aireación del suelo.
- Aporta puntos en la certificación LEED.
- Atenúa los picos del caudal de escorrentía, generados por el agua lluvia en áreas urbanas impermeables.
- Reduce de forma notable la temperatura de las superficies.



Ventajas

- Solo se puede utilizar en vialidades de bajo volumen de tránsito.
- Su construcción depende del suelo donde se implantará la obra, pues de ello dependerá si el agua captada será: infiltrada al terreno natural y alimentar las reservas subterráneas, almacenada o dirigida a los sistemas de alcantarillado pluvial.
- No es recomendable situarlos en superficies expuestas a derrames de aceites, aguas negras, etc., debido a que existe el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. (A menos que se realice un estudio concreto y se asegure que la calidad del agua, al ser infiltrada en el sistema es apta para ser mezclada con la del acuífero) **
- No se recomienda su construcción en suelos con pendientes altas.
- Pérdida de permeabilidad en el tiempo, debido a que se van saturando los espacios vacíos con material fino.
- No se pueden utilizar donde haya arrastre superficial de grandes cargas de sedimentos y que no recoja agua lluvia de zonas impermeables adyacentes.
- A largo plazo si no hay mantenimiento, existe riesgo de crecimiento de hierbas y obstrucciones.

Inconvenientes



Efectos de islas de calor.

El planeta tierra en su totalidad tiene su albedo promedio de 0.35 lo que significa que de toda la energía solar recibida, dicho porcentaje es reflejado de regreso a la atmósfera y solamente un 65% es absorbido, dando como resultado que la temperatura promedio en la tierra sea de 15°C (según David Shukman, editor de Ciencia BBC News), de lo cual es el responsable el alto albedo de los hielos polares, que juegan un importantísimo papel en mantener un buen balance de la apertura terrestre.

La situación anterior puede ser revertida y el calentamiento global disminuido si utilizáramos más superficies reflectivas, tales como techos blancos y superficies de concreto blanco, obviamente utilizando pavimentos de concreto o considerando la innovación como el sistema de rejillas de plástico para pisos permeables.

Científicos de la Universidad de Berkeley (USA) compararon el albedo de los pavimentos de concreto que es del 10 al 15% con el correspondiente de los pavimentos asfálticos y comprobaron que los pavimentos de concreto presentan una reducción de emisiones de CO₂ de 25 a 38 Kg/m² del área pavimentada.

La baja absorción de las superficies claras, tales como las de concreto hidráulico contribuyen a reducir la temperatura de las “islas de calor”, que es el término con el que se conocen las áreas urbanizadas. La figura 14 muestra los efectos de las denominadas “islas de calor”, donde el alto consumo de energía de los edificios de comercio y oficinas, unidos al aire acondicionado, alumbrado y circulación de vehículos en las ciudades, provocan altas temperaturas, formación de “smog” y contaminación ambiental.

El piso permeable contribuye a evitar el efecto de las “islas de calor” debido a la reflectividad y ayuda a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

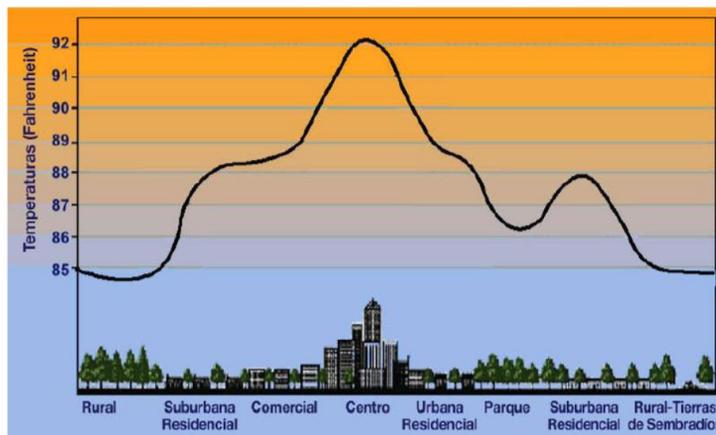


Figura 14. Sección transversal típica de una ciudad mostrando como son generalmente las temperaturas.

Fuente: Lisa Gardiner/Ventanas al Universo, Laboratorio Nacional de Lawrence Berkeley.

2.2.6 Concreto Permeable.

El termino Concreto Permeable, típicamente se describe como un concreto sin revenimiento (asentamiento), material con granulometría abierta que consiste de cemento portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivo y agua. La mezcla de estos ingredientes produce un material endurecido con alto contenido de poros interconectados con tamaños promedios de 2 a 8 mm que permite que el agua pase fácilmente a través de su estructura porosa. El contenido de vacío puede variar de 18 a 35%, con esfuerzos a la compresion de 2.8 a 28 Mpa (400 a 4000 psi). La tasa de drenaje del concreto permeable varía con el tamaño del agregado y densidad de la mezcla, pero el rango generalmente está entre 81 y 730 litros/minutos/m².

La preocupación en la reducción de contaminantes en los suministros de agua y el medio ambiente ha ido creciendo en los últimos años. En 1960, los ingenieros concluyeron que el escurrimiento tiene el potencial de contaminar los suministros de aguas superficiales y

subterráneas. Así como las zonas se desarrollan (urbanizaciones, industria, etc.), el escurrimiento fluye en volúmenes y tasas más altas, dando lugar a inundaciones aguas abajo erosionando los suelos. El pavimento de concreto permeable reduce el impacto del desarrollo mediante la reducción de las tasas de escurrimiento y la protección de los suministros de agua.

El concreto permeable correctamente utilizado constituye un medio drenante y permite su movimiento por los vacíos que se encuentran entre los agregados por la falta de arena en la mezcla.



Figura 15. Pavimentación de concreto permeable en ex-casa presidencial, El Salvador.

La baja densidad del material originada por el alto contenido de vacíos (18-35% de volumen de vacíos) permite reducir la temperatura de la masa de concreto por difusión.

Los ensayos tradicionales en la evaluación del concreto, como revenimiento o contenido de aire, no son aplicables al concreto permeable.

2.2.6.1 Tasa de Filtración. Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para que filtre el agua a través de su matriz. La tasa de percolación en el concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos y el tamaño de los poros. Las pruebas han demostrado según Meininger, que un contenido de vacíos de al menos 15% es requerido para lograr una filtración significativa. Para una porosidad de 20 a 25%, el coeficiente de permeabilidad se reporta que es de aproximadamente 0.01 m/s (Brite/Informe Euram 1994). En otro estudio (Nissoux et al. 1993) se informa de una permeabilidad de 36 L/m²/s.

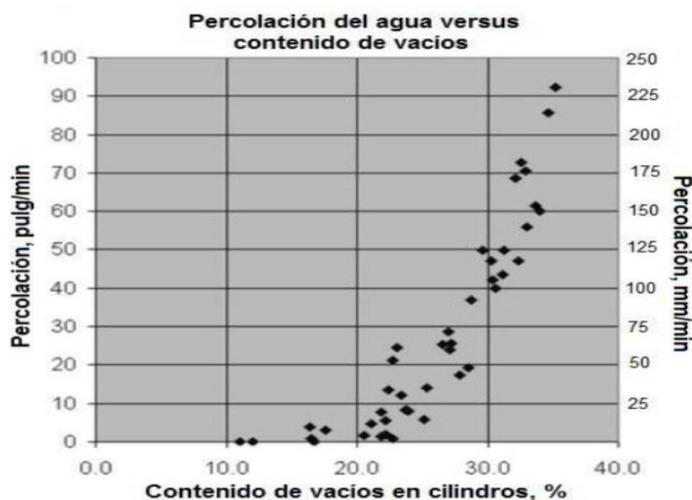


Figura 16. Percolación versus Contenido de Vacíos en cilindros.

Fuente: Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

La figura 16, (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que la tasa de filtración aumenta a medida que aumenta el contenido de vacíos y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión.

2.2.6.2 Ventajas, Inconvenientes y Desafíos. Las ventajas de los pavimentos de concreto permeable sobre los pavimentos de concreto convencional según el comité ACI 522 son:

- ✓ Controlar la contaminación que arrastra la corriente en las aguas lluvias
- ✓ Incremento de las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua
- ✓ Controlar la escorrentía de aguas lluvias
- ✓ Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras
- ✓ Reduce el deslumbramiento sobre la superficie de rodadura en gran medida particularmente cuando está mojado por la noche
- ✓ Permite que el aire y el agua lleguen a las raíces de los árboles, aun cuando el pavimento esté dentro de la línea de goteo.

La dosificación de los componentes del concreto permeable crea una estructura abierta que permite el paso libre del agua y el aire. Ciertos tipos de pavimento permeable permiten drenar desde 1.35 hasta 12.17 litros por segundo por metro cuadrado, que es mucho mayor a las aguas lluvias más fuertes, lo cual genera una ventaja en la evacuación rápida del agua.

Entre los inconvenientes y desafíos a superar están:

- ✓ Uso limitado para zonas de tráfico de vehículos pesados.
- ✓ Prácticas de construcción especializadas
- ✓ Tiempo de curado extendido
- ✓ Sensibilidad al contenido de agua y control del concreto fresco
- ✓ Cuidado y atención especial en el diseño para algunos tipos de suelos como los expansivos y susceptibles a heladas, además los suelos con una muy baja permeabilidad

- ✓ Falta de métodos de ensayo estandarizados
- ✓ Atención especial que puede exigirse con la calidad del agua subterránea
- ✓ Periodo de vía corto
- ✓ Atención especial al diseño y construcciones necesarios
- ✓ No deberá utilizarse en zonas de protección de pozos o zonas de recarga de acuíferos para abastecimiento de agua; ya que la escorrentía puede afectar la calidad del agua (dependerá del entorno y del uso. Por ejemplo si filtraran aceites o líquidos que perjudiquen los mantos acuíferos).

2.2.6.3 Diseño Estructural. En la determinación del espesor de la sección de un pavimento permeable, dos análisis importantes deben llevarse a cabo: uno para adecuación estructural y el otro para las características hidráulicas. Estas dos características influyen entre sí y ambos deben abordarse con sumo cuidado.

Subrasante y subbase: la subrasante es el suelo por debajo de la subbase. La subbase es el conjunto instalado por debajo de la capa de rodadura del pavimento. La subbase proporciona soporte vertical, capacidad de almacenamiento y capacidad de filtración para el tratamiento de contaminantes.

Algunos suelos pueden proporcionar suficientes drenajes y apoyo por lo que la subbase puede ser opcional. Si el apoyo, la capacidad de drenaje o las capacidades de filtración están expuestas a los ciclos de hielo y deshielo, la subbase actúa como aislante y proporciona un importante retraso en la formación de hielo por debajo del pavimento permeable.

Incrementando la rigidez de la subrasante y de la subbase, aumenta la capacidad de carga de un determinado sistema de pavimento. La rigidez de la subrasante puede ser medida por el Modulo de Reaccion de la Subrasante “k” (mediante el Ensayo de Placa de Carga), el California Bearing Ratio (CBR) ver Tabla (6), o por otros métodos menos comunes. ACI 330R proporciona la rigidez típica. Los valores para los distintos tipos de suelo y proporciona las correlaciones entre los valores calculados por los distintos métodos.

Tabla 6. Tipos de suelos y Valores medios de sus capacidades.

TIPO DE SUELO	RESISTENCIA		VALOR DE k x
	DE LA SUBBASE	CBR %	10 ⁻⁶ (Kg/cm ²)
Suelos finos con arena, en los cuales predomina arcilla y limo.	BAJO	3 - 6	1620 - 2430
Arenas mal graduadas y suelos predominantemente arenosos con moderadas cantidades de limo y arcilla.	MEDIO	30 - 45	2430 - 3560
Gravas, arenas bien graduadas y arenas con gravas relativamente libres de finos plasticos.	ALTO	MAS DE 45	MAS DE 3560

Fuente: De la Fuente Lavalle, Eduardo. — Suelo-cemento. Usos, Propiedades y Aplicaciones IMCYC, 1995,

Cuanto más se compacta el suelo, será menos permeable. Por esta razón, las subrasante generalmente son compactadas a una densidad más baja que las de pavimentos tradicionales de

concreto o asfalto. El grado de compactación típicamente es del 90% de la densidad máxima seca del método de ensayo Proctor Estándar, El Módulo de Reacción de la subrasante utilizado en el diseño debe tener en cuenta para el menor de compactación.

La ASTM D1883-07 define un método de laboratorio para determinar el CBR de un suelo que incluya una opción para saturar la muestra de suelo en agua durante 96 horas antes de la prueba. Esta opción debe ser utilizada para las pruebas de suelos de grano fino que se compactan conforme a lo anterior ver tabla (7), es decir al 90% o del criterio de compactación establecido en especificaciones.

Tabla 7. Valores de densidades secas, CBR y Módulo de Reacción “K” para distintos tipos de Suelos

Clasificación AASHTO	Descripción	Clasificación SUCS	Densidad seca (lb/pie³)	CBR (%)	Valor de K (psi/pulg)
SUELOS DE GRANO GRUESO					
A – 1 – a, Bien graduada.		GW	125 – 140	60 – 80	300 – 450
A – 1 – a, Pobrementemente graduada	Grava	GP	120 – 130	35 – 60	300 – 400
A – 1 – b	Arena gruesa	SW	110 – 130	20 – 40	200 – 400
A – 3	Arena fina	SP	105 – 120	15 – 25	150 – 300
A – 2 SUELO (Material Granular con abundante partículas finas)					
A – 2 – 4, Gravoso	Gravas con limos	GM	130 – 145	40 – 80	300 – 500

A – 2 – 5, Gravoso	Grava gruesa con limos				
A – 2 – 4, Arenoso	Arenas con limos	SM	120 – 135	20 – 40	300 – 400
A – 2 – 5, Arenoso	Arenas gruesas con limos				
A – 2 – 6, Gravoso	Grava con arcilla	GC	120 – 140	20 – 40	200 – 450
A – 2 – 7, Gravoso	Arena gruesa con arcilla				
A – 2 – 6, Arenoso	Arena con Arcilla	SC	105 – 130	10 – 20	150 – 350
A – 2 – 7, Arenoso	Grava con arena y arcilla				
SUELOS FINOS					
A – 4	Limos	ML	90 – 105	4 – 8	25 – 165*
	Limos/Arenas y mezcla de grava	OL	100 – 125	5 – 15	40 – 220*
	Limo				
A – 5	pobrementemente graduado	MH	80 – 100	4 – 8	25 – 190*

A - 6	Arcilla plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 - 225*
	Arcilla				
A - 7 - 5	moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 - 215*
	Arcilla				
A - 7 - 6	altamente plástica	CH, OH	80 - 110	3 - 5	40 - 220*

Fuente: Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1998.

Al especificar la comparación para el diseño estructural, se debe considerar el efecto de la compactación que tiene sobre las propiedades hidráulicas de diferente suelo. Compactando ciertos suelos arcillosos al 90% puede causar una gran reducción en la permeabilidad, mientras que el grado de compactación de casi 100% en los suelos arenosos puede no tener ningún efecto. Es importante, por lo tanto, examinar cuidadosamente los suelos presentes en cada proyecto, tanto para capacidades estructurales y de drenaje antes de especificar un grado de compactación. De igual importancia son necesarias las pruebas de campo de la subrasante y subbase para la permeabilidad después de la compactación para confirmar que todavía se ajustan a los cálculos realizados para el diseño estructural e hidráulico del lugar.

Los suelos expansivos son aquellos que cambian su volumen en presencia de un contenido de humedad. Los suelos expansivos pueden ser estabilizados por el tratamiento químico o mediante el desalojo de sus capas superiores restituyendo dicho corte por un suelo no expansivo. La profundidad de la restitución del suelo o la estabilización del suelo debe ser seleccionada para proporcionar una superficie estable que exceda la presión generada por el suelo expansivo. Con la estabilización con cal, la permeabilidad de un suelo arcilloso se

incrementa rápidamente. Los suelos con altos contenidos de arcilla y aquellos compactados en el lado óptimo seco tienden a mostrar mayores incrementos en la permeabilidad con el tratamiento con cal.

2.2.6.4 Diseño Hidrológico. Para el diseño de sistemas de un pavimento permeable se debe tener en cuenta dos condiciones posibles para que no ocurra escorrentía superficial en exceso en el evento de lluvia debido a:

- ✓ Baja permeabilidad del pavimento permeable.
- ✓ Almacenamiento inadecuado previsto en el sistema de concreto permeable.

La permeabilidad en general no es una limitación o una función crítica de diseño. La permeabilidad del concreto permeable y cualquier capa de base subyacente serán mucho mayores que la constante de infiltración de casi todos los suelos, siempre y cuando la superficie del pavimento esté adecuadamente mantenida.

Una porosidad en el sistema del pavimento permeable tendrá una permeabilidad de 143 L/m²/min, el cual es equivalente a una tasa de filtración de 8600 mm/h, valor mucho mayor que cualquier tasa de permeabilidad de un suelo.

2.2.7 Adoquines.

Los adoquines de concreto son los elementos macizos, prefabricados, de espesor uniforme e iguales entre sí, con forma semi-prismática tal que al colocarlos sobre una superficie encajen unos con otros de manera que solamente queden juntas entre ellos.

La historia de los pavimentos de adoquines se confunde con la historia del primer pavimento que se construyó, con superficie limpia y duradera, hace unos 25 siglos; el empedrado. Su aparición se debió a la necesidad sentida por el hombre de tener vías durables, que permitieran el desplazamiento rápido y seguro por ellas en cualquier época del año.



Figura 17. Camino vehicular pavimentado con adoquines.

A medida que se fueron refinando los carros de tracción animal se buscó una superficie de rodadura más continua que permitiera un tránsito más cómodo; para lograr esto se abandonó la práctica de colocar las piedras en estado natural y se comenzó a tallarlas en forma de bloques para obtener un mejor ajuste entre ellas.

Se pueden utilizar en andenes, zonas peatonales y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal; en vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; en zonas de carga, patios de puertos, etc.

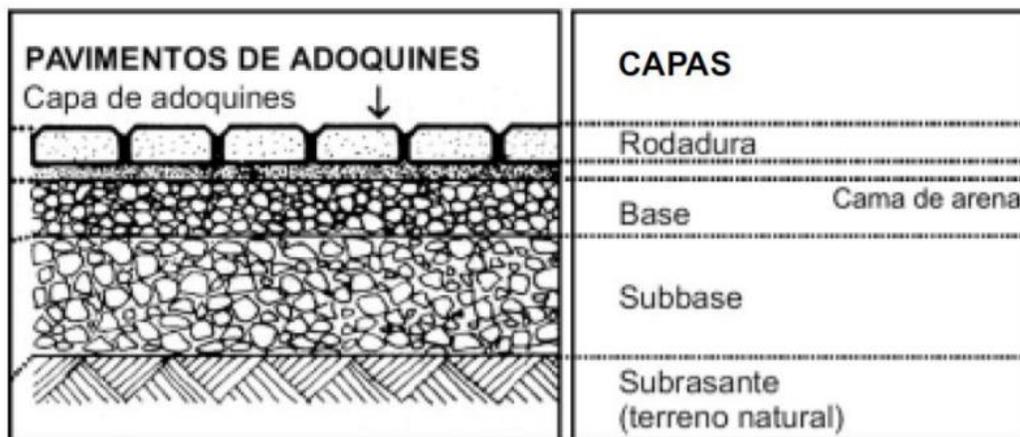


Figura 18. Estructura de pavimentos de adoquines.

2.2.7.1 Ventajas del Pavimento de Adoquines. Proceso de construcción: los adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto, su calidad se controla en fábrica; el proceso constructivo de un pavimento de adoquín no refleja mayores dificultades ya que no intervienen procesos térmicos ni químicos, ni periodos de espera.

- ✓ Desde el punto de vista estructural, los pavimentos con adoquines de concreto constituyen un caso intermedio entre los pavimentos rígidos y los flexibles; con respecto a estos últimos fundamentalmente en lo que se refiere a las propiedades de distribución de tensiones y desarrollo de deformaciones.

- ✓ Es utilizado como pavimento articulado para tráfico vehicular o peatonal; puede ser recuperado y reutilizado cuando sea necesario ejecutar obras subterráneas como instalaciones de ductos, tuberías.

2.2.7.2 Limitantes del Pavimento de Adoquines de Concreto. Si la capa de adoquines queda bien colocada sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, el pavimento de adoquines no es recomendable usarlo como canal colector de aguas.

- ✓ Los pavimentos de adoquines nunca se deben someter a la acción de un chorro de agua a presión. Si esto se hace intencionalmente puede ocasionar la pérdida del sello de las juntas, por lo cual no se recomienda para zonas de lavado de automóviles.
- ✓ Por estar compuestos por un gran número de piezas, el tráfico sobre un pavimento de adoquines genera más ruido que sobre los otros tipos de pavimento, e introduce mayor vibración al vehículo; por estas razones no es aconsejable para velocidades superiores a los 80 km/h.

2.2.8 Pavimento Rígido.

Comúnmente se emplea el término “pavimento rígido” para las superficies de rodamiento construidas con concreto de cemento portland. Un pavimento construido con concreto hidráulico posee una considerable resistencia a la flexión, lo cual le permite trabajar como una viga tendiendo un puente sobre las pequeñas irregularidades de la subbase o terracería sobre la cual descansa.

La capa de rodadura de estos pavimentos la integran una serie de losas que trabajan en conjunto, distribuyendo las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores.

La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto.

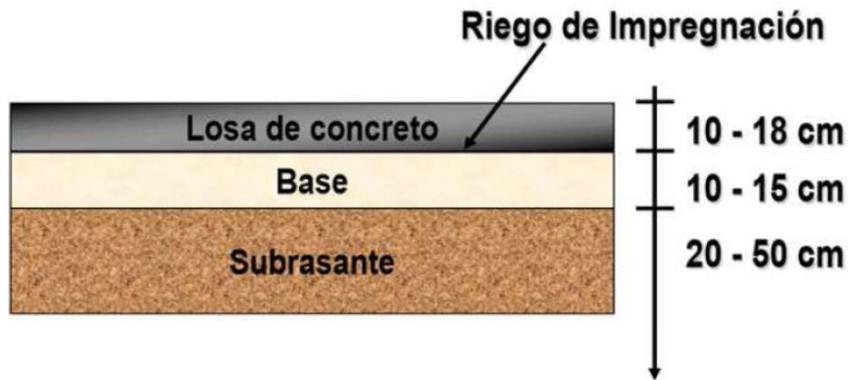


Figura 19. Sección transversal de una Estructura de un Pavimento Rígido.

- **Subrasante.**

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. por consiguiente, el diseño de pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de subrasante.

- **Base.**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. Esta debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y controlador de ascension capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

- **Losa de concreto.**

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

2.2.8.1 Tipología de Pavimentos Rígidos. Pavimentos de concreto hidráulico simple.

En este pavimento el concreto asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad. Este pavimento puede llegar a contener elementos de transferencia de carga, o bien no contenerlos, cada uno con su área de aplicación.

- **Sin elementos de carga o simples.**

Estos pavimentos han sido de aplicación común en el país tanto para el tráfico ligero, como para tráfico pesado (altas solicitaciones), clima templado sugiriendo para condiciones severas de tráfico y clima un cimiento granular y/o tratado, para aumentar la capacidad, soporte y mejorar la transmisión de carga.

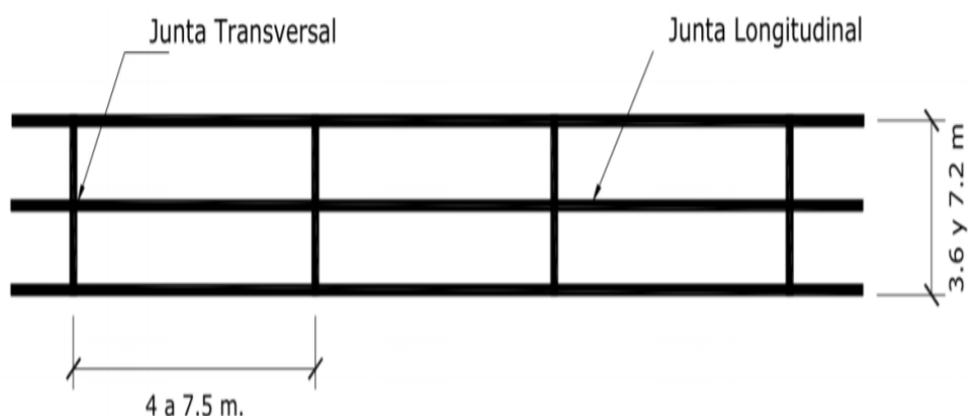


Figura 20. Juntas sin elementos de transferencia de carga.

