



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES PARA UNA
URBANIZACIÓN, UTILIZANDO PAVIMENTO RÍGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO
EN EL PERÍODO DE SU VIDA ÚTIL POR UNIDAD DE MEDIDA**

Bryan Alejandro Castañón Martínez

Asesorado por el Ing. José Mauricio Arriola Donis

Guatemala, agosto de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES PARA UNA
URBANIZACIÓN, UTILIZANDO PAVIMENTO RÍGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO
EN EL PERÍODO DE SU VIDA ÚTIL POR UNIDAD DE MEDIDA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRYAN ALEJANDRO CASTAÑÓN MARTÍNEZ
ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MAURICIO ARRIOLA DONIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES PARA UNA URBANIZACIÓN, UTILIZANDO PAVIMENTO RÍGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO EN EL PERÍODO DE SU VIDA ÚTIL POR UNIDAD DE MEDIDA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 05 de noviembre de 2018.

Bryan Alejandro Castañón Martínez

Guatemala, 27 de abril de 2020

Ingeniero
Juan Carlos Linares Cruz
Coordinador del Área de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

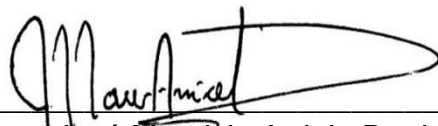
Ingeniero Linares:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el Trabajo de Graduación titulado **“EVALUACION ECONOMICA DE LA COSTRUCCION DE CALLES PARA UNA URBANIZACIÓN UTILIZANDO PAVIMENTO RIGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO EN EL PERIODO DE VIDA UTIL POR UNIDAD DE MEDIDA”**, desarrollado por el estudiante universitario Bryan Alejandro Castañón Martínez, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención satisface los requisitos que exige la facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los trámites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de Usted.

Atentamente:



Ing. José Mauricio Arriola Donis
Ing. Civil, Col. No. 10,325
Asesor



Guatemala, 05 de junio de 2020
EIC-JP-006-2020/jcl

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

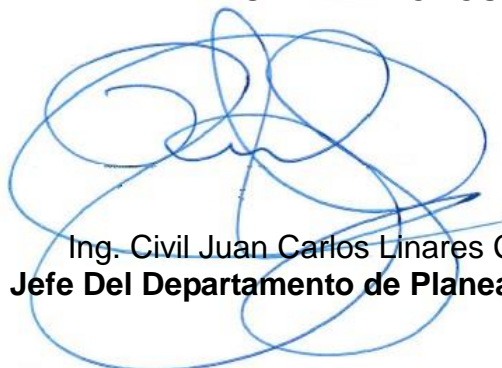
Ingeniero Aguilar:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES PARA UNA URBANIZACIÓN, UTILIZANDO PAVIMENTO RÍGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO EN EL PERÍODO DE SU VIDA ÚTIL POR UNIDAD DE MEDIDA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Bryan Alejandro Castañón Martínez, quien contó con la asesoría del Ingeniero José Mauricio Arriola Donis.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la Ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil Juan Carlos Linares Cruz
Jefe Del Departamento de Planeamiento

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

Cc: Estudiante Bryan Alejandro Castañón Martínez
Archivo





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

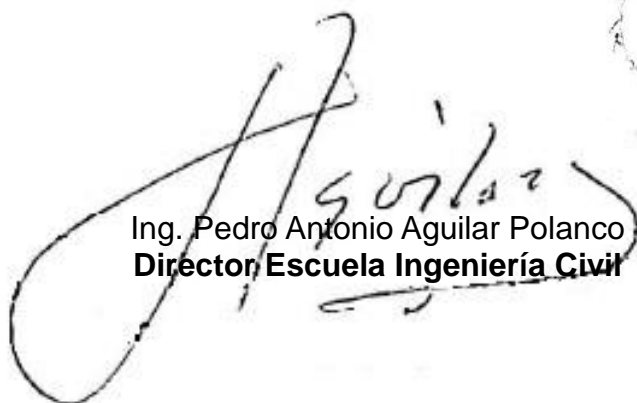
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 23 de noviembre de 2020
 DEIC-TG-EIC-017-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero José Mauricio Arriola Donis y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ingeniero Juan Carlos Linares Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Bryan Alejandro Castañón Martínez, **EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES PARA UNA URBANIZACIÓN, UTILIZANDO PAVIMENTO RÍGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO EN EL PERÍODO DE SU VIDA ÚTIL POR UNIDAD DE MEDIDA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil





Interesado
 Asesor
 Jefe del Departamento de Planeamiento



DTG. 404.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CALLES PARA UNA URBANIZACIÓN, UTILIZANDO PAVIMENTO RÍGIDO Y EL COSTO DE MANTENIMIENTO EN EL PERÍODO DE SU VIDA ÚTIL POR UNIDAD DE MEDIDA**, presentado por el estudiante universitario: **Bryan Alejandro Castañón Martínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida y poder cumplir una meta más de todas las etapas de mi vida.
- Mi mamá** Karla Martínez por su apoyo incondicional, sus consejos y porque siempre estuvo a mi lado motivándome para cumplir todos mis propósitos personales.
- Mi abuelito** Francisco Martínez por su experiencia, sus cuidados a lo largo de la vida y los consejos a lo largo de mi vida y por todo lo que me falta expresar, gracias.
- Mi papá** Alejandro Castañón por ser una influencia en mi carrera, darme la confianza y apoyo de cumplir un sueño.
- Mi abuelita** Celia Vargas por ser la persona que desde pequeño me tuvo paciencia, para enseñarme tantas cosas, gracias por ser mi maestra.
- Mis hermanos** Katty Castañón y Joshua Castañón, gracias por ser mis hermanos.

Mi tío

Francisco Martínez por brindarme consejos y ser apoyo para mí.

Mis amigos

Brayan Pérez, Cristian Nájera, Flor Rodríguez, Julio Prado, Claudia Florian, Oscar Osoy, Tulio Herrera por estar siempre a mi lado, por sus consejos, por creer en mí.

Mi familia

Que de una u otra forma estuvieron involucrados en apoyarme en la culminación de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por haber participado durante toda mi formación académica y darme el apoyo como estudiante y futuro profesional.
Ing. José Arriola	Por el apoyo como asesor en este trabajo de graduación al compartir sus conocimientos y mostrarme la calidad de persona que es.
Inga. Karla Martínez	Por ser más que una catedrática, una profesional ejemplar, una increíble mujer, una excelente madre y por transmitir esa pasión por el estudio y trabajo.
Ing. Alejandro Castañón	Por ser un ejemplo a seguir y un excelente padre.
Ing. Renaldo Girón	Por ser un pilar fundamental en mi formación académica y mí amigo.
Siggi Duarte	Por confiar en mí, y brindarme el apoyo para seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. URBANIZACIÓN	1
1.1. Concepto de urbanización	1
1.2. Ciudades y emigración	4
1.3. Reseña histórica del proceso de urbanización	11
1.4. Desarrollo económico como resultado de la urbanización.....	18
1.5. Consecuencias más significativas del proceso de urbanización	22
1.5.1. Políticas urbanas y diferenciación social	24
2. DEFINICIÓN DEL PAVIMENTO RIGIDO	25
2.1. Capas de un pavimento rígido	25
2.2. Comportamiento estructural del pavimento rígido	26
2.3. Tipos de pavimento de concreto hidráulico	28
2.3.1. Pavimento de concreto hidráulico simple	28
2.3.2. Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo de acero.....	30
2.3.2.1. Subrasante	30
2.4. Métodos de diseño para pavimentos rígidos	30

2.4.1.	Método AASHTO.....	30
2.4.2.	Método PCA.....	31
3.	CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO	35
3.1.	Materiales de construcción.....	35
3.1.1.	Tipos de cementos	35
3.1.2.	Características de los agregados	40
3.1.3.	Características del agua.....	42
3.1.3.1.	Agua de mezclado y curado.....	43
3.1.4.	Aditivos.....	44
3.1.4.1.	Inclusores de aire	44
3.1.4.2.	Reductores de agua	45
3.1.4.3.	Acelerantes	45
3.1.5.	Propiedades mecánicas del concreto para pavimento.....	45
3.1.6.	Propiedades en estado endurecido.....	47
3.1.7.	Concretos utilizados en Guatemala.....	48
3.2.	Especificaciones de construcción y control de calidad.....	52
3.2.1.	Control y gestión de calidad	53
3.2.2.	Ensayos de laboratorio.....	53
3.2.3.	Control del proyecto y sus componentes	55
3.3.	Rasante y subrasante	57
3.3.1.	Nivelación y compactación de la subrasante.....	57
3.3.2.	Estabilización de la subrasante	58
3.4.	Base y subbase.....	61
3.4.1.	Estabilización mecánica	63
3.4.2.	Estabilización química	64
3.5.	Colocación del pavimento de concreto.....	64
3.6.	Texturizado del concreto	68

3.7.	Curado del concreto	70
4.	MANTENIMIENTO PARA EL PAVIMENTO RÍGIDO	73
4.1.	Reparaciones parciales	73
4.1.1.	Límites de la reparación	73
4.1.2.	Resellado de juntas	74
4.1.3.	Remoción.....	78
4.1.4.	Limpieza	78
4.2.	Reparaciones totales.....	78
4.2.1.	Reparación de losa.....	78
4.2.2.	Sellado de juntas	80
4.2.2.1.	Juntas transversales.....	80
4.2.2.2.	Juntas longitudinales	81
4.3.	Principales problemas	81
4.3.1.	Grietas	82
4.3.2.	Alabeo e hinchamientos	82
4.3.3.	Alisamiento de superficie.....	83
5.	EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA PAVIMENTO RÍGIDO.....	85
5.1.	Análisis de especificaciones	85
5.2.	Cuantificación	88
5.3.	Presupuesto	90
5.4.	Renglones de costos unitarios.....	95
5.4.1.	Integración de unitarios para un pavimento rígido ..	95
5.5.	Costos totales.....	97
5.6.	Análisis beneficio-costo	99

CONCLUSIONES..... 103
RECOMENDACIONES 105
BIBLIOGRAFÍA..... 107
APÉNDICES..... 111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Plaza Central de la ciudad de Santiago de los Caballeros en 1875.....	2
2.	Explosión urbana focalizada en asentamientos	4
3.	Mapa ciudad de Guatemala 1821.	5
4.	Catedral metropolitana años 1821 en adelante.....	6
5.	Acueducto de Pínula, surtió de agua la nueva Guatemala de la Asunción entre 1774 y 1938.....	8
6.	Esquema de definición de zonas urbanas de la ciudad de Guatemala.....	9
7.	Ciudad de Guatemala 1915.	11
8.	Nuevo edificio registro de la propiedad de Guatemala.....	12
9.	Desarrollo económico como resultado de la urbanización	18
10.	Comparación del PIB versus calidad de vida	21
11.	Imagen referencial y transversal de pavimento rígido	25
12.	Corte transversal para pavimento flexible y rígido	26
13.	Preparación inicial para la capa primaria	28
14.	Juntas de pavimento simple.....	29
15.	Resistencia a la flexión en % de su resistencia a los 28 días	32
16.	Cemento Portland	38
17.	Aditivos para concreto.....	41
18.	Fallas visibles en pavimento	74
19.	Sellado de juntas con mortero asfáltico.....	75
20.	Sellado de juntas con silicona	76
21.	Soplador de asfalto para juntas recién selladas	77

22.	Reparación de losa	79
23.	Diagrama de juntas transversal y longitudinales.....	81
24.	Representación de Alabeo.....	83
25.	Alisado de cinta asfáltica	84
26.	Diagrama de proceso de un proyecto de construcción	93
27.	Diagrama de balance de obra.....	98
28.	Beneficio – costo.....	102

TABLAS

I.	Efectos crónicos de la alta demanda por urbanización.....	1
II.	Densidad y crecimiento poblacional en Mesoamérica	3
III.	Causas principales de la urbanización en Guatemala	8
IV.	Asentamientos precarios por zona.....	10
V.	Condiciones que inciden en los movimientos migratorios.....	13
VI.	Características del desarrollo económico	19
VII.	Deterioros, puntos de falla y debilidades en el pavimento rígido	27
VIII.	Elementos que conforman el pavimento rígido	31
IX.	Factores principales para el diseño del pavimento	33
X.	Modelo de correlación del CBR	34
XI.	Clasificación de cementos utilizados en Guatemala	36
XII.	Propiedades y tipos de agregados.....	41
XIII.	Especificaciones perjudiciales en el agua.....	42
XIV.	Propiedades mecánicas del concreto para pavimento.....	46
XV.	Parámetros gestionados para los ensayos de laboratorio	54
XVI.	Componentes dentro del proyecto	55
XVII.	Criterios importantes previos a la nivelación.....	58
XVIII.	Consideraciones para colocación de la cal.....	59
XIX.	Consideraciones para la colocación de la subbase	61

XX.	Consideraciones para la estabilización mecánica	63
XXI.	Posibles factores a considerar para la pavimentación con concreto	65
XXII.	Acciones agregadas dentro de los métodos de texturizado	69
XXIII.	Consideraciones para optimizar el curado del concreto	70
XXIV.	Correlación de recursos necesarios para ejecutar un proyecto	86
XXV.	Diferentes acciones que sustentan la base fundamental de un proyecto de asfalto	87
XXVI.	Listado complementario de actividades y trabajos de cuantificación ...	89
XXVII.	Diferentes tipos de concretos utilizados con mayor frecuencia	91
XXVIII.	Integración de unitarios para un pavimento rígido	95
XXIX.	Beneficios a corto plazo, por aplicar pavimento en los espacios deteriorados	100

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
Kg	Kilogramo
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Psi	Libra por pulgada cuadrada
±	Más menos
mm	Milímetro
%	Por ciento

GLOSARIO

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte).</i>
Acera	Parte de la calle o vía pavimentada destinada al paso peatonal usualmente construida en concreto hidráulico que se encuentra ligeramente más elevada que la capa de rodadura.
ACI	<i>American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)</i> , se encarga de realizar las publicaciones para la normativa del concreto estructural y sus actualizaciones.
ASTM	<i>American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales)</i> , se encarga de realizar las publicaciones para la normativa de los ensayos de materiales para la construcción.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Concreto	Mezcla dosificada, compuesta de agregados (fino y grueso), cemento, agua, y aditivos.

Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla de concreto.
NTG	Norma Técnica Guatemalteca.
PCA	Portland Cement Association (Asociación de Cemento Portland).
TPD	Trafico Promedio Diario.

RESUMEN

La necesidad de un estudio económico de una pavimentación rígida y su debido mantenimiento, surge de los índices de plusvalía que tiene el área social por medio de los accesos y los servicios al lugar que permiten dar a conocer la incidencia que tiene el costo del pavimento, con su mantenimiento para el sector.

La carencia de un buen pavimento y su mantenimiento, es muy recurrente hoy en día, esto demanda un buen acceso vehicular hacia las viviendas, generando malestar en la población debido a que existen distintas estaciones climáticas en el país, cuando llueve se forman pantanos y corrientes de lodos por la falta de un buen drenaje en el pavimento, sin mencionar los baches que se forman en las vías, por esa razón, se definen los renglones de trabajo, costos unitarios, rendimientos de mano de obra y la descripción cada uno de ellos.

Al desarrollar toda la información deseada se logrará establecer cuantitativa y cualitativamente el análisis de un pavimento rígido para una urbanización.

OBJETIVOS

General

Establecer la referencia del costo para un pavimento rígido y su mantenimiento en una urbanización.

Específicos

1. Describir los renglones a utilizar para un pavimento rígido en una urbanización.
2. Identificar los factores influyentes en el beneficio-costos de un pavimento rígido para una urbanización.
3. Analizar los costos de rendimiento de mano de obra para un pavimento rígido.

INTRODUCCIÓN

La población Guatemala, ha crecido vertiginosamente desde hace un par de décadas, esto ha generado la necesidad de vivienda, dando lugar a un crecimiento urbano acelerado, sin tomar en cuenta las dificultades económicas que vienen siendo el resultado de la inflación en Guatemala en los últimos años.

En la búsqueda de vivienda por parte de la población en estas épocas, se ha mostrado la oferta y demanda en la construcción de viviendas, sean estas en condominios o residenciales, vertical u horizontal, lo que brinda un panorama de los diferentes estratos sociales; en las urbanizaciones planificadas se muestra calidad urbanística, cobertura de servicios, ubicación, localización y conflictos ambientales. Entre los servicios domiciliarios básicos, se encuentra el abastecimiento de agua potable, extracción de desechos líquidos y sólidos, servicio de luz, mantenimiento de calles y avenidas pavimentadas que generan un cómodo y fácil acceso a la vivienda, lo cual influye en gran manera para su compra o venta, dándole a los habitantes una mejor plusvalía, estatus y una calidad de vida distinta.

Motivo por el cual, en un proyecto urbanístico es de vital importancia sus vías transitables y el mantenimiento de las mismas, mejorando su conectividad con la infraestructura vial existente, el transporte público y los diferentes factores de bienestar, derecho y trabajo de los habitantes del área en forma integral.

1. URBANIZACIÓN

1.1. Concepto de urbanización

Para comprender el concepto de urbanización debemos iniciar por definir donde se encuentran generalmente las urbanizaciones, siendo estas las ciudades, las cuales son lugares donde la población en conjunto con sus actividades se encuentran estrechamente vinculadas al espacio donde viven, en ellas se encuentran varios elementos básicos necesarios para que una sociedad pueda vivir, entre ellas se encuentran los complejos habitacionales, comerciales, educativos, recreativos, culturales, de salud, alimenticios, así como los sistemas de aguas potable, aguas servidas, aguas pluviales, iluminación, las carreteras, el transporte, entre otros.

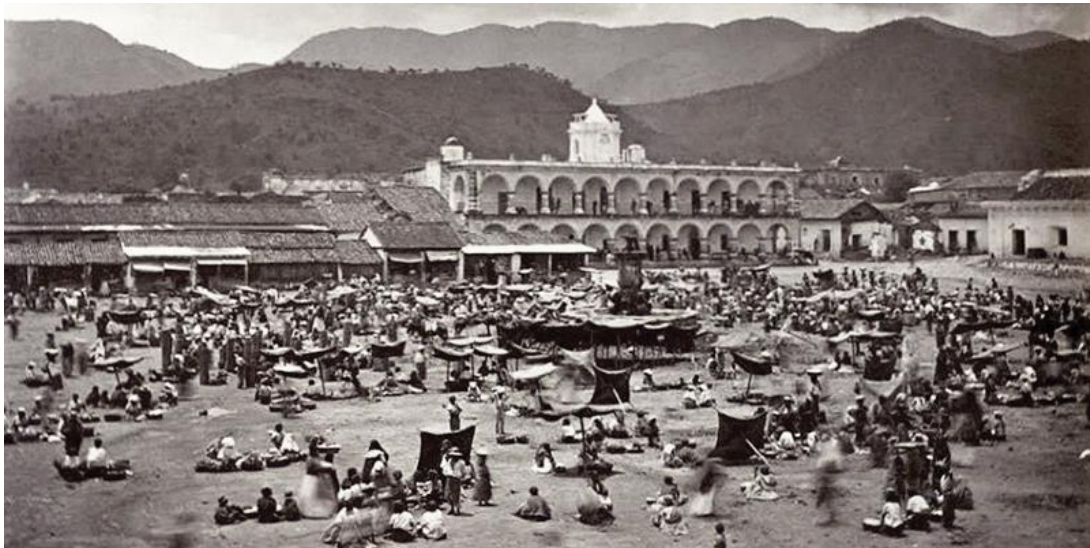
Tabla I. **Efectos crónicos de la alta demanda por urbanización**

	Descripción y variables aleatorias
i.	Existe una mayor demanda y conciencia pública y privada.
ii.	Los impactos ambientales que produce en la productividad de la ciudad en la economía, en la calidad de vida de la población; ejemplo: la salud y en la estética urbana, tienden a negar las funciones de la ciudad.
iii.	El proceso de universalización de las normas y de la presencia de nuevas tecnologías impone una lógica global en los mercados.
iv.	La agudización de la tensión existente entre los recursos naturales propios de la región y el manejo que pertenece, cada vez más, a un mundo globalizado.
v.	Su propuesta pretende ser la organización del conjunto del llamado "sistema artificial", principalmente a partir del concepto de ciudad sustentable.

Fuente: elaboración propia, con base en información obtenida y filtrada de AGUILAR, Eduardo. *Raúl Aguilar Batres y el desarrollo urbano de la ciudad de Guatemala 1994-1964.*

El desarrollo de la población es primordialmente urbano, no es solo porque existe una gran población urbana, también la clave de la vida como se conoce se encuentra en la ciudad. Las ciudades se forman donde existe un grupo de gente a la que se le denomina como comunidad.

Figura 1. **Plaza Central de la ciudad de Santiago de los Caballeros en 1875**



Fuente: KWEI, Ivon. *Historia de los traslados de la capital de Guatemala*.
<https://aprende.guatemala.com/historia/epocas-historicas/historia-traslados-de-la-ciudad-de-guatemala/>. Consulta: 20 de abril de 2019.

“Toda comunidad tiene como finalidad tener lugares donde se lleguen a hacer realidad las prácticas sociales, donde el principal objetivo es tener actividades en las que estén involucrados las mujeres, los hombres y objetos materiales, lo cual deriva en la necesidad de planificar estas actividades, y tener una delimitación territorial donde se enmarquen las mismas.”¹

¹ PINTO DA CUNHA, José Marcos. *Urbanización, redistribución espacial de la población y transformaciones socioeconómicas en América Latina*. p. 25.

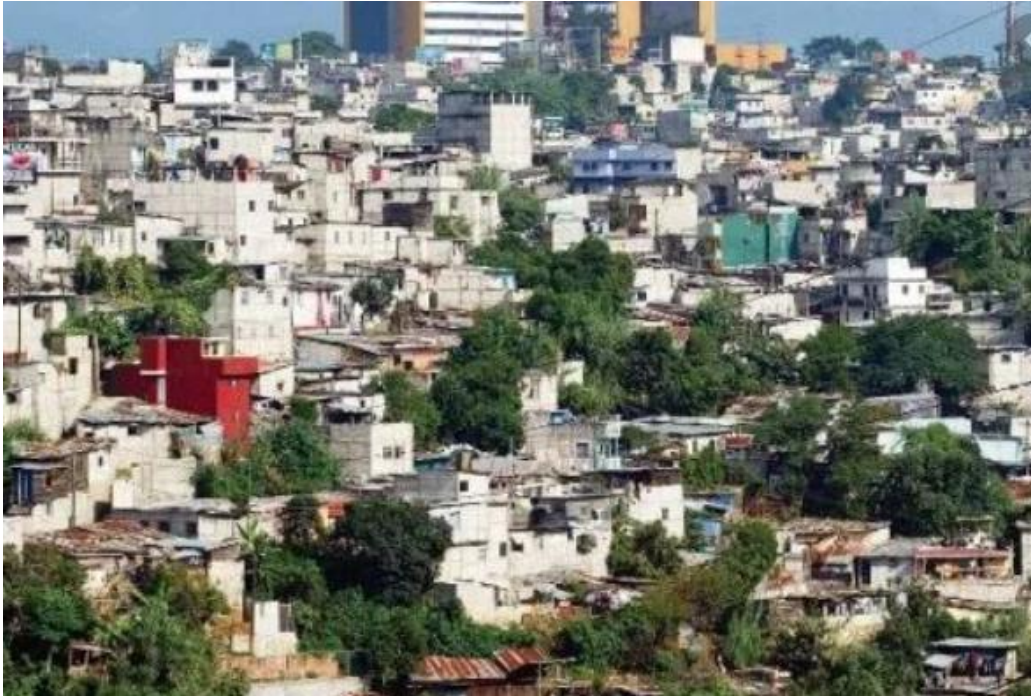
Tabla II. **Densidad y crecimiento poblacional en Mesoamérica**

	Población 2000 (en miles)	Densidad demográfica 2000	Porcentaje urbano 2000	Porcentaje de la población América Latina 1950- 2000		Tasa de crecimiento 1950-2000
Costa rica	4 023	80,52	47,85	0,53	0,79	3,08
Cuba	11 201	101,55	75,31	3,13	2,20	1,30
El salvador	6 276	315,50	46,64	1,22	1,23	2,34
Guatemala	11 385	104,39	39,66	1,83	2,23	2,69
Haití	8 222	303,67	35,70	2,03	1,61	1,85
Honduras	6 485	57,75	52,74	0,90	1,27	3,09
Jamaica	2 583	235,01	56,10	0,92	0,51	1,22
México	98 881	50,89	74,39	16,90	19,40	2,54
Nicaragua	5 074	40,12	56,13	0,69	1,00	2,99
Panamá	2 856	39,55	56,23	0,53	0,56	2,40
Rep. Dominicana	8 495	175,89	65,05	1,40	1,67	2,57

Fuente: PINTO DA CUNHA, José Marcos. Proyecto regional de población 2000-2003.
CEPAL. p. 35.

Con la información procesada anteriormente, y el conjunto de clasificaciones se podrá dar un entendimiento conceptual sobre el urbanismo, tratando de orientarlo a una expresión planificada con interdisciplinas convergentes, a cargo de estudiar y comprender el modelo social que las personas establecen en su territorio delimitado, comprometiendo el orden estrecho cultural entre ellos.

Figura 2. **Explosión urbana focalizada en asentamientos**



Fuente: elaboración propia.

“Sin importar donde viva la gente, siempre van a necesitar elementos básicos o esenciales para su desarrollo y supervivencia, como una vivienda, alimentación, agua, entre otros. En el campo de trabajo urbanístico, las personas que ejercen ese estudio o profesión, son llamados urbanistas.”²

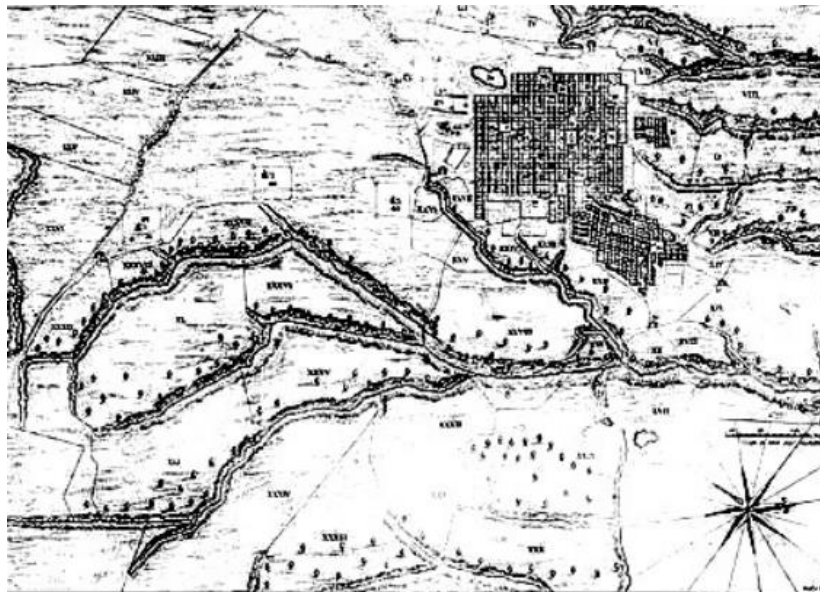
1.2. Ciudades y emigración

Los grupos mayoritarios de población que migra, comúnmente lo hace a una ciudad con plusvalía y desarrollo, eso lo convierte en el destino final de los migrantes, este efecto logra catalizar el incremento en la concentración de

² CARRIÓN, Fernando. *La ciudad construida, urbanismo en América Latina*. p. 287.

ciudadanos en determinadas áreas urbanas, este largo camino migratorio que deciden tomar y aceptar las familias vulnerables, promueve el desarrollo y establecimiento de nuevos y populosos asentamientos, sin control municipal, la sumatoria de diferentes eventos sociales marcan gradualmente las necesidades de los jefes de hogar, los sistemas financieros sin oportunidad de promover préstamos bancarios o hipotecarios que promuevan la propiedad privada.

Figura 3. **Mapa ciudad de Guatemala 1821**



Fuente: ALAMY. *Mapa de la ciudad de Guatemala 1821*. <https://www.alamy.com/espaol-mapa-de-la-ciudad-de-guatemala-en-1821-1821-62-mapaciudad1-image210501982.html>. Consulta: 20 de abril de 2019.

La urbanización es la forma progresiva de concentración de la población y sus actividades económicas en una ciudad, esto está ligado al crecimiento de las ciudades y al desarrollo de las mismas, por lo cual hay que definir que una existen dos tipos de áreas definidas por sus características, la primera es el área urbana, es un territorio que tiene como característica principal un uso de suelo no agrícola, y teniendo como base un desarrollo continuo en todas las direcciones, esta área tiene la capacidad elevada de urbanizar las zonas vecinas muy rápidamente y de forma notoria, abarcando grandes áreas de terreno e incorporándolos a un nuevo espacio socio-

económico, donde existe una mejora notoria de la calidad de vida en todos los aspectos.³

Figura 4. **Catedral metropolitana años 1821 en adelante**



Fuente: URRUTIA César. *Historia de la ciudad de Guatemala*.

<https://guatemaladeayer.blogspot.com/2011/05/catedral-metropolitana-iglesia-de.html>. Consulta:

20 de abril de 2019.

³ MARTINEZ, José. *Proceso de urbanización en Guatemala, un enfoque demográfico 1950-2002*. p. 3.

Para obtener estos niveles de desarrollo, se necesitaron principalmente del progreso que traen las obras de infraestructura en las cuales se pueden encontrar los diferentes accesos principales utilizados como vías de comunicación, por ejemplo: las principales carreteras reconocidas por toda la población, calles, caminos, avenidas, entre otros; también se hace necesario el abastecimiento de agua potable, la cual se consigue perforando pozos de extracción, haciendo uso de técnicas de ingeniería civil para poder ser conducida y trasladada en líneas hídricas de una vasta red de distribución, además de realizar los procesos de sanitización, potabilizándola en diferentes plantas de tratamiento para poder hacer disposición de aguas potables a la ciudadanía en su entorno residencial.

Figura 5. **Acueducto de Pínula, surtió de agua la nueva Guatemala de la Asunción entre 1774 y 1938**



Fuente: URRUTIA César. *Historia de la ciudad de Guatemala*.

<https://guatemaladeayer.blogspot.com/2011/05/catedral-metropolitana-iglesia-de.html>. Consulta:

20 de abril de 2019.

En el detalle del proyecto regional de Población 2000-2003, presentados por CEPAL, expone que con la existencia del consumo, se producen desechos o residuos que deberán ser depositados, a estos residuos se les denomina aguas residuales, estas incluyen los residuos líquidos usados, en viviendas, comercios o industrias los cuales requieren sistemas de canalización, desalojo, evacuación y tratamiento, para ello se introduce el drenaje sanitario el cual incluye los colectores, alcantarillados, las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros; hay servicios que son básicos y necesarios también, como lo es la electricidad, la cual para llegar a una ciudad se necesitan sub estaciones eléctricas, alimentadores de poder, líneas de transmisión y distribución, entre otros.⁴

Estudiando áreas geográficas colonizadas en una línea de tiempo determinada, con un punto de partida definido y cerrando un ciclo en un año también definido, demuestra la preminencia de diferentes factores que logran caracterizar la urbanización, garantizando la calidad de vida de ciertas masas.

Tabla III. **Causas principales de la urbanización en Guatemala**

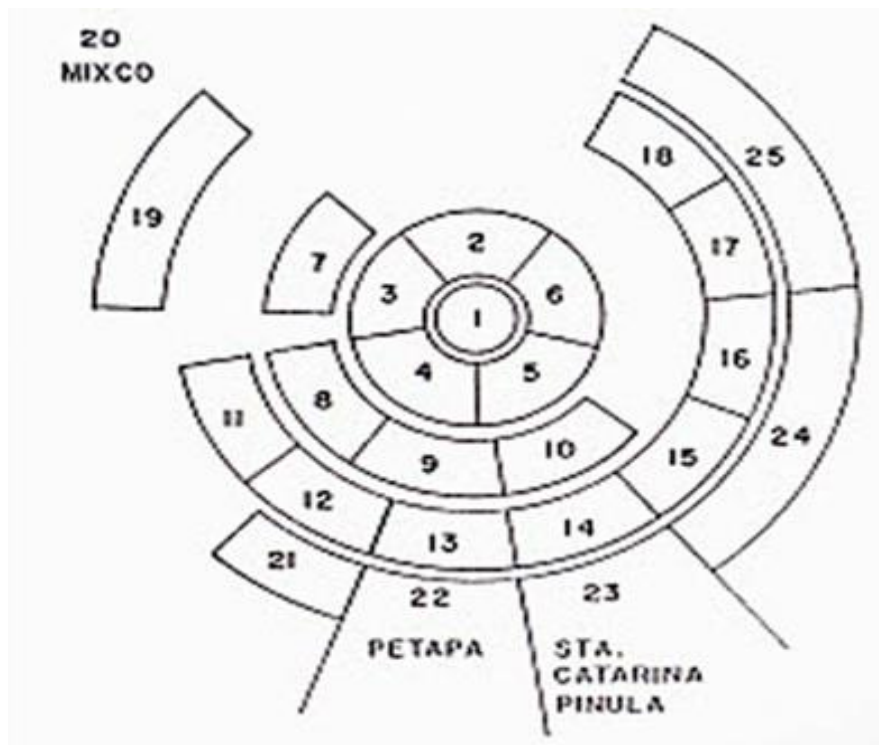
•	La migración de las personas de las áreas rurales hacia las áreas urbanas por búsqueda de empleo, un empleo mejor remunerado.
•	Mejor calidad de servicios sanitarios y educativos.
•	Mayor diversidad de estilos de vida y entretenimiento.
•	El crecimiento natural o el crecimiento de la población en las zonas urbanas y la reclasificación de las áreas rurales como zonas urbanas.

Fuente: PINTO DA CUNHA, José Marcos. *Proyecto regional de población 2000-2003*. CEPAL. p. 55.

⁴ PINTO DA CUNHA, José Marcos. CEPAL. *Proyecto regional de población 2000-2003*. p. 54.

Los científicos que estudian los comportamientos sociales demuestran que el concepto de urbanización y lo relacionado con las movilidad estacionaria o cíclica de hogares hacia la gran ciudad, logra impulsar el mejoramiento en la economía, relacionando equitativamente el incremento del intercambio económico y circulación de divisas monetarias, la productividad incrementa, siendo únicamente comparada con el mayor volumen de concentración de población en un determinado territorio, esto provoca la inflación económica, con la inflación se obtiene un efecto directo, logrando promover asentamientos por el alto índice de valores de renta por propiedades privadas.

Figura 6. **Esquema de definición de zonas urbanas de la ciudad de Guatemala**



Fuente: AGUILAR, Raúl. *Historia de las zonas de la ciudad de Guatemala*.
<https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/como-se-distribuyeron-las-zonas-de-la-ciudad-de-guatemala/>. Consulta: 20 de abril de 2019.