- **Con elementos de transferencia de carga o dovelas.**

Pequeñas barras de acero, que se colocan en la sección transversal, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa continua, mejorando las condiciones de deformación de juntas, evitando los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento).

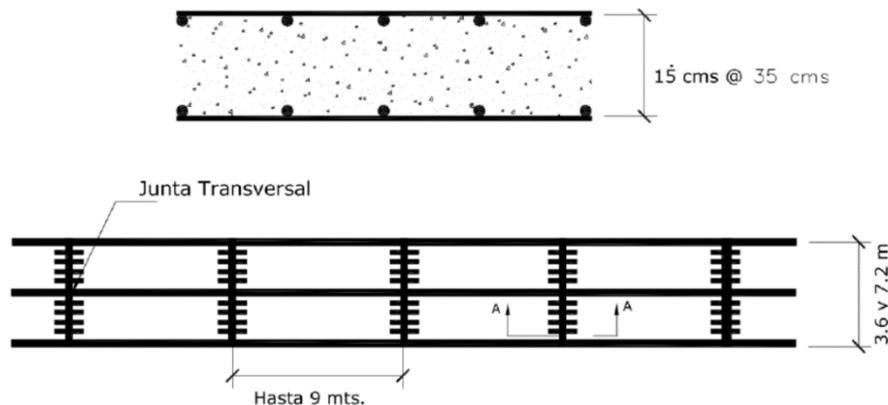


Figura 21. Juntas con elementos de transferencia de carga o dovelas.

2.2.8.2 Ventajas. Mayor vida útil; aproximadamente 20 años mínima.

- ✓ La calidad de la superficie se mantiene por muchos años, y básicamente se conserva la estructura del pavimento.
- ✓ Resiste ataques químicos (aceites, grasas, combustibles)
- ✓ Mayores resistencias mecánicas y a la abrasión; la resistencia mecánica de los materiales aumenta con la edad
- ✓ Se requiere poca conservación. Ello permite el flujo de tránsito por mayores periodos
- ✓ Como función de la textura superficial, mayor resistencia al desplazamiento
- ✓ Mantiene casi íntegra la capa de rodamiento, no es tan sensible a la intemperie
- ✓ Mayor distancia de visibilidad horizontal, proporcionando mayor seguridad.

2.2.9 Pavimento Flexible.

Es una estructura que soporta cargas debidas al tránsito y las distribuye a la subrasante; su estabilidad depende de las características de los materiales y los espesores de las capas que lo constituyen.

2.2.9.1 Estructura Básica del Pavimento. El pavimento flexible estructuralmente está conformado por los siguientes elementos:

- **Base:**

Es una capa de material que puede ser granular la cual está conformada por piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; también puede ser una base estabilizada la que está construida con cemento Portland, cal o materiales bituminosos. Éstas deben tener suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie arriba de ella y transmitir a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una sub base o una sub rasante.

- **Sub-base:**

Capa de material cuya función es transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante de manera adecuada y además constituir una transmisión entre los materiales de la sub-base y la sub-rasante, de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales, disminuir los efectos perjudiciales en el pavimento ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación, reducir el costo de pavimento ya que es una capa que por estar bajo la base queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de menor costo generalmente encontrados en la zona.

- **Capa de rodadura:**

Es una capa o un conjunto de capas que se colocan sobre la base y está constituida por material pétreo mezclado con algún producto asfáltico (cemento asfáltico, asfalto líquido, emulsión asfáltica). La función principal de la carpeta, consiste en proporcionar el tránsito una superficie estable, uniforme, impermeable y de textura apropiada.

- **Carpeta asfáltica:**

Es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con un producto asfáltico (asfalto) y material pétreo seleccionado (agregados) dependiendo del tipo de camino que se va a construir

Debido a que esta es la parte que está mayormente expuesta al intemperismo y a la interacción directa con el tráfico, es la que se ve dañada más severamente y por lo que usualmente necesita con mayor frecuencia un cuidado especial y que generalmente cubren las distintas clases de mantenimiento.

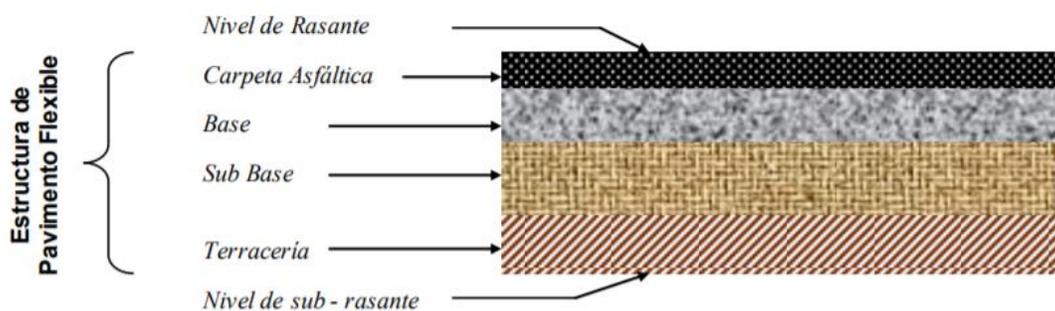


Figura 22. Estructura de pavimento flexible.

2.2.9.2 Asfalto. El Asfalto es un material termoplástico, el cual es muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo crudo. Esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla muy compleja de estructuras químicas complicadas. Sin embargo, este es un material de suma importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, y sobre todo por el bajo costo ya que, como se menciona, es el residuo en el proceso de refinación del petróleo.

Tabla 8. Tipología de mezclas asfálticas.

TIPOLOGIA DE MEZCLAS ASFALTICAS	
TIPO	CARACTERÍSTICAS
Mezcla asfáltica en caliente	Combinación de un ligante hidrocarburado, agregados incluyendo el polvo mineral y eventualmente, aditivos. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente, se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos.
Mezcla asfáltica en frío	Mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas. Se caracterizan por su trabajabilidad ya que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias.

2.2.10 Impactos Medioambientales en la Construcción.

La industria de la construcción ha tenido alta influencia en el desarrollo de las naciones, tanto en sus estructuras económicas como en el bienestar de su comunidad. Sin embargo, inherente a sus acciones y a su actividad económica, la industria de la construcción se encuentra continuamente en interacción con el medio ambiente teniendo como propiedad el respeto y la conservación del mismo.

El desarrollo económico de los países y de la sociedad es producto de un importante aporte de la industria de la construcción, ya que por medio de ella se materializan sueños de familias, de empresarios y de la sociedad en general. Se plantea que el sector de la construcción tiene enorme influencia sobre la actividad económica, empleo y tasas de crecimiento.

Considerando las ciudades como ecosistemas vulnerables a las acciones económicas, sociales, culturales y ambientales, estas se configuran como focos de contaminación del medio ambiente, dada la carga que soportan en términos de población, disminución de recursos e industria en general, es así como en un marco de sostenibilidad, la industria de la construcción tiene un reto y responsabilidad de incluir la gestión ambiental en la cadena de valor de sus desarrollos constructivos, prestando especial atención al consumo excesivo de los recursos mundiales como uno de los componentes principales del punto de partida de todo desarrollo.

2.2.10.1 Impactos Ambientales en el Medio Abiótico. La industria de la construcción asociada al desarrollo de los países, la generación, mejora y transformación de estructura, indudablemente busca satisfacer las necesidades que la sociedad presenta.

De otro lado, su gestión ambiental tiene como objetivo dar tratamiento a los impactos o cambios, ya sean adversos o beneficiosos, derivados de las diferentes prácticas en las distintas etapas del desarrollo de una construcción (ISO 14001, 2004).

En este contexto se resaltan los aspectos del medio humano y natural y sus interacciones con los proyectos de construcción.

La industria en mención incluye varias fuentes de contaminación que se pueden enmarcar en los distintos aspectos e impactos propios del sector económico y que modifican el componente abiótico de los ecosistemas, es decir, el suelo, el aire y el agua.

- **El Suelo.**

Presenta alteración fundamentalmente por los residuos, ya sean sólidos, líquidos y/o peligrosos, generados en la industria y que están asociados a actividades de desmonte, limpieza, descapote, excavaciones, demoliciones, obras hidráulicas y construcción de vías o estacionamientos, entre otras.

Se afirma que el vertido de desechos y escombros tiene numerosos efectos negativos en el medio ambiente, entre otros: contaminación, utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales. Por otra parte, el despilfarro de material, mano de obra y transporte que implican los residuos, tiene así mismo consecuencias negativas, puesto que eleva los costos finales de construcción.

En el curso final de la vida útil de la construcción, todos los materiales utilizados a menudo se convierten en escombros, es decir, que grandes cantidades (50%) se presentan en forma de materiales de desecho.

Los movimientos de tierra generan alteración en la morfología, la pérdida de cobertura vegetal, ocasionan procesos de erosión más rápidos y en ocasiones, cuando se usan explosivos para excavaciones en la industria de la construcción, se puede generar inestabilidad de los taludes lo que conlleva a un riesgo de deslizamientos y derrumbes que pueden generar tanto pérdidas en la infraestructura como pérdidas humanas.

- **El Aire.**

Sus alteraciones están asociadas al polvo, el ruido, las emisiones de CO₂ como consecuencias de, entre otras actividades, el uso de combustibles fósiles, uso de minerales, realización de excavaciones, corte de taludes y operación de máquinas y herramientas.

El aporte de la contaminación que el ruido hace al aire es producto, principalmente de la operación de máquinas y equipos utilizados en actividades de excavación, apertura de vías, transporte y descargue de materiales. Los elevados niveles de contaminación por ruido alteran a trabajadores y el entorno. En este sentido, se planea que el ruido producido por una obra de construcción puede afectar el derecho al silencio, la comodidad y la salud de los residentes y la población visitante, y puede influir en la actividad normal de las escuelas cercanas, hospitales y otros servicios, y que las primeras fuentes de ruido en una obra de construcción son martillos neumáticos, compresores, hormigoneras y maquinaria.

- **El Agua.**

El recurso hídrico está asociado a los movimientos de la tierra, excavaciones y eliminación de la cubierta vegetal, generando así alteración de los cuerpos de agua, que en ocasiones son atravesados por la construcción de vías y, en consecuencia, se presenta la modificación de los flujos y calidad de agua. El agua de lavado de las obras de construcción contiene una cantidad considerable de sólidos suspendidos, hecho que altera los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento.

2.2.10.2 Caracterización en el Medio Biótico. Si bien las distintas etapas y actividades de la industria de la construcción generan un impacto ambiental en el medio abiótico, es importante de la misma manera, observar el efecto que se presenta en el medio biótico, es decir en la flora y la fauna. Se conoce al medio biótico como el conjunto de organismos vivos (animales y plantas).

La caracterización de este impacto incluye la mirada de las ciudades como un ecosistema susceptible a ser transformado por la actividad humana, comprendida por medios naturales urbanos como las calles arborizadas, los parques, tales como regulación de gases, reducción de ruido y generación de cultura por el cuidado al medio ambiente, entre otros.

- **Flora.**

En los sitios tanto urbanos como rurales en donde se desarrollan los proyectos de construcción hay variedad de vegetación que se caracteriza, entre otros aspectos, por la existencia de pastizales matorrales, paisajes y conformación vegetal en general, que por acciones de la industria de la construcción resultan afectados.

En relación a la vegetación, se plantea que las actividades de construcción pueden dañar la vegetación en el sitio y sus alrededores; uno de los componentes fundamentales es el que representan los árboles, teniendo en cuenta la importancia de estos. Cabe recordar que pueden llegar a morir dada las actividades de compactación del suelo, aumento en el nivel del suelo, apertura de zanjas y trincheras, la remoción del suelo superficial y pérdida o daño de raíces.

- **Fauna.**

En las diferentes condiciones climáticas y geológicas se establecen especies animales que se adaptan a las condiciones específicas de los distintos sitios en donde se desarrollan proyectos de construcción.

Durante las diferentes etapas de construcción se presentan acciones como la construcción de madrigueras, nidos y dormitorios, que a su vez pueden provocar la muerte de animales, y, por ende, reducir o desaparecer los sitios de refugio de estos.

El fenómeno más representativo es, precisamente, la migración de especies animales y, por ende, la afectación del ecosistema. De igual forma, la operación y tránsito de vehículos y maquinaria pesada, al generar niveles importantes de ruido, producen ahuyentamiento en algunas especies como mamíferos y aves. Significa entonces, que la fauna, así como sucede con la flora, es susceptible a modificaciones que pueden alterar su vida de forma parcial o total.

2.2.11 Relación de la Construcción y el Desarrollo Sostenible.

Hay muchas definiciones e interpretaciones del desarrollo sostenible, la más citada es la del informe “Nuestro futuro común”, como informe Brundtland (1987), de la Organización de las Naciones Unidas que lo define como “aquel que garantiza las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (p.23).

En los últimos años, han surgido iniciativas a nivel mundial para que la industria de la construcción considere el respeto y la protección del medio ambiente en toda su cadena de valor. En el lenguaje que hoy se utiliza en el contexto de la sostenibilidad, se encuentran en términos como la construcción sostenible, construcción energética, edificios verdes y arquitectura pasiva entre muchos otros, que indican que la industria de la construcción tiene acciones concretas e interés en desarrollos que demuestran el compromiso con la conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO III: PROCESAMIENTO Y EJECUCIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN.

La investigación en general, considera la aplicación de un proyecto en el país del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular, el cual es de tipo modular, que permite el paso del agua, evacuando de la superficie de rodadura. El escurrimiento es captado y retenido en su espesor, para su posterior conducción o infiltración si el terreno de subrasante lo permite.

Es un sistema compuesto por rejillas de plástico 100 % reciclado que se ensamblan entre sí y se rellenan con grava o pasto para lograr pisos o pavimentos firmes y permeables, para bajas velocidades con gran capacidad de carga o aplicaciones peatonales, que deja pasar el agua al subsuelo nutriendo directamente los mantos acuíferos. Además, es una solución armónica con el paisaje arquitectónico.

Con base a lo anterior, la finalidad con la que se presenta un proyecto en el país, es para conocer otras alternativas de construcción que permitan mitigar el impacto que se genera con la construcción tradicional al medio ambiente, sin perder de vista los requerimientos que el proyecto demande, en la cual se analizó un estacionamiento y calle perimetral, con el sistema de pisos objeto de estudio en el presente documento, además del análisis en concreto permeable, concreto hidráulico, mezcla asfáltica y adoquinado, con el propósito de generar datos que permitan realizar una comparación técnica-económica y ambiental entre estas alternativas de construcción.

Además de especificar el proceso constructivo del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular, de acuerdo a las condiciones de la ingeniería local, en cuanto a materiales y equipos necesarios para su construcción y para su consecución se ha realizaron visitas de campo al lugar del proyecto en el país.

3.2 PISOS PERMEABLES CON REJILLAS DE PLÁSTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR.

3.2.1 Análisis de la Condición del Proyecto.

3.2.1.1 Ubicación Geográfica. El proyecto tipo con el cual se realiza el ejemplo, del estacionamiento y calle perimetral pertenecen a una bodega industrial que se encuentra ubicada en las coordenadas 13°41'48.2"N, 89°08'42.7"W, en el Municipio de Soyapango, al centro del departamento y Área Metropolitana de San Salvador.

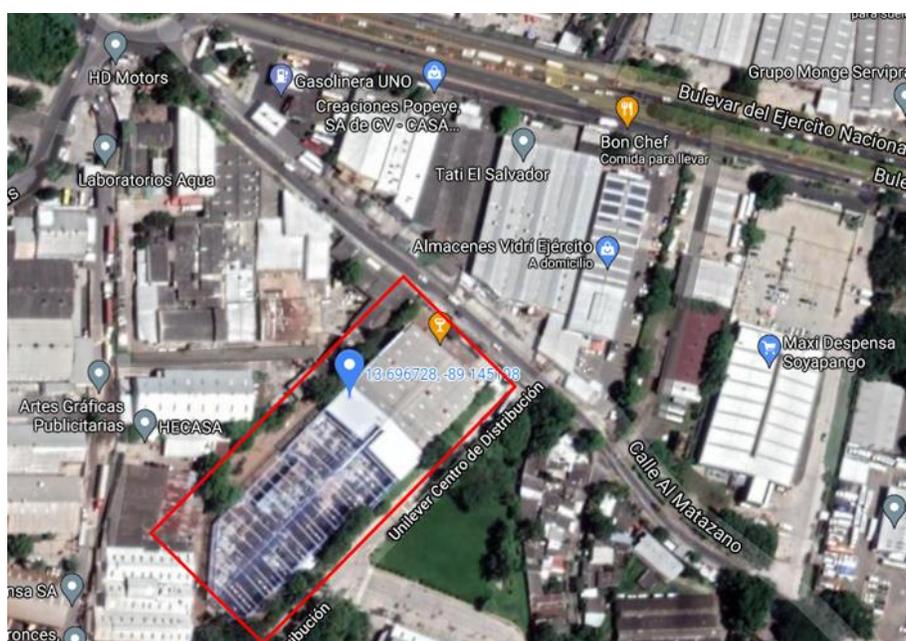


Figura 23. Ubicación Geográfica del proyecto en estudio.

Fuente: Google Maps. 2021

3.2.1.2 Pendiente del Terreno. Está restringido a zonas sin pendientes significativas, donde la pendiente no debe exceder del 5 %.

La estimación de pendientes se realizará, para cada caso de estudio con la topografía de la zona del proyecto.

3.2.1.3 Suelo. Si el proyecto donde se implementara el sistema a base de rejillas, se va a producir infiltración, la distancia del nivel freático debe estar al menos a 3 m por debajo del sistema. No se recomienda su construcción en terrenos inestables, por lo que previo a su implementación ha de realizarse los respectivos ensayos (geotécnicos, hidrológicos etc.) que determinen la idoneidad de esta alternativa de construcción.

Permeabilidad del suelo.

La importancia de la recopilación de datos de geología e hidrogeología van encaminados principalmente a determinar la capacidad de infiltración de la escorrentía en el subsuelo. Como ya se sabe algunas de las funcionalidades del sistema es infiltrar la escorrentía para la recarga de acuíferos, la reducción del volumen de escorrentía o de los caudales pico.

Drenes.

El diseño de este tipo de elementos no es objeto de estudio de esta guía, por lo que se solo se darán unas nociones del diseño.

En suelos donde no se pueda producir la infiltración o que la tasa de infiltración del subsuelo no sea suficiente para evacuar el sistema en menos de 24 horas, se debe instalar un dren colector que desagüe el volumen almacenado hacia otro sistema de gestión de aguas pluviales o su vertido al medio.

Las superficies permeables actúan como sistemas de retención, por lo que el caudal de salida a través del dren será el factor limitante en el dimensionamiento del volumen de almacenamiento. El caudal circulante por el tubo del dren se podrá calcular como:

$$Q_s = C(h - H_d)^n$$

Ecuación. Caudal de flujo de salida.

q es el flujo de salida (mm / hr),

h la altura total del de agua almacenada (mm),

H_d es la altura del desagüe, o diámetro del tubo dren de salida.

El coeficiente C y exponente n determinan la tasa de flujo a través del desagüe en función de la altura del agua almacenada por encima de la cota del desagüe.

Para los drenes, que captan el agua a través de ranuras, se considera que éstas actúan como orificios dando al exponente un valor de 0.5 y al coeficiente de drenaje 60000 veces la relación del área total de ranuras respecto a la del sistema de piso.

Los diámetros típicos a emplear suelen estar entre 80 mm y 300 mm. Dependiendo de la superficie del área a drenar con este tipo de tubos, habrá que añadir varios que trabajan en serie para la correcta evacuación de la esorrentía almacenada.

La zanja debe tener como mínimo 0.4 m de ancho y 0.50 m de profundidad, después del nivel de la subrasante.

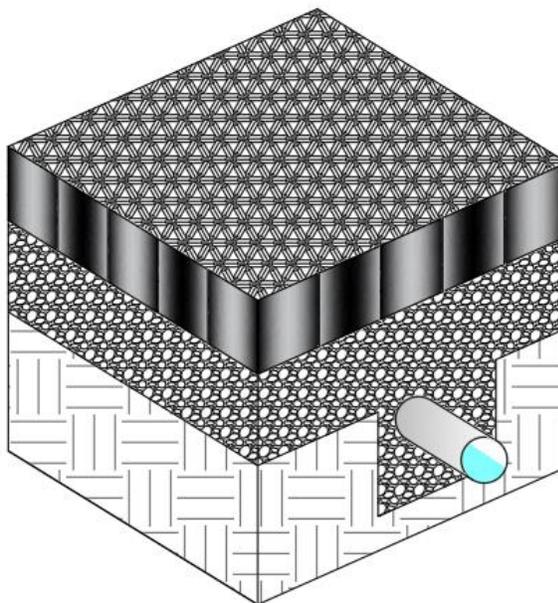


Figura 24. Sección del sistema de pisos a base de rejillas de plástico en suelo impermeable y drenaje de salida del caudal filtrado.

3.2.2 Características de las Rejillas Plásticas Para Pisos Permeables.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de las rejillas.

ESPECIFICACIONES SEGÚN FICHA TÉCNICA DEL PROVEEDOR.	
Área de la rejilla	0.56 m x 0.56 m (0.31 m ²)
Altura de la rejilla	3.8 cm
Área permeable	80 %
Velocidad de circulación	40 km/h (Máxima)
Capacidad de carga	60 ton/eje
Material	100 % polipropileno reciclado
Rendimiento	100 m ² /h, con 2 obreros
Pendiente máxima del terreno	8 grados

Fuente: Ficha técnica del proveedor.

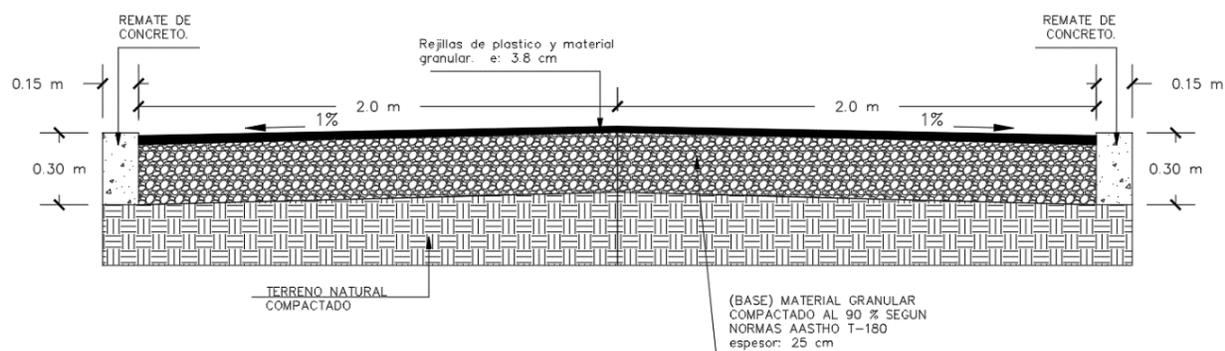


Figura 25. Perfil del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.

3.3 ASPECTOS DEL USO DE LAS REJILLAS PARA PISOS PERMEABLES.

3.3.1 *Técnicos.*

Según el Maryland Stormwater Design Manual MDE, (2000, p.16), para el diseño de los pavimentos porosos y permeables se encuentran las siguientes condiciones:

1. Transporte de agua:

La esorrentía deberá fluir a través de los pavimentos permeables y salir de ellos de una manera segura y no erosiva. La esorrentía de las zonas adyacentes debe ser desviada a un sistema de conducción.

Las superficies del pavimento deben tener una permeabilidad de 203.2 mm/h o más para conducir el agua a la sub-base rápidamente. La pendiente del pavimento permeable deberá ser de al menos 1% pero no mayor a 5%.

La parte inferior de la sub-base será el nivel para mejorar la distribución y reducir la formación de estancamientos. Una red de tuberías perforadas puede ser utilizada para disminuir uniformemente la esorrentía en la parte inferior. Tubos perforados también se pueden utilizar para conectar las estructuras situadas dentro de la sección de pavimento permeable.

2. Diseño estructural

El diseño estructural de un pavimento permeable se centra básicamente en la definición del espesor mínimo de la estructura. En este caso, los criterios de diseño deben ser aquellos que proporcionen la capacidad portante adecuada a la categoría de tráfico que deba soportar el pavimento, sin que esta sufra deformaciones importantes (García Haba, 2011).

Aunque el procedimiento de diseño depende de la superficie permeable empleada, siempre se contemplan los siguientes pasos (García Haba, 2011):

1. Establecer la categoría de tráfico.
2. Comprobar la calidad de la explanada para asegurar la capacidad portante de la estructura. En caso de ser necesario, mejorar la capacidad portante.
3. Seleccionar el tipo de subbase y su espesor.
4. Seleccionar el tipo y espesor de la superficie permeable.