“En estos asentamientos se generan focos relacionados a problemas de la salud, otro de los problemas de la sobrepoblación en un lugar, es la contaminación, que se puede dar en varias formas, la contaminación ambiental, la cual es aquella donde se afecte, perturbe o produzca un impacto en el ambiente derivado de la falta de educación y del mal manejo de los desechos los cuales destruyen los ecosistemas y generan un incremento en el calentamiento global.”⁵

Tabla IV. **Asentamientos precarios por zona**

Zona	Muestra	Asentamientos	Familias
1	25	4	497
2	5	2	112
3	183	9	3 663
5	61	3	1 232
6	252	23	4 121
7	630	32	8 647
12	348	15	6 992
13	20	4	404
16	72	3	1 447
17	144	7	3 111
18	601	63	11 614
19	8	1	157
21	281	9	5651
Totales	2 630	175	47 668

Fuente: ASIES. *Municipalidad de Guatemala, EMPAGUA*. p. 311.

También se encuentra la contaminación auditiva, que se genera por el exceso de sonido que altera cualquier condición del ambiente, y causa un gran daño en la calidad de vida de las personas si no se controla adecuadamente, y la contaminación visual, que se genera por el abuso o exceso de elementos que

⁵ MARTÍNEZ, José. *Urbanización en Guatemala un enfoque demográfico 1950-2002*. p. 310.

alteran la imagen del lugar y deriva una estimulación visual invasiva y molesta, que se convierten en agentes contaminantes.

1.3. Reseña histórica del proceso de urbanización

Hay dos áreas básicas que están bien definidas, la rural que se encuentra principalmente en el campo y la urbana que se encuentra en los pueblos, ciudades, hasta las metrópolis y centros turísticos; una de las principales diferencias que tiene el área rural del área urbana es que el área urbana tiene un uso intensivo y saturado del suelo, lo cual se deriva de las construcciones verticales para tener más espacio de vivienda, esto para incrementar la cantidad de personas que pueden vivir en un mismo lugar, por eso se hace énfasis en definir que el área urbana tiene un uso intensivo del suelo y el área rural tiene un uso extensivo del suelo, ya que el área rural está principalmente relacionada con actividades económicas del sector primario, como la ganadería, siembra y cosecha, acuicultura, entre otras.⁶

Figura 7. Ciudad de Guatemala 1915



Fuente: URRUTIA, César. *Historia de la ciudad de Guatemala*.

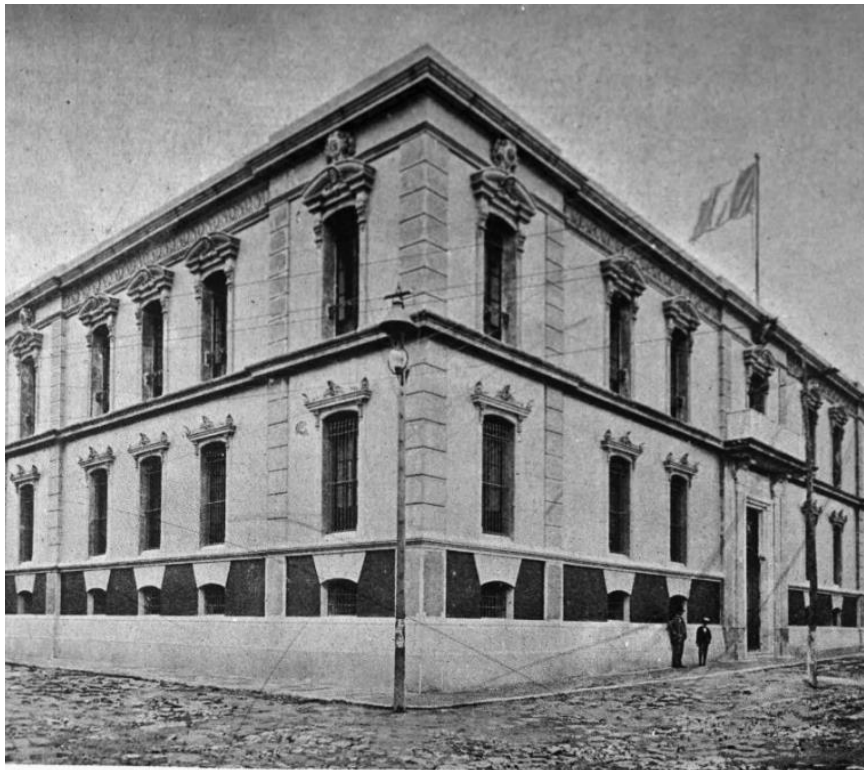
<https://guatemaladeayer.blogspot.com/2011/05/catedral-metropolitana-iglesia-de.html>. Consulta: 20 de abril de 2019.

⁶ PINTO DA CUNHA, José Marcos. *Proyecto regional de población 2000-2003*. p. 300.

En relación a entender estas dos áreas, se puede determinar el proceso de urbanización, el cual está dado por la construcción y el uso de un suelo en relación a la construcción, industrialización, servicios y también a los procesos migratorios de la población.

Los procesos de urbanización en la ciudad de Guatemala se expanden y exponencialmente ha ido incrementando la tasa poblacional, esto expresa los diferentes procesos económicos por los cuales ha pasado el país en torno principalmente al desarrollo económico.

Figura 8. **Nuevo edificio registro de la propiedad de Guatemala**



Fuente: URRUTIA, César. *Historia de la ciudad de Guatemala*.

<https://guatemaladeayer.blogspot.com/2011/05/catedral-metropolitana-iglesia-de.html>. Consulta:

19 de abril de 2019.

Las cifras antes mencionadas, siguen en incremento; esto va a traer consecuencias que se mencionaran más adelante.

Los movimientos migratorios que incrementan la tasa poblacional en el área urbana, se ve estrechamente ligado con motivaciones que giran en torno a las ofertas de trabajo y también a los servicios, como se mencionaba anteriormente, estos servicios están relacionados al nivel cultural, el acceso a la educación, el acceso a servicios básicos; mientras se incrementa la tasa poblacional en el área urbana, se ve en la necesidad de incrementar la intensidad de los suelos urbanos, también es un incremento que se ve marcado en todo el mundo, pero se encuentra bien definido en Latinoamérica.

Tabla V. **Condiciones que inciden en los movimientos migratorios**

Condicionamiento	Efecto
<i>Las condiciones étnico culturales (idiosincrasia, idioma, costumbres).</i>	<i>Constituyen para las empresas el principal argumento para priorizar la localización de sus casas centrales y sus principales núcleos productivos en los países donde tuvo origen la empresa.</i>
<i>Las condiciones macroeconómicas de los países y por lo tanto su capacidad para garantizar el manejo de sus principales variables de su economía.</i>	<i>Los países centrales pueden dar garantías de la estabilidad de su moneda, manejar la evolución de sus ciclos expansivos y recesivos, y controlar la inflación promoviendo un amplio respaldo público al desarrollo de la actividad privada.</i>
	<i>Los países periféricos, en cambio, tienen dificultades para garantizar su moneda. Fuertemente endeudados a partir de la década del 70 deben sanear las finanzas públicas equilibrando el sistema de cuentas nacionales. Para demostrar su capacidad para responder a los compromisos adquiridos deben someterse al monitoreo periódico de los organismos internacionales de crédito.</i>

Continuación de la tabla V.

<p>La concentración de Condiciones Generales de la Producción, teniendo en cuenta la relación que existe entre las infraestructuras y productividad.</p>	<p>Los países centrales, como resultado de su propia historia, cuentan con mayor densidad de inversión de infraestructura por metro cuadrado de territorio, condición que se expresa como tendido de líneas férreas, terminales aéreas y portuarias, vialidades, puentes, canales, sistemas de generación y transmisión de energía, sistemas de comunicación, entre otros.</p> <p>Como resultado de la acumulación histórica de la inversión en condiciones generales, estas regiones cuentan con una enorme variedad, cantidad y calidad de infraestructuras, ofreciendo condiciones difíciles de equiparar en los países periféricos.</p>
	<p>Difícilmente los países emergentes puedan proveer condiciones equivalentes. Sin embargo, las obras desarrolladas por los estados durante la etapa sustitutiva presentan en algunos lugares condiciones razonables, existiendo el caso de otras ventajas comparativas de tal importancia que vuelven rentable la construcción de estas condiciones, incorporando un nuevo atractivo para la localización que es el de contar con infraestructuras totalmente nuevas.</p>
<p>Una nueva localización puede encontrar condiciones físico-ambientales más favorables.</p>	<p>En áreas que no han padecido durante periodos prolongados los efectos de la contaminación industrial. estas posibles localizaciones no deben, por lo tanto, cargar en su estructura de costos el financiamiento de medidas preventivas o compensatorias que en los países centrales se han vuelto sumamente costosas.</p>
<p>Contar con la proximidad de sus principales insumos logrando un significativo abaratamiento del transporte.</p>	<p>En la posible medida del desarrollo de una parte del proceso industrial permite reducir el volumen y estandarizar el formato utilizado para trasladar materias primas. Tal es el caso de la industria aceitera, principal commodity de las exportaciones argentinas, cuya producción tiende a aproximarse a las áreas de producción de granos.</p>

Continuación de la tabla V.

<p>La proximidad de grandes mercados consumidores.</p>	<p>Considerando que el incremento de la población en los países de la periferia y su concentración en torno de grandes conglomerados urbanos define la presencia de mercados sumamente atractivos, el capital tiene en general interés en localizar inversiones tanto productivas como en distribución y servicios. Este interés se extiende a la producción e intercambio de bienes inmuebles, como la vivienda, que obliga a desarrollar por lo menos una parte de su producción en el sitio.</p>
<p>La existencia de una estructura industrial consolidada provee condiciones técnicas indispensables para el desarrollo de procesos industriales.</p>	<p>Como la existencia de un contexto tecnológico capaz de garantizar una estructura de apoyo logístico de la producción (servicios, mantenimiento, reparaciones) difícil de resolver en el marco de la misma fábrica.</p>
	<p>En algunos de estos “mercados emergentes”, la existencia de un desarrollo industrial anterior puede proveer estas condiciones, despertando incluso el interés por una eventual puesta en valor de la capacidad productiva instalada.</p>
<p>Condiciones fiscales</p>	<p>La baja carga tributaria, la existencia de ventajas arancelarias, impositivas, subsidios o mecanismos de compensación, constituyen así mismos factores determinantes en la decisión de estos posibles cambios de localización.</p> <p>Frecuentemente, se presenta el caso de un posible inversor involucrado en una suerte de subasta en la que los gobiernos (nacionales – locales) ofrecen todo tipo de ventajas, buscando atraer una fábrica que genere empleo.</p>

Continuación de la tabla V.

	Paradójicamente, la mayoría de estas nuevas fábricas generan muy poco empleo, de modo que los municipios que en la disputa por la posible radicación le han donado la tierra, han realizado trabajos de acondicionamiento, le han aproximado las infraestructuras y lo han eximido del pago de tasas e impuestos, se ven obligados a absorber los costos de los servicios que le prestan habiendo logrado un bajo impacto sobre la generación de los ansiados puestos de trabajo.
Contexto político-institucional	Tendrá que lograr garantizar las condiciones estables a las inversiones, procesando la conflictualidad social a través de un razonable sistema de instituciones, leyes y procedimientos.
	Si bien esta condición no está asegurada en los países centrales, como lo demuestra el caso de Italia donde las tormentas políticas son frecuentes, estos países dan prueba de una gran continuidad. En algunos casos, por la hegemonía de una determinada corriente política, en otros por la alternancia de dos partidos principales, los ciclos de la vida política no dejan de garantizar un eficaz sistema de intermediaciones constitucionales que garantizan la gobernabilidad.
El desarrollo de condiciones culturales, ambientales y urbanas atractivas.	Constituye un parámetro destacado para los cuadros de nivel gerencial que deberán fijar en las nuevas localizaciones su residencia. El valor del salario es la principal compensación cuando estas condiciones son adversas, lo que no quita el interés de la empresa por la sociedad local varíe significativamente en función de los lazos que sus cuadros establezcan con ella.
	Los atractivos del paisaje y la calidad del espacio urbano juegan un papel fundamental, así como la oferta de actividades y facilidades, culturales, deportivas, recreativas de entretenimiento a las que puedan acceder.

Fuente: CEPAL. *Las nuevas funciones urbanas*. p. 260.

Esto se deriva de procesos de industrialización como lo es la construcción de infraestructura y el uso de maquinaria para hacer más eficientes los procesos, que en cada país se dio de diferente manera y en diferente época; también se han ido desarrollando la explotación de los servicios, los cuales están relacionados con la educación, la salud, la cultura, entre otros. En el otro lado, el área rural se enfoca básicamente a la explotación de recursos naturales como lo es la agricultura, la ganadería y procesos ambientales.

Entonces se tienen estas dos áreas completamente distintas conviviendo en una extensión territorial amplia como lo es el país, que se divide en regiones, departamentos y municipios.

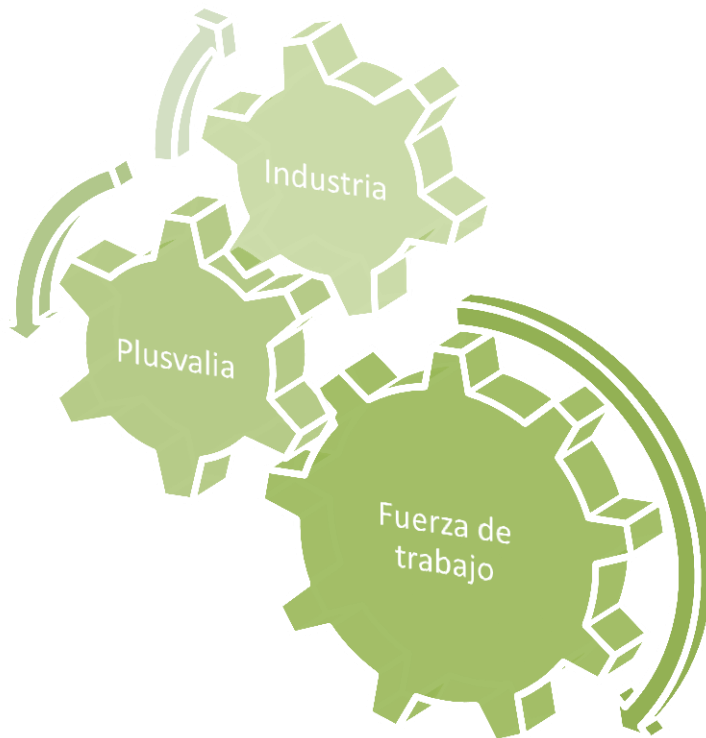
La población urbana ha sido transformado históricamente y ha ido en aumento a nivel mundial; mientras en el área rural la población es mucho menor, pero de igual forma ha ido aumentando en función de los años; la población urbana tiene una estrecha relación con la reducción de la tasa de mortalidad, porque cuando existe la misma, la esperanza de vida aumenta por lo tanto va a aumentar considerablemente la población y relacionando los índices geográficos que son utilizados para entender la secuencia de los factores que inciden en los diferentes procesos de urbanización como la tasa de mortalidad y la tasa de natalidad, procesos migratorios, entre otros.

Esta reducción está vinculada con el avance de la ciencia y la tecnología, porque la esperanza de vida en la actualidad es mucho más amplia, ya que se ha logrado controlado y en muchos casos erradicar las enfermedades que anteriormente afectaban a un amplio grupo de población, y tenía como consecuencia final la muerte. El campo de ciencia y tecnología, sigue una misma línea de desarrollo, no como en los países del primer mundo, es una línea de desarrollo más lento, pero que va hacia la misma finalidad.

1.4. Desarrollo económico como resultado de la urbanización

El desarrollo económico es el aumento de la cantidad de bienes y servicios producidos por un país durante un periodo determinado de tiempo, el cual se mide a través del incremento porcentual del producto interno bruto (PIB) de un país realizado generalmente al haber transcurrido un año.

Figura 9. Desarrollo económico como resultado de la urbanización



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2020.

El PIB es un indicador que determina el valor monetario de los bienes y servicios que son producidos finalmente en la economía de un país en un

determinado periodo de tiempo, este involucra un aumento significativo de los ingresos, determinando un estilo de vida de una población o sociedad.

Tabla VI. **Características del desarrollo económico**

ITEM	DESCRIPCIÓN
Incremento del PIB (producto interno bruto)	El Producto Bruto Interno es un indicador económico fundamental, que marca el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos en un país en un tiempo dado. Cuando existe un sostenido desarrollo económico el PBI crece.
Aumento del ingreso o renta per cápita	Este indicador económico representa el producto bruto interno (PBI) dividido la cantidad total de habitantes de una nación. En los países con alto crecimiento demográfico el PBI debe crecer a una tasa aún mayor, para permitir el desarrollo económico.
Importancia de la producción industrial	En general la actividad industrial tiene un efecto multiplicador sobre la economía, de modo que es esta la actividad que más empuja hacia el desarrollo económico.
Menor peso de la producción primaria.	<p>La producción primaria, basada en la explotación de los recursos naturales (como, por ejemplo, la agricultura y la minería), si bien representan la principal fuente de ingreso de divisas en muchos países, está más sujeta a factores limitantes, muchos de ellos imprevisibles (por ejemplo: desastres climáticos, plagas, entre otros).</p> <p>Por otro lado, los precios internacionales muchas veces quedan determinados por la presión de competidores.</p>

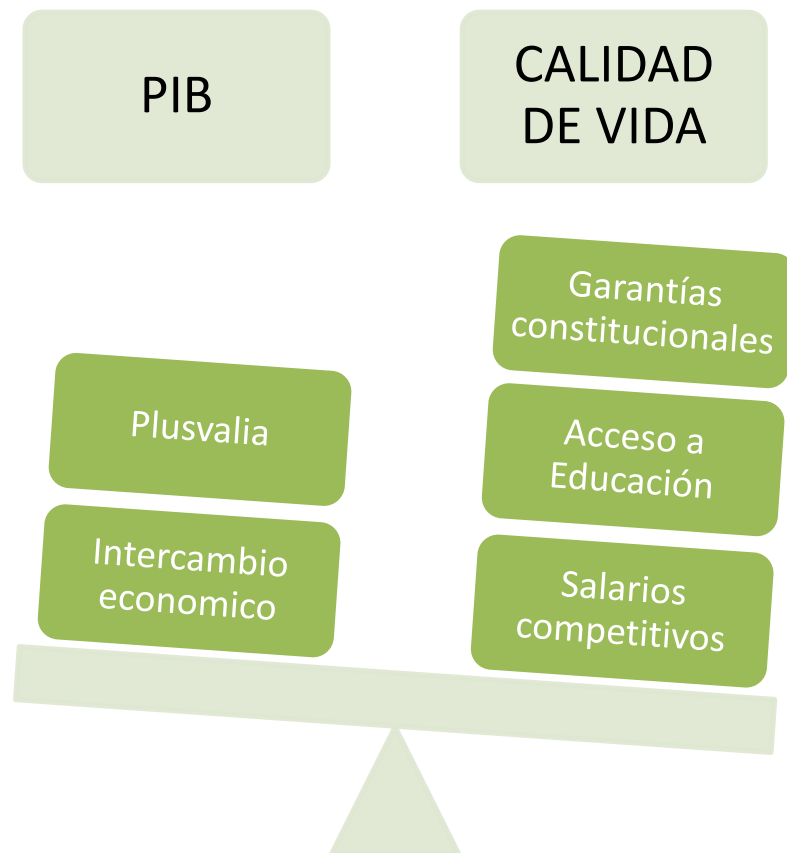
Continuación de la tabla VI.

Cambios en la estructura social	El desarrollo económico exige inversión en investigación y desarrollo, las empresas están interesadas en maximizar la eficiencia de sus procesos de producción, a fin de abaratar los costos unitarios. Las mejoras tecnológicas son incorporadas con rapidez, ya que hay expectativa de recuperar la inversión a mediano plazo.
Mayor acceso a la salud y educación	Cuando hay desarrollo económico la sociedad toda se beneficia del crecimiento económico, y si eso va acompañado de políticas adecuadas en términos del manejo de fondos, es posible fortalecer la infraestructura de salud y educación, permitiendo su llegada a todos los habitantes.
Igualdad de oportunidades	Cuando hay mayor acceso a la educación e incentivos de progreso, las personas se capacitan y a la larga mejoran sus posibilidades de empleo, por supuesto, si eso va acompañado de políticas que fomenten la creación de fuentes de trabajo. El nivel educativo tiende a presentar menores asimetrías y se tienden a igualar las oportunidades cuando hay desarrollo económico.
Ausencia de necesidades básicas insatisfechas.	A partir de los datos que se toman en los censos nacionales se puede estimar este índice, que contempla las necesidades mínimas en términos de vivienda, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo. Cuando hay desarrollo económico se reduce la proporción de personas con NBI.
Acceso al crédito	Para promover el desarrollo económico es imprescindible hoy en día tener acceso al crédito. La seguridad jurídica y políticas económicas claras y sostenidas resultan decisivas para fomentar la toma de crédito y la inversión.

Fuente: CEPAL. *Las nuevas funciones urbanas*. p. 202.

Si el producto interno bruto crece a una velocidad mayor a la de la población o sociedad, se hace notorio una calidad de vida superior y si por la otra parte la tasa del producto interno bruto es más baja que la tasa de crecimiento de la población o sociedad, la calidad de vida es inferior o disminuye considerablemente, por eso es que el crecimiento económico se basa en determinar el incremento del valor de los bienes que genera el país, también determina la calidad de vida y bienestar de la población, así como establecer y evaluar estrategias de políticas económicas.

Figura 10. **Comparación del PIB versus calidad de vida**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2020.

Son varias las causas que genera el crecimiento económico, entre ellas se pueden mencionar ciertas herramientas básicas para transformar las actividades planificadas en actividades productivas, esto se logra únicamente a través de la inyección del capital, la clave del desarrollo de la productividad es el capital físico y la inversión.

1.5. Consecuencias más significativas del proceso de urbanización

Los procesos de urbanización que conoce el mundo, en los últimos 30 años, son generalizados en todos los países. Aun cuando las causas de índole económico y social son muy diversas, las consecuencias son comunes y evidentes por doquier.

El mundo es cada vez más urbanizado, la proporción de población que reside en núcleos medios y grandes es mayor, los modos de vida tienden a homogeneizarse siguiendo pautas urbanas, la distribución clásica entre lo urbano y lo rural carece de significación en muchos ámbitos.

Lo metropolitano aumenta su significación, los problemas que afectan a las ciudades muestran crecientes similitudes entre unas y otras, aun cuando la escala introduzca rasgos diferenciales significativos. Estos procesos de urbanización, con causas diferentes y manifestaciones propias en cada país podrían, de forma resumida, substanciarse en dos grandes hechos, dos manifestaciones muy generalizadas:

- La extensión de las formas de la vida urbana, entendida en términos de homogeneización creciente de los modos de satisfacer necesidades básicas, de relacionarse y sobre todo de consumir. Extensión en cualquier caso desigual.

- El incremento de la población residente en aglomeraciones urbanas, y más en concreto el crecimiento de las ciudades, inducidos por la expansión demográfica y por los procesos de emigración del campo a la ciudad.

Como resultado, la mayor parte de la población del mundo es ya, al menos por su ubicación, urbana. Según estudios pasados se preveía que para el año 2000 alrededor del 50 % de la población mundial viviera en ciudades. Incluso continentes como África, representativo durante mucho tiempo del paradigma de la ruralidad, lo es cada vez menos.

Más del 50 % de la población africana vive en núcleos de dimensión media y grande. Surgen grandes aglomeraciones urbanas como El Cairo o Lagos que nada tienen que envidiar por su dimensión demográfica y por sus problemas a cualquier ciudad en otro continente.

En América Latina el crecimiento urbano iniciado a ritmo muy vivo a final de la década del 50, sufrió una aceleración notable en las siguientes décadas, aunque el fenómeno parece, en este momento, atemperarse. Los resultados son ya conocidos.

Junto a la diferencia estadística de tener tasas de urbanización de las más altas del mundo, está el hecho, que parece más relevante, de presentar un cúmulo de ciudades de gran dimensión, plagadas de déficits, funcionamiento ineficiente, y que se encuentran necesitadas de profundos replanteamientos en sus formas de organización y administración. Ciudades que con frecuencia no parecen ser tales, sino grandes conglomerados urbanos faltos de estructura aparente, con problemas de integración, instalados en el conflicto, entre otros.

1.5.1. Políticas urbanas y diferenciación social

En lo social durante todos los años 80 se produce una reducción del empleo industrial en las grandes ciudades y un importante aumento del empleo industrial en las grandes ciudades y un importante aumento del empleo en el sector servicios (en 1990, el 48 % de la población económicamente activa trabajaba en servicios, contra un 26 % en 1950), donde se esconde una buena cantidad del empleo informal.

En rigor, la escala de desempleo abierto creció sostenidamente y en los países en donde se estabilizó una nueva estructura del empleo, ésta se hizo con niveles mucho más altos de empleo precario o informal que lo que existía en las décadas previas; la creciente fuerza de trabajo empleada en el sector informal llegó a tener un importante peso económico.

Las consecuencias sociales de las políticas de ajuste se expresaron, en buena medida, en la recuperación económica basada en un proceso de fuerte acumulación de los sectores de mayores ingresos de la población. Mientras tanto, la población de menores recursos, cuyo progreso económico es menos evidente que el de las otras capas sociales y cuyo distanciamiento socioeconómico social y laboral hacia actividades informales, con cambios importantes en sus patrones de vida.

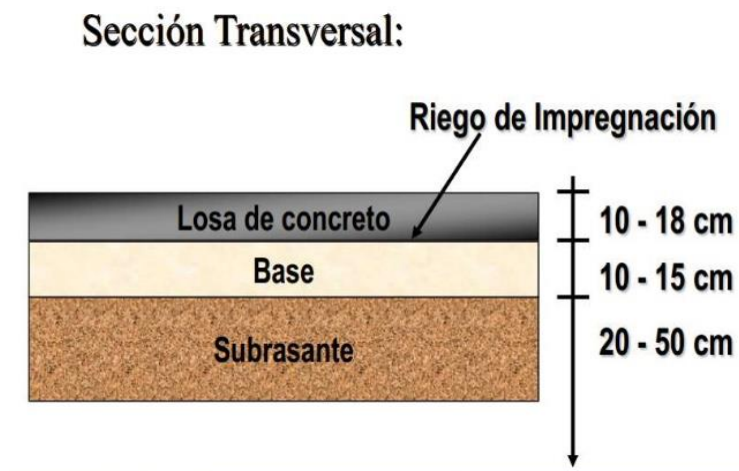
Esta situación, enmarcada en políticas que producen en la práctica (de manera más o menos explícita o legal) una desregulación en el uso del suelo urbano y también de los límites de las ciudades, ha promovido una expansión física de las urbes, con desarrollos suburbanos de baja densidad en el caso de los altos ingresos, y para la población de menores ingresos.

2. DEFINICIÓN DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.1. Capas de un pavimento rígido

El pavimento rígido se caracteriza porque la superficie de rodadura son losas planas compuestas por agregados pétreos, cemento hidráulico y agua las cuales en función de los esfuerzos aplicados, tienen una baja deformación, se encuentran separadas por juntas y cumplen con funciones de resistencia a la capacidad de carga portante, durabilidad y una longevidad en su vida útil, el cual está conformado por capas, las cuales forman algo conocido como estructura, que es un grupo de elementos resistentes y estables, los cuales se encuentran interconectados entre sí para resistir distintos tipos de cargas que generan esfuerzos combinados los cuales son capaces de transmitir o distribuir las cargas a través de la cimentación.⁷

Figura 11. Imagen referencial y transversal de pavimento rígido

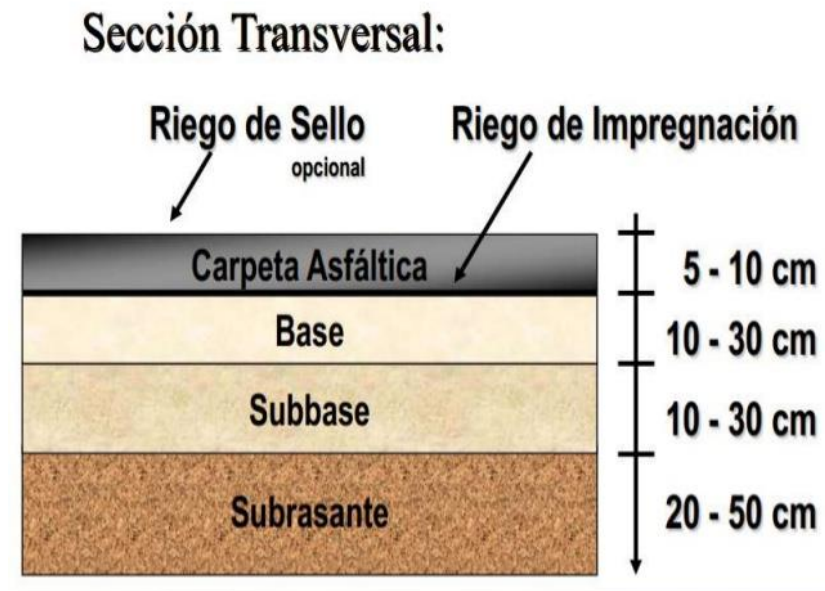


Fuente: Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 68.

⁷ TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 180.

A pesar de ser una estructura, el pavimento es más complejo que eso, porque se convierte en una estructura integral, que se conforma con obras complementarias, de drenaje y arreglos multicapa, también se evalúan factores como la capacidad portante del pavimento, que tiene solicitaciones del tránsito y el clima, eso da un desempeño óptimo en función de los factores de comodidad y seguridad.

Figura 12. **Corte transversal para pavimento flexible y rígido**



Fuente: Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 68.

2.2. Comportamiento estructural del pavimento rígido

“El pavimento de concreto hidráulico tiene varias ventajas, las cuales abarcan lo que es que tiene una mayor área de distribución de carga, lo cual reduce significativamente la presión en la base o fundación, tiene una alta durabilidad, que supera los 20 años sin necesidad de reconstrucción, siempre y

cuando exista un apropiado mantenimiento como el sellado de juntas con un material epóxico; son cómodas y seguras, reduce considerablemente el calor en las zonas urbanas por tener una superficie clara, no absorbe el calor como el pavimento flexible, eso también deja otra clara ventaja en la seguridad vial, porque no necesita gran cantidad de iluminación por la noche; tiene un proceso constructivo rápido y eficiente, son reciclables y económicamente competitivos.”⁸

Tabla VII. **Deterioros, puntos de falla y debilidades en el pavimento rígido**

i.	Juntas	Deficiencias del sellado
		Juntas saltadas
		Separación de la junta longitudinal.
ii.	Grietas	Grietas de esquina
		Grietas longitudinales
		Grietas transversales
iii.	Deterioro superficial	Fisuramiento por retracción (tipo malla)
iv.	Otros deterioros	Levantamiento localizado
		Escalonamiento de juntas y grietas.
		Descenso de la berma.
		Separación entre berma y pavimento.
		Parches deteriorados.
		Sugerencia de finos.
		Fragmentación múltiple.

Fuente: Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 102.

⁸ Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. *Diseño y técnicas de construcción de pavimentos de concreto*. p. 112.

2.3. Tipos de pavimento de concreto hidráulico

A continuación se describen los tipos de pavimento.

2.3.1. Pavimento de concreto hidráulico simple

Es el concreto que soporta las tensiones producidas por el tránsito vehicular y resiste las variaciones de temperatura y humedad, soportando el alabeo por temperatura y humedad del concreto, en el día el alabeo por temperatura y humedad generalmente se contrarrestan, mientras que en la noche se combinan, esto deriva en gradientes que estarán restringidos por el peso propio de la losa.⁹

Para la inducción de transferencia de carga, el pavimento de concreto hidráulico puede ser simple o con pasadores, para el simple, se realizan las juntas transversales generando un corte sin barras de refuerzo; este tipo de pavimento es exclusivamente para tráfico ligero, donde el clima no sea drástico en cambios de temperatura.

Figura 13. Preparación inicial para la capa primaria



Fuente: Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 120.

⁹ VELÁSQUEZ, Martín. *Evolución de la industria del concreto en Guatemala*. p. 56.

Para la colocación y fraguado del concreto hidráulico se prepara la subrasante, tomando en cuenta la limpieza, el chapeo, remoción de rocas y de ser necesario, realizar corte de cajuela, se trabaja regularmente sobre una base granular o de selecto, esto con la finalidad de incrementar la capacidad soporte y así disipar la transmisión de cargas al suelo.

El pavimento de concreto hidráulico simple con pasadores contiene barras de acero no tan grandes, colocadas en las juntas transversales y de contracción o expansión, esto con la finalidad de lograr transmitir de una mejor forma las cargas de una losa a otra continua, esto evita los gradientes formados, logrando que no haya deformación en juntas y mejorando las condiciones del pavimento en resistencia y durabilidad.¹⁰

Figura 14. **Juntas de pavimento simple**



Fuente: Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 121 .

¹⁰ Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 215.

2.3.2. Pavimento de concreto hidráulico con refuerzo de acero

Existen igualmente dos tipos de pavimento con refuerzo, el primero, tiene como tarea soportar las tensiones de contracción del concreto en estado prematuro y de esa forma controlar las grietas, generalmente el refuerzo de acero se encuentra a no menos de 2" de la carpeta de rodadura, midiéndolo desde la superficie a un aproximado de 2" entre el pavimento, la cuantía máxima de acero es de 0,3 % de la sección transversal del pavimento rígido, por esa razón el refuerzo no tiene una función final estructural.¹¹

2.3.2.1. Subrasante

La subrasante se determina por ser la capa fundamental que sirve de cimentación a la estructura del pavimento, y esta se define por propiedades que logran componer la subrasante, el módulo de resiliencia es uno de ellos. Los diseños de los primeros pavimentos, estaban basados en características de la subrasante como el drenaje, la clasificación del suelo, plasticidad, granulometría, resistencia al corte, susceptibilidad a las variaciones por la temperatura; otra característica es los ensayos efectuados utilizando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación, los cuales son el CBR, o ensayos de compresión simple.¹²

2.4. Métodos de diseño para pavimentos rígidos

Existen dos métodos conocidos para el diseño de un pavimento rígido, entre ellos se pueden observar el AASHTO y el PCA Simplificado, que este puede ser completo o simplificado; también se incluye el diseño de juntas.

2.4.1. Método AASHTO

El método de diseño AASHTO fue publicado como actualmente se conoce en el año 1993, siendo esta la rectificación y actualización de la publicación del año 1986, su uso para el diseño es aplicable para los pavimentos rígidos y flexibles.

¹¹ VELÁSQUEZ, Martín. *Evolución de la industria del concreto en Guatemala*. p. 211.

¹² Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. p. 116.