En la determinación del espesor de la estructura, existen dos análisis importantes que deben llevarse a cabo: uno para adecuación estructural y el otro para las características hidráulicas. Estas dos características influyen entre sí y ambos deben abordarse con sumo cuidado. En esta sección se analizan los aspectos aplicables al diseño estructural.

La subrasante es el suelo por debajo de la sub-base. La sub-base es el conjunto instalado por debajo de la capa de rodadura del pavimento. La sub-base proporciona soporte vertical, capacidad de almacenamiento y capacidad de filtración para el tratamiento de contaminantes.

En cuanto a la superficie permeable, su espesor viene determinado de acuerdo a la resistencia que debe soportar durante su uso, y a la tipología de la superficie. Respecto a la base y a la sub-base, la primera consiste generalmente en una capa de grava de 13 mm de diámetro, y suele tener un espesor de entre 25 mm y 50 mm. La segunda está formada normalmente por grava de un diámetro comprendido entre 20 mm y 75 mm, y el espesor mínimo que establecen la mayoría de manuales y normativas para asegurar la funcionalidad del firme desde el punto de vista estructural, es de 15 centímetros.

La gran mayoría de normativas y manuales de diseño recomiendan varios espesores en función de la calidad de la topografía y de la categoría del tráfico que debe soportar el pavimento permeable, basados en diferentes experiencias con este tipo de pavimentos. Algunos suelos pueden proporcionar suficiente drenaje y apoyo por lo que la sub-base puede ser opcional.

Si el apoyo, la capacidad de drenaje, o las capacidades de filtración están limitados por la sub-base, debe ser utilizado un material de sub-base.

Incrementando la rigidez de la subrasante y de la sub-base, aumenta la capacidad de carga de un determinado sistema de pavimento. La rigidez de la subrasante puede ser medida por el Módulo de Reacción de la Subrasante “k” (mediante el Ensayo de Placa de Carga), el California Bearing Ratio (CBR), o por otros métodos menos comunes. ACI 330R proporciona la rigidez típica. Los valores para los distintos tipos de suelos y proporciona las correlaciones entre los valores calculados por los distintos métodos. (Ver tabla 6. Tipos de suelos y Valores medios de sus capacidades. Pág. 60, de este documento.)

El diseño de pavimentos tradicionales excluye en la mayoría de los casos que el agua infiltre al subsuelo por debajo del pavimento. Este sistema está diseñado para permitir que el agua sature la subrasante y toda la estructura del pavimento. Esta condición se debe tomar en cuenta al determinar las propiedades. Cuanto más se compacta el suelo, será menos permeable. Por esta razón, las subrasantes generalmente son compactadas a una densidad más baja que las de pavimentos tradicionales de concreto. El grado de compactación típicamente es del 90% de la densidad máxima seca del método de ensayo Próctor Estándar. El Módulo de Reacción de la subrasante utilizado en el diseño debe tener en cuenta para el menor grado de compactación.

Dependiendo de la aplicación, reduciendo la permeabilidad puede ser deseable para aplicaciones tales como la captación de agua. Adicionando una sub-base granular por debajo del concreto permeable aumenta la capacidad de soporte del pavimento.

La Tabla 10 (Tabla 2.2 del comité ACI 330R-01), indica el aumento del módulo de reacción de la subrasante proporcionada para diferentes espesores de sub-base. Esta sub-base granular también se puede utilizar como un reservorio para almacenar agua de lluvia.

Tabla 10. Módulos de Reacción de Subrasante —k” Compuesto.

Valor de k de la subrasante, pci	Espesor de la sub base			
	4 pulg (100 mm)	6 pulg (100 mm)	9 pulg (100 mm)	12 pulg (100 mm)
Sub base de agregado granular				
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Fuente: Comité ACI 330R-01.

En Estados Unidos, EPA (1980) establece unos espesores mínimos totales (superficie y sub-base) para un pavimento permeable, en función de tres categorías de tráfico e índices CBR (Tabla 12).

La Tabla 11, hace referencia a las características del suelo de la zona que se desea estudiar, para con estas tener un valor aproximado del índice de CBR y poder encontrar un espesor mínimo de la subbase con la Tabla 10.

Tabla 11. Categorías de la resistencia del suelo.

Descripción del suelo		Resistencia - CBR
Excelente	Contiene un alto porcentaje uniforme de materiales granulares. Las clases unificadas del suelo (USC): GW, GM, GC, GP; algunos SM, SP, SC. Grupos de suelos AASHTO: A-1, A-2 y algunos de los A-3	15 o mas
Bueno	Contiene algunos materiales granulares mezclados con limo y / o arcilla. Las clases unificadas del suelo (USC): SM, SP, SC: algunos ML, CL, CH. Grupos de Suelos AASHTO: A-2, A-3, algunos A-4, y unos pocos A-6 o A-7	10-14
Razonable	Arenas arcillosas, limos arenosos, o arcillas limosas, pueden tener cierta plasticidad. USC: ML, CL, algunos MH, CH. AASHTO: Que van desde la A-4 a A-7 (bajos índices de grupo)	6-9
Pobre	Arcillas plásticas, limos finos, arcillas finas o micáceas, USC: HM, CH, OL, OH, AASHTO: desde A-4 a A-7 (los índices más altos de grupo)	5 o menos

Fuente: (EPA, 1980).

Tabla 12. Mínimos espesores de un pavimento permeable para varias condiciones de tráfico.

Categoría de tráfico	Descripción	EAL	CBR		
			≥15	10-14	6-9
1	Trafico ligero	≥5	127	178	229
2	Trafico ligero-medio (max. 1000 VPD)	6-20	152	203	279
3	Trafico medio (max 3000 VPD)	21-75	178	229	305

Fuente: (EPA, 1980).

Nota: los espesores dados en la tabla están en milímetros (EPA, 1980)

EAL: (equivalent axial load) Equivalencia de cargas por eje: la AASHTO-93 establece que se deben transformar los diferentes ejes que circulan por una ruta a un eje simple doble de 80 kN de peso, considerado como eje patrón, referido al carril de diseño.

VPD: Vehículos por día.

3.3.1 Ambientales.

Actualmente, el tema de la protección y conservación del ambiente se ha convertido en eje transversal del desarrollo de los países, debido a los efectos negativos que se han observado y los estudios realizados, han permitido darse cuenta del nivel al que el planeta se ha estado deteriorando por la falta de atención al daño tan elevado y acelerado que se ha provocado en él.

Con base en lo anterior la construcción de este tipo de piso, es sumamente ecológico, puesto que está fabricado 100 % de plástico reciclado, aunado a esto el sistema de piso permeable permite el paso de buen porcentaje de escorrentía de agua lluvia de regreso al subsuelo, permitiendo recargar mantos acuíferos, atenuando la escorrentía superficial y no enviando el agua a los drenajes para que se contamine, además, el sistema contribuye al planeta disminuyendo el calentamiento, contrario al pavimento de concreto y es lo que lo hace diferente, por lo que también puede aprovecharse en el uso peatonal, ya sea para tráfico ligero; asimismo, el material de las rejillas es resistente a rayos ultravioleta (UV), además de ser una opción estética puesto que se puede integrar a cualquier espacio y tipo de arquitectura, y contribuye a los créditos de construcción ecológica de LEED.

3.3.2 Económicos.

Actualmente en El Salvador no existen muchos proyectos que corroboren los presupuestos que conlleva la construcción de un piso o pavimento a base de plástico reciclado, puesto que en el país es algo novedoso y que se busca su implementación como una alternativa de construcción frente al concreto permeable, además de ser una alternativa en el manejo de aguas lluvias, sin embargo, en este capítulo y capítulo IV, de este documento se ejemplifican y analizan los costos unitarios que esta alternativa de construcción conlleva en el que se calcula un aproximado comparado con los pisos o pavimentos de concreto permeable, concreto hidráulico, asfáltico y adoquinado.

3.3.3 Hidrológicos.

El diseño hidrológico e hidráulico de pavimentos permeables debe tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Área de Drenaje: A medida que el área impermeable de drenaje aumenta, la eficacia disminuye. Por lo tanto, la escorrentía de las zonas adyacentes debe ser controlado, y el sistema de rejillas para pisos permeables con plástico reciclado, ayuda a cumplir este propósito, mitigando el impacto y disminuyendo el volumen y velocidad de escorrentía superficial generada por un evento lluvioso.
- Estimar la necesidad, y en su caso cuantificar la capacidad del drenaje longitudinal adicional, según sean las condiciones locales del suelo en el proyecto.
- Estimar las características de percolación de la capa de pavimento.
- Determinar el volumen de almacenamiento (proporcionado por los poros de la sub-base) para alcanzar tasas de rendimiento adecuadas.
- Gestionar la respuesta del pavimento ante eventos extremos de precipitación.

Posteriormente se definen y desarrollan los parámetros anteriormente mostrados, destacando el volumen de almacenamiento y la capacidad del drenaje longitudinal, ya que son los aspectos para el desarrollo básico del cálculo y diseño de los pavimentos permeables.

- **Estimar las características de percolación de la capa de pavimento (García Haba, 2011):**

La capacidad de percolación de la capa del pavimento debe ser significativamente mayor que la máxima intensidad de la lluvia de cálculo.

Regularmente no suele ser un factor limitante en el diseño, pues suele ser al menos un orden de magnitud superior a las máximas intensidades de lluvia esperadas.

Por ejemplo, valores típicos de percolación a través de la capa de un pavimento de concreto poroso, pueden encontrarse entre 0,5 y 5 cm/s (Aguado, Josa, & Pindado, 1995). Hay que tener en cuenta que la capacidad de percolación no se mantendrá constante en el tiempo, sino que disminuirá progresivamente hasta que se estabilice. Este fenómeno es debido a la colmatación, por lo que deberá tenerse en cuenta un factor de seguridad sobre la capacidad de percolación. A la hora de definir el factor de seguridad, no existe un criterio unificado sobre qué valor emplear, y en qué condiciones, pues este debería determinarse en función del clima y la topografía de la zona de aplicación, y del mantenimiento de la infraestructura.

- **Volumen de almacenamiento (García Haba, 2011):**

La capacidad de almacenamiento en el pavimento depende directamente de las características del régimen de precipitación, de la capacidad de infiltración al terreno subyacente, de la capacidad del drenaje complementario (si existe) y del área drenada al propio pavimento. Además, está directamente relacionada con el espesor de cada una de las capas del pavimento y sus respectivos índices de poros (García Haba, 2011).

Existen varios métodos y criterios que sirven para determinar el volumen de almacenamiento y dimensionar la estructura. En Estados Unidos, la mayoría de las normativas emplean el denominado “Criterio Unificado de Diseño”, basado en el volumen que es necesario gestionar para cumplir unos determinados objetivos o niveles relacionados con la cantidad y calidad del agua.

3.4 ENSAYOS DE LABORATORIO.

3.4.1 Granulometría de Agregados (ASTM C-136).

La granulometría del agregado grueso se hace en base a la norma ASTM C-136, siguiendo los siguientes pasos.

1. Secado de la Muestra

La muestra es secada al horno (24 horas a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$), ya que es necesario que la muestra este completamente seca.

2. Determinación del peso de la Muestra

El tamaño de la muestra de la prueba, después del secado, será de 1 Kg.

3. Ensamblar mallas y colocación del Material.

Ensamblar las mallas de orden decreciente a la abertura de la malla (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8"), y colocar la muestra en la malla superior de tal manera que la malla no quede sobrecargada y así todas las partículas tendrán la oportunidad de pasar por medio de las mallas hasta retenerse en una de ellas sin interrumpir el paso de las otras. El tamizado deberá contar con su tapa y fondo de tal manera que la muestra se pese en su totalidad y no halla desperdicio.

4. Vibración:

El tamizado se hará de forma manual, con movimiento giratorio al ensamble de mallas.

5. Pesaje:

Pesar la cantidad de material retenido en cada malla.

Tabla 13. Granulometría de agregados (ASTM C-136).

TAMIZ N.º	Peso Retenido (g)	% que pasa (%)
1 ½"	0	0
1"	67.1	6.71
¾"	504.9	50.49
½"	321.0	32.1
3/8"	90.00	9
Fondo	17.0	1.7
TOTAL	1000	99.99

Fuente: Elaboración propia.

6. Determinar el Tamaño Máximo Nominal.

El tamaño máximo nominal se encuentra en la malla que retiene el 5% al 15% del agregado, siendo el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. Por lo anterior el tamaño Máximo Nominal es de 1" (TMN = 1").

3.4.2 Peso Volumétrico de los Agregados (ASTM C 29).

Peso Volumétrico del agregado grueso es determinado en base a la norma ASTM C 29 de la siguiente manera.

1. Calibración del Molde.
2. Con el uso de la tabla se determina la capacidad mínima del molde, si el tamaño máximo nominal no aparece, se deberá interpolar entre los valores correspondientes para determinarlo.

Tabla 14. Capacidad del depósito medidor (molde) en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Tamaño máximo nominal del agregado.		Capacidad del depósito.	
Pulgadas	mm	Pie ³	L (m ³)
1/2	12.5	1/10	2.8 (0.0028)
1	25.0	1/3	9.3 (0.0093)
1 ½	35.7	1/2	14.0 (0.014)
3	75.0	1	28.0 (0.028)
4	100	2 ½	70.0 (0.070)
5	125	3 ½	100 (0.10)

Para el Tamaño Máximo Nominal de 1” se necesita una capacidad mínima del molde de 9.3 L (0.0028m³), además se establecen otros requerimientos para el molde tales como que sea de forma cilíndrica (Cuya relación de Diámetro y Altura sean similares; la altura no debe ser menor que el 80% ni Mayor que 150% del diámetro), que disponga de asas, que sea impermeables y con la parte superior e inferior planos y nivelados para mantener su forma ante la carga que se aplique. Por otra parte, que sea liso y plano, ser paralelo al fondo, la pared interior debe ser lisa y continua.

3. Determinar el Peso del Molde Seco.

Se pesa el molde en una balanza digital con una precisión de 5 gr. Donde se obtiene el siguiente peso: T = 5.285 Kg

El molde es llenado con agua a una temperatura de $21 \pm 2^\circ\text{C}$ Luego es nivelado con una pieza o placa de vidrio para que no halle excedente de agua en la superficie.

Determinar el peso del molde más agua y tomar la temperatura del agua.

- $W_{\text{molde}} + \text{agua} = 14.55 \text{ Kg}$
- $^{\circ}\text{T} = 29.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Determinar el peso del agua.

- $W = W_{\text{molde}} + \text{agua} - T$
- $W = 14.55 \text{ Kg} - 5.26 \text{ Kg}$
- **$W = 9.29 \text{ Kg}$**

Determinación del Peso Volumétrico del Agua.

Tabla 15. Densidad del agua en función de la temperatura.

Temperatura		Densidad	
$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	Lb/pie ³	Kg/m ³
60	15.6	62.37	999.01
65	18.3	62.37	998.54
70	21.1	62.30	997.97
73.4	23.0	62.27	997.54
75	23.9	62.26	997.32
80	26.7	62.22	996.59
90	29.4	62.17	995.83

Determinar el Volumen del Molde

- $V = W_{\text{agua}} / \gamma$
- $V = 9.29 \text{ Kg} / 995.93 \text{ Kg/m}^3$
- **$V = 0.009328 \text{ m}^3$** . El volumen del molde supera el volumen mínimo del molde requerido $V > V_{\text{min}}$ por lo que es correcto el uso del molde seleccionado.

Determinación del Peso Volumétrico Suelto

1. Se coloca el molde en una superficie plana
2. Llenar el molde seleccionado con el agregado, en estado suelto, el llenado se hace por medio de una cuchara a una altura que no exceda de 2" por encima del molde superior del molde hasta que el material rebose este.
3. Nivelar con los dedos su superficie, a continuación, se compacta el material con una varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica, se varilla la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie, al varillar la primera capa no debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente.
4. Determinar el peso del molde con el agregado

$$W_{\text{suelto}} + T = 17.452 \text{ Kg}$$

5. Determinar el Peso Volumétrico Suelto (PVS)

$$PVS = W_{\text{suelto}} / \text{Volumen de recipiente}$$

$$PVS = 12.14 \text{ Kg} / 0.009328 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{PVS = 1301.45 \text{ Kg/m}^3}$$

DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO.

1. Se coloca el molde en una superficie plana
2. Introducir el agregado en el molde seleccionado
3. Nivelar con los dedos su superficie, a continuación, se varilla la capa de agregados con 25 golpes uniformemente distribuidos sobre su superficie; al varillar la primera capa no se debe permitir que la varilla toque el fondo del recipiente con una varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro y 24" de largo cuyos extremos están redondeados con punta semiesférica.
4. A continuación, se llena el recipiente a dos tercios de su altura, se vuelve a nivelar y aplicar 25 golpes con la varilla de compactación, uniformemente distribuida y vigorosa (pero de forma tal que la varilla no penetre la capa anterior).
5. Finalmente se llena el recipiente hasta rebosarlo y se varilla con 25 golpes uniformemente distribuidos.
6. Se nivela la superficie con los dedos de tal forma que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga, balancee los huecos por debajo del bode del recipiente
7. Determinar el peso del molde con el agregado

$$W_{\text{varillado}} + T = 18.74 \text{ Kg}$$

8. Determinar el Peso Volumétrico Varillado (PVV).

$$PVV = W_{\text{varillado}} / \text{Volumen de Recipiente}$$

$$PVV = 13.455 \text{ Kg} / 0.009328\text{m}^3$$

$$\mathbf{PVV = 1442.43 \text{ Kg/m}^3}$$

3.4.3 Gravedad Específica y Absorción de Agregados (ASTM C 127).

La gravedad específica y absorción de agregados se obtiene del mismo estudio que se obtuvo el peso volumétrico. La determinación de la gravedad específica y absorción de la grava se hace en base a la norma ASTM C 127 de la siguiente manera:

1. Pesar el material húmedo, el cual ha sido previamente saturado en agua 24 horas antes.
2. Secar superficialmente la grava con tela absorbente para eliminar el agua superficial y pesarla nuevamente para obtener el Peso Saturado Superficialmente Seco.

$$W_{sss} = 4.04 \text{ Kg}$$

3. Colocar el material en la canasta y sumergirlo en un recipiente con capacidad mínima de 16 lts. El agua debe de tener una temperatura de $21 \pm 2^\circ\text{C}$.
4. Obtener el Peso Sumergido el material utilizando una balanza.

$$W_{sum} = 2.60 \text{ Kg}$$

5. Sacar el material de la canasta y dejarlo secar en el horno durante 24 horas a una temperatura.

$$\text{de } 110 \pm 5^\circ\text{C}.$$

6. Pesar la muestra después de 24 horas y anotar este como Peso Seco.

$$W_{seco} = 3.875 \text{ Kg}$$

7. Calcular la Gravedad Específica (GE).

$$GE = W_{seco} / W_{ss} - W_{sum}$$

$$GE = 3.875 \text{ Kg} / 4.04 \text{ Kg} - 2.60 \text{ Kg} = 2.69$$

8. Calcular el porcentaje de absorción.

$$\% \text{ Absorción} = (W_{sss} - W_{seco} / W_{seco}) * 100$$

$$\% \text{ Absorción} = (4.04 - 3.875 / 3.875) * 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 4.26 \%$$

9. Porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 \times (\text{GE. } \gamma - \text{PVV}) / (\text{GE. } \gamma)$$

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 \times (2.69 \times 995.93 - 1442.43) / (2.69 \times 995.93)$$

$$\% \text{ de Vacíos} = 46.15 \%$$

3.4.4. Ensayo de Permeámetro de Carga Constante.

La prueba de permeabilidad por carga constante es un experimento de laboratorio realizado para determinar la permeabilidad del suelo. Los suelos aptos para Estas pruebas son arena y gravas. Los suelos con contenido de limo no se pueden probar con este Método. Se puede emplear para probar suelos granulares reconstituidos o alterados.

- **UTILIZANDO LA LEY DE DARCY SE TIENE:**

$V = K A i T$, Dónde: i = Gradiente Hidráulico Medio

$$i = \frac{h}{L}$$

Entonces se obtiene la fórmula para carga constante

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$$

Donde:

K = Coeficiente de Permeabilidad (cm/seg)

V = Volumen de agua que pasa a través de la muestra (cm³)

L = Longitud de la muestra (cm)

h = Carga Hidráulica / diferencia de nivel (cm)

A = Sección transversal de la muestra (cm²)

T = Tiempo de ensayo (seg)

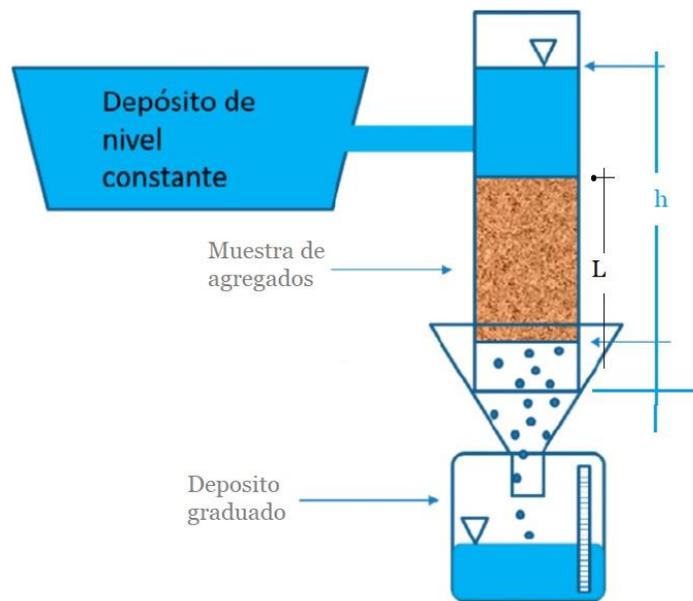


Figura 26. Permeámetro vertical de carga constante.

- **PARA MUESTRA TMN DE 1 PULGADA:**

Datos Obtenidos del ensayo:

$$V = 960 \text{ cm}^3$$

$$L = 25 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

Calculando Área:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = 4 \text{ in} = 10.16 \text{ cm}$$

$$A = 81.07 \text{ cm}^2$$

$$T = 20 \text{ seg}$$

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$$

$$K = \frac{(960 \text{ cm}^3)(25 \text{ cm})}{(81.07 \text{ cm}^2)(50 \text{ cm})(20 \text{ seg})}$$

$$K = 0.30 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

- **PARA MUESTRA DE GRAVA TMN 3/8 DE PULGADA**

Datos Obtenidos del ensayo:

$$V = 617.5 \text{ cm}^3$$

$$L = 25 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

Calculando Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = 4 \text{ in} = 10.16 \text{ cm}$$

$$A = 81.07 \text{ cm}^2$$

$$T = 20 \text{ seg}$$

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot h \cdot T}$$

$$K = \frac{(617.5 \text{ cm}^3)(25 \text{ cm})}{(81.07 \text{ cm}^2)(50 \text{ cm})(20 \text{ seg})}$$

$$K = 0.19 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

3.5 PROCESOS CONSTRUCTIVOS

3.5.1 Preparación del Terreno (*Sub-Rasante*).

1. Antes de instalar las rejillas se debe estar totalmente construido cualquier elemento rígido que se quiera poner a su alrededor como son remates, aceras, muros, etc. de la misma manera debe estar terminado cualquier tipo de drenaje si es que el proyecto lo requiere (Según especificaciones Técnicas).
2. La preparación del terreno consiste en quitar la tierra vegetal que pueda provocar hundimientos, es importante analizar el tipo de suelo del lugar de emplazamiento del proyecto y de ser necesario se debe modificar y reemplazar con material adecuado donde se requiere, nivelar lo mejor que se pueda y compactar según especificaciones técnicas y condiciones del proyecto, hasta alcanzar el nivel de la subrasante definitiva, teniendo en cuenta las pendientes transversales y longitudinales de la misma, considerando que el grado de compactación no debe exceder de un 95 % conforme AASHTO T-99, es ideal un grado de compactación del 90 %. Además, no se deberá estabilizar la subrasante con cemento, puesto que provocará la pérdida de permeabilidad del suelo.

Se debe ser cuidadoso en limitar el movimiento maquinaria pesada pues esta puede compactar la subrasante a medida que transita, este hecho se debe tener en cuenta en el diseño, pues una sobre compactación disminuirá la capacidad de infiltración de la subrasante (que para el caso de infiltración total debe ser mayor a 13 mm/hora (MINVU, 1996; Smith, 2006).