El principio fundamental de este método es desarrollar un pavimento que representado por tablas y graficas brinden la relación de deterioro en función del uso e introducir el factor de servicio, y brinda una superficie confortable al usuario, para ello se trabaja todos los elementos que conforman el pavimento rígido en función de parámetros de diseño, los cuales son:

Tabla VIII. **Elementos que conforman el pavimento rígido**

Elementos	
•	Tránsito promedio diario.
•	Drenaje para la escorrentía de agua pluvial.
•	Factores climáticos.
•	Características mecánicas de los suelos.
•	Transferencia de carga entre losas.
•	Nivel de servicio que debe presentar una carretera para que el usuario final tenga un servicio seguro
•	Tipo de carretera.

Fuente: Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas, Grupo de Coordinación de SGR.

Con estos elementos se determina una predicción del comportamiento de la estructura y daño que alcanzaría el pavimento rígido durante su vida útil.

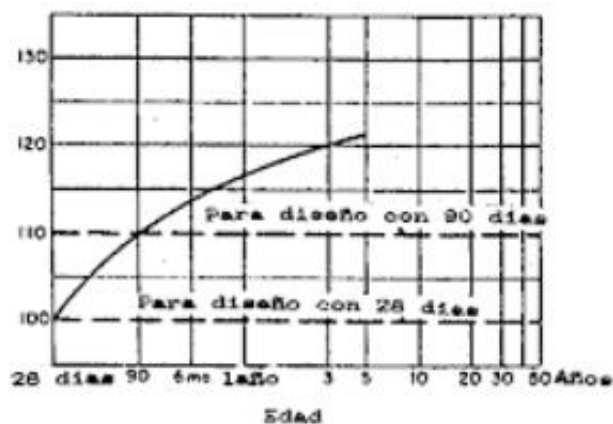
2.4.2. Método PCA

“El método de diseño del “PCA” fue publicado en el año 1966 y rectificado con su actualización en el año 1984, su uso para el diseño es aplicable para los pavimentos de concreto, ya sean estos simples con juntas, reforzados con juntas o bien con refuerzo continuo.”¹³

¹³ VELÁSQUEZ, Martín. *Evolución de la industria del concreto en Guatemala*. p. 118.

El principio fundamental de este método es determinar los esfuerzos y las deflexiones críticas, que se calculan y combinan con criterios de diseño como el análisis de fatiga, que determina la falla del pavimento de concreto por esfuerzos continuos, se basa en la relación del esfuerzo producido debido a la carga por eje entre el módulo de ruptura del concreto para encontrar si la magnitud de los esfuerzos críticos disminuye si se anclan las bermas al pavimento.

Figura 15. **Resistencia a la flexión en % de su resistencia a los 28 días**



Fuente: MIRANDA, Ricardo. *Diseño estructural*. p. 128.

Este análisis estandariza los diseños de pavimentos de tránsito ligero sin tomar en cuenta la transferencia de cargas o el alabeo, y el análisis de erosión que determina que la losa de concreto falla por la mala evacuación de la escorrentía pluvial o bombeo, así como por el alabeo que genera escalonamiento entre juntas donde se erosiona el soporte de las esquinas de las losas que están cerca de las juntas dando lugar a fractura del pavimento, si la berma está anclada a la losa o tiene suficiente ancho para que las llantas no circulen en el borde de la losa, la deflexión en la esquina de la losa se reducirá.¹⁴

¹⁴ TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 236.

Esto estandariza el diseño de los pavimentos para tránsito pesado principalmente cuando la transferencia de cargas es por medio de varillas, esto con la finalidad de desarrollar gráficas y tablas de diseño.

Tabla IX. **Factores principales para el diseño del pavimento**

ITEM	
i.	Efectos de tránsito.
ii.	La influencia de la plasticidad.
iii.	Resistencia a la tracción.
iv.	Deformación de los materiales.
v.	Efectos con el medio ambiente.

Fuente: MIRANDA, Ricardo. *Diseño estructural*. p. 129.

Entre los factores a tomar en cuenta para el diseño del pavimento esta la capacidad soporte de la subrasante, la resistencia de tracción por flexión con carga a “L/3” del concreto, donde se determina el módulo de ruptura a 28 días de fraguado del concreto.

“El espectro de cargas de tránsito por eje incluyendo el factor de seguridad dependiendo de la intensidad del tránsito y proyectarlo por el periodo de diseño para el pavimento, el tipo de transferencia de carga en las juntas y el anclaje de bermas de concreto al pavimento; La resistencia del suelo se determina por la correlación del CBR .”¹⁵

¹⁵ Universidad Nacional Autónoma de México. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*. p. 176.

Tabla X. **Modelo de correlación del CBR**

CBR (%)	3	4	5	8	10	20
K (PSI)	100	120	140	175	200	250

Fuente: MIRANDA, Ricardo. *Diseño estructural*. p. 130.

El soporte del pavimento básicamente es para brindar un apoyo más uniforme a las losas, por ello se coloca en una subrasante ya sea granular o de selecto, con la finalidad de brindar un correcto bombeo y aprovechar al máximo el espesor diseñado para las losas; el pavimento rígido sufre esfuerzos de tensión y compresión, los esfuerzos de compresión son inferiores en función a la resistencia nominal del concreto, y los esfuerzos de tensión son importantes para la resistencia a la flexión.

3. CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO

3.1. Materiales de construcción

Es necesario verificar la calidad de los materiales que van a servir como fundación de las obras a proyectar. Específicamente se debe determinar el CBR y el módulo de reacción del material o capa que va a funcionar como subrasante para usar como determinación de la calidad de la misma.

“Para subrasante con CBR menores que 2, siempre y cuando el diseñador lo considere conveniente, se requieren tratamientos especiales como la sustitución de los materiales inadecuados (remoción parcial o total del material inaceptable) o la modificación de sus características con base en mejoramientos mecánicos que doten a la subrasante de mejores características mecánicas.”¹⁶

3.1.1. Tipos de cementos

Para la estabilización de losas, el cemento asfáltico debe caracterizarse por una baja penetración (por ejemplo 15 a 30) y un alto punto de reblandecimiento (82 a 93 °C). También debe tener una viscosidad adecuada para el bombeo, cuando tenga un calentamiento entre 204 y 232 grados °C. El uso de un grado normal de cemento asfáltico de pavimentación puede llevar a expulsar grandes cantidades de asfalto fuera de las juntas sobre la superficie del pavimento en el futuro.¹⁷

El Instituto del Asfalto recomienda el uso de cementos asfálticos que reúnan los requerimientos de la especificación para estabilización AASHTO-M238 o ASTM-D31241.

¹⁶ KAUFFMANN, Luis. *Deterioro de pavimentos rígidos*. p. 130.

¹⁷ *Ibíd.*

Tabla XI. **Clasificación de cementos utilizados en Guatemala**

	Nombre comercial	Descripción
Por sus ingredientes	Cemento Portland	<p>El cemento más utilizado para la preparación del hormigón es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de yeso (sulfato de calcio).</p> <p>Podría adicionarse otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos deberían ser incluidos en la molienda juntamente con el Clinker.</p>
	Cemento Portland Negro	<p>A diferencia de los cementos férricos, los cementos negros tienen fundentes muy alto, aproximadamente 10.</p> <p>Esto hace el porcentaje sea bajísimo de Fe_2O_3 (óxido férrico). Esta es la causa del porque el color negro es decir debido a la falta del hierro, es así como se obtiene el cemento Portland normal y un gris más oscuro al cemento férrico. Cemento de mezclas.</p>

Continuación de la tabla XI.

	<p>Cemento puzolánico</p>	<p>Básicamente la puzolana es una fina ceniza volcánica, aquí en Guatemala por ser un país fundamentalmente Volcánico es una materia prima mucho más abundante y fácil de conseguir, pero sobre todo más barata que el Clinker, principal ingrediente del cemento.</p> <p>Vitruvio describía cuatro tipos de puzolana: negra, blanca, gris y roja, colores que también afectará la tonalidad del cemento.</p> <p>La puzolana es una piedra que, por su naturaleza ácida, tiende a ser muy reactiva, al ser muy porosa puede obtenerse a bajo precio como comentamos anteriormente.</p>
	<p>Cemento Siderúrgico</p>	<p>La puzolana ha sido sustituida en muchos casos por la ceniza de carbón proveniente de las centrales termoeléctricas, residuos de fundiciones o residuos obtenidos calentando el cuarzo. Estos componentes son introducidos entre el 35 hasta el 80 %.</p> <p>El porcentaje de estos materiales puede ser particularmente elevado, siendo que se origina a partir de silicatos, es un material potencialmente hidráulico. Ésta debe ser activada en un ambiente alcalino, es decir en presencia de iones OH⁻. Es por este motivo que debe estar presente por lo menos un 20 % de cemento Portland normal.</p>

Continuación de la tabla XI.

Por su resistencia	Cemento estructural 5800 psi	<p>Este básicamente es un cemento portland; es decir es un cemento rico en Clinker, un cemento puzolánico no podría llegar a estos niveles de resistencia, este cemento debería usarse básicamente para todas las partes claves estructurales en las obras.</p> <p>Sin embargo, en Guatemala se acostumbra a usarse el cemento de uso general, aunque en realidad en una obra bien diseñada debería de usarse este tipo de cemento, de allí nace su nombre cemento estructural.</p>
	Uso general 4060	<p>Este tipo de cemento logra una resistencia de 4060 psi en los primeros 28 días, puede usarse para producir mortero, pegado de block pero no para fundición estructural, esto es muy importante entender sobre todo porque en Guatemala existe esta mala práctica de usar cemento Puzolánico de uso general para fundir estructuras.</p>

Fuente: HERNÁNDEZ, Jairo. Tecnología del concreto Tomo 1: *Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. p. 228.

Figura 16. **Cemento Portland**



Fuente: Mixto Listo. *Propiedades de los concretos rígidos*. p. 218.

“El uso de cemento según las especificaciones técnicas, será demandado por el tipo de proyecto, además del uso programado y nivel de tránsito esperado. Se prevén variables a considerar incluidas para el deterioro y tiempo de vida máximo de la cinta asfáltica.”¹⁸

¹⁸ Mixto Listo. *Propiedades de los concretos rígidos*. p. 218.

3.1.2. Características de los agregados

Los pavimentos de concreto simple, se construyen sin acero de refuerzo y sin varillas de transferencia (dovelas) de carga en las juntas, pues la transferencia se logra a través del esfuerzo de corte proporcionado por los agregados situados en las caras agrietadas, que se forman por el corte de la junta entre losas contiguas; para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que las longitudes de las losas sean cortas.

Según la norma ASTM C 33, todos los agregados deben cumplir:

- El tamaño máximo más grande que se ajusta a los requisitos para la colocación del concreto, producirá el concreto de menor costo con la menor tendencia a desarrollar fisuras, debido a efectos térmicos o a retracción autógena, plástica o por desecación.
- El tamaño máximo no debe exceder de $\frac{1}{4}$ del espesor del pavimento o los 6,4 cm (2 $\frac{1}{2}$ "); lo que sea menor.
- En aquellas áreas donde se sabe que las grietas por fallas en la durabilidad en los pavimentos constituyen un problema, debería usarse un tamaño menor.
- Los agregados no deben contener porcentajes mayores que lo especificado de los materiales nocivos, enumerados en la ASTM C 33.

Tabla XII. **Propiedades y tipos de agregados**

Propiedades físicas	<p>De acuerdo al tamaño de la partícula se tienen dos clases de agregados:</p> <p>Agregado fino: material que pasa 100 % el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla Núm. 200. Generalmente es clasificado como arena gruesa o fina.</p> <p>Agregado grueso: es aquel que es retenido 100% en el tamiz Núm. 4 o superior.</p>
Propiedades químicas	<p>Las especificaciones técnicas sirven para definir la calidad del agregado que son requisitos en una obra estos se encuentran estipulados en ASTM C33, así como en NTP 400.037.</p>
Tipos de agregados	<ul style="list-style-type: none"> • Grueso • Fino

Fuente: Norma ASTM C33.

Figura 17. **Aditivos para concreto**



Fuente: Cementos de México. *Tipos de aditivos para concreto*. p. 78.

3.1.3. Características del agua

“El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con la norma COGUANOR (NTG 41095), debe ser potable, y, por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, entre otros.”¹⁹

En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

Tabla XIII. Especificaciones perjudiciales en el agua

Sustancias perjudiciales	PPM Máximo
Sulfatos (convertidos a Na ₂ SO ₄)	1 000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1 000
Materia orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad o lignito	1 500

Fuente: American Society for Testing and Materials. *Norma D-1293*. p. 216.

- El pH, medido según norma ASTM D -1293, no podrá ser inferior a cinco (5).
- El contenido de sulfatos, expresado como SO₄=, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516.

¹⁹ COGUANOR NTG 41095. Características del agua.
<http://www.coguanor.gob.gt/index.php?id=0>.

- Su contenido de ion cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6 g/l). C.

3.1.3.1. Agua de mezclado y curado

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C109), producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90 % de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada.

Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua que contiene menos de 2 000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente pueden ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2 000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

Para el curado del concreto se deberá utilizar la misma calidad y tipo de agua que se aplicó en la fase de mezclado, solamente así podría garantizar el estado óptimo en sus superficies, además de garantizar que su estructura reduzca la probabilidad al agrietamiento o fisuras.

3.1.4. Aditivos

“Deberán emplearse aditivos del tipo “D” reductores de agua y retardantes con la dosificación requerida para que la manejabilidad de la mezcla permanezca durante dos (2) horas a partir de la finalización del mezclado a la temperatura estándar de veintitrés grados centígrados (23 °C) y no se produzca el fraguado después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado.”²⁰

Los aditivos deberán ser certificados por la casa productora. Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla, también se utilizará un agente inclusor de aire, con los requisitos que señala la norma ASTM C 260.

Estos aditivos se transportarán desde la fábrica hasta la planta de concreto en camiones cisternas y se depositarán en tanques especialmente diseñados para su almacenamiento y dosificación.

3.1.4.1. Inclusores de aire

Se reconoce como el líquido que se adiciona al concreto durante el mezclado, se agrega al agua de la mezcla y se agita para lograr una incorporación homogénea, formando así, un sistema de micro burbujas de aire que actúan como lubricante entre las partículas componentes del concreto aumentando notablemente su trabajabilidad.

La inclusión de aire optimiza eficientemente la durabilidad de los concretos que se encuentren expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo. Además, el aire incluido mejora la resistencia del concreto contra el

²⁰ American Society for Testing and Materials. *Norma ASTM C 260*. p. 110.

descascamiento de la superficie causado por los productos químicos deshelante.

3.1.4.2. Reductores de agua

“Los reductores de agua, también llamados fluidificantes o plastificantes, consiguen aumentar la fluidez de las pastas de cemento, y con ello la de los morteros y hormigones, de forma que, para una misma cantidad de agua, se obtienen hormigones más dóciles y trabajables, que permiten una puesta en obra mucho más fácil y económica.”²¹

3.1.4.3. Acelerantes

Son aquellos cuya función principal es reducir o adelantar el tiempo de fraguado del cemento. La utilización del acelerante de fraguado está principalmente indicada en aquellos hormigones donde es necesario tener resistencias elevadas a temprana edad.

3.1.5. Propiedades mecánicas del concreto para pavimento

Es sin embargo pertinente hacer notar que el uso de la resistencia mecánica del concreto como índice general de su aptitud para prestar un buen servicio permanentemente, no siempre es acertado porque hay ocasiones en que puede ser más importantes otras características y propiedades del concreto, de acuerdo con las condiciones específicas en que opera la estructura. Inclusive se ha dicho que la costumbre de especificar y aceptar la calidad del concreto con base solamente en la resistencia mecánica, es una de las causas que suelen originar problemas de durabilidad en las estructuras debido a que una resistencia suficiente no siempre es garantía de una duración adecuada del concreto en servicio.²²

²¹ American Society for Testing and Materials. *Norma ASTM C494*, p. 126.

²² SÁNCHEZ, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. p. 219.

Tabla XIV. **Propiedades mecánicas del concreto para pavimento**

Resistencia a la compresión	Según Sánchez (1996) la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad, y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia a la compresión.
Resistencia a la tracción	Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos de tracción, esta propiedad conduce generalmente a que no se tenga en cuenta en el diseño de estructuras normales.
Resistencia a la flexión	Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos de tracción.
Resistencia cortante	La resistencia del concreto a esfuerzos cortantes es baja, sin embargo, generalmente es tenida en cuenta por los códigos de diseño estructural. Este tipo de esfuerzos es importante en el diseño de vigas y zapatas, en donde se presentan en valores superiores a la resistencia del concreto
Determinantes de la resistencia	Los determinantes de la resistencia de un concreto en condiciones normales son: <ul style="list-style-type: none"> • La marca, tipo, antigüedad, superficie específica y composición química del cemento. • La calidad del agua.

Continuación de la tabla XIV.

	<ul style="list-style-type: none">• La dureza, resistencia, perfil, textura superficial, porosidad, limpieza, granulometría, tamaño máximo y superficie del agregado.• La resistencia de la pasta.• La relación a/c (agua-cemento).• La relación material cementante-agregado.• La relación del agregado fino al agregado grueso.• La relación de la pasta a la superficie específica del agregado.• La resistencia por adherencia pasta-agregado.• La porosidad de la pasta.• La relación gel-espacio.• El fraguado• El curado• La edad del concreto• Las condiciones del proceso de puesta en obra.
--	---

Fuente: Sánchez, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. p. 127.

3.1.6. Propiedades en estado endurecido

Son las que se valoran para el módulo de resiliencia, ya que en función de este se llega a los coeficientes de los números estructurales.