Figura 27. Proceso de conformación de la subrasante.



Figura 28. Proceso de conformación de la subrasante.



Figura 29. Proceso de conformación de la subrasante.

3.5.2 Base, Sub-base Granular.

1. Se debe colocar una base hecha con grava entre el terreno preparado y la rejilla por las razones siguientes:
 - a) Para terminar de nivelar el suelo ya que puede presentar algunas imperfecciones, esto ayuda a que la rejilla quede bien asentada.
 - b) Para dar al sistema mayor capacidad de carga.
 - c) Para mayor captación de agua lluvia.
2. La base es un material granular con tamaño de 1/2" pulg. a 1 ½ Pulg. (según instructivo), en el ejemplo se usó grava de 1 pulgada, la cual debe cumplir las especificaciones técnicas de los documentos de contrato.

La función de la base es servir de soporte a la capa de rodadura (en el caso para las rejillas) y como un reservorio de agua mientras el suelo ejerce su capacidad de infiltración.

La conformación de la base se puede realizar con maquinaria, para el caso en estudio, se usó una motoniveladora, con la cual se esparce el material en la zona destinada al área de pavimento permeable conformando así la base con un espesor de 25 cm para luego compactar ligeramente el material con pisón manual o con un rodillo liso de una tonelada. Es importante tener presente las especificaciones técnicas del proyecto.



Figura 30. Proceso de conformación de la subbase.



Figura 31. Conformación de subbase granular.



Figura 32. Compactación de la subbase granular.

3.5.3 Colocación de las Rejillas.

1. La rejilla debe estar confinada a su alrededor con remates, aceras, muros, etc. Previamente construido.



Figura 33. Colocación de rejillas sobre base granular.

2. Con la base de grava preparada se coloca la rejilla uniendo las secciones de esta entre sí, es necesario una buena planeación para colocar las rejillas y obtener el resultado deseado y evitar desperdicios, esto es importante cuando se colocarán tapones marcadores para delimitar estacionamientos.



Figura 34. Colocación de rejillas sobre base granular.

3. En lugares con formas irregulares se puede desarmar la rejilla que ya no cabe en el lugar y rellenar los espacios sobrantes con grava. Si se quiere que el armado de la rejilla quede totalmente completo se coloca en el terreno y se cortan los excedentes con sierra, esmeril o segueta.



Figura 35. Corte de rejilla, para ajustarla al área donde se colocará.

4. Antes de rellenar las rejillas con grava, se debe compactar esta con un pisón o rodillo vibrador para que esta quede totalmente asentada en la base de grava.



Figura 36. Compactación de la rejilla.



Figura 37. Sistema de rejillas instaladas, listas para el relleno con material granular.

3.5.4 Relleno de la Rejilla.

1. Si se decide colocar tapones para demarcar líneas de estacionamientos se deberá colocar antes de rellenar las rejillas.
2. Para el relleno de las rejillas se utiliza material granular de tamaño de 3/8" a 1/2", para el proyecto en cuestión se utilizó grava con tamaño máximo de 3/8 de pulgada, para obtener un acabado menos burdo y el relleno se hace simplemente vertiendo el material sobre esta ya sea con pala, carretilla o camión de volteo.
3. Concluido el vertido del material de relleno se esparce con pala, o si la obra lo requiere hacerlo con maquinaria tal como, retroexcavadora (se debe mantener la pala 1 pulgada por encima de la rejilla para evitar dañarla), y así obtener buenos resultados en la superficie de rodamiento (ver figura 38).



Figura 38. Sistema de rejillas instaladas, listas para el relleno con material granular.

4. Una vez se termina de esparcir el material de relleno se retira el excedente y se compacta con un pisón manual o rodillo vibratorio para acomodar el relleno y obtener una capa de rodamiento lo más uniforme posible (Figura 39).



Figura 39. Sistema de pavimento permeable terminado y demarcación de estacionamientos.

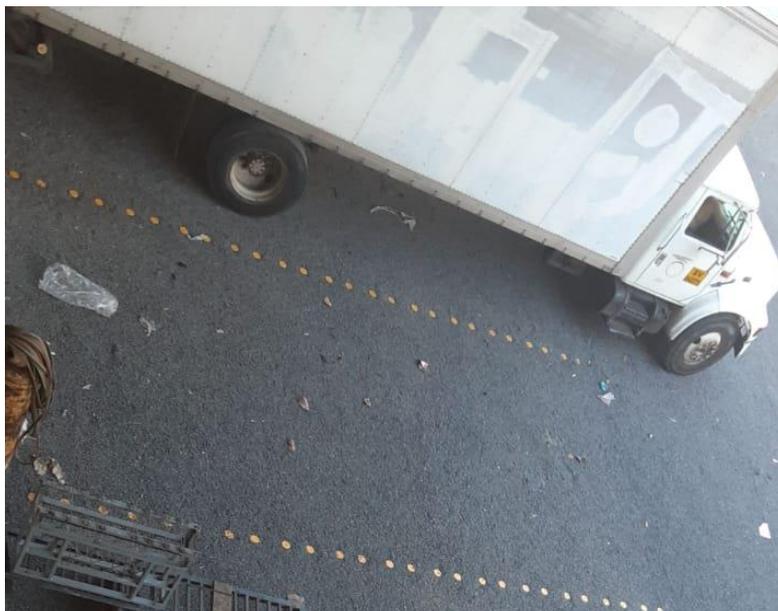


Figura 40. Sistema de pavimento permeable listo para su funcionamiento.

3.5.5 Construcción de Subdrenajes

En suelos donde no se pueda producir la infiltración o que la tasa de infiltración del subsuelo no sea suficiente para evacuar el sistema en menos de 24 horas, se debe instalar un dren colector que desagüe el volumen almacenado hacia otro sistema de gestión de aguas pluviales o su vertido al medio. O en su caso colocar un geotextil para evitar satura la subrasante.

Es importante, por lo tanto, examinar cuidadosamente los suelos presentes en cada proyecto, para determinar los criterios de drenaje o mejoramiento de sus propiedades para establecer criterios de compactación de la subrasante y obras hidráulicas necesarias.

En suelos expansivos del tipo A - 6 o A - 7 - 5 (según clasificación AASHTO) que cambian su volumen en presencia de humedad, deberán ser estabilizados por tratamiento o mediante el desalojo de sus capas superiores restituyendo dicho suelo por otro no expansivo. La profundidad de restitución deberá ser seleccionada con base a estudios de suelos que garanticen que el mejoramiento del suelo proporcione una superficie estable que exceda la presión que genera el suelo expansivo.

Con base a lo anterior se detalla el proceso de cómo construir un drenaje interior.

Nota: el procedimiento de preparación de la subrasante es el mismo que se describe en el apartado anterior, por lo que no se repetirá.

Paralelamente a la preparación del terreno se construye el dren colector, el cual se excava una zanja de al menos 0.40 m de ancho y 0.50 m de profundo, bajo el nivel de la subrasante. Esta se puede realizar de forma manual con piochas y palas, pero para facilitar la tarea se podrá usar una retroexcavadora.

El dimensionamiento de la zanja estará regido por las condiciones del proyecto en base a los estudios de suelos, hidráulicos e hidrológicos.



Figura 41. Construcción de drenaje interno.

Su proceso debe garantizar la evacuación del agua del sistema, para evitar estancamientos y pérdida de capacidad de carga que provocan deficiencia en el funcionamiento del pavimento con rejillas de plástico reciclado.

Una vez excavada la zanja, se coloca una plantilla de concreto, que sirva de base de la tubería que se colocará, tal como se muestra en la imagen anterior.

Una vez colocada la tubería se rellena con material granular, del mismo tamaño que la base, o del tamaño que el diseñador especifique, hasta alcanzar el nivel definitivo de la subrasante.

Una vez se ha instalado la tubería y se ha rellenado la zanja. Se compacta ligeramente ya sea de forma manual o con equipo (bailarina), para proseguir con la formación de la base para la colocación del sistema de pisos o pavimentos a base de rejillas de plástico reciclado.



Figura 42. Conformación de la base después de construir el dren interior.

3.6 REQUISITOS DE MANTENIMIENTO.

Definición de las tareas de mantenimiento.

De acuerdo con CIRIA (2015), las necesidades de mantenimiento de superficies permeables se pueden clasificar en necesidad media de acuerdo con los niveles alto, medio y bajo.

Con base a lo anterior será el proyectista quien defina las tareas de mantenimiento necesarias para el correcto funcionamiento a largo plazo procurando:

- Garantizar un acceso adecuado en todos los puntos del sistema que requiera tareas de mantenimiento.
- Incluir los pretratamientos necesarios para minimizar la necesidad de limpieza del sistema.
- Determinar las frecuencias y requisitos de mantenimiento.

- Concretar y clarificar las instrucciones que han de seguir los operarios, así como los puntos que han de evaluar para determinar el sistema está funcionando adecuadamente. El proyectista también deberá considerar los lineamientos establecidos por la autoridad competente, entregando los manuales de mantenimiento a la entidad que ésta defina.

La elaboración del programa de mantenimiento se debe basar en tres aspectos:

- 1. La inspección.** Es importante la observación frecuente del funcionamiento y estado del sistema en condiciones de funcionamiento. La inspección de la obra tendrá por objeto verificar que opera en las condiciones de diseño, comprobando que el mantenimiento es adecuado y proponer modificaciones en caso contrario. Para organizar las inspecciones se deberá proponer la realización de fichas de inspección a cumplir en las visitas y en la cual se registrarán los puntos más relevantes del estado del sistema y de sus necesidades de mantenimiento.
- 2. Tareas de limpieza.** La conservación habitual de este tipo de obra es fundamentalmente limpieza y cuidado, es decir mantener limpias las superficies cercanas y resolver los problemas estéticos y ambientales frecuentes.
 - Las principales labores son el retiro de basura, vegetación y la extracción de sedimentos.
- 3. La prevención y reparación.** Que son intrínsecas a cada proyecto y dependen además de su uso y exposición. En todo caso ciertas labores preventivas se podrán considerar como parte de la rutina de mantenimiento, antes que se produzca la falla de la obra, o en la medida en que se observen efectos apreciables sobre su operatividad.

Es muy importante definir las tareas de mantenimiento y establecer responsabilidades, a nivel usuario ya que el funcionamiento adecuado del sistema depende de su correcto estado.

Con base a lo anterior en esta guía se proponen algunas pautas básicas como parte de un mantenimiento preventivo del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular:

- **Barrido frecuente.** El encargado del mantenimiento deberá garantizar que la superficie del sistema se encuentre libre de hojas de árboles, hierbas o algún tipo de desechos, (bolsas, botellas etc.). Para eliminar el musgo y la suciedad, puede rastrillar la capa superior regularmente. Esta actividad se podrá realizar con escobas, cepillos o las herramientas manuales necesarias en áreas pequeñas y Sopladora/Aspiradora y Triturador de Hojas, en áreas grandes para facilitar las tareas de limpieza y deberá realizarse periódicamente o como el encargado de mantenimiento estime necesario.
- Con el uso prolongado y pesado de vehículos, la estructura de las rejillas puede hacerse visible, si esto ocurre hay que rellenar la capa superior para mantener siempre el nivel de la grava a ras de la rejilla y así garantizar la vida útil y buen funcionamiento de la misma.

Estas actividades de mantenimiento se centran precisamente en restaurar la conductividad hidráulica del sistema para no perder la capacidad de evacuación del agua.

El diseño del proyecto debe contemplar el control de la erosión y la escorrentía de las zonas aledañas al proyecto para minimizar el impacto de colmatación por partículas finas en los poros del sistema de pavimento.

Lo ideal es que las inspecciones se lleven a cabo mensualmente (y no menos de tres veces al mes), al mismo tiempo que otras actividades de mantenimiento de rutina.

Importante!

Tabla 16. Costo de adquisición de equipos.

Cantidad	Equipo/herramientas	Marca	Precio
1	Sopladora/Aspiradora y Triturador de Hojas.	BLACK & DECKER	\$ 110
TOTAL			\$ 110

Fuente: Elaborado por grupo de tesis

A continuación, se presenta una lista de verificación, a fin de facilitar y llevar un registro de las tareas de mantenimiento.

La lista de verificación es una lista genérica que puede agregarse o eliminar elementos de ella para adaptarse a un proyecto en particular. El contenido exacto de la lista de verificación dependerá de la combinación de los diferentes componentes utilizados en el proyecto y debe seleccionarse en función de la combinación de elementos como por ejemplo el sistema de drenaje para proporcionar un informe de inspección personalizado.

El objetivo de esta lista de verificación es.

- Confirmar que se está llevando a cabo el mantenimiento de rutina apropiado del sistema.
- Confirmar que el sistema sigue funcionando de forma eficaz.
- Identificar los trabajos de mantenimiento necesarios.
- Proporcionar un registro coherente del estado y el funcionamiento del sistema.

Es una lista de verificación para facilitar la inspección del estado del sistema. Puede ser utilizado por cualquier organización responsable del mantenimiento a largo plazo del sistema de pisos como un proceso de registro, o por una organización subcontratada como parte de sus procedimientos de informes de mantenimiento.

Información general
Ubicación y coordenadas del sitio.
Elementos que conforman el sistema de pisos
Frecuencia de inspección
Tipo de desarrollo (Urbano, Residencial, Comercial Industrial)

Fecha de inspección		
Observación	Acción requerida	Fecha de finalización
Inspección general		
¿Hay alguna evidencia de erosión, encharcamiento (donde no sea deseable) u otro aspecto hidráulico deficiente?		

¿Se han identificado riesgos de salud y seguridad para los operarios de mantenimiento?

Vegetación

¿La condición de la vegetación es satisfactoria (densidad, crecimiento, cobertura)?

¿Alguna parte del sistema requiere deshierbe, poda o corte?

Acumulación de sedimentos.

¿Existe alguna acumulación de sedimentos en la superficie?

¿La superficie permeable o porosa requiere un barrido o lavado para eliminar el sedimento?

¿Hay evidencia de acumulación de basura en el sistema? Sí lo hay ¿se trata de un riesgo de bloqueo?

¿Hay alguna evidencia de cualquier otra obstrucción o bloqueo de salidas en vías de drenaje

adyacentes al sistema de piso a

base de rejillas?

Infraestructura (estructura de piso a base de rejillas de plástico reciclado y material granular.

¿Hay evidencia de algún daño en el sistema (por ejemplo, pérdida del material de relleno de las rejillas)?

¿Existen otros aspectos que puedan afectar el desempeño del sistema en relación con los objetivos de diseño en los aspectos hidráulicos, funcionales y visuales?

Otras observaciones (incluir fotografías)

Idoneidad del régimen de mantenimiento actual.

Continuar como el actual

Aumentar el mantenimiento

Reducir el mantenimiento

Próxima inspección

3.7 ESTIMACIÓN DE COSTOS.

3.7.1 Memoria de Cálculo de Materiales.

3.7.1.1 Sistema de Pisos con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.

1) Cálculo de materiales para la construcción de 1 m² de piso con rejillas de plástico.

DATOS:

Ancho: 1.00 m

Longitud: 1.00 m

Dimensiones de rejillas: (56 x 56 x 3.8) cm

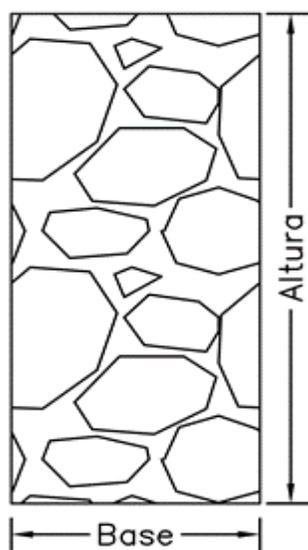
RESULTADOS

CANTIDAD DE REJILLAS

Cantidad de rejillas de plástico = [(ancho) (longitud) / (área de rejillas)]

Cantidad de rejillas de plástico = [(1m) (1m) / (0.56 m x 0.56m)] = 3.188 piezas \cong 3.20 *piezas*

- Cálculo de materiales para la construcción remate de mampostería



DATOS:

Mortero a usar: 1: 3

Base: 0.2 m

Altura: 0.3 m

Longitud del muro: 1 m

Configuración de muro: 75% Piedra, 25% Mortero

Factores de desperdicio utilizados:

Piedra: 20%

Cemento: 3%

Arena: 13%

Agua: 7%

RESULTADOS:

Volumen de muro = (base) (altura) (longitud)

Volumen de muro = (0.2m) (0.3m) (1m) = 0.06 m³

Volumen de mortero para la unión de piedras = (volumen de muro) (% de mortero)

Volumen de mortero para la unión de piedras = (0.06m³) (0.25) = 0.015 m³

Cantidad de materiales para 1 m³ de mortero 1: 3 para la unión de piedras, según información de tablas (factores):

Factor cemento = 12.4 bolsas/m³

Factor arena = 1.05 m³/m³

Factor agua = 260 L/m³

Cantidad total de materiales = (volumen de mortero para la unión de piedras) (f. de material) (f. de desperdicio)

$$\text{Cemento} = (0.015 \text{ m}^3) (12.4 \text{ bolsas/m}^3) (1.03) = 0.1916 \text{ bolsas}$$

$$\text{Arena} = (0.015 \text{ m}^3) (1.05 \text{ m}^3/\text{m}^3) (1.13) = 0.0178 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = (0.015 \text{ m}^3) (260 \text{ L/m}^3) (1.07) = 4.173 \text{ L} = 0.00417 \text{ m}^3$$

$$\text{Piedra} = (\text{volumen de muro}) (\% \text{ de piedra}) (\text{f. de desperdicio})$$

$$\text{Piedra} = (0.06 \text{ m}^3) (0.75) (1.2) = 0.054 \text{ m}^3$$

2) Cálculo material granular para llenado de rejillas

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de rejilla: 0.038 m

Factor de abundamiento utilizado: 15%

Cantidad de materiales para base o subbase =(ancho) (longitud) (espesor de rejillas)

(f. de abundamiento)

$$\text{Material granular: } (1.00 \text{ m}) (1.00 \text{ m}) (0.038 \text{ m}) (1.15) = 0.0437 \text{ m}^3$$

*Se utilizará grava de 3/4" a 1 1/2" como material granular

3) Cálculo material granular para base de estructura

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de compactación: 0.25 m

Factor de abundamiento utilizado: 15%

Cantidad de materiales para base o subbase =(ancho) (longitud) (espesor de base o subbase) (f. de abundamiento)

Material granular: (1.00 m) (1.00 m) (0.25 m) (1.15) = 0.2875 m³

***Se utilizará grava de 3/4" a 1 1/2" como material granular**

3.7.1.2 Pavimento de Concreto Permeable. Para la estructura de concreto permeable que se utilizara para el análisis se tomaran los datos de la tesis: “DISEÑO, PROCESO CONSTRUCTIVO Y EVALUACIÓN POST CONSTRUCCIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO DE CONCRETO PERMEABLE”, **presentado en mayo de 2012, p. 178.**

PROPIEDAD	VALOR OBTENIDO
Peso unitario	1856 kg/m ³
Contenido de vacíos	21.97 %
Permeabilidad (7días)	15.92 mm/s
Módulo de ruptura (28 días)	24 g/cm ²

1. Cálculo de materiales para la construcción de 1 m² de losa de concreto permeable.

Partimos del anexo proporcionada por la tesis antes mencionada, donde se detallan todos los costos para 1 m² de concreto permeable en su página No. 225

HOJA DE ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
OFERTANTE:					FECHA: 2-dic-11	
PROYECTO: Tramo de Prueba Pavimento de Concreto Permeable						
PARTIDA: Colocación Concreto Permeable, Espesor = 15 cm					UNIDAD: m ²	
CANTIDAD ANALIZADA: 197.58 m ²			RENDIMIENTO: 1 día			
EQUIPO						
DESCRIPCION	CANT.	MARCA	TIPO	TARIFA	Días	VALOR UNITARIO
Regla vibratoria	1	Wacker	Manual	\$ 45.00	1.00	\$ 45.00
Herramientas	8			\$ 1.00	1.00	\$ 8.00
Cortadora de concreto	1			\$ 50.00	1.00	\$ 50.00
					1.00	\$ -
(1) SUB-TOTAL						\$ 103.00
MATERIALES						
DESCRIPCION	Unidad	Precio	Cantidad	VALOR UNITARIO		
Concreto	m ³	\$ 110.00	34.30	\$ 3,773.00		
Combustible	galones	\$ 4.13	3.00	\$ 12.39		
Plástico	Rolló	\$ 138.00	1.00	\$ 138.00		
Acero	qq	\$ 40.00	1.50	\$ 60.00		
Alambre de amarre	lb	\$ 0.40	15.00	\$ 6.00		
Tubo estructural		\$ 20.00	2.00	\$ 40.00		
Disco de corte		\$ 573.00	0.04	\$ 22.00		
(2) SUB-TOTAL						\$ 4,051.39
TRANSPORTE						
MATERIAL	Volumen	Distancia	m ³ ton / km	Tarifa	VALOR UNITARIO	
Concreto	55	3.00	m ³ / km	\$ 0.2500	\$ 41.25	
(3) SUB-TOTAL						\$ 41.25
MANO DE OBRA						
Personal	Cantidad	Jornal	Prestación	Total	Días	VALOR UNITARIO
Auxiliares	4	\$ 9.00	1.80	\$ 64.80	1.00	\$ 64.80
Auxiliares	2	\$ 9.00	1.80	\$ 32.40	3.00	\$ 97.20
Aux. Albañil	1	\$ 12.00	1.80	\$ 21.60	1.00	\$ 21.60
Aux. Albañil	1	\$ 12.00	1.80	\$ 21.60	3.00	\$ 64.80
Albañil	2	\$ 15.00	1.80	\$ 54.00	3.00	\$ 162.00
Encargado	1	\$ 25.00	1.80	\$ 45.00	2.00	\$ 90.00
Motorista	1	\$ 6.00	1.80	\$ 10.80	3.00	\$ 32.40
Operador incluido en maquinaria						\$ -
(4) SUB-TOTAL						\$ 532.80
(5) = (1) + (2) + (3) + (4) TOTAL DE COSTO DIRECTO						\$ 4,728.44
COSTOS INDIRECTOS						
DESCRIPCION	PORCENTAJE		VALOR			
Dirección Técnica	10%		472.84			
Gastos Administrativos	12%		567.41			
Utilidad	6%		283.71			
(6) TOTAL DE COSTO INDIRECTO						\$ 1,323.96
COSTO TOTAL DIRECTO						\$ 4,728.44
COSTO TOTAL INDIRECTO						\$ 1,323.96
COSTO TOTAL UNITARIO (DIRECTO + INDIRECTO)						\$ 6,052.41
COSTO POR M ² :						\$ 30.63
COSTO POR M ² + IVA (13%):						\$ 34.61

Sin embargo, en dichos costos se incluyen los costos indirectos, los cuales en nuestro análisis no se toman en cuenta por la particularidad de los mismos, puesto que no son los mismos para cada contratista.