3.1.7. Concretos utilizados en Guatemala

- Concreto convencional

Es un concreto premezclado de uso general en la construcción para elementos con bajos, moderados y altos requerimientos estructurales de resistencia mecánica y respetando las especificaciones de las Normas ASTM y del Código ACI-318. Sus usos más importantes para elementos con bajos requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f'c = 105$ a 175 kg/cm^2 (1 500 a 2 500 psi). Ideal para la realización de banquetas, plantillas para cimentaciones, rellenos de baja resistencia, losas de cimentación de 175 kg/cm^2 , y bordillos.

Al igual con elementos con moderados y altos requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f'c = 210$ a 352 kg/cm^2 (3 000 a 5 000 psi). Ideal para la realización de losas (tradicionales o prefabricadas), cimientos corridos, losas de cimentación, zapatas, muros y columnas para uso residencial o industrial en las que el concreto no estará expuesto a ataques químicos o ambientales severos. El concreto premezclado convencional posee ciertas ventajas como calidad y uniformidad que supera ampliamente al concreto hecho en obra, medición y dosificación de materiales controlados y utilización de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales.²³

- Concreto estructural

Es un concreto premezclado de uso general para la construcción de elementos con altos requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f'c = 281$ a 350 kg/cm^2 (4 000 a 5 000 psi) y de alta resistencia mecánica como edificios, puentes, embajadas, escuelas y hospitales que no deben estar expuestos a ataques químicos o ambientales severos. Sus usos más importantes en la construcción nacional son para la elaboración de cimentaciones, muros y columnas, losas, pisos para uso residencial o industrial.

²³ Instituto Americano del Concreto. *ACI 318*. p. 318.

Algunas de las ventajas en la utilización de este tipo de concreto premezclado estructural comprenden características superiores en la resistencia mecánica que incrementa la seguridad de la construcción, medición y dosificación de materiales controlados, baja relación agua / cemento, mayor durabilidad. El uso de aditivos incrementa la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales realizadas en obra. Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas ASTM y del Código ACI-318 y ACI-308 cuando se emplea un curado no menor de 7 días.

- Concreto fluido

Es un tipo de concreto premezclado para aplicaciones en donde se requiere de un mayor grado de consistencia y trabajabilidad, en estructuras con alta densidad de acero y largas distancias de bombeo. Sus usos más importantes para elementos con moderados requisitos estructurales de resistencia a la compresión mínima de $f'c = 210$ a 245 kg/cm^2 (3 000 a 3 500 psi). Ideal para la construcción de cimentaciones, losas con alta densidad de acero de refuerzo (tradicionales o prefabricadas), muros esbeltos y columnas con alta densidad de acero de refuerzo para uso residencial o industrial en donde el concreto no estará expuesto a ataques químicos o ambientales.

Al igual con elementos estructurales con requisitos de resistencia a la compresión mínima de $f'c = 281$ a 350 kg/cm^2 (4 000 a 5 000 psi) que es utilizado para la construcción de losas y vigas de edificios, columnas, elementos de concreto visto. Este concreto premezclado tiene ciertas ventajas como, reducción de vibrado. Mejorando la calidad de compactación del concreto, se obtienen mejores acabados en concreto visto, medición y dosificación de materiales controlados, uso de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales. Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas ASTM y del código ACI-318 y ACI-308 cuando se emplea un curado no menor de 7 días.²⁴

²⁴ NORMAS ASTM. *Código ACI-318, ACI-308*. p. 162.

- Concreto vivienda en serie

Este tipo de concreto premezclado es fabricado para utilización en la construcción de muros y losas planas de vivienda en serie, o para estructuras más específicas como: muros esbeltos de vivienda en serie con molde metálico o de aluminio, elementos esbeltos de la vivienda en serie en donde se requiere mínimo vibrado. Teniendo una resistencia a la compresión mínima de $f'c = 210$ a 350 kg/cm^2 (3 000 a 5 000 psi). Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas ASTM y del Código ACI-318 y ACI-308 cuando se emplea un curado no menor de 7 días.²⁵

Entre las ventajas en utilizar este tipo de concreto premezclado para la importancia en la construcción de vivienda en serie que reduce el daño causado a la formaleta por exceso de vibrado, reduce el costo por resanes posteriores, minimiza las imperfecciones en los elementos construidos, fluye mejor que un concreto convencional dentro de los muros. A la hora de utilizar este tipo de concreto premezclado es importante tomar en cuenta que las condiciones climáticas pueden alterar el tiempo de fraguado del concreto. A temperaturas menores de $18 \text{ }^\circ\text{C}$ se tiene que evaluar la aplicación de un acelerante de fraguado.

- Concreto para pavimentos

Este tipo de concreto premezclado fue diseñado para la construcción de pavimentos durables, para tráfico vehicular liviano o pesado. Existen dos tipos concreto para pavimentos con molde fijo y con molde deslizante. La diferencia entre estos es que el de molde deslizante fue diseño para poder ser colocado por medio de una pavimentadora. Los usos más importantes de estos tipos de concreto son la construcción de pavimentos residenciales de tráfico exclusivamente liviano (espesor mínimo de 13 cm cuando se utiliza de molde fijo), construcción de pavimentos con tráfico pesado (espesor mínimo de 17 cm

²⁵ Instituto Americano del concreto. *Norma ACI-318*. p. 345.

cuando se utiliza de molde fijo), construcción de pavimentos con tránsito pesado de cargas variables (espesor mínimo de 21 cm cuando se utiliza con molde fijo).

Entre las ventajas que poseen estos tipos de concreto premezclado se encuentran la alta durabilidad y resistencia al desgaste, bajo costo de mantenimiento, la utilización de aditivos que incrementan la durabilidad del concreto en comparación con las mezclas tradicionales elaboradas a mano o con mezcladoras portátiles. Este tipo de concreto premezclado respeta y cumple con las Normas ASTM y del código ACI-318, ACI-308 cuando se emplea un curado no menor de 7 días y ACI-302.1 cuando se refiere al diseño de las juntas de construcción en la carretera.

- Concretos especiales

Estos tipos de concretos premezclados están diseñados para cada tipo de necesidad especial como columnas en costas o lugares altos en cloruros, cuartos fríos y pisos. Entre estos tipos están el concreto premezclado blanco que es un concreto convencional diseñado especialmente para edificaciones arquitectónicas decorativas de color blanco, que es utilizado para edificaciones arquitectónicas de alta estética, museos, auditorios o monumentos, estructuras de concreto expuesto. Entre las ventajas de la utilización de este concreto se encuentran su color blanco y apariencia estética, permite realzar su diseño mediante martelinado, cincelado o lavado.

Otro tipo de concreto premezclado especial es el concreto de alto desempeño, diseñado para resistir congelación y deshielo en cuartos congelados, fríos y húmedos. Que entre sus aplicaciones se encuentran en la utilización en lugares o cuartos congelados y fríos y en pisos con baja permeabilidad. Por sus características, el concreto es muy durable, por sus componentes y su relación agua cemento, el concreto es de baja permeabilidad. Este concreto resiste la exposición a la congelación y deshielo en condición húmeda o en descongelación

por medio de químicos (no sulfatos o sales). Ambos de estos concretos especiales cumplen con las Normas ASTM y del Código ACI-318, ACI-308 cuando se emplea un curado no menor de 7 días.²⁶

3.2. Especificaciones de construcción y control de calidad

La tendencia es mejorar el control de calidad a través de un monitoreo continuo a una estructura para observar sus propiedades físico-químicas, debido a que la mecanización y racionalización de las construcciones y la fabricación industrial de elementos de concreto prefabricado han hecho de la supervisión clásica insuficiente e imposible de aplicar como medio de control de calidad. El monitoreo puede convertirse en la prueba más estricta en toda la historia del concreto. Se asegura que la supervisión clásica se reemplazará por un registro instrumental adecuado y sensible. Una clave fundamental es la capacitación de los profesionales que construyen con concreto, aquellos que realizan el proyecto y las especificaciones, que están en la obra y que tienen el control de la misma, y de los ejecutores y supervisores.

La construcción de concreto es indispensable para la infraestructura, industria y vivienda, con lo cual, se satisfacen los requerimientos de la población, por lo que reafirma la necesidad de proveer un buen concreto a las construcciones, una tecnología de materiales adecuada y soportada con un conocimiento científico. El concreto certificado para una mayor durabilidad que sea elaborado con la calidad requerida, será un elemento básico en el desarrollo de las políticas de economía de recursos en todo el mundo. Los productores de concreto y los constructores cada vez aceptan más los modernos sistemas de control de calidad, como el ISO 9000 o los propuestos por el desarrollador de proyectos en conjunto con el contratista.

²⁶ NORMAS ASTM. *Código ACI-318, ACI-308*. p. 130.

3.2.1. Control y gestión de calidad

Para la buena construcción de un proyecto, es necesario preestablecer los resultados que debieran estar en rangos admisibles de construcción, permitiendo conocer si dicho proyecto cumple con normas establecidas.

Es por ello, que se deberán definir las consideraciones generales para una construcción de calidad a que se debe de llegar por parte del órgano ejecutor.

3.2.2. Ensayos de laboratorio

Son aquellos ensayos que se llevan a cabo para determinar el grado de cumplimiento con los requisitos contractuales y, por lo general, están vinculados con los ítems de pagos.

“Cuando el contratista tiene a su cargo los ensayos para aceptación, se hace referencia al proceso como control de calidad por parte del contratista; a diferencia del caso en que los ensayos para aceptación se encuentren a cargo del propietario. Los puntos importantes relacionados con la construcción de calidad de pavimentos de concreto incluyen:”²⁷

²⁷ American Society of Testing Materials. *Norma ASTM C33*. p. 198.

Tabla XV. **Parámetros gestionados para los ensayos de laboratorio**

Descripción	
•	Capacitación y certificación (generalmente certificación ACI) del personal a cargo de los ensayos.
•	Certificación del laboratorio de ensayos (según la norma ASTM C 1077).
•	Certificación de la planta.
•	Certificación del operador de planta.
•	Calibración de los equipos para ensayos.
•	Uso de diagramas de control por parte de los contratistas.
•	Desarrollo de un Plan de Gestión de Calidad.
•	Capacidad del equipo de obra para tomar decisiones con celeridad ante los cambios en las condiciones del proyecto.
•	Función del plan de gestión de calidad/Aceptación o verificación/Resolución de conflictos entre los resultados del control del plan de gestión de calidad y el control de calidad por parte del contratista.

Fuente: American Society of Testing Materials. *NORMA ASTM C-1077*. p. 410.

Una de las actividades más importantes de un proyecto de construcción de pavimentos de concreto, es el desarrollo de un plan integral de control de calidad. Es necesario que se implemente y respete dicho plan durante todo el curso del proyecto en construcción.

3.2.3. Control del proyecto y sus componentes

Al llevarse a cabo un proyecto de pavimento flexible, se tiene como punto de partida el proceso de diseño del mismo, y se auxilia de dos métodos muy reconocidos dentro de esta área, como lo son el método AASHTO y el método del Instituto del Asfalto.

Luego del diseño, se realiza la ejecución del mismo, etapa dentro de la cual se realizan las diferentes aplicaciones que tienen los pavimentos flexibles, como lo son los tratamientos superficiales, macadam de penetración, riegos de sello, carpeta de arena asfalto, pavimentos con emulsión asfáltica y el concreto asfáltico en caliente.

Para finalizar el proyecto de pavimento flexible, se lleva a cabo el mantenimiento de la red vial pavimentada, realizándose obras como la recuperación y estabilización con emulsión asfáltica y haciéndose mención de los diferentes tipos de fallas que afectan a este tipo de pavimentos.

Tabla XVI. **Componentes dentro del proyecto**

Insumos y bodegas	<p>Los insumos básicos podrán ser definidos por la magnitud y alcance de cada proyecto, ocasionalmente se construye una bodega con espacio óptimo para el resguardo de lo necesario, dentro de la bodega se emplea el control de inventario para eliminar los robos y desperdicios de insumos necesarios, de los cuales se mencionan algunos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Herramienta para corte• Martillos y punzones• Equipo de seguridad industrial• Carretas de mano• Cintas métricas• Clavos para madera y para concreto <p>La bodega podrá ser trasladada según necesidades.</p>
-------------------	---

Continuación de la tabla XVI.

Mano de obra	<p>Personal responsable con diferentes tareas asignadas según sus capacidades operativas y por distribución de tareas logísticas, dentro de un complemento aproximado promedio de proyectos realizados, se presenta un listado de la mayoría de puestos asignados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operadores de patrol • Operador de rodo • Operador de cisterna • Peón • Topógrafo • Cadenero • Laboratorista • Ayudantes de laboratorista • Operador de camión regador • Ayudante camión regador • Encargado de la planta • Operador planta central • Ayudante planta • Operador de cargador • Operador camión de volteo • Ayudante camión de volteo • Operador bothcat
	<ul style="list-style-type: none"> • Operador extendedor • Ayudante de extendedora • Operador de máquina texturizadora • Ayudante de texturizado • Operadores máquina cortadora • Operador de camión acarreo • Ayudante (alisado)
Subcontratos	<p>Se plantean trabajos contemplados para tercerizar a empresas disponibles y responsables por trabajos complejos, cuando el ingeniero a cargo de ciertas actividades no presenta la experiencia y conocimientos necesarios, procederá a sub contratar empresas especializadas para realizar las actividades necesarias.</p>

Fuente: AMADO, Katherin. *Análisis del costo en el ciclo de vida para dos alternativas de pavimento*. p. 56.

Se realizan ajustes básicos por cada tipo de proyecto, las instalaciones de bodegas, áreas de trabajo y zonas de acopio de equipo para construcción junto con la maquinaria pesada, deberá ser sometido a los análisis básicos de

resguardo y garantía de los equipos, también se deberá premeditar el menor impacto económico para el diseño de dichas instalaciones.

3.3. Rasante y subrasante

“En términos de relación de soporte de California (CBR) del material de la subrasante, se tiene una capacidad de soporte máximo de 2,82 % en condición de humedad natural y tras la inmersión de las muestras durante 96 horas de 1,37 % y mínima con un valor de CBR sin inmersión de 2,74 %, y luego de la inmersión de 2,15 %, se cuenta con material granular hasta la profundidad de exploración.”²⁸

La uniformidad y estabilidad de la sub rasante afectan tanto el desempeño prolongado del pavimento como al proceso constructivo.

La estabilidad de la sub rasante es necesaria para proveer el soporte adecuado de la sección de pavimento y una plataforma constructiva aceptable. El diseño del pavimento comienza con la identificación de su fundación.

3.3.1. Nivelación y compactación de la subrasante

La primera fase de la preparación de la subrasante es su nivelación gruesa. Consiste en el corte de los puntos elevados y el relleno de las áreas bajas, para conseguir la cota de terminación deseada.

²⁸ Portland Cement Association. *Método PCA*. p. 130.

Tabla XVII. **Criterios importantes previos a la nivelación**

Descripción	
•	El material de relleno se obtiene generalmente de las operaciones de corte (perfilado). Se debe utilizar el informe geotécnico para evaluar el uso posible de este material como relleno.
•	Si el material in situ no alcanza, o sus propiedades son inadecuadas para un buen desempeño del pavimento, se deben identificar áreas de préstamo de donde extraer material de relleno apropiado.
•	El contratista debe conocer las condiciones de la subrasante local, en lo referente al nivelado previo y otras actividades constructivas.

Fuente: Soluciones Viales. *Ensayos sobre concretos y cintas asfálticas*. p. 145.

La segunda fase de la nivelación consiste en el proceso de estaqueo (replanteo) de obra. Es una buena práctica que el ingeniero verifique en forma independiente la precisión de las estacas. Comúnmente se usan equipos de nivelación automática con posicionamiento global para nivelar.

3.3.2. Estabilización de la subrasante

“Los estados de subrasante no aptos pueden retrasar la obra, por lo que se deben tomar las medidas necesarias para tratar dichas áreas. Una subrasante estabilizada ayuda a cumplir con los plazos de la obra. Puede ser de suma importancia en obras que requieren aperturas del pavimento al tránsito.”²⁹

²⁹ Torres, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 266.

- Estabilización con cal

“La estabilización con cal se usa frecuentemente para estabilizar subrasantes cohesivas (suelos arcillosos) con alto contenido de humedad. Se debe diseñar una mezcla a fin de determinar el contenido óptimo de cal. Para suelos arcillosos con un Índice Plástico (IP) mayor que 10, el rango de contenido de cal varía normalmente entre el 3 % y el 5 %.”³⁰

El equipo necesario para llevar a cabo a la estabilización con cal incluye un distribuidor para la cal o lechada de cal, equipo de mezclado y pulverizado, equipo de riego y rodillos. Cuando se prescribe cal hidráulica hidratada como agente estabilizador, las especificaciones pueden permitir el uso, ya sea de colocación en seco o colocación como lechada.

Tabla XVIII. **Consideraciones para colocación de la cal**

Descripción	
Colocación en seco	Se debe esparcir la cal en forma uniforme sobre la superficie de la sub rasante, mediante un camión equipado con una caja esparcidora.
	La cantidad de cal esparcida, basada en la fórmula de la mezcla en obra, debe ser la necesaria para efectuar la mezcla en la profundidad especificada.
	La colocación en seco se torna difícil en proyectos muy grandes. La condición del viento en dichas áreas normalmente deriva en una gran nube de polvo, debido al exceso de viento, puede requerirse mayor cantidad de cal.

³⁰ Torres, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 289.

Continuación de la tabla XVIII.

Colocación en forma de lechada	Es necesario mezclar la cal con agua, dentro de camiones, y distribuirla, ya sea como una suspensión acuosa delgada o como una lechada mediante un distribuidor.
	El camión distribuidor debe agitar constantemente la lechada, para mantener la mezcla uniforme.
	La cal se distribuye mediante sucesivas pasadas, hasta que se haya esparcido la cantidad suficiente.
	La cantidad de cal esparcida, basada sobre la fórmula de la mezcla en obra, debe ser la necesaria para efectuar la mezcla en la profundidad especificada.
Consideraciones para mezclado in situ y compactación	La mezcladora debe poder mezclar la totalidad de la profundidad de la sub rasante tratada o, de lo contrario, se debe estabilizar el material de ésta por capas.
	El material se debe mezclar inmediatamente después de la aplicación de la cal. El período entre la aplicación de la cal y el mezclado de la subrasante no debe exceder de 6 horas.
	Se debe agregar agua a la subrasante durante el mezclado, para proporcionar humedad superior a la humedad óptima del material y para asegurar la acción química de la cal sobre la sub rasante.
	El mezclado final puede seguir al mezclado preliminar, excepto en el caso de algunas arcillas pesadas, que requieren un curado por humedad de entre 24 y 48 horas antes de su mezclado final.
	Es importante que se compacte la mezcla dentro de los 30 minutos posteriores al mezclado final.
	El material necesita estar dentro del ± 2 % del contenido de humedad óptima previo a su compactación, por lo que puede ser necesario airearlo o regarlo.
	La mezcla suelo-cal necesita ser compactada entre el 93 y el 95 % de la densidad máxima, determinada en el diseño de la misma. La densidad de campo deberá verificarse in situ, mediante un densímetro nuclear.

Fuente: Universidad Autónoma de México. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos.*

p. 388.

Es necesaria efectuar ensayos de verificación para comprobar la eficacia de la estabilización hasta la profundidad requerida. También, determinar el contenido de cal con la mezcla no curada, de acuerdo con ASTM D 3155. Para esto se toma una muestra obtenida del centro de la capa modificada con cal. Si la selección tratada con cal es una capa estructural, debe curarse como mínimo durante 7 días, antes de que se agreguen otras capas o se permita cualquier clase de tránsito.³¹

3.4. Base y subbase

La capa que se encuentra debajo de la superficie del pavimento es la base. El término subbase se usa para designar a las capas que están debajo de la base y por encima de la subrasante.

Los materiales para subbase suelen ser materiales granulares, que pueden ser naturales o triturados. Su estabilidad, en términos de valor soporte (CBR), varían entre 20 y 100. Estos materiales se usan como capas de protección de la subrasante y proporcionando drenaje por encima de ellas.

Tabla XIX. **Consideraciones para la colocación de la subbase**

Descripción	
•	La colocación debe comenzar a lo largo del eje de la calzada o el punto más elevado, para mantener el drenaje en todo momento conforme se lleva a cabo la construcción.
•	La colocación puede realizarse usando un equipo automatizado o una caja para piedras adosada a una explanadora.
•	La relación humedad-densidad debe establecerse en laboratorio, mediante el ensayo Proctor estándar o modificado. En el caso de tenerse vehículos pesados, es recomendable utilizar el ensayo Proctor modificado.
•	El control de la humedad es crucial para lograr la compactación. Lo mejor es mantener la humedad dentro del 1 % del nivel óptimo. Para materiales de subbase de drenaje libre, debe considerarse un contenido bajo de humedad, para evitar la adición excesiva de agua a la subrasante, durante la compactación del material de la subbase.

³¹ American Society of Testing Materials. *Norma ASTM D-3155*. p.190.

Continuación de la tabla XIX.

•	El espesor de la capa debe ser 3 ó 4 veces el tamaño máximo del agregado. Si el espesor es similar al tamaño máximo del agregado, se verán afectas la granulometría y la lisura.
•	Es importante evaluar la estabilidad de la sub rasante antes de comenzar a construir la sub base; debe repararse toda área blanda.
•	Se debe implementar la administración del tránsito en el frente de construcción, para eliminar problemas potenciales.
•	Se puede usar el densímetro nuclear, para monitorear su densidad.
•	Los valores de la densidad se pueden verificar mediante ensayos puntuales sobre el contenido de humedad del material entregado.
•	La tolerancia de planeidad para la sub base suele ser de 12 milímetros (1/2”), si se usa una regla de 5 metros (16 pies). <ul style="list-style-type: none"> ○ Se recomienda el uso de cuchillas guiadas por láser o niveladoras automáticas, en proyectos de mayor envergadura. ○ En el caso de obras donde no se justifique el empleo de equipo automatizado, puede ser necesario flexibilizar las tolerancias superficiales.
•	Es necesario proteger la sub base una vez conformada. <ul style="list-style-type: none"> ○ Es necesario proporcionar drenaje para que el agua no se acumule sobre la superficie. Si prevalecen las condiciones climáticas secas, debe recurrirse al riego.
•	El apisonado puede efectuarse mediante rodillos vibratorios. Si la compactación se torna dificultosa, pueden emplearse rodillos neumáticos, ya que la acción de amasado de las ruedas contribuye con este proceso.

Fuente: Universidad Autónoma de México. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*.
p. 76.

Las consideraciones proporcionadas en la tabla anterior, se hacen con uso de experiencia laboral y los estudios previos, en comparación con materiales bibliográficos que detallan la ejecución de proyectos paso a paso.

Además, se podrían aplicar dentro y fuera de la ciudad, ya que estos criterios operativos se limitan a la ejecución en la obra.

3.4.1. Estabilización mecánica

“Estos materiales son similares a los de la subbase, pero generalmente son de mayor calidad, en cuanto a contenido de agregados triturados, material deletéreo y granulometría. Los elementos cruciales para su colocación son los mismos que los materiales de la subbase.”³²

Tabla XX. Consideraciones para la estabilización mecánica

Descripción	
•	Debe revisarse el estrato subyacente (subrasante o subbase) antes de colocar y esparcir el material de la base. Cualquier huella y área blanda o elástica (debidas a condiciones drenantes inapropiadas, acarreo de materiales o cualquier otra causa) debe ser corregida y compactada a la densidad especificada, antes de conformar la base.
•	No se debe comenzar con la colocación de la base si la capa subyacente está húmeda, enlodada o congelada.
•	Se deben suspender los trabajos en la base durante temperaturas congelantes o si el material de la base contiene material congelado.
•	La tolerancia de planeidad, para capas de base, es generalmente de 10 milímetros (3/8”) para una regla de 5 metros (16 pies). Generalmente se usan métodos de conformación automatizados, para mantener estas tolerancias ajustadas.

Fuente: Universidad Autónoma de México. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*. p. 213.

³² TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 359.

Dentro del territorio central en Guatemala, se disponen de diferentes tipos de suelos, siendo variado el proceso y procedimiento para poder compactar y estabilizar, además del listado proporcionado se recomienda hacer un estudio de suelos previo a cada acción a tomar para el debido proyecto y según sus especificaciones.

3.4.2. Estabilización química

“Los materiales que se implementan con mayor frecuencia incluyen el suelo de cemento, bases tratadas con cemento, econocreto (concreto económico) y bases tratadas con asfalto. Estos materiales proporcionan bases excelentes sobre una sub rasante o sub base preparada apropiadamente.”³³

La rigidez de las capas de base estabilizada tiene un impacto sobre el desempeño de los pavimentos de concreto; afectan el curvado/alabeado de la losa y aumentan la restricción durante el período inicial de curado. En el caso del econocreto, la rigidez de la base puede ser muy alta. El resultado es un mayor potencial de agrietamiento aleatorio (errático), fisuración por reflejo o debida a bordes de losa del pavimento no soportados. Una base bien diseñada y construida aumentará la vida por fatiga y mejorará la constructibilidad del pavimento.

3.5. Colocación del pavimento de concreto

La pavimentación mecánica se usa para el pavimento principal, las pistas de rodaje de conexión y curvas de enlace amplias. Las áreas hechas a mano son aquellas demasiado pequeñas para usar la maquinaria. Para la

³³ TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 182.

pavimentación con máquinas se usan dos tipos de pavimentadoras: pesadas y livianas.

Las máquinas pesadas son las pavimentadoras con moldes deslizables. Las máquinas más livianas incluyen las pavimentadoras de tablero de puente, con moldes laterales y sinfín vibratorio o rodillos de cilindro.

Se deberán considerar algunos aspectos que podrían afectar la óptima pavimentación en la obra civil.

Tabla XXI. **Posibles factores a considerar para la pavimentación con concreto**

ITEM	Descripción
Aspectos que podrían afectar la pavimentación	Una buena rasante para pavimentar: cortada y pavimentada de acuerdo con las especificaciones.
	Manejo de la cuerda de guía: monitoree y mantenga la cuerda de guía en intervalos regulares.
	El suministro continuo de concreto a la pavimentadora.
	Trabajabilidad uniforme del concreto.
	Equipo de pavimentación bien mantenido.
	Operación correcta del equipo de pavimentación.
	Densidad del concreto: el nivel justo de vibración para consolidar el concreto y proporcionar la suficiente cantidad de finos para una terminación compacta.
	Una cuadrilla habilidosa y dedicada.
Entrega del concreto en el sitio.	Debe inspeccionarse la rasante para su aprobación antes de depositar concreto sobre la misma. Se retira cualquier residuo suelto y se repara cualquier daño en la base.
	Se deben verificar las cotas de la cuerda de guía.

Continuación de la tabla XXI.

	El concreto se debe depositar en la base dentro en el tiempo estimado tras la adición del agua. Cuando se lo coloca, se debe disponer de tiempo suficiente para su consolidación, enrasado y terminación antes del fraguado inicial.
	<p>Cuando se avanza con las pavimentadoras con moldes deslizantes por sobre las cabeceras, se recomienda usar un concreto con mayor asentamiento, para facilitar las tareas de consolidación manual y terminación.</p> <p>Se recomienda el uso de camiones mezcladores, factor que generalmente permite una colocación más uniforme y minimiza la segregación.</p> <p>Una entrega uniforme del concreto posibilita minimizar las paradas y rearranques constantes de la pavimentadora.</p>
Colocación del concreto	<p>Es necesario depositar el concreto cerca y uniformemente frente a la pavimentadora o distribuidor frontal, procurando minimizar la alteración de la base, del acero empotrado, los pasadores y los moldes laterales.</p> <p>Es necesario colocarlo de forma tal que ninguno de los costados de la faja de pavimentación quede sobrecargado de material.</p> <p>En áreas conformadas, se debe colocar el concreto lo más cerca posible a su posición final, para minimizar la posibilidad de segregación.</p> <p>El concreto se vuelca sobre la rasante frente a la pavimentadora o sobre colocadores a cinta transportadora y distribuidores de carga lateral.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Si se le vuelca sobre la rasante, controle la velocidad de descarga regulando la apertura de la puerta trasera del camión. ○ No se recomienda emplear una pala cargadora frontal para distribuir el concreto frente a la pavimentadora. <p>La ventaja del volcado directamente frente a pavimentadoras o distribuidores es que permite mantener fácilmente la cantidad de carga de concreto frente al sinfín de la máquina.</p>

Continuación de la tabla XXI.

	<p>Las desventajas de la descarga directa son:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Los camiones que atracan en reversa frente a la pavimentadora pueden alterar la base granulada.○ Es necesario colocar los amazones con pasadores justo frente a la pavimentadora, hecho que no permite verificar, por falta de tiempo, el alineamiento de los pasadores o su fijación segura a la base. Es necesario tener en cuenta la seguridad de los trabajadores que se desempeñan entre la pavimentadora que avanza hacia adelante y la cola de los volquetes en reversa.○ Se requiere la presencia de un inspector de tiempo completo para verificar la colocación y alineación de los amazones con pasadores.○ Se debe interrumpir al menos una de las cuerdas de guía para permitir la entrada y salida de los camiones del área de pavimentación. <p>Cuando se usa un colocador a cinta transportadora:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Oscilar la cinta hacia adelante y hacia atrás para mantener una carga uniforme de concreto frente a la pavimentadora.○ Si la pavimentadora tiene poco concreto, se debe llevar el colocador hacia atrás para proveer más material en las distintas zonas según sea necesario. <p>El operador de la pavimentadora debe controlar el nivel de concreto en el plato, de carga elevando o bajando la hoja de enrasado en la medida de lo necesario.</p>
--	---

Fuente: UNAM. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*. p. 126.

Es necesario soportar mediante separadores (silletas), las barras o mallas de acero empotradas usadas normalmente en áreas de curvas de enlace y otros paneles con forma singular. Éstos deben colocarse lo suficientemente cerca para que soporten el acero sin que se combe.

Las barras de unión usadas como armadura empotrada y posicionadas alrededor de las penetraciones deben soportarse por medio de separadores dentro de las tolerancias para la cota especificada. Las mallas de alambre soldadas deben ser planas y cumplir con las cotas dentro de las tolerancias.

3.6. Texturizado del concreto

Los pavimentos de concreto deben tener una textura superficial que proporcionará el nivel deseado de resistencia al deslizamiento.

“Las funciones principales diseñadas para la textura superficial, consistirá en dotar a toda la carpeta asfáltica: vías de escape para el agua debajo de los neumáticos de los vehículos, además de dotar un grado de aspereza a la superficie, necesaria para que los neumáticos rompan la película residual luego de que escurra el agua masiva.”³⁴

El texturizado del concreto es la técnica empleada con más frecuencia para dotar al pavimento de una superficie altamente resistente al deslizamiento. Sin embargo, no impedirá el hidropilado. Se aplica mientras el concreto aún se encuentra en estado plástico.

³⁴ TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 228.

Tabla XXII. **Acciones agregadas dentro de los métodos de texturizado**

Descripción	
Terminación con cepillo o escoba.	Aplicada apenas haya desaparecido el brillo del agua (agua exudada).
	Aplicada en forma transversal al eje del pavimento.
	Las estrías deben ser uniformes en su apariencia y tener alrededor de 1,5 milímetros (1/16") de profundidad.
	La superficie texturizada no debe exhibir gotas ni ser excesivamente rugosa.
Terminación con rastra de arpillera o carpeta de césped sintético.	El tipo de arpillera debe pesar más de 500 g/m ² (15 oz/yd ²).
	El borde de la arpillera que se arrastra necesita estar cargado con una pesada carga de mortero para producir el estriado longitudinal deseado sobre la superficie.
	Las estrías deben ser uniformes en su apariencia y tener alrededor de 1,5 milímetros (1/16") de profundidad.
Peinado con alambres (alambres rígidos de acero).	Usados para proporcionar una textura más profunda en el concreto fresco.
	Los alambres de acero tienen alrededor de 10 cm (4") de largo, 0,8 mm (0,03") de alto y 2 mm (0,08") de ancho.
	Las huellas continuas tienen aproximadamente 3 mm x 3 mm (1/8" por 1/8") y están espaciadas 13 mm (1/2") entre centros.
	No es necesaria la terminación con cepillo, escoba o arpillera previa al peinado con alambres.
	El peinado con alambres no sustituye al estriado (ranurado). No mejora el drenaje superficial.
Rayado con alambres (bandas flexibles de acero)	Usadas para proporcionar una textura profunda en el concreto fresco.
	Las bandas flexibles de acero tienen 13 cm (5") de largo, aproximadamente 6 mm (1/4") de ancho y están separadas 13 mm (1/2") entre sí.
	No es necesaria la terminación con cepillo, escoba o arpillera previa al rayado con alambres.
	El rayado con alambres no sustituye al estriado (ranurado). No mejora el drenaje superficial.

Fuente: Agregados de Guatemala. *Tipos de carpetas asfálticas*. p. 26.

3.7. Curado del concreto

“El curado es el mantenimiento de la humedad adecuada y los regímenes de temperatura del concreto recién colocado por un período de tiempo inmediatamente posterior a su terminación. El curado incorrecto puede causar graves detrimentos en las propiedades del concreto a corto plazo (fisuración por retracción plástica) y a largo plazo (superficie menos durable, alabeo excesivo del concreto endurecido).”³⁵

Tabla XXIII. Consideraciones para optimizar el curado del concreto

Descripción	
•	Los tiempos de aplicación del curado son cruciales, especialmente durante tiempo caluroso. Es necesario aplicar el curado tan pronto como desaparezca el agua sobre la superficie del concreto luego de su terminación y texturizado. Puede que no se forme agua cuando usa ceniza volátil o escoria.
•	Cuando se emplean compuestos aplicados por pulverizado, la cantidad y uniformidad de la cobertura son factores cruciales.
•	Si se ha de usar curado por vía húmeda, debe mantenerse mojada la totalidad de la superficie del concreto durante todo el período de curado (generalmente 7 días) o durante la aplicación del compuesto de curado.

Fuente: Agregados de Guatemala. *Estudios sobre las capas subrasante del asfalto*. p. 204.

³⁵ TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 316.

“Además de utilizar estas consideraciones, se deberá aplicar el curado pulverizado con equipo montado sobre una estructura autopropulsora, y que pueda abarcar todo el ancho de la faja pavimentada.”³⁶

Cuando se incurra en utilizar compuestos curados con pigmentación blanca, su aplicación deberá ser uniforme para examinarse visualmente.

³⁶ TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. p. 216.

4. MANTENIMIENTO PARA EL PAVIMENTO RÍGIDO

4.1. Reparaciones parciales

A continuación, se describen las reparaciones parciales del pavimento rígido.

4.1.1. Límites de la reparación

“Existen dos tipos de reparaciones básicas que se encuentran en las operaciones de mantenimiento para pavimentos de concreto hidráulico, se encuentra la reparación preventiva que se encarga básicamente de dar un mantenimiento luego de la construcción y mientras se encuentre en buen estado el pavimento para alargar o maximizar su periodo de vida útil o tiempo de servicio.”³⁷

De tal manera podría dar lugar a reparaciones menores; y el mantenimiento correctivo que se determina cuando el pavimento presenta daños considerables en su estructura y afecta el tránsito vehicular, esto marca que las reparaciones son mayores para rescatar la estructura con las funciones originales del pavimento rígido.