Por ello, tenemos que:

$$\text{Costo directo por m}^2 = \$ 4\,728.44 / 197.58 \text{ m}^2 = \$ 23.93 / \text{m}^2$$

$$\text{Costo directo por m}^2 + \text{IVA (13\%)} = \$ 23.93 \times 1.13 = \$ 27.04 / \text{m}^2$$

Datos:

Ancho: 1.00 m

Longitud: 1.00 m

Espesor (e): 0.15 m

m³ de concreto permeable: \$ 110.00

Subbase: 0.20 m de material granular de 1 ½"

RESULTADOS:

Volumen de concreto permeable = (ancho) (longitud) (espesor) (factor de desperdicio)

$$\text{Volumen de concreto permeable} = (1\text{m}) (1\text{m}) (0.15\text{m}) (1.20) = 0.18 \text{ m}^3$$

Costo de 0.18 m³ de concreto permeable

$$0.18 \text{ m}^3 = (0.18 \text{ m}^3 \times \$ 110.00) / 1.00 \text{ m}^3 = \$ 19.80$$

Cantidad total de materiales para 0.18 m³ de concreto permeable = (volumen de losas) (f. de material) (f. de desperdicio)

$$\text{Cemento} = (0.18 \text{ m}^3) (7.764 \text{ bolsas/m}^3) (1.03) = 1.439 \text{ bolsas}$$

$$\text{Grava No. 8 (3/8")} = (0.18 \text{ m}^3) (0.8529 \text{ kg/m}^3) (1.07) = 0.1642 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = (0.18 \text{ m}^3) (89.10 \text{ L/m}^3) (1.17) = 18.76 \text{ L}$$

$$\text{Aditivo MEGAFLOW} = (0.18 \text{ m}^3) (3.3 \text{ L/m}^3) (1.07) = 0.635 \text{ L}$$

Aditivo VISCTROL = $(0.18 \text{ m}^3) (2.6 \text{ L/m}^3) (1.07) = 0.50 \text{ L}$

1) Cálculo material granular para la compactación en carreteras

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de compactación: 0.20 m

Factor de abundamiento utilizado: 15%

Cantidad de materiales para base o subbase = (ancho) (longitud) (espesor de base o subbase) (f. de abundamiento)

Material granular: $(1.00 \text{ m}) (1.00 \text{ m}) (0.20 \text{ m}) (1.15) = 0.23 \text{ m}^3$

*Se utilizará grava de 1 ½" como material granular

3.7.1.3 Pavimento de Concreto Hidráulico.

1. Cálculo de materiales para la construcción de 1 m² de losa de concreto hidráulico.

• Datos:

Resistencia del concreto: 270 Kg/cm²

Proporciones volumétricas: 1: 1.5: 2

Ancho: 1.00 m

Longitud: 1.00 m

Espesor (e): 0.18 m

Factores de desperdicio a utilizar:

Cemento: 3%

Arena: 13%

Grava: 7%

Agua: 17%

- **RESULTADOS:**

Volumen de losas = (ancho) (longitud) (espesor) (número de losas)

Volumen de losas = (1m) (1m) (0.18m) (1) = 0.18 m³

2. Cantidad de materiales para 1 m³ de concreto 270 Kg/cm³ según información de tablas (factores):

Factor cemento: 11.3 bolsas/m³

Factor arena: 0.48 m³/m³

Factor grava: 0.64 m³/m³

Factor agua: 221 L/m³

3. Cantidad total de materiales = (volumen de losas) (f. de material) (f. de desperdicio)

Cemento = (0.18 m³) (11.3 bolsas/m³) (1.03) = **2.136 bolsas**

Arena = (0.18 m³) (0.48 m³/m³) (1.13) = **.098 m³**

Grava = (0.18 m³) (0.64 m³/m³) (1.07) = **0.123 m³**

Agua = (0.18 m³) (221 L/m³) (1.17) = 46.543 L = **0.0465 m³**

4. Cálculo material granular para la compactación en carreteras

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de compactación: 0.12 m

Factor de abudamiento utilizado: 15%

5. Cantidad de materiales para base o subbase =(ancho) (longitud) (espesor de base o subbase) (f. de abundamiento)

Material granular: $(1.00 \text{ m}) (1.00 \text{ m}) (0.12 \text{ m}) (1.15) = 0.138 \text{ m}^3$

*Se asume que se utilizará grava como material granular

6. Cálculo de suelo cemento para la compactación en carreteras

Datos:

Relación suelo-cemento: 1:20

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de compactación: 0.12 m

Factor de abundamiento utilizado: 25%

RESULTADOS:

Volumen de bolsa de cemento = **0.028 m³**

Cantidad de cemento por m³ = **0.05 m³**

Cantidad de suelo por m³ = **0.95 m³**

Área de carretera = (ancho) (longitud)

Área de carretera = $(1\text{m}) (1\text{m}) = 1 \text{ m}^2$

7. Volumen total de compactación = (área de carretera) (espesor de compactación) (f. de abundamiento)

Volumen total de compactación = $(1\text{m}^2) (0.12\text{m}) (1.25) = 0.15 \text{ m}^3$

8. Cemento = [(volumen total) (cantidad de cemento por m³)]/ (volumen de bolsa de cemento)

$$\text{Cemento} = [(0.15 \text{ m}^3) (0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3)] / (0.028 \text{ m}^3/\text{bolsa}) = 0.2679 \text{ bolsas}$$

9. Material selecto = (volumen total de compactación) (cantidad de suelo por m³)

$$\text{Material selecto} = (0.25 \text{ m}^3) (0.95 \text{ m}^3/\text{m}^3) = 0.1425 \text{ m}^3$$

10. Cantidad de acero de refuerzo para un m² de pavimento rígido

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Diámetro de dovela: 7/8 “

Espesor de losa: 18 cm

Factor de varillas de 7/8” /quintales de acero: 2.49 varillas / 1 qq

Factor de desperdicio a utilizar:

Acero: 2%

Longitud de acero para Dovela/m²

Longitud de acero para Dovela = {(Longitud de pasador) [(ancho)/ (Separación entre barras) + 1]} (Factor de desperdicio)

$$\text{Longitud de acero para Dovela} = \{(0.32 \text{ m}) [(1.00 \text{ m}) / (0.30 \text{ m}) + 1]\} * 1.02$$

$$\text{Longitud de acero para Dovela} = 1.4144 \text{ m}$$

$$\text{11. Acero de dovelas por m}^2 = (1.4144 \text{ m} * \left(\frac{1 \text{ varilla}}{6.00 \text{ m}}\right) * \left(\frac{1 \text{ qq}}{2.49 \text{ varilla}}\right) = 0.0947 \text{ qq}$$

12. Acero para barras de anclaje/m²

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Diámetro de barra de anclaje: 3/8"

Espesor de losa: 15 cm

Factor de varillas de 3/8" /quintales de acero: 13.50 varillas / 1 qq

Factor de desperdicio a utilizar:

Acero: 2%

- **Acero para barras de anclaje/m²**

Acero para barra de anclaje = {[(Longitud de barra) (metros por varilla) (Varillas de Acero por Quintal)] (Ancho de losa/Separación entre barras)} (Factor de desperdicio)

Longitud de acero para barra de anclaje = {[(0.45 m) * $\left(\frac{1 \text{ varilla}}{6.00 \text{ m}}\right)$ * $\left(\frac{1 \text{ qq}}{13.5 \text{ varillas}}\right)$] (1.00 m / 0.80 m)} (1.02)

Acero para barra de anclaje = **0.0071 qq**

3.7.1.4 Pavimento de Asfalto. Los datos e información necesarios para para someter a evaluación una mezcla asfáltica en caliente, se obtuvieron de la tesis: "GUIA BASICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE", publicada en agosto del 2007. Donde, se detalla toda la información pertinente acerca del diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando la metodología Marshall.

La información y datos que se tomaron de dicha tesis, son los siguientes:

- Tránsito pesado carpeta y base
- Densidad de la mezcla: 2346.0 kg/m^3

1) Cálculo de materiales para 1 m^2 de asfalto

Datos:

Densidad de la mezcla: $2346.0 \text{ kg/m}^3 \cong 2.346 \text{ ton/m}^3$

Ancho: 1.00 m

Longitud: 1.00 m

Espesor (e): 0.10 m

• Resultados:

Volumen de mezcla asfáltica / $\text{m}^2 = (\text{ancho}) (\text{longitud}) (\text{espesor})$

Volumen de mezcla asfáltica / $\text{m}^2 = (1\text{m}) (1\text{m}) (0.10 \text{ m})$

Volumen de mezcla asfáltica / $\text{m}^2 = 0.10 \text{ m}^3$

2) Cálculo material granular para la compactación en carreteras

Datos:

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de compactación: 0.12 m

Factor de abundamiento utilizado: 15%

- **Cantidad de materiales para base o subbase = (ancho) (longitud) (espesor de base o subbase) (f. de abundamiento)**

Material granular: $(1.00 \text{ m}) (1.00 \text{ m}) (0.12 \text{ m}) (1.15) = 0.138 \text{ m}^3$

*Se asume que se utilizará grava como material granular.

3) Cálculo de suelo cemento para la compactación en carreteras

Datos:

Relación suelo-cemento: 1:20

Ancho de carretera: 1 m

Longitud de carretera: 1 m

Espesor de compactación: 0.12 m

Factor de abundamiento utilizado: 25%

- **RESULTADOS:**

Volumen de bolsa de cemento = 0.028 m^3

Cantidad de cemento por $\text{m}^3 = 0.05 \text{ m}^3$

Cantidad de suelo por $\text{m}^3 = 0.95 \text{ m}^3$

Área de carretera = (ancho) (longitud)

Área de carretera = $(1\text{m}) (1\text{m}) = 1 \text{ m}^2$

- **Volumen total de compactación = (área de carretera) (espesor de compactación) (f. de abundamiento)**

Volumen total de compactación = $(1\text{m}^2) (0.12\text{m}) (1.25) = 0.15 \text{ m}^3$

- **Cemento = [(volumen total) (cantidad de cemento por m^3)] / (volumen de bolsa de cemento)**

Cemento = $[(0.15 \text{ m}^3) (0.05 \text{ m}^3/\text{m}^3)] / (0.028 \text{ m}^3/\text{bolsa}) = 0.2679 \text{ bolsas}$

- **Material selecto = (volumen total de compactación) (cantidad de suelo por m³)**

$$\text{Material selecto} = (0.25 \text{ m}^3) (0.95 \text{ m}^3/\text{m}^3) = \mathbf{0.1425 \text{ m}^3}$$

3.7.1.5 Adoquinado.

1. Cálculo de materiales para la construcción de 1 m² de adoquines

DATOS:

Ancho: 1.00 m

Longitud: 1.00 m

Dimensiones de adoquín: (10 x 22 x 24) cm

- **RESULTADOS**

CANTIDAD DE ADOQUINES

Cantidad de adoquines = [(ancho) (longitud) / (área de adoquín)]

Cantidad de adoquines = [(1m) (1m) / (0.22 m x 0.24 m)] = 18.94 piezas \cong **19 piezas**

Cálculo de materiales para la construcción remate de mampostería

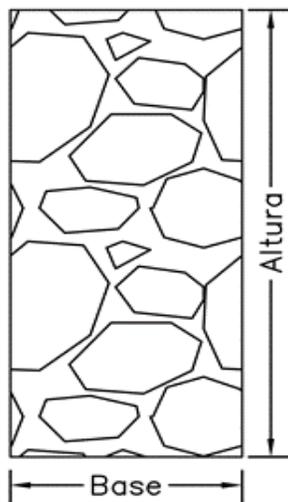


Figura 43. Sección transversal de remate de piedra.

DATOS:

Mortero a usar: 1: 3

Base: 0.2 m

Altura: 0.3 m

Longitud del muro: 1 m

Configuración de muro: 75% Piedra, 25% Mortero

Factores de desperdicio utilizados:

Piedra: 20%

Cemento: 3%

Arena: 13%

Agua: 7%

- **RESULTADOS:**

Volumen de muro = (base) (altura) (longitud)

Volumen de muro = (0.2 m) (0.3 m) (1 m) = **0.06 m³**

Volumen de mortero para la unión de piedras = (volumen de muro) (% de mortero)

Volumen de mortero para la unión de piedras = (0.06 m³) (0.25) = **0.015 m³**

- **Cantidad de materiales para 1 m³ de mortero 1: 3 para la unión de piedras, según**

información de tablas (factores):

Factor cemento = 12.4 bolsas/m³

Factor arena = 1.05 m³/m³

Factor agua = 260 L/m³

- **Cantidad total de materiales = (volumen de mortero para la unión de piedras) (f. de material) (f. de desperdicio)**

$$\text{Cemento} = (0.015 \text{ m}^3) (12.4 \text{ bolsas/m}^3) (1.03) = \mathbf{0.1916 \text{ bolsas}}$$

$$\text{Arena} = (0.015 \text{ m}^3) (1.05 \text{ m}^3/\text{m}^3) (1.13) = \mathbf{0.0178 \text{ m}^3}$$

$$\text{Agua} = (0.015 \text{ m}^3) (260 \text{ L/m}^3) (1.07) = 4.173 \text{ L} = \mathbf{0.00417 \text{ m}^3}$$

$$\text{Piedra} = (\text{volumen de muro}) (\% \text{ de piedra}) (\text{f. de desperdicio})$$

$$\text{Piedra} = (0.06 \text{ m}^3) (0.75) (1.2) = \mathbf{0.054 \text{ m}^3}$$

- **CANTIDAD DE ARENA**

Cantidad de arena: arena de soporte + arena de sellado + arena de remate

Cantidad de arena: [(ancho) (longitud) (espesor de capa)] + [(ancho de adoquín) (longitud de adoquín) (espesor de adoquín) (cantidad de adoquines)] + 0.01 m³

$$\text{Cantidad de arena: } [(1\text{m}) (1\text{m}) (0.04 \text{ m})] + [(0.22 \text{ m}) (0.24 \text{ m}) (0.01) (19)] + 0.01 \text{ m}^3$$

Cantidad de arena: 0.06 m³

3.7.2 PRECIOS UNITARIOS.

3.7.2.1 Sistema de Pisos con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 1 CARRETERA DE REJILLAS RELLENAS CON MATERIAL GRANULAR

UNIDAD: m²

ITEM No.: 1.1 SISTEMA DE REJILLAS

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Rejilla	Pieza	3.2	\$ 6.25	\$ 20.00
Grava de 3/8" a 1/2"	m³	0.0437	\$ 30.00	\$ 1.31
SUB - TOTAL:				\$ 21.31

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Auxiliar	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.01	\$ 0.23
Albañil	\$ 10.12	1.59	\$ 16.09	0.01	\$ 0.16
SUB - TOTAL:					\$ 0.39

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.05	\$ 0.75	\$ 0.26
Rodo	Mecanica		0.0009	\$ 110.00	\$ 0.89
Retroexcavadora	Mecanica		0.0009	\$ 120.00	\$ 0.76
SUB - TOTAL:					\$ 1.71

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 23.41
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 23.41

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO
--

PROYECTO:

PARTIDA No.: 1 CARRETERA DE REJILLAS RELLENAS CON MATERIAL GRANULAR UNIDAD: m2

ITEM No.: 1.2 Relleno compactado de base con material granular, con motoniveladora y rodo compactador

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material Granular (Grava)	m3	0.25	\$ 30.00	\$ 7.50
SUB - TOTAL:				\$ 7.50

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0012	\$ 0.03
SUB - TOTAL:					\$ 0.03

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.002	\$ 0.50	\$ 0.01
Motoniveladora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.69

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 9.21
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 9.21

ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 1 CARRETERA DE REJILLAS RELLENAS CON MATERIAL GRANULAR

UNIDAD: m

ITEM No.: 1.3 Remate de concreto de (15x30)cm de 210 kg/cm²

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	0.4542	\$ 8.15	\$ 3.70
Arena	m3	0.028	\$ 13.25	\$ 0.37
Grava	m3	0.0272	\$ 30.00	\$ 0.82
Agua	L	10.9311	\$ 0.11	\$ 1.15
SUB - TOTAL:				\$6.04

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.89	23.6061	0.0385	0.90883485
Obrero	12.49	1.89	23.6061	0.0463	1.09296243
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0298	0.47950584
SUB - TOTAL:					\$ 2.48

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concreteira	Mecanica		0.009	\$50.00	3.15
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$3.20

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$11.72
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$11.72

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 5 CARRETERA DE REJILLAS RELLENAS CON MATERIAL GRANULAR

UNIDAD: m2

ITEM No.: 1.4 Relleno compactado con material del lugar con bailarina

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				\$ -

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion de suelo	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0958	\$ 2.20
SUB - TOTAL:					\$ 2.20

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.095	\$ 0.50	\$ 0.33
Bailarina	Mecanica		0.001	\$ 50.00	\$ 0.35
Retroexcavadora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.52

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 3.72
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 3.72

3.7.2.2 Concreto Permeable.

ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 2 **CARRETERA DE CONCRETO PERMEABLE**UNIDAD: m² ITEM No.: 2.2 **CAPA DE CONCRETO PERMEABLE: e = 15 cm****A- MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Concreto	m ³	0.18	\$ 120.00	\$ 21.60
Combustible	galon	0.0151	\$ 4.13	\$ 0.06
Plastico	rollo	0.01	\$ 138.00	\$ 1.38
Acero	qq	0.039	\$ 40.00	\$ 1.56
Alambre de amarre	lb	0.0759	\$ 0.40	\$ 0.03
Tubo Estructural	pieza	0.011	\$ 20.00	\$ 0.22
Disco de corte	pieza	0.0002	\$ 573.00	\$ 0.11
SUB - TOTAL:				\$ 24.85

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Auxiliar (6)	\$ 9.00	1.8	\$ 16.20	0.0496	\$ 0.80
Albañil (2)	\$ 15.00	1.8	\$ 27.00	0.0412	\$ 1.11
Aux. Albañil (2)	\$ 12.00	1.8	\$ 21.60	0.0315	\$ 0.68
Encargado	\$ 25.00	1.8	\$ 45.00	0.0587	\$ 2.64
Motorista	\$ 6.00	1.8	\$ 10.80	0.0349	\$ 0.38
SUB - TOTAL:					\$ 5.61

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Regla vibratoria	Mecanica		0.008	\$ 45.00	\$ 2.52
Herramientas varias	Manual		0.12	\$ 1.00	\$ 0.84
Cortadora de concreto	Mecanica		0.006	\$ 50.00	\$ 2.10
SUB - TOTAL:					\$ 5.46

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Transporte	Viaje		\$ 0.25	\$ 0.24
SUB - TOTAL:				\$ 0.24

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 36.16
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 36.16

**ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO**

PROYECTO:

PARTIDA No.: 2 CARRETERA DE CONCRETO PERMEABLE

UNIDAD: m2

ITEM No.: 2.2 Relleno compactado de base con material granular, con motoniveladora y rodo compactador

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material Granular (Grava)	m3	0.2	\$ 30.00	\$ 6.00
SUB - TOTAL:				\$ 6.00

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0012	\$ 0.03
SUB - TOTAL:					\$ 0.03

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.002	\$ 0.50	\$ 0.01
Motoniveladora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.69

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 7.71
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 7.71

ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 2 CARRETERA DE CONCRETO PERMEABLE

UNIDAD: m

ITEM No.: 2.3 Remate con piedra de (30x40) cm (Mortero 1:4)

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	0.359	\$ 8.15	\$ 2.93
Arena	m3	0.0427	\$ 13.25	\$ 0.57
Piedra	m3	0.108	\$ 25.00	\$ 2.70
Agua	L	7.383	\$ 0.11	\$ 0.78
SUB - TOTAL:				\$ 6.97

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.89	23.6061	0.0385	0.90883485
Obrero	12.49	1.89	23.6061	0.0463	1.09296243
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0298	0.47950584
SUB - TOTAL:					\$ 2.48

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concreteira	Mecanica		0.009	\$50.00	3.15
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$3.20

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$12.65
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$12.65

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 2 **CARRETERA DE CONCRETO PERMEABLE**

UNIDAD: m2

ITEM No.: 2.4 Relleno compactado con material del lugar con bailarina

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				\$ -

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion de suelo	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0958	\$ 2.20
SUB - TOTAL:					\$ 2.20

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.095	\$ 0.50	\$ 0.33
Bailarina	Mecanica		0.001	\$ 50.00	\$ 0.35
Retroexcavadora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.52

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 3.72
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 3.72

3.7.2.3 Pavimento de Concreto Hidráulico.

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO
--

PROYECTO:

PARTIDA No.: 3 CARRETERA DE CONCRETO HIDRAULICO

UNIDAD: m2

ITEM No.: 3.1 Pavimento de concreto hidráulico MR=40 kg/cm2 incluye: juntas, encofrado y texturizado e=18 cm

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	2.095	\$ 8.15	\$ 17.07
Arena	m3	0.0976	\$ 13.25	\$ 1.29
Grava	m3	0.1267	\$ 30.00	\$ 3.80
Agua	L	42.5672	\$ 0.17	\$ 7.41
SUB - TOTAL:				\$29.58

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.59	19.8591	0.0285	0.56598435
Obrero	12.49	1.59	19.8591	0.0285	0.56598435
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0285	0.4585878
SUB - TOTAL:					\$ 1.59

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concretera	Mecanica		0.01	\$50.00	3.5
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$3.55

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$34.71
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$34.71

**ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO**

PROYECTO:

PARTIDA No.: 3 CARRETERA DE CONCRETO HIDRAULICO

UNIDAD: m2

ITEM No.: 3.2 Relleno compactado de base con material granular, con motoniveladora y rodo compactador

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material Granular (Grava)	m3	0.2	\$ 30.00	\$ 6.00
SUB - TOTAL:				\$ 6.00

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0012	\$ 0.03
SUB - TOTAL:					\$ 0.03

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.002	\$ 0.50	\$ 0.01
Motoniveladora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.69

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 7.71
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 7.71

ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 3 CARRETERA DE CONCRETO HIDRAULICO

UNIDAD: m

ITEM No.: 3.3 Cordón cuneta de piedra repellido y pulido; según detalle

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	2.2622	\$ 8.15	\$ 18.44
Arena	m3	0.0427	\$ 13.25	\$ 0.57
Piedra	m3	0.0963	\$ 25.00	\$ 2.41
Agua	L	7.5242	\$ 0.11	\$ 0.79
SUB - TOTAL:				\$22.20

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.59	19.8591	0.0285	0.56598435
Obrero	12.49	1.59	19.8591	0.0185	0.36739335
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0185	0.2976798
SUB - TOTAL:					\$ 1.23

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concreteira	Mecanica		0.001	\$50.00	0.35
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$0.40

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$23.83
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$23.83

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 3 CARRETERA DE CONCRETO HIDRAULICO

UNIDAD: m2

ITEM No.: 3.4 Relleno compactado con material del lugar con bailarina

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				\$ -

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion de suelo	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0958	\$ 2.20
SUB - TOTAL:					\$ 2.20

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.095	\$ 0.50	\$ 0.33
Bailarina	Mecanica		0.001	\$ 50.00	\$ 0.35
Retroexcavadora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.52

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 3.72
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 3.72

3.7.2.4 Pavimento de Asfalto.

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 4 CARRETERA DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UNIDAD: m2

ITEM No.: 4.1 Pavimento c/mezcla asfáltica en caliente tamaño máximo de agregado de 1/2"

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Mezcla asfaltica en caliente	ton	0.1073	\$ 84.19	\$ 9.03
Ligamento asfaltico	m2	1	\$ 4.30	\$ 4.30
SUB - TOTAL:				\$13.33

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Auxiliar	12.49	1.8	22.482	0.01	0.22482
Ayudante de maquinaria	10.12	1.8	18.216	0.005	0.09108
Rastrilleros	10.12	1.8	18.216	0.01	0.18216
SUB - TOTAL:					\$ 0.50

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Pavimentadora	mecanica		0.003	\$125.00	\$ 2.63
Compactadora neumatica	mecanica		0.001	\$55.00	\$ 0.39
Compatadro metalico	mecanica		0.001	\$70.00	\$ 0.49
Barredora	mecanica		0.001	\$45.00	\$ 0.32
Distribuidor de asfalto	mecanica		0.003	\$92.00	\$ 1.93
Herramientas varias	manual		0.001	\$39.00	\$ 0.27
Transporte	viaje		0.001	\$300.00	\$ 2.10
SUB - TOTAL:					\$8.12

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$21.95
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$21.95

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 4 CARRETERA DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UNIDAD: m2

ITEM No.: 4.2 Relleno compactado de base con material granular, con motoniveladora y rodo compactador

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material Granular (Grava)	m3	0.2	\$ 30.00	\$ 6.00
SUB - TOTAL:				\$ 6.00

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0012	\$ 0.03
SUB - TOTAL:					\$ 0.03

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.002	\$ 0.50	\$ 0.01
Motoniveladora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.69

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 7.71
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 7.71

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 2 CARRETERA DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UNIDAD: m2

ITEM No.: 4.3 Relleno compactado de Subbase con material granular, con motoniveladora y rodo compactador

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material Granular (Grava)	m3	0.2	\$ 30.00	\$ 6.00
SUB - TOTAL:				\$ 6.00

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0012	\$ 0.03
SUB - TOTAL:					\$ 0.03

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.002	\$ 0.50	\$ 0.01
Motoniveladora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.69

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 7.71
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 7.71

**ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO**

PROYECTO:

PARTIDA No.: 2 CARRETERA DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UNIDAD: m

ITEM No.: 4.4 Cordón cuneta de piedra repellido y pulido; según detalle

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	2.2622	\$ 8.15	\$ 18.44
Arena	m3	0.0427	\$ 13.25	\$ 0.57
Piedra	m3	0.0963	\$ 25.00	\$ 2.41
Agua	L	7.5242	\$ 0.11	\$ 0.79
SUB - TOTAL:				\$22.20

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.59	19.8591	0.0285	0.56598435
Obrero	12.49	1.59	19.8591	0.0185	0.36739335
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0185	0.2976798
SUB - TOTAL:					\$ 1.23

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concretera	Mecanica		0.001	\$50.00	0.35
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$0.40

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$23.83
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$23.83

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 4 CARRETERA DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UNIDAD: m2

ITEM No.: 4.5 Relleno compactado con material del lugar con bailarina

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				\$ -

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion de suelo	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0958	\$ 2.20
SUB - TOTAL:					\$ 2.20

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.095	\$ 0.50	\$ 0.33
Bailarina	Mecanica		0.001	\$ 50.00	\$ 0.35
Retroexcavadora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.52

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 3.72
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 3.72

3.7.2.5 Adoquinado.

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO
--

PROYECTO:

PARTIDA No.: 5 CARRETERA DE ADOQUIN

UNIDAD: m2

ITEM No.: 5.1 ADOQUINADO

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Adoquin (10x22x24)cm	Pieza	19	\$ 0.75	\$ 14.25
Arena	m3	0.06	\$ 13.25	\$ 0.80
SUB - TOTAL:				\$ 15.05

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Auxiliar	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.03	\$ 0.69
Albañil	\$ 12.40	1.89	\$ 23.44	0.09	\$ 2.11
SUB - TOTAL:					\$ 2.80

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.099	\$ 0.85	\$ 0.59
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 110.00	\$ 0.77
Retroexcavadora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 2.20

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 20.04
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 20.04

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO
--

PROYECTO:

PARTIDA No.: 5 CARRETERA DE ADOQUIN

UNIDAD: m2

ITEM No.: 5.2 Relleno compactado de base con material granular, con motoniveladora y rodo compactador

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Material Granular (Grava)	m3	0.2	\$ 30.00	\$ 6.00
SUB - TOTAL:				\$ 6.00

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0012	\$ 0.03
SUB - TOTAL:					\$ 0.03

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.002	\$ 0.50	\$ 0.01
Motoniveladora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
Rodo	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.69

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 7.71
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 7.71

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 5 CARRETERA DE ADOQUIN

UNIDAD: m

ITEM No.: 5.3 Cordón cuneta de piedra repellido y pulido; según detalle

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	2.2622	\$ 8.15	\$ 18.44
Arena	m3	0.0427	\$ 13.25	\$ 0.57
Piedra	m3	0.0963	\$ 25.00	\$ 2.41
Agua	L	7.5242	\$ 0.11	\$ 0.79
SUB - TOTAL:				\$22.20

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.59	19.8591	0.0285	0.56598435
Obrero	12.49	1.59	19.8591	0.0185	0.36739335
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0185	0.2976798
SUB - TOTAL:					\$ 1.23

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concreteira	Mecanica		0.001	\$50.00	0.35
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$0.40

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$23.83
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$23.83

ANEXO
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 5 CARRETERA DE ADOQUIN

UNIDAD: m

ITEM No.: 5.4 Remate con piedra de (30x40) cm (Mortero 1:4)

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
Cemento	bolsa	0.359	\$ 8.15	\$ 2.93
Arena	m3	0.0427	\$ 13.25	\$ 0.57
Piedra	m3	0.108	\$ 25.00	\$ 2.70
Agua	L	7.383	\$ 0.11	\$ 0.78
SUB - TOTAL:				\$6.97

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Maestro de Obra	12.49	1.89	23.6061	0.0385	0.90883485
Obrero	12.49	1.89	23.6061	0.0463	1.09296243
Auxiliar	10.12	1.59	16.0908	0.0298	0.47950584
SUB - TOTAL:					\$ 2.48

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Concretetera	Mecanica		0.009	\$50.00	3.15
Pala	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Carreta	Manual		0.1	\$0.03	0.021
Vibrador	Mecanica		0.1	\$0.01	0.007
Herramientas varias	Manual		0.1	\$0.01	\$0.01
SUB - TOTAL:					\$3.20

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$12.65
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$12.65

ANEXO ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS IVA INCLUIDO

PROYECTO:

PARTIDA No.: 5 CARRETERA DE ADOQUIN

UNIDAD: m2

ITEM No.: 5.5 Relleno compactado con material del lugar con bailarina

A- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				\$ -

B-MANO DE OBRA

DESCRIPCION	JORNAL	PRESTACION	JORN-TOTAL	RENDIMIENTO	SUB TOTAL
Compactacion de suelo	\$ 12.13	1.89	\$ 22.93	0.0958	\$ 2.20
SUB - TOTAL:					\$ 2.20

C-EQUIPO Y HERRAMIENTAS

DESCRIPCION	TIPO	CAPACIDAD	RENDIMIENTO	COSTO/HORA	SUB TOTAL
Herramientas varias	manual		0.095	\$ 0.50	\$ 0.33
Bailarina	Mecanica		0.001	\$ 50.00	\$ 0.35
Retroexcavadora	Mecanica		0.001	\$ 120.00	\$ 0.84
SUB - TOTAL:					\$ 1.52

D-SUBCONTRATOS

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	SUB TOTAL
SUB - TOTAL:				

COSTO DIRECTO = A + B + C + D	\$ 3.72
COSTO INDIRECTO (% C. D.)	
PRECIO UNITARIO	\$ 3.72

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ASPECTOS TÉCNICOS.

A través del tiempo los pavimentos han experimentado una evolución continua impulsada por la necesidad de proveer estructuras eficientes y sostenibles.

Con base a lo anterior surge el dilema de elegir entre un tipo de pavimento que cumpla con las exigencias de un proyecto en particular, esto ha sido materia de diferentes discusiones técnicas basadas en argumentos que también han evolucionado con el tiempo debido a la aparición de nuevos materiales y enfoques distintos basados en satisfacer aspectos de: seguridad, ecológicos, económicos y que la estructura sea duradera, lo que conlleva a la implementación de nuevas técnicas constructivas.

Por lo tanto, esta comparación presenta una perspectiva abierta con la intención de incentivar un diálogo proactivo que conduzca a la implementación del diseño, construcción, y mantenimiento de alternativas de construcción de pavimentos que tengan un buen desempeño y que sea concordante con las características del proyecto, sin perder de vista la eficiencia y sostenibilidad en la construcción.

Es importante recordar que el pavimento es una estructura sometida a cargas de tráfico y clima que generan esfuerzos y deformaciones internas en las capas que lo componen. El tipo de estructura de pavimento a emplear depende de la función a desempeñar y de los factores que los afectan durante el período de servicio para el cual se diseña. Independientemente del tipo de pavimento que se construya, un adecuado desempeño depende de la calidad de los materiales, un proceso constructivo responsable, y un programa de mantenimiento oportuno.

Sin embargo, el pavimento debe satisfacer objetivos y criterios múltiples de forma simultánea, bajo esta perspectiva, se compara el **sistema de rejillas para pisos permeables con plástico reciclado y material granular principalmente frente al concreto permeable, además de algunas comparaciones con el concreto hidráulico, pavimento de asfalto y adoquinado.**

1. Diseño.

Tradicionalmente el diseño de un pavimento involucra principalmente aspectos de carácter estructural y funcional, en la que se diseña la estructura en función de las condiciones del proyecto, como; Calidad del suelo de fundación (Subrasante), calidad de los materiales, tráfico (cargas), clima, etc. que garanticen el funcionamiento de la estructura, y de estos factores dependen los espesores de una estructura de piso o pavimento. De manera ilustrativa se muestra a continuación, las secciones típicas de los tipos de pavimentos antes mencionados.

a) Sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.

En su definición más simple, es una estructura compuesta por una capa granular (grava) y el sistema de rejillas que se rellenan con grava de menor tamaño que la subbase, resultando una estructura con buena capacidad de carga, y una porosidad tal que permite al agua y aire pasar a través de ella, y el suelo natural de soporte, que en función de sus propiedades puede infiltrar el agua.

Tal como se muestra en la figura 44, este sistema consta de dos capas una subbase de espesor de 25 cm y la otra capa es la de rodamiento con espesor de 3.8 cm, haciendo un espesor total de 28.8 cm.

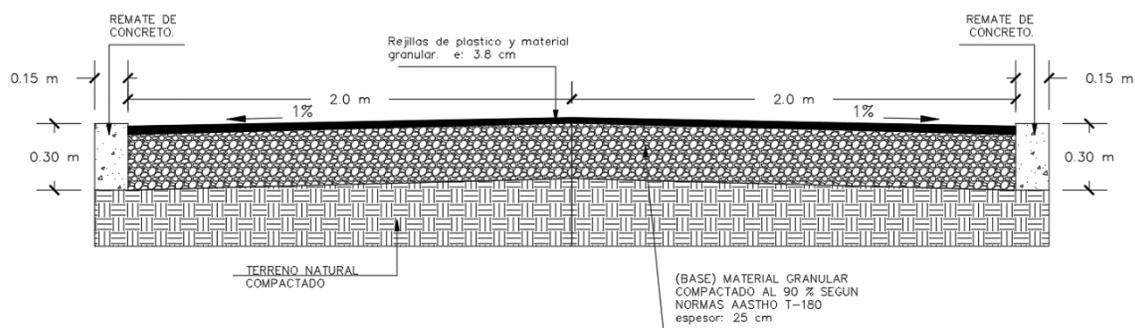


Figura 44. Perfil típico del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular.

b) Pavimento De Concreto Hidráulico.

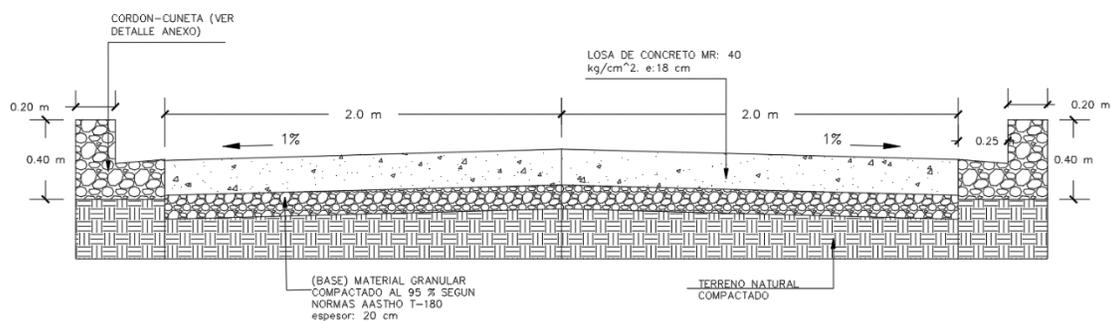


Figura 45. Sección transversal de un pavimento de concreto hidráulico (rígido).

c) Pavimento Asfáltico.

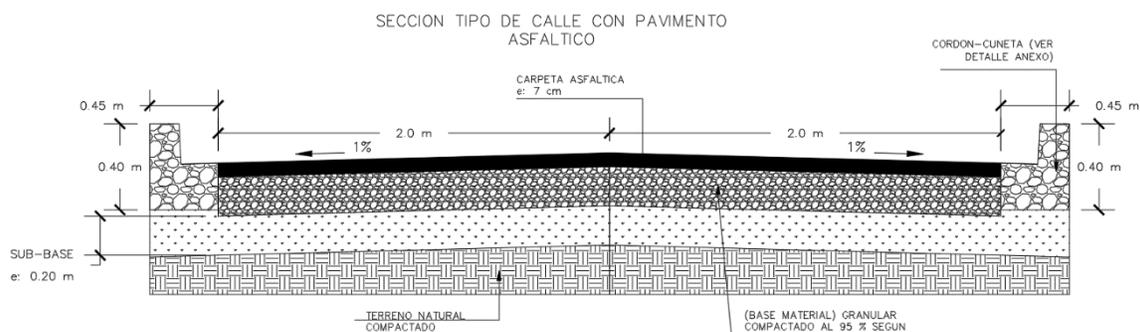


Figura 46. Sección transversal de un pavimento de asfalto.

d) Adoquinado.

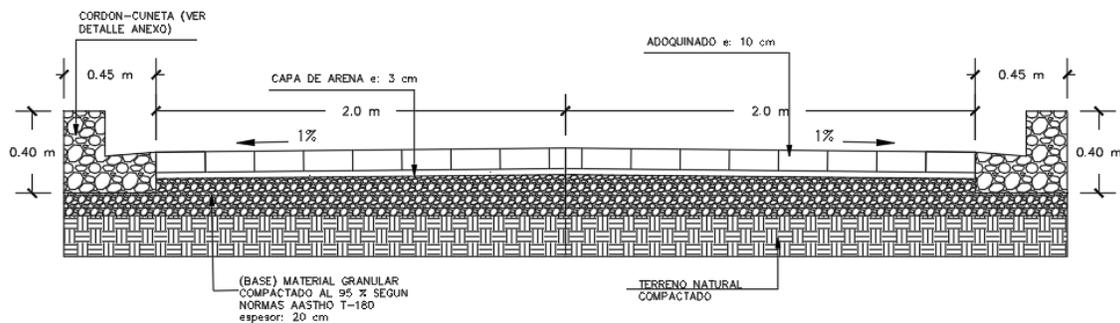


Figura 47. Sección transversal de un pavimento con adoquines.

2. DESEMPEÑO Y TRASMISIÓN DE CARGAS.

Como se aprecia en la figura 44, la estructura de un *Sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular*, está compuesto por dos capas, una granular de 25 cm, con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", que sirve de base y subbase de la capa de rodamiento, además de servir de almacenamiento y gestión del agua, en la cual los esfuerzos producidos por las cargas, son distribuidos por trabazón de agregados, la otra capa es la superficie de rodadura, la cual se compone de una rejilla modular de 3.8 cm de altura y que es de plástico reciclado la cual se rellena con grava de tamaño máximo de 3/8", donde no se pierde la capacidad de soporte de la estructura gracias al confinamiento que aporta la rejilla, de tal forma que estas capas cumplen la función estructural y son apoyadas en la subrasante, que es la capa de suelo que brinda soporte y estabilidad a la estructura del pavimento. La subbase tendrá un porcentaje de vacíos del 46.15 %.

La capa granular, debe cumplir con los parámetros de granulometría, basados en la norma **ASTM C-136 “Método de prueba estándar para el análisis por tamizado de agregados finos y gruesos”**, además de las normas, ASTM C-127 “**Método de ensayo de gravedad específica y absorción de agregado grueso**”, ASTM C-29 “**Método de ensayo de densidad bruta (peso unitario) y vacíos en los agregados**”. En la cual el tamaño del material granular (grava) varía de ¾” a 1 ½” y el relleno de la rejilla varía de 3/8” a ½”.

En cuanto al **concreto permeable**, los rangos típicos de espesores van de (15 a 30) cm, con porcentajes de vacíos de 18 % a 35 %, con resistencias a la compresión hasta de 180 kg/cm², y módulos de ruptura de hasta 24 kg/cm², de acuerdo al diseño de mezcla.

Su velocidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente se encuentra en el rango de 81 a 730 L/min/m². (American Concrete Insititute. 2013).

En el caso de los **pavimentos rígidos**, tal como muestra la figura 45, es la losa de concreto la que trabaja estructuralmente y absorbe en su espesor los esfuerzos producidos por las cargas actuantes. La losa puede inclusive colocarse directamente sobre la subrasante si la estructura está compuesta por un suelo de buena calidad, sino se coloca una base granular que brinde una superficie uniforme sobre la cual apoyar la losa.

Los pavimentos de asfalto (flexibles) están compuestos por múltiples capas, tal como se ejemplifica en la figura 46, en donde los esfuerzos transmitidos por las cargas actuantes son distribuidos en forma gradual a través de la estructura del pavimento. Todas las capas que componen la estructura del pavimento flexible cumplen una función estructural.

4.2 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ASPECTOS ECONÓMICOS.

Tabla 17. Resumen de precios estimados para 1 m².

TIPO DE PAVIMENTO					
DESCRIPCION	REJILLAS	CONCRETO	CONCRETO	PAVIMENTO	ADOQUIN
	RELLENAS CON PLASTICAS MATERIAL GRANULAR	PERMEABLE	HIDRAULICO	ASFALTICO	
Subrasante	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
Subbase	-	-	-	7.71	-
Base	9.21	7.71	7.71	7.71	7.71
Capa de rodadura	23.41	36.16	34.71	21.95	20.04
SUB-TOTAL -1	36.34	47.59	46.14	41.09	31.47
ELEMENTOS ADICIONALES					
Elemento					
confinante (remate)	11.72	12.65	-	-	12.65
Elemento para drenaje (cordón-cuneta)	-	-	23.83	23.83	23.83
TOTAL	48.06	60.24	69.97	64.92	67.95

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

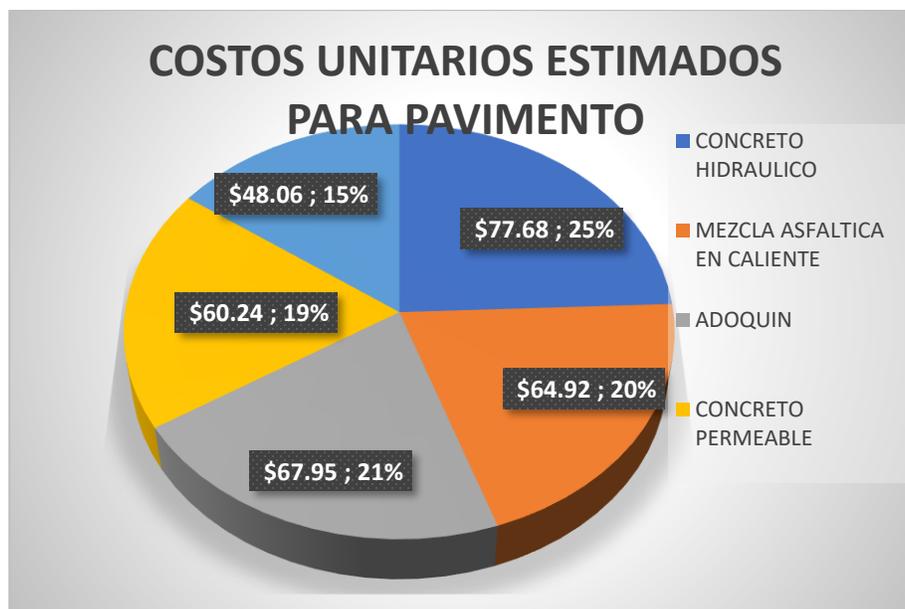


Figura 48. Porcentajes de precios unitarios por tipo de pavimento.

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

Para efectos de análisis de los precios unitarios, se realiza un estimado de los precios de construcción inicial de los tipos de pavimentos en base a los criterios mostrados en la sección 4.1 de este documento y a los datos siguientes:

Construcción de un tramo de carreta.

- Longitud: 10 m
- Ancho: 4 m.
- Área: $10 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 40 \text{ m}^2$

Tabla 18. Precios estimados para 40 m²

PRECIOS DE LOS TIPOS DE PAVIMENTOS				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL - 1
Concreto				
Hidráulico	m ²	40	\$ 53.85	\$ 2154.00
Mezcla Asfáltica en				
caliente	m ²	40	\$ 41.09	\$ 1643.60
Adoquín	m ²	40	\$ 31.47	\$ 1258.80
Concreto				
Permeable	m ²	40	\$ 47.59	\$ 1 903.60
Rejillas de plástico				
rellenas con	m ²	40	\$ 36.34	\$ 1 453.60
material granular				

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

Tabla 19. Precios estimados para cordón-cuneta y remate.

ELEMENTOS ADICIONALES				
DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL - 2
CORDON CUNETA				
Concreto	m	20	\$ 12.83	\$ 476.60
Hidráulico				
Mezcla	m	20	\$ 12.83	\$ 476.60
Asfáltica en				
caliente				

REMATE				
Adoquín	m	4	\$ 12.65	\$ 50.60
Concreto	m	4	\$ 12.65	\$ 50.60
Permeable				
Rejillas de	m	4	\$ 11.77	\$ 47.09
plástico rellenas				
con material				
granular				

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

Tabla 20. Precios estimados para los diferentes tipos de pavimentos.

DESCRIPCION	SUBTOTAL - 1	SUBTOTAL - 2	TOTAL
Concreto	\$ 2154.00	\$ 476.60	\$ 2 630.60
Hidráulico			
Mezcla Asfáltica en	\$ 1643.60	\$ 476.60	\$ 2 120.20
caliente			
Adoquín	\$ 1258.80	\$ 50.60	\$ 1786.00
Concreto	\$ 1 903.60	\$ 50.60	\$ 1954.20
Permeable			
Rejillas de plástico	\$ 1 453.60	\$ 47.09	\$ 1500.69
rellenas con			
material granular			

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis

NOTA: El precio total, es la suma del subtotal 1 y subtotal 2.

4.2.1 Costos de Construcción y de Mantenimiento.

- **COSTOS DE MANTENIMIENTO**

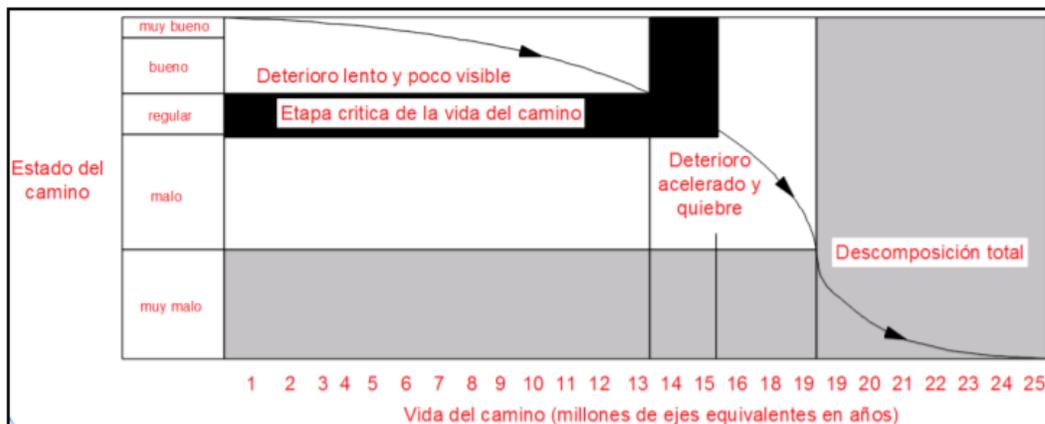


Figura 49. Esquema de deterioro de un pavimento a través de tiempo.

El esquema anterior, representa la forma general en que se deterioran los pavimentos, en él se puede observar que en los primeros años el deterioro es lento; sin embargo, existe un umbral en el cual el deterioro es acelerado, llegando rápidamente el término de la vida útil del camino.

- **Estrategias de Mantenimiento.**

Son los tipos de acciones de mantenimiento y rehabilitación que usa el organismo administrador de la red vial, de acuerdo al estado de los pavimentos. Estas acciones están definidas por la Federal Highway Administration (FHWA) y son las siguientes:

- 1- **No acción:** Se refiere a pavimentos en excelente estado, es decir, recientemente construidos.
- 2- **Mantenimiento de Rutina:** Esta conserva el pavimento en buen estado general, se encarga de problemas localizados como sellado de grietas o bacheo; así como de operaciones de limpieza de drenajes, hombros y taludes.

- 3- Mantenimiento Preventivo (Periódico):** Contrarresta el deterioro antes que sea significativo, mediante actividades como lechadas asfálticas y sellos superficiales (en pavimentos bituminosos); reparaciones de espesor parcial o total, restauración de la transferencia de carga y cepillado (en pavimentos de concreto hidráulico)
- 4- Rehabilitación:** Se aplica cuando el pavimento alcanza una condición entre regular y mala, y comprende actividades de refuerzo.
- 5- Reconstrucción:** Puede hacerse un reemplazo total o parcial del pavimento. Además, incluye otras mejoras como realineamiento, ensanchamiento, etc.

- **Evaluación de Alternativas**

Para nuestro análisis, no se tomará en cuenta el parámetro de reconstrucción puesto que solo se analizará la vida útil de cada pavimento desde su inicio hasta el final.

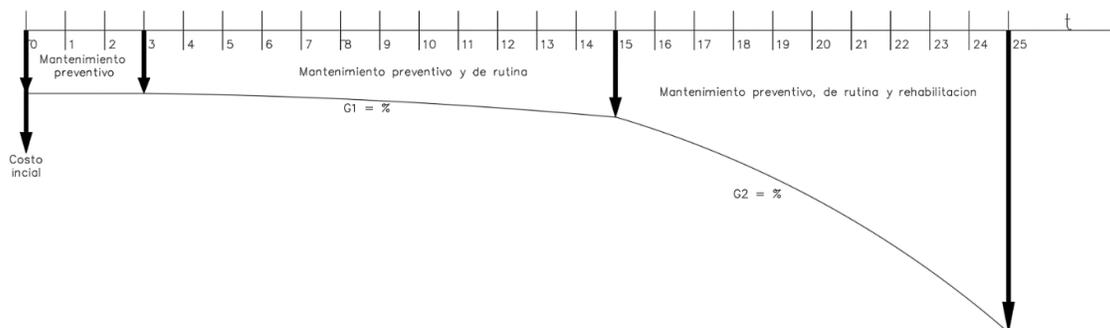
Para determinar el costo más viable antes de la selección de un determinado tipo de pavimento, las alternativas que están siendo analizadas, serán evaluadas mediante el método del Valor Presente Neto (VPN), sin embargo, hay que recalcar que en dicho análisis no se tomaran en cuenta los posibles ingresos o beneficios que las alternativas puedan poseer, a fin de evitar generar confusión, pues en el ámbito de pavimentos, dichos valores son muy subjetivos, puesto que están sujetos a las características propias de cada proyecto, de una manera similar a los costos indirectos.

Tabla 21. Tabla de alternativas.

TABLA DE ALTERNATIVAS	
Alternativa	Costo inicial (de construcción)
Concreto Hidráulico	\$2630.60
Mezcla Asfáltica en caliente	\$2120.20
Adoquín	\$1786.00
Concreto Permeable	\$1954.20
Rejillas de plástico rellenas con material granular	\$1500.69

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

A continuación, se muestra el comportamiento y variación de los costos de mantenimiento a través del tiempo de vida útil, de forma general:



El incremento de los costos de mantenimiento, usualmente comienzan a partir del tercer año de la vida útil del pavimento, los cuales aumentan de forma exponencial, o como en ingeniería económica se le denomina: Gradiente geométrico.

Esto debido a que el deterioro de los pavimentos es de igual forma (exponencial) a medida que pasa su vida útil.

Por su parte, generalmente a partir del 60% de la vida útil de los pavimentos, los costos aumentan en un mayor grado, esto debido que a partir de ese momento el deterioro del pavimento aumenta de forma acelerada.

Datos para el análisis de alternativas:

Costo inicial (Co): Costo de construcción

Costo de mantenimiento preventivo: Se tomará un porcentaje del costo inicial

Vida útil: 25 años (para todas las alternativas)

G1: Mantenimiento antes del 60% de vida útil

G2: Mantenimiento después del 60% de vida útil

i: Tasa de interes

A1: Anualidad antes del 60% de vida útil

A2: Anualidad en el 60% de vida útil

1. CONCRETO HIDRÁULICO:

Costo inicial: \$2630.60/m²

Costo de mantenimiento preventivo: 3% del costo inicial = \$78.92

Vida útil: 25 años

G1: 5%

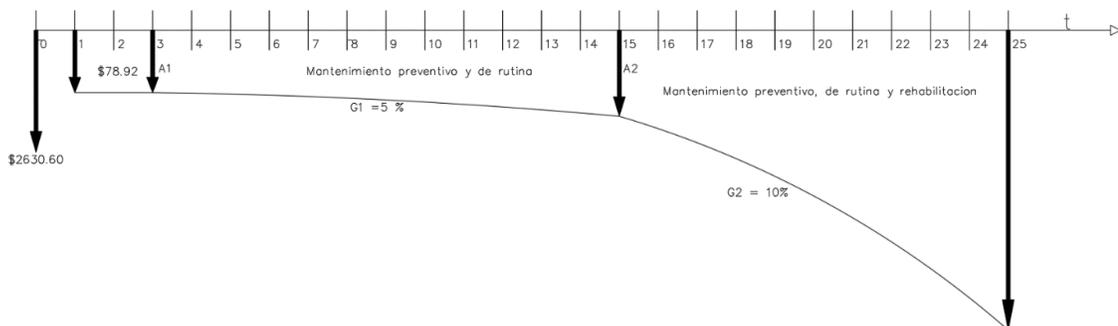
G2: 10%

i: 2% (anual)

A1: 3% del costo inicial = \$78.92

A2: 5% del costo inicial = \$131.53

Diagrama de flujo de efectivo



$$VPN1 = Co + \$78.92(P/A,i,n) + A1(P/G,i,n)(P/F,i,n) + A2(P/G,i,n)(P/F,i,n)$$

$$VPN1 = \$2630.60 + \$78.92\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) + A1\left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i}\right)^n}{i-G}\right)\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right) + A2\left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i}\right)^{11}}{i-G}\right)\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right)$$

$$VPN1 = \$2630.60 + \$78.92\left(\frac{(1+0.02)^3 - 1}{0.02(1+0.02)^3}\right) + \$78.92\left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.05}{1+0.02}\right)^{13}}{0.02-0.05}\right)\left(\frac{1}{(1+0.02)^2}\right) +$$

$$\$131.53\left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.02}\right)^{11}}{0.02-0.10}\right)\left(\frac{1}{(1+0.02)^{14}}\right)$$

$$VPN1 = \$ 2630.60 + \$ 227.59 + \$ 1157.22 + \$ 1613.19 = \$ 5628.60$$

2. MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE:

Costo inicial: \$2120.20/m²

Costo de mantenimiento preventivo: 4% del costo inicial = \$84.80

Vida útil: 25 años

G1: 5%

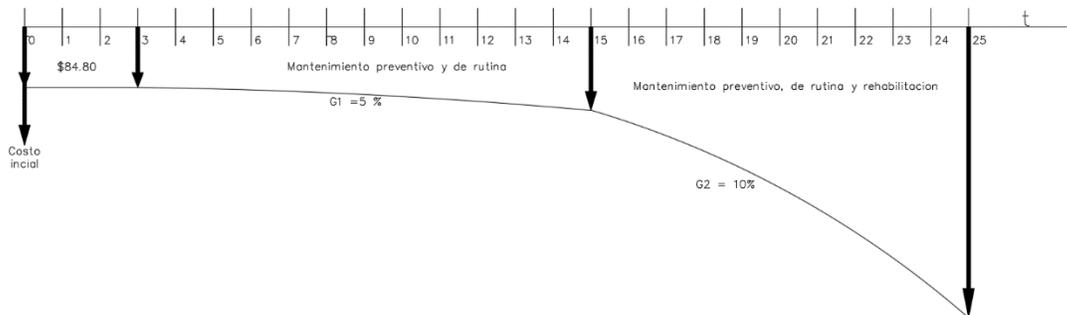
G2: 10%

i: 2% (anual)

A1: 4% del costo inicial = \$84.80

A2: 8% del costo inicial = \$169.61

Diagrama de flujo de efectivo



$$VPN2 = Co + \$84.80(P/A, i, n) + A1(P/G, i, n)(P/F, i, n) + A2(P/G, i, n)(P/F, i, n)$$

$$VPN2 = \$2120.20 + \$84.80 \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + A1 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^n}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) + A2 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^{11}}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$$

$$VPN2 = \$2120.20 + \$84.80 \left(\frac{(1+0.02)^3 - 1}{0.02(1+0.02)^3} \right) + 84.80 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.05}{1+0.02} \right)^{13}}{0.02-0.05} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^2} \right) +$$

$$\$169.61 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.02} \right)^{11}}{0.02-0.10} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^{14}} \right)$$

$$VPN2 = \$ 2120.20 + \$ 244.55 + \$ 1243.46 + \$ 2080.23 = \$ 5688.44$$

3. ADOQUINADO:

Costo inicial: \$1786.00/m²

Costo de mantenimiento preventivo: 3% del costo inicial = \$53.58

Vida útil: 25 años

G1: 5%

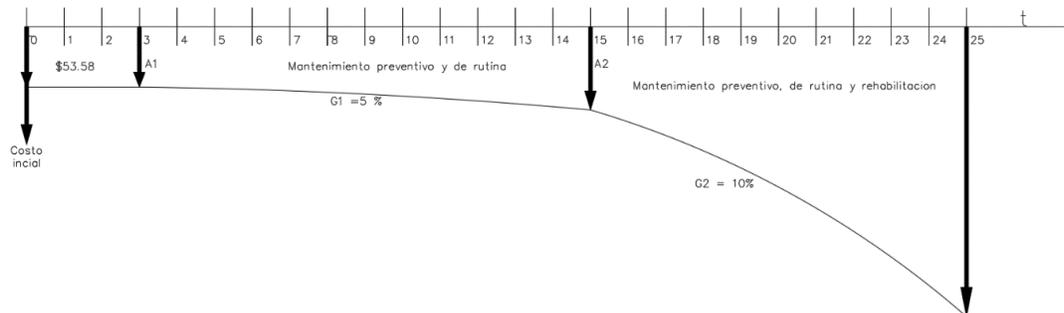
G2: 10%

i: 2% (anual)

A1: 3% del costo inicial = \$53.58

A2: 5% del costo inicial = \$89.30

Diagrama de flujo de efectivo



$$VPN3 = Co + \$53.58(P/A,i,n) + A1(P/G,i,n)(P/F,i,n) + A2(P/G,i,n)(P/F,i,n)$$

$$VPN3 = \$1786.00 + \$53.58 \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + A1 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^n}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) + A2 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^{11}}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$$

$$VPN3 = \$1786.00 + \$53.58 \left(\frac{(1+0.02)^3 - 1}{0.02(1+0.02)^3} \right) + 53.58 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.05}{1+0.02} \right)^{13}}{0.02-0.05} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^2} \right) +$$

$$\$89.30 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.02} \right)^{11}}{0.02-0.10} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^{14}} \right)$$

$$VPN3 = \$ 1786.00 + \$ 154.51 + \$ 785.65 + \$ 1095.25 = \$ 3821.41$$

4. Concreto Permeable.

Costo inicial: \$1954.20/m²

Costo de mantenimiento preventivo: 3% del costo inicial = \$58.62

Vida útil: 25 años

G1: 5%

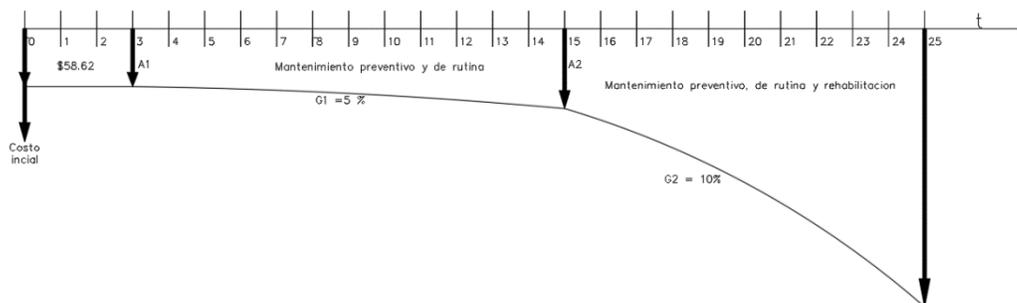
G2: 10%

i: 2% (anual)

A1: 3% del costo inicial = \$58.62

A2: 5% del costo inicial = \$97.71

Diagrama de flujo de efectivo



$$VPN4 = Co + \$58.62(P/A, i, n) + A1(P/G, i, n)(P/F, i, n) + A2(P/G, i, n)(P/F, i, n)$$

$$VPN4 = \$1954.20 + \$58.62 \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + A1 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^n}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) + A2 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^{11}}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$$

$$VPN4 = \$1954.20 + \$58.62 \left(\frac{(1+0.02)^3 - 1}{0.02(1+0.02)^3} \right) + 58.62 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.05}{1+0.02} \right)^{13}}{0.02-0.05} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^2} \right) +$$

$$\$97.71 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.02} \right)^{11}}{0.02-0.10} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^{14}} \right)$$

$$VPN4 = \$ 1954.20 + \$ 169.05 + \$ 859.56 + \$ 1198.39 = \$ 4181.20$$

5. REJILLAS DE PLÁSTICO RELLENAS CON MATERIAL GRANULAR.

Costo inicial: \$1500.69/m²

Costo de mantenimiento preventivo: 3% del costo inicial = \$45.02

Vida útil: 25 años

G1: 5%

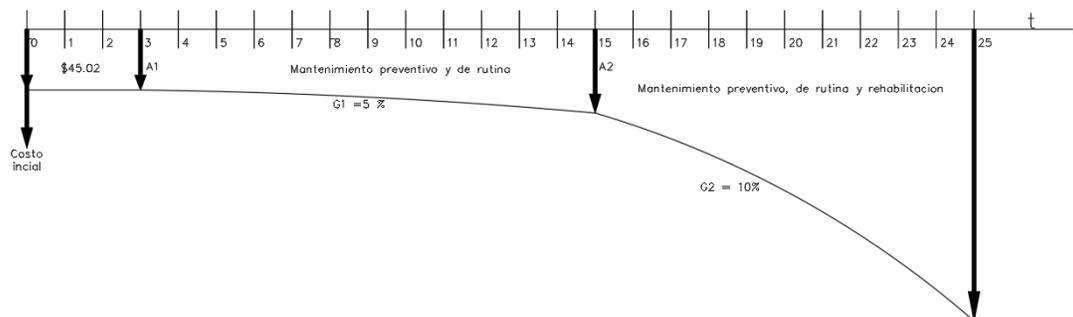
G2: 10%

i: 2% (anual)

A1: 3% del costo inicial = \$45.02

A2: 5% del costo inicial = \$75.03

Diagrama de flujo de efectivo.



$$VPN5 = Co + \$45.02(P/A, i, n) + A1(P/G, i, n)(P/F, i, n) + A2(P/G, i, n)(P/F, i, n)$$

$$VPN5 = \$1500.69 + \$45.02 \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) + A1 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^n}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) + A2 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+G}{1+i} \right)^{11}}{i-G} \right) \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right)$$

$$VPN5 = \$1500.69 + \$45.02 \left(\frac{(1+0.02)^3 - 1}{0.02(1+0.02)^3} \right) + 45.02 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.05}{1+0.02} \right)^{13}}{0.02-0.05} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^2} \right) +$$

$$\$75.03 \left(\frac{1 - \left(\frac{1+0.10}{1+0.02} \right)^{11}}{0.02-0.10} \right) \left(\frac{1}{(1+0.02)^{14}} \right)$$

$$VPN5 = \$ 1500.69 + \$ 129.80 + \$ 660.14 + \$ 920.23 = \$ 3210.8$$

Tabla 22. Comparación De Alternativas.

ALTERNATIVA	COSTO DE ALTERNATIVA (COSTO DE CONSTRUCCION + MANTENIMIENTO)
Concreto Hidráulico	\$ 5 628.60
Mezcla Asfáltica en caliente	\$ 5 688.44
Adoquín	\$ 3 821.41
Concreto Permeable	\$ 4 181.20
Rejillas de plástico rellenas con material granular	\$ 3 210.86

Fuente. Elaborado por el grupo de tesis.

4.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE ASPECTOS AMBIENTALES.

En la industria de la construcción, se generan demandas de pavimentos similares a la demanda del petróleo en el mercado, debido al desarrollo de infraestructura que día con día aumenta de manera exponencial. Hecho que causa grandes cambios al medio ambiente a través de la creación de factores indirectos como lo son: escorrentías superficiales, islas de calor, paisajismo, etc. Si se refiere al punto de vista ecológico vale la pena mencionar que, la utilización del sistema de rejillas de plástico con material granular tiene injerencia indirecta en la reducción de escorrentías superficiales y proporciona un fortalecimiento positivo a los mantos acuíferos que la mayoría de pavimentos no logran infiltrar. Esta relación no es una relación directa, es decir, influye en la medida que se reducen los volúmenes de concreto necesario para suplir las necesidades de los proyectos, por ende, reduce la demanda de volúmenes de pavimento como se menciona anteriormente.

La construcción tradicional de nuestras ciudades se caracteriza por materializarse en grandes extensiones de superficies impermeables, generalmente techos y pavimentos que alteran radicalmente las condiciones hidrológicas (flujo libre del agua y el aire a los suelos) que existían antes del desarrollo, aumentan la temperatura, incrementan la acumulación y flujo de agua en superficie desbordando la capacidad instalada de los sistemas de drenaje figura 50, transportando residuos contaminantes y agua a temperaturas elevadas que ingresan a los ecosistemas y vulneran la calidad de vida a todos los niveles.

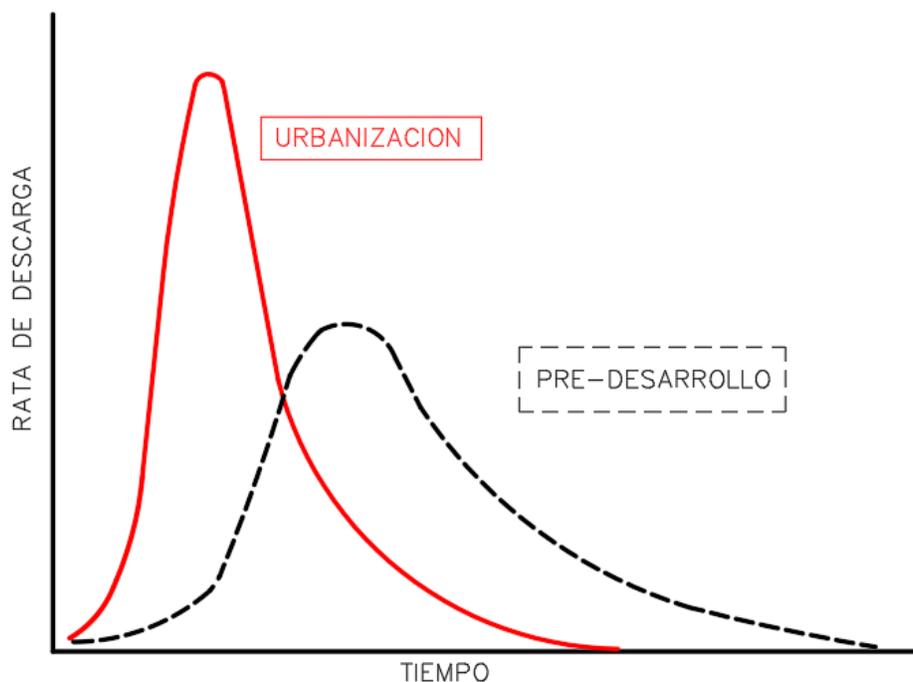


Figura 50. Cambio típico el comportamiento de la escorrentía debido a la Urbanización.

Fuente: PCA Hydrology Manual.

Con base a lo anterior, la utilización del **sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular**, es parte de una solución integral que permite abordar estos problemas de manera sostenible, mediante un desarrollo urbano de bajo impacto.

La figura 51, muestra cómo una estructura de pavimento permeable permite conservar lo más fielmente posible las condiciones hidrológicas que se tenían en la zona antes del desarrollo urbano.

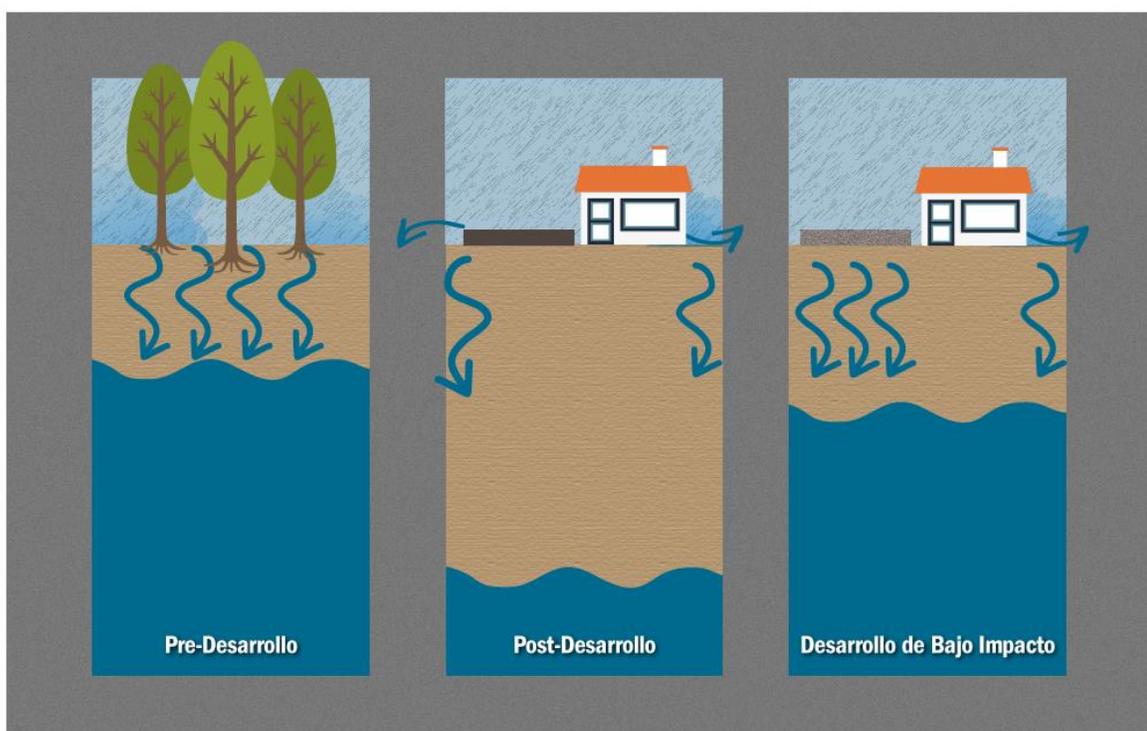


Figura 51. Desarrollo de bajo impacto.

La estructura del **sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular**, permite que al caer la lluvia se infiltre instantáneamente e ingrese donde puede ser: infiltrada al terreno natural y alimentar las reservas subterráneas, almacenada o dirigida a los sistemas de alcantarillado pluvial.

Esta condición depende de las características donde se emplazará el proyecto, lo que sí es claro es que se disminuye considerablemente los sistemas de alcantarillado pluvial, lo que es un beneficio positivo, en el sentido que se disminuyen los costos de construcción.

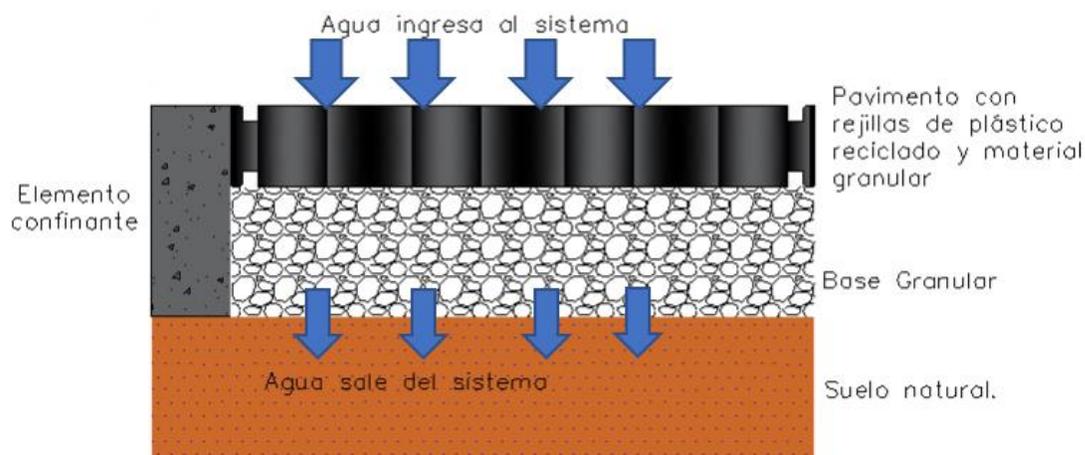


Figura 52. Efecto hidrológico, infiltración de agua a través de la estructura de pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

Como se sabe este **tipo de pavimento** es una estructura compuesta de una subbase como cualquier pavimento tradicional, que en este caso tiene capacidad de almacenamiento y gestión del agua, opcionalmente un sistema de drenaje que en función de las necesidades puede ser más o menos complejo.

Con este tipo de pavimento se genera un pequeño volumen de escorrentía, a diferencia de los pavimentos convencionales, donde al caer la lluvia se genera escorrentía rápidamente, tal como se muestra en la figura 52.

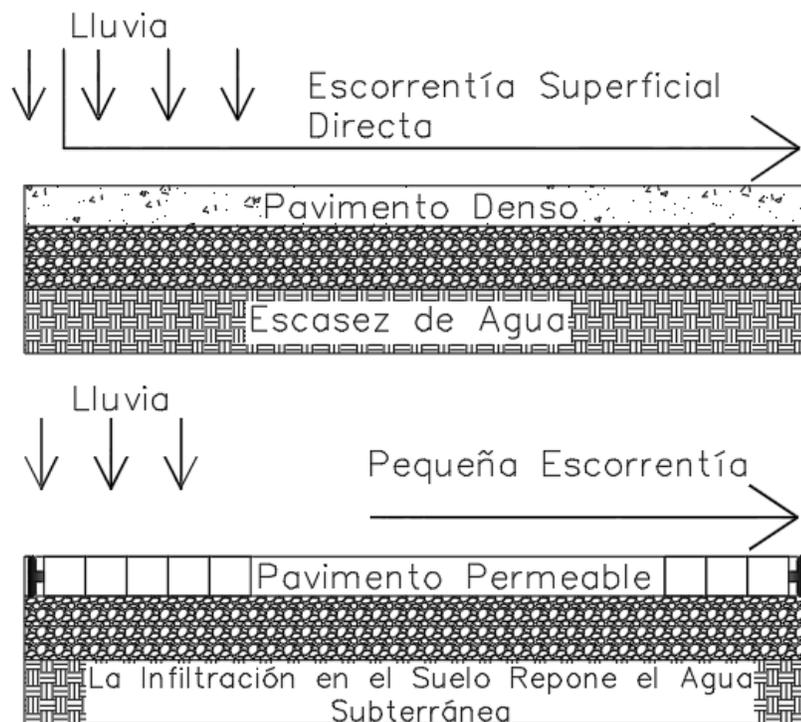


Figura 53. Efectos hidrológicos contrastantes de pavimentos Permeables, e impermeables.

Fuente: Porous Pavements, Bruce K. Ferguson

A continuación, se realiza descripción teórica de las ventajas y desventajas del sistema de rejillas de plástico reciclado y material granular en pisos permeables respecto a pavimentos convencionales.

4.4 CUADROS COMPARATIVOS DE ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES DE DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS.

Tabla 23. Aspectos técnicos.

Tipo de pavimento	Ventajas	Desventajas
<p>Pisos permeables con rejillas de plástico y material granular</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es un sistema compuesto por dos capas una subbase con espesor de 25 cm y la otra capa es la de rodamiento con espesor de 3.8 cm, haciendo un espesor total de 28.8 cm. • Facilidad de construcción. • Es una alternativa limpia pues no se usan conglomerados. • No requiere de moldes para su colocación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo se pueden usar en vías con bajo volumen de tránsito. • Se emplea en terrenos que no exceden una pendiente del 8 %. • Por la transitabilidad de tráfico tiende a sufrir perdida de material granular que está en el sistema de rejillas. • No es apto para soportar escorrentías desde cierta altura a presión (chorros).
<p>Concreto permeable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La textura porosa del concreto permeable proporciona la tracción suficiente para los vehículos y reduce el hidropneumático, aún 	<ul style="list-style-type: none"> • Su uso tiene limite a calles con transito ligero, porque ofrece poca fortaleza al desgaste del mismo.

con lluvia, permitiendo seguridad a los conductores y a los peatones.

- Es durable y resistente al tiempo, pudiendo durar muchos años (20 a 30 años) con el mantenimiento adecuado.

- Requiere diseños de mezclas, lo que conlleva ensayos de laboratorio para controlar los requisitos de resistencias de diseño.

- Pérdida de permeabilidad en un tiempo prolongado, debido a que se van saturando los espacios vacíos con material fino, por lo que se requiere de un mantenimiento a base de agua a presión.

Concreto hidráulico

- Compuesto por una base de 12 cm a 30 cm y la capa de rodadura de 18 cm a 30 cm.
- La losa de concreto es la que trabaja estructuralmente y absorbe en su espesor los esfuerzos producidos por las cargas actuantes, lo que significa utilizar menor

- Suele fallar mediante levantamiento de losas esta falla tiene lugar principalmente en las juntas.
- Por su impermeable capa de rodadura provoca una mayor escorrentía superficial en épocas de lluvias.
- Puede surgir diferencia de nivel de las losas en los bordes

<p>cantidad de material en capas subyacentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Es frecuente sean proyectados para 20 a 30 años de vida útil, lo que significa un uso en vías expuestas a elevadas cargas, (carreteras primarias, aeropuertos etc.) • La textura es versátil y se pueden lograr todo tipo de acabados dependiendo su función. 	<p>de la junta, se conoce como Escalonamiento</p>
<p>Asfáltico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generalmente se construye con una subbase de 12 cm a 50 cm, una base de 12 cm a 30 cm y la capa de rodadura con espesor de 3 cm hasta 10 cm. • Los esfuerzos transmitidos por las cargas actuantes son distribuidos en forma gradual 	<ul style="list-style-type: none"> • Con el tiempo el tránsito de cargas pesadas puede producir agrietamiento por fatiga. • Son frecuentes los baches y hundimientos. • Requiere mayores excavaciones, movimiento de tierras, y son más las capas a colocar.

	<p>a través de la estructura del pavimento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden lograr acabados muy tersos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las deformaciones y deterioros que sufren disminuyen comodidad y seguridad. La resistencia tiende a disminuir, principalmente en climas calientes. • Los métodos de dimensionamiento son muy diversos-Requieren plantas de asfalto y equipo especializado.
<p>Adoquín</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La estructura típica se compone por una base de espesor variable según el suelo del lugar, una capa de arena de 3 cm de espesor y la superficie de adoquín de 8 cm a 10 cm de espesor. 	<ul style="list-style-type: none"> • No debe estar sometido a la acción de chorros de agua a presión, ya que genera pérdida en el sellado de junta. • Genera mayor ruido que otros pavimentos al estar compuesto de un gran número de piezas.

Fuente. Elaborado por grupo de tesis.

Tabla 24. Aspectos Económicos.

Tipo de pavimento	Ventajas	Desventajas
<p>Pisos permeables con rejillas de plástico y material granular</p>	<ul style="list-style-type: none"> Simplifica los sistemas de drenaje y reduce costos. Requiere menor cantidad de obreros para su construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> En suelos arcillosos se debe considerar estabilizar el suelo; si se trata de un proyecto que demande cargas de tráfico pesado
<p>Concreto permeable</p>	<ul style="list-style-type: none"> Simplifica los sistemas de drenaje y reduce costos. El concreto permeable puede usarse como una alternativa en áreas de estacionamiento y reducir la necesidad de construir pozos de retención para almacenar el agua pluvial. 	<ul style="list-style-type: none"> Su costo por construcción y aplicación tiende a incrementar debido al especial cuidado en la mano de obra y calidad de los materiales
<p>Concreto hidráulico</p>	<ul style="list-style-type: none"> Menos costo de mantenimiento (solo requiere tareas menores de carácter preventivo). 	<ul style="list-style-type: none"> Inicialmente para su construcción requiere de una mayor inversión respecto a los demás pavimentos.

	<ul style="list-style-type: none"> • El costo de inversión inicial se ve compensado en su vida útil, ya que posee una de las vidas útiles más largas respecto a los demás pavimentos 	
<p>Asfáltico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene bajos costos iniciales respecto al pavimentos rígidos, dura mucho tiempo, y debido a su capacidad de reciclaje, tiene un valor residual superior a otros pavimentos. El asfalto reciclado contiene una gran cantidad de bitumen, se puede recalentar y su reutilización es simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los materiales que se requieren para su construcción no se consiguen en cualquier parte del país y consume además derivados del petróleo
<p>Adoquín</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La construcción de un pavimento de adoquines no requiere de mano de obra especializada 	<ul style="list-style-type: none"> • Siempre se debe de considerar las capas inferior respecto a la capa de rodadura para el pavimento de adoquines

Fuente. Elaborado por grupo de tesis.

Tabla 25. Aspectos Medioambientales.

Tipo de pavimento	Ventajas	Desventajas
<p>Pisos permeables con rejillas de plástico y material granular</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La construcción de este tipo de piso, es sumamente ecológico, puesto que está fabricado 100 % de plástico reciclado. • Permite el paso de buen porcentaje de escorrentía de agua lluvia de regreso al subsuelo, permitiendo recargar mantos acuíferos. • Permite el desarrollo urbano recreando el ciclo natural del agua sin usar el sistema de alcantarillado existente o con un uso controlado, sin saturar o demandar incremento de secciones para conducción. • Atenúa la escorrentía superficial. • Además, es una opción estética puesto que se puede integrar a cualquier espacio y tipo de arquitectura. • Minimiza las emisiones CO2. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si no se le da el mantenimiento correcto puede generar polvo en la intemperie por medio del material granular suelto provocando problemas de salud en usuarios.

Concreto permeable

- Otorga puntos en certificaciones para construcciones sostenibles.
- Reduce la acumulación de flujos de agua, limpia el agua lluvia y baja la temperatura, protegiendo el equilibrio de los ecosistemas.
- Reduce o elimina el impacto de la urbanización en las líneas de alcantarillado existente.
- Alimenta las reservas de agua subterránea.
- Permite el paso de agua y oxígeno a las raíces de los árboles.
- Elimina el empozamiento del agua después de lluvias fuertes.
- No puede ser empleado sobre superficies expuestas a aguas negras, debido a que puede contaminar las aguas subterráneas.

Concreto hidráulico

- Menor consumo de combustible.
- Es prácticamente impermeable, aunque el agua escurre más fácil, pero genera más volúmenes de escorrentía, lo que

		genera riesgos de inundaciones.
<p>Asfáltico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El pavimento asfáltico reciclado o RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) es el término dado a materiales de pavimento conformados por cemento asfáltico y agregados pétreos, que son removidos y reprocesados nuevamente. La forma común de su utilización es incorporarlo al diseño de una nueva mezcla asfáltica. 	<ul style="list-style-type: none"> • El asfalto contribuye a la contaminación del aire, especialmente en días calurosos y soleados. • El asfalto también es una fuente importante de contaminantes del aire en las áreas urbanas, especialmente en los días calurosos y soleados.
<p>Adoquín</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizarlo tiene ventajas con el medio ambiente, pues puede ayudar en caso de excesiva lluvia, cuida de las plantas y su estética puede ser muy variable gracias a 	<ul style="list-style-type: none"> • Por estar compuesto por un gran número de piezas, el tránsito puede generar más

- | | |
|---|---|
| <p>su maleabilidad para crear diversos diseños en la decoración exterior.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite la filtración del agua de lluvia dejando que la misma llegue al suelo, a diferencia de los pisos tradicionales que bloquean el acceso del agua hacia el interior. Las ranuras que quedan entre los adoquines permiten la infiltración de agua hacia las capas inferiores del suelo. | <p>ruido lo que significa contaminación auditiva.</p> |
|---|---|

Fuente. Elaborado por grupo de tesis.

De acuerdo con las tablas 23 y 25, la elevada permeabilidad del sistema a base de rejillas, es una solución al problema del escurrimiento superficial proveniente de las aguas pluviales, cuando se usa como sistemas de pavimentos permeables, evitando los encharcamientos. Además, cuando se usa en combinación con áreas verdes, la estructura porosa permite el ingreso de agua y oxígeno, necesario para el crecimiento de las plantas que dan sombra y calidad al aire.

Además, el efecto de isla de calor, que es un fenómeno asociado a las urbanizaciones y que está relacionado a la construcción de estructuras que tienden a retener calor, disminuye por el mayor albedo del piso permeable, dado que su estructura de poros permite la circulación de aire y por lo tanto menor retención de calor.

Un aspecto importante es la reducción de los sistemas de drenajes, lo que conlleva una disminución de costos, además de su diseño que no involucra conglomerados como el cemento, lo que lo hace un método o limpio.

4.5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE PISOS PERMEABLES CON REJILLAS DE PLÁSTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR EN COMPARACIÓN AL CONCRETO PERMEABLE EN EL SALVADOR.

4.5.1. Sistema de Pisos Permeables con Rejillas de Plástico Reciclado y Material Granular.

Estacionamiento comercial y calle perimetral, en una nave industrial ubicada en el municipio de Soyapango, San Salvador.



Figura 54. Proyecto de estacionamiento y calle perimetral, con rejillas para pavimentos permeables.



Figura 55. Estacionamiento, en rejillas para pisos permeables.

Como se sabe este *tipo de pavimento* es una estructura compuesta de una subbase como cualquier pavimento tradicional, que en este caso tiene capacidad de almacenamiento y gestión del agua, opcionalmente un sistema de drenaje que en función de las necesidades puede ser más o menos complejo.

La estructura del **sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular**, permite que al caer la lluvia se infiltre instantáneamente e ingrese donde puede ser: infiltrada al terreno natural y alimentar las reservas subterráneas, almacenada o dirigida a los sistemas de alcantarillado pluvial. Esta condición depende de las características donde se empieza el proyecto.

4.5.2. Concreto Permeable.

4.5.2.1 Proyectos más Importantes Realizados por Lafarge Holcim – El Salvador.

1. PRUEBA DE APLICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE – ESTACIONAMIENTO UES,

13 de diciembre de 2016. Esta prueba se realizó en un área de 1 085 m².



Figura 56. Prueba De Aplicación De Concreto Permeable – Estacionamiento UES, 13 De diciembre De 2016.

Fuente: <https://historico.elsalvador.com/historico/312053/holcim-promueve-su-ecologico-concreto-permeable.html>

2. ESTACIONAMIENTO COMERCIAL WALMART SANTA ANA, EL SALVADOR.
30 DE SEPTIEMBRE DE 2020. En este proyecto contaba con un área de 4 884.84 m².



Figura 57. Concreto permeable en estacionamiento Walmart, Santa Ana.

Fuente: <https://revistaconstruir.com/nueva-tienda-walmart-de-15-000-m2-se-construyo-en-santa-ana-el-salvador/>

3. INSTALACIÓN DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEABLE - (EX-CASA PRESIDENCIAL). 10 DE JUNIO DE 2019.



Figura 58. Instalación De Pavimento De Concreto Permeable - (Ex-Casa Presidencial). 10 De junio De 2019.

Fuente: <https://twitter.com/iCarlosFF/status/1142996974184075264>

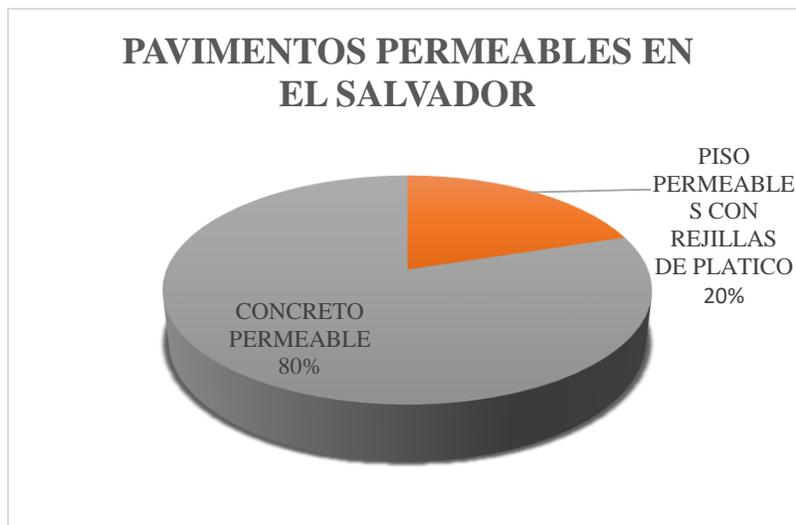


Figura 59. Construcción de pavimentos permeables en El Salvador.

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

Con base a lo anterior a continuación, se presenta una descripción teórica entre el **sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular** y el **concreto permeable**.

Tabla 26. Descripción teórica de las diferencias entre el pavimento a base de rejillas y el concreto permeable.

PAVIMENTO A BASE DE REJILLAS DE PLÁSTICO RECICLADO Y MATERIAL GRANULAR	CONCRETO PERMEABLE
Fase constructiva.	
Preparación de subrasante	
La subrasante se prepara como se especifica en los documentos contractuales.	La subrasante se prepara como se especifica en los documentos contractuales.

En el proceso se debe asegurar que se obtengan los niveles requeridos en las especificaciones técnicas. Para esto se necesitan labores de terracería, que por conveniencia en áreas grandes se realiza con maquinaria.

En el proceso se debe asegurar que se obtengan los niveles requeridos en las especificaciones técnicas (ET). Para esto se necesitan labores de terracería, que por conveniencia en áreas grandes se realiza con maquinaria.

Preparación de Base/Subbase de grava.

La de Base/Subbase, es conformado de acuerdo a los documentos de contrato, en este caso el espesor es de 25 cm. Y el proceso se realiza de acuerdo a las especificaciones técnicas.

La de Base/Subbase, es conformado de acuerdo a los documentos de contrato, en este caso el espesor depende del diseño final. Y el proceso se realiza de acuerdo a las especificaciones técnicas.

Capa de rodadura

El sistema de rejillas sirve de molde, para la colocación de la grava de relleno, y los elementos del perímetro, sirven de confinamiento al sistema, lo que supone un ahorro de moldes en comparación al concreto permeable.

Además, no necesita controles de temperatura, revenimiento, curado ni extracción de cilindros para verificar la

En cambio, el concreto permeable necesita moldes, para la colocación de la mezcla de concreto, antes de la colocación se necesita el chequeo de temperatura, revenimiento, además de muestras para ensayarlos a compresión.

Además, se necesita de un control, herramientas y equipos para distribuir la mezcla en toda el área, el proceso

resistencia, por lo que su instalación es sumamente sencilla y se realiza de forma rápida.	continúa hasta cumplir con lo requerido en las especificaciones técnicas.
Claro está que, en las dos alternativas, el control de calidad siempre debe existir.	Al menos 20 minutos después del final de las operaciones de colocación, empiezan los procedimientos de curado, según lo especificado en los Documentos de contrato.

Funcionamiento

Una vez finalizada la fase de colocación, el tráfico se puede habilitar de forma inmediata.	Una vez el concreto se haya curado por lo menos 7 días seguidos y hasta que el pavimento es aceptado por el propietario, se apertura el tráfico.
---	--

Fuente: Elaborado por el grupo de tesis.

De acuerdo a la tabla 26. Las diferencias entre estas alternativas constructivas, radica principalmente, en la capa de rodadura, puesto que el sistema de rejillas no necesita diseños de mezclas, formaleas para su colocación, ya que ella misma sirve de molde, ni métodos de curado, como en el caso del concreto permeable. Y el tráfico puede habilitarse casi de forma inmediata, caso que no es posible en el concreto permeable.

Al final de cuentas las dos alternativas, tienen el mismo fin, ayudar a mitigar los impactos medioambientales ocasionados por la impermeabilización con los pavimentos convencionales, y su uso se limita a vialidades de baja velocidad, estacionamientos, aceras, etc.

**CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1 CONCLUSIONES

- Los procesos constructivos del sistema de pisos permeables con rejillas de plástico reciclado y material granular, respecto a los demás pavimentos convencionales no representa mayor complejidad en cuanto a utilización de herramientas o equipos para su construcción, por lo que los rendimientos de mano de obra no se ven afectados.
- Se caracterizó los materiales utilizados, siendo estos expuestos en detalle en los resultados, haciendo énfasis la tasa de permeabilidad, durabilidad, costos y disponibilidad local, realizando análisis de laboratorio pertinentes y recopilando información de estudios existentes.
- Para las condiciones analizadas de acuerdo con los criterios de diseño y los resultados, el sistema de rejillas plásticas para pisos permeables es mejor opción técnica y económicamente, comparado a los otros sistemas de pavimentos, en zonas de baja carga vehicular, es importante acotar que en otros escenarios donde las cargas superan el límite de este sistema, no es viable, aunque su costo de construcción sea menor, podría incurrir en gastos de mantenimiento elevados en sus primeros años de vida útil, al no ser capaz de resistir las solicitudes de cargas requeridas.
- De acuerdo al análisis técnico se determinó que el tamaño del material granular de la capa de rodadura con el cual se rellenó las rejillas de plástico, tiene un porcentaje de vacíos de “40.52%” y un porcentaje de absorción de “2.13%”; no obstante, la subbase posee un porcentaje de vacíos del “46.15%” y un porcentaje de absorción igual a “4.26%” para un tamaño nominal de 1”.

5.2 RECOMENDACIONES

- No es recomendable situarlos en superficies expuestas a derrames de aceites, aguas negras, etc., debido a que existe el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. (A menos que se realice un estudio concreto y se asegure que la calidad del agua, al ser infiltrada en el sistema es apta para ser mezclada con la del acuífero).
- Es importante aclarar que el sistema de rejillas de plástico con material granular está concebido para ser aplicado en estacionamientos vehiculares, calles de bajo tráfico. También en aplicaciones tales como: aceras, senderos, fuentes, orillas de piscinas. No es recomendado para tráfico vehiculares altos.
- Cuando se utilice el sistema de rejillas de plástico y material granular, como pisos o pavimentos será de vital importancia darle mantenimiento cuando lo requiera a fin de evitar la colmatación y conservar sus características benéficas, el cual debe incluir limpieza de la superficie para eliminar plantas, tierra o cualquier elemento que pueda impedir el paso del agua a través de la superficie, para así asegurar que cumpla con su función estructural y de permeabilidad.
- Estudiar como falla el sistema de rejillas de plástico y material granular y dar soluciones para las técnicas de mantenimiento, reparación y rehabilitación.
- Estudiar el comportamiento del sistema para una mayor cantidad de suelos que existen en El Salvador referente al tipo de suelo, permeabilidad, para poder predecir condiciones favorables y desfavorables de cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

Libros.

Rondón Quintana, Hugo Alexander y Reyes Lizcano, Fredy Alberto. (2015). *Pavimentos:*

Materiales, Construcción y Diseño. 1a. Ed. Bogotá. Ecoe Ediciones.

Tennis, Paul D., Leming, Michael L. Y Akers, David J. (2004). *Pervious Concrete:*

Hydrological Design and Resources. Portland Cement Association (PCA), National

Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), American Concrete Pavement

Association (ACPA). 1a. Ed. EE.UU.

Bruce K. Ferguson. (2005). *Porous Pavements*. 1a Ed. EE.UU. Taylor & Francis Group.

Tesis.

Barahona Aguiluz, Rene Alexis; Martínez Guerrero, Marlon Vladimir; y Zelaya Zelaya, Steven

Eduardo. (2013). *“Comportamiento Del Concreto Permeable Utilizando Agregado*

Grueso De Las Canteras, El Carmen, Aramuaca Y La Pedrera, De La Zona Oriental

De El Salvador”. Trabajo de Graduación para optar al título de Ingeniero Civil,

Universidad de El Salvador.

Vigil Sánchez, Marlon Ebiezer, (2012). *“Diseño, proceso constructivo y evaluación de un*

pavimento rígido de concreto permeable”. Trabajo de Graduación para optar al título de

Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador.

Revistas.

IMCYC. (2011). *Concreto Permeable: Alternativas Sustentables*: p 24-28.

ISCYC. (2015). *Concreto Permeable, Alternativa para la construcción de pavimentos en vías de baja intensidad de tráfico*. (65): p 11-23.

ISCYC. (2017). *Sistema integral para el desarrollo urbano sostenible: Concreto Permeable*. (80): p 11-16.

Medios electrónicos.

Carolina Benavides. (2020). *Nueva tienda Walmart de 15.000 m² se construyó en Santa Ana,*

El Salvador. Consultado en mayo de 2021. Disponible en:

<https://revistaconstruir.com/nueva-tienda-walmart-de-15-000-m2-se-construyo-en-santa-ana-el-salvador/>

CFFunes, enconcreto.con.sv. (2019). *Instalación de pavimento de concreto permeable en*

complejo recreativo San Jacinto Ex-Casa Presidencial. Consultado en mayo de 2021.

Disponible en: <https://twitter.com/iCarlosFF/status/1142996974184075264>

Elsalvador.com. (2017). *Holcim promueve su ecológico concreto permeable*. Consultado en

marzo de 2021. Disponible en: <https://historico.elsalvador.com/historico/312053/holcim-promueve-su-ecologico-concreto-permeable.htm>

ANEXOS

Anexo 1: Carta de Acceso al Laboratorio de Suelos y Materiales. UES-SAN MIGUEL.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

San Miguel, El Salvador 7 de mayo de 2021

Jefe Unidad de Desarrollo Físico

Arq. Julio Rovira

Presente.

Reciba un cordial saludo en nombre de los Br. Egresados de Ingeniería Civil, de la Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Apellidos	Nombre	Carnet	Firma
Chacon Argueta	Nixon Leonel	Ca14024	
Chicas Rivera	Elmer Leonardo	Cr12021	
Martinez Guevara	Cristobal	Mg14021	

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para que por su digno medio nos autorice el ingreso a los laboratorios de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Materiales con el objetivo de realizar ensayos en este, necesarios en nuestro proceso de tesis. Como se describe en el siguiente cuadro:

Días	Hora
Lunes 10 a Viernes 14	De 8 AM a 4 PM
Lunes 17 a Viernes 21	De 8 AM a 4 PM

Nos despedimos de usted esperando una respuesta favorable a nuestro petitorio agradeciéndole de antemano su atención y deseándole éxitos en sus funciones.

F:
Representante de Grupo
de
Tesis

F:
Autorizado por: Arq. Julio Rovira