³⁷ MIRANDA, Ricardo. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. p. 316.

Figura 18. **Fallas visibles en pavimento**



Fuente: Cementos progreso. *Tipos de fallas en el concreto*. p. 79.

4.1.2. Resellado de juntas

“Las juntas tienen como función principal la inducción de fallas o grietas causadas por retracción del concreto ocurrida durante el proceso de fraguado, la contracción y dilatación por el proceso térmico, la cual es causada debido a los cambios de temperatura que se dan en el medio ambiente, el alabeo que se genera debido a la humedad entre la carpeta de rodadura y la subrasante, esto para evitar que se formen grietas a lo largo o ancho de la losa de concreto.”³⁸

³⁸ Cementos progreso. *Tipos de fallas en el concreto*. p. 72.

Figura 19. **Sellado de juntas con mortero asfáltico**



Fuente: Cementos Progreso. *Tipos de fallas en el concreto.* p. 72.

“Referirse al sello de grietas, podrá estar catalogado como mantenimiento de periódico y preventivo con la finalidad de elevar el nivel de servicio del pavimento y prevenir fallas en el mismo antes de que sucedan, la realización de este trabajo debe ser antes de la penetración del agua entre la estructura del pavimento y la base o subrasante, para que no genere daños a la misma estructura, esta tiene particularidades para poder ejecutarse, como por ejemplo cuando ya haya daños estructurales por penetración de agua o humedad generando desprendimiento o una mala adherencia del material y sea necesaria su restitución.”³⁹

³⁹ Cementos Progreso. *Diseños y análisis de diferentes lozas de concreto.* p. 226.

Figura 20. **Sellado de juntas con silicona**



Fuente: Normas. *NORMA ASTM C920, ASTM D5893, ASTM D6690*. p. 79.

“Para estos tipos de sello son muy importantes los materiales entre ellos se tiene que determinar una evaluación a las losas de concreto para verificar el estado del pavimento y determinar asilas propiedades técnicas del producto base a utilizar, ya sea a base de poliuretano (ASTM C920), o silicona (ASTM D5893), pero el más utilizado es el asfaltico o material bituminoso (ASTM D6690)”⁴⁰

“Todos esos materiales tienen que tener los ensayos de laboratorios correspondientes, solidificarse a temperatura ambiente y ser autonivelantes, para ello se necesita un equipo ranurador el cual puede ser una cortadora de

⁴⁰ Normas. *NORMA ASTM C920, ASTM D5893, ASTM D6690*. p. 79.

concreto con disco rotatorio autopropulsado y tiene que seguir la huella de la grieta sin dañar el concreto.”⁴¹

Luego se deberá contar con un soplador de aire para quitar todos los elementos de concreto pequeños que puedan generar que el material sea removido por el tránsito vehicular luego en la junta limpia se instala un respaldo que puede ser de esponja o poliuretano a una profundidad especificada y luego con un aplicador en caliente controlando la temperatura, verter el material dentro de la junta para luego secar con arena que cumpla características de granulometría de 2,36 mm y que sea un agregado seco.

Figura 21. **Soplador de asfalto para juntas recién selladas**



Fuente: Cementos Progreso. *Diseños y análisis de diferentes lozas de concreto*. p. 226.

⁴¹ MIRANDA, Rafael. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. p. 236.

“Dependiendo del tamaño del proyecto se puede medir por metro lineal, todo esto cumpliendo con los requisitos establecidos en la sección 401 de las especificaciones técnicas de COVIAL actualizadas al último año vigente y la sección 411 de las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la dirección general de caminos del año 2001.”⁴²

4.1.3. Remoción

“Se retira la junta existente y se utiliza un soplador para quitar residuos de polvo o piedras diminutas que puedan interferir en la adherencia del concreto con el sellante.”⁴³

4.1.4. Limpieza

“Se corta todo tipo de plantas y se retira cualquier desperdicio o basura en general que se encuentre en el derecho de vía de la calle, para que no interrumpa el tránsito regular.”⁴⁴

4.2. Reparaciones totales

A continuación, se describe las reparaciones totales del pavimento rígido.

4.2.1. Reparación de losa

La reparación de la losa de concreto hidráulico que se encuentren en un estado de daño severo, es la remoción parcial o total de las losas que presente

⁴² Cementos Progreso. *Clasificación de tipos de fracturas en losas de concreto*. p. 387.

⁴³ MIRANDA, Rafael. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. p. 176.

⁴⁴ *Ibíd.* p. 189.

agrietamientos, deformaciones, fisuras o fracturas, esto con el fin de restaurarlo a su condición o estado original.

Para poder realizar este tipo de reparación, es necesario remover las losas dañadas, para luego verificar el estado de la subrasante o base, si no hay necesidad de una reparación se procede a preparar un encofrado de un material que no tenga mayores deformaciones luego proceder a fundir con concreto hidráulico el cual estará regido a la norma ASTM C-78, cumplir con un 0,49 de relación agua/cemento como máximo y una temperatura de 32 grados centígrados para su colocación.

Figura 22. **Reparación de losa**



Fuente: Cementos Progreso. *Clasificación de tipos de fracturas en losas de concreto*. p. 387.

“Dependiendo de la densidad de tránsito, se pueden usar aditivos en el concreto que se regirán bajo la norma ASTM C-494; el cemento a utilizar, deberá estar regido en su fabricación bajo las normas ASTM C-150, ASTM C-595 o ASTM C-1157; y los agregados finos y gruesos deberán estar regidos bajo la norma ASTM C-33.”⁴⁵

4.2.2. Sellado de juntas

Se realizan las juntas para mitigar los efectos de contracción en los pavimentos, usando una cortadora con disco para lograr cortar las grandes dimensiones que se indiquen en los planos o por el supervisor, el ancho de la ranura y la profundidad son de $\pm 0,5$ mm. Tienen que ir en línea recta y se tiene que quitar suciedad, polvo, grasa o cualquier otro material que contamine el sellante y altere la adherencia del sellador con el concreto.⁴⁶

El espaciamiento de las juntas depende del espesor del pavimento, la temperatura con el coeficiente de dilatación, las cargas aplicadas, por falta de aislamiento entre el pavimento y obras de arte, entre otras.

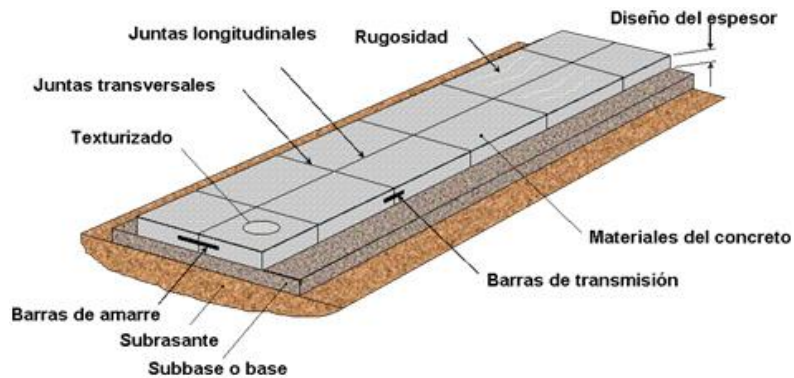
4.2.2.1. Juntas transversales

Estas juntas se trabajan a lo ancho del pavimento de concreto, estas ayudan a controlar y prevenir el alabeo entre losas de concreto y las grietas o fisuras por contracción o retracción, se realizan a una distancia menor a 4,50 metros.

⁴⁵ Cementos Progreso. *NORMA ASTM C494, ASTM C150, ASTM C595, ASTM C1157*. p. 476.

⁴⁶ MIRANDA, Rafael. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. p. 79.

Figura 23. **Diagrama de juntas transversal y longitudinales**



Fuente: MIRANDA, Rafael. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. p. 189.

4.2.2.2. **Juntas longitudinales**

Estas juntas se trabajan a lo largo del pavimento de concreto, aparte de dividir carriles, controlan las grietas o fisuras cuando se construyen más de un carril, se realizan cuando las losas de concreto tienen un ancho mayor a 5,00 metros.

4.3. **Principales problemas**

“El concreto, así como muchos otros materiales de construcción empleados en las obras civiles, sufre cambios físicos y químicos que son inducidos por diversos factores, entre los principales daños a los pavimentos que se encuentran con frecuencia en urbanizaciones encontramos las grietas, abultamientos y el alisamiento de la superficie.”⁴⁷

⁴⁷ KAUFFMANN, Luis. *Deterioro de pavimentos rígidos*. p. 278.

4.3.1. Grietas

Una grieta es una abertura alargada y estrecha, que puede ser superficial o estructural dependiendo del ancho, largo y profundidad de la misma, su principal causa son los cambios de temperatura y modulación inadecuada de juntas, las cuales afectan de manera directa en la resistencia, rendimiento y comodidad a la hora de transitar en el concreto hidráulico; por fallas en la subrasante, que se producen por sobrecargas que junto con el peso propio en las losas de concreto generan asentamientos en la subrasante o el terreno.⁴⁸

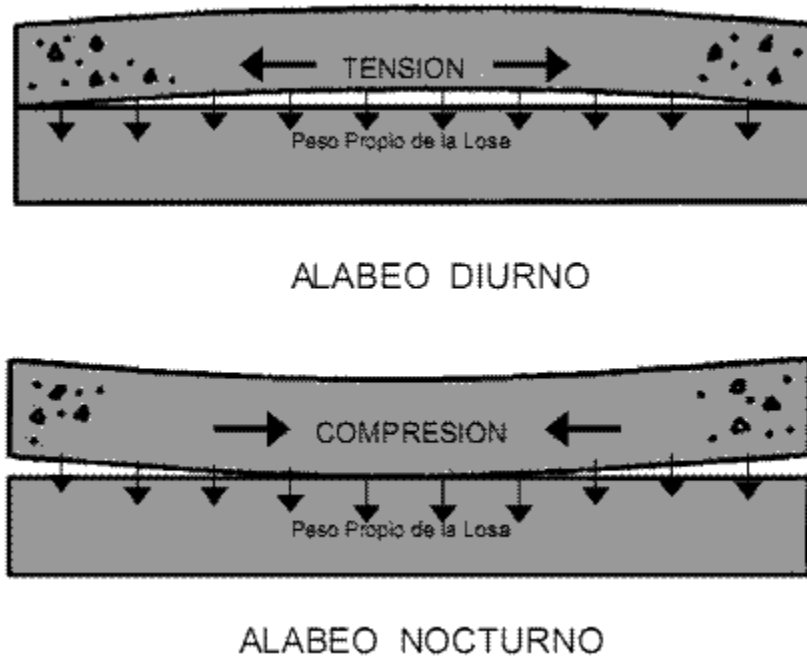
4.3.2. Alabeo e hinchamientos

“El alabeo es una curvatura que surge de los cambios térmicos y de humedad entre la carpeta de rodadura y la subrasante, la cual distorsiona las losas del pavimento de concreto hidráulico, levantando los bordes ya sea para arriba o para abajo, quedando la losa sin apoyo, dando lugar a daños en las aristas y grietas estructurales al paso del tránsito pesado.”⁴⁹

⁴⁸ KAUFFMANN, Luis. *Deterioro de pavimentos rígidos*. p .221.

⁴⁹ *Ibíd.* p. 223.

Figura 24. **Representación de Alabeo**



Fuente: MIRANDA, Rafael. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. p. 236.

“El hinchamiento es cuando la losa tiene una elevación en la capa de rodadura, la cual se provoca por la restricción de movilidad para poder expandirse cuando el pavimento ejerce esfuerzos internos de compresión que son perpendiculares a la sección, esto puede derivar en grietas estructurales para el pavimento de concreto hidráulico.”⁵⁰

4.3.3. Alisamiento de superficie

“La carpeta de rodadura dependiendo de los agregados pétreos, puede tener una abrasión o pulimento de la superficie del concreto, la cual genera

⁵⁰ KAUFFMANN, Luis. *Deterioro de pavimentos rígidos*. p. 207.

problemas de pérdida de tracción entre las llantas del vehículo y la superficie del pavimento, haciéndolo inseguro para su tránsito a altas velocidades y generando un desgaste prematuro en el concreto.”⁵¹

Figura 25. **Alisado de cinta asfáltica**



Fuente: Cementos Progreso. *Tratamientos de superficies en asfaltos*. p. 26.

Para realizar estas actividades se recomienda ejecutarlas con climas despejados, limitar el trabajo cuando se presentan climas lluviosos porque dañarían el trabajo ya realizado.

⁵¹ Cementos Progreso. *Tratamientos de superficies en asfaltos*. p. 26.

5. EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA PAVIMENTO RÍGIDO

5.1. Análisis de especificaciones

Se deberán considerar múltiples y diferentes escenarios dentro de un mismo proyecto de construcción, será necesario proyectar los resultados esperados, diferenciando los tiempos reales estimados y los tiempos considerados por retrasos oportunos, planteando claramente la estructura general de los alcances del proyecto con normas, será clave para lograr concretar fases iniciales, intermedias y finales.

Se necesitará implementar controles de calidad, desde la recepción de materiales para ser transformados en obra gris, control de inventarios y calificación de todo el recurso humano según el cumplimiento de sus tareas y metas asignadas.

Su objetivo será proporcionar ensayos, monitoreos y presentaciones de informes sobre el detalle de los trabajos realizados, de forma ordenada se deberán crear archivos con anotaciones de conformidades y rechazos en las especificaciones técnicas de los trabajos programados.

Conozca cuál es el alcance del proyecto y sus objetivos, con el fin de tener una descripción técnica de la solución para luego tener un presupuesto del mismo.

Tabla XXIV. **Correlación de recursos necesarios para ejecutar un proyecto**

Descripción	
Preinversión	<p>el PROYECTO TIPO -al definir los aspectos técnicos requeridos para su implementación- genera un ahorro en los costos correspondientes a Preinversión.</p> <p>Sin embargo, en ese capítulo se deben destinar recursos para complementar la etapa de preinversión, específicamente para financiar los estudios de suelos, estudio de tránsito, topografía, hidrología e hidráulica, socialización del proyecto, y otros.</p>
Ejecución	<p>Se estima que el valor total para la construcción de la vía de 100 metros de longitud, 7 metros de ancho en pavimento rígido y con sardineles está entre Q 100 millones.</p>
Operación y mantenimiento	<p>los recursos con los que debe contar la entidad territorial para realizar el mantenimiento de la vía anualmente se estiman en Q 450 mil.</p>

Fuente: Cementos Progreso. *Tratamientos de superficies en asfaltos*. p. 26.

Además de esos tres recursos obligatorios y necesarios, se deberán considerar las disposiciones legales incluidas en las leyes de contrataciones del Estado, considerando también que en áreas rurales se deberá tramitar autorizaciones legales para realizar podado o derribo de árboles.

Tabla XXV. **Diferentes acciones que sustentan la base fundamental de un proyecto de asfalto**

Acciones	Descripción
<p>Levantamiento topográfico</p>	<p>Se deberá realizar el levantamiento topográfico para la localización y determinación de la pendiente de la vía. Consiste en determinar la localización general, ubicar el tramo de vía para la intervención, determinar la pendiente longitudinal y dimensionamiento de las áreas de intervención.</p> <p>Se sugiere que el Levantamiento Topográfico incluya como mínimo amarres al sistema de coordenadas (debidamente certificadas), en donde además se identifique de predios colindantes, norte geográfico, cuadro de coordenadas, curvas de nivel, cuadro de convenciones, cálculo del área o de la zona de intervención, levantamiento de redes eléctricas o postes, levantamiento de redes de acueducto, alcantarillado pluvial y sanitario con las respectivas cotas, levantamiento de elementos relevantes de la vía y del entorno (cercas, pozos, etc.), levantamiento de construcciones existentes indicando nomenclatura y pendientes aproximadas, perfiles transversales y longitudinales indicando en planta la ubicación, punto de inicio y punto final, memorias topográficas (descripción general, metodología utilizada, equipos técnicos y humanos, precisión), carteras topográficas de campo y cálculo.</p>
<p>Estudio de tránsito</p>	<p>Se debe realizar el estudio de tránsito el cual influye de manera directa en el diseño de las estructuras de pavimento. El número y el peso de los ejes que pasan en el período de diseño imponen el daño a la estructura.</p> <p>En este sentido es necesario determinar los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Tránsito promedio diario semanal: El TPD se determina contando, durante un lapso establecido, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones). <p>El periodo más utilizado es el TPDs en cuyo caso se refiere a que el conteo se hizo durante una semana. El diseñador definirá el tipo de proyección (lineal o exponencial) que más se acerque a la realidad de la región, con el fin de calcular el TPDs al último año de diseño.</p>

Continuación de la tabla XXV.

Estudio de suelos	<p>El estudio de suelos debe realizarse en el área donde se va a desarrollar el proyecto. El documento debe contener la descripción general del proyecto (nombre, localización con dirección), el resumen de la investigación realizada, el análisis geotécnico, las recomendaciones para el diseño, las recomendaciones para la construcción, las tablas de resultado de los sondeos, el resumen de memorias de cálculo y registro fotográfico del procedimiento de toma de muestras.</p> <p>Se debe contar con la ubicación de los sondeos y caracterizaciones con perfiles estratigráficos en una copia del plano del levantamiento topográfico realizado, con el respectivo registro fotográfico de los muestreos realizados.</p>
Diagnóstico de las redes de servicios públicos	<p>Es necesario determinar si las redes de servicios públicos de acueducto y alcantarillado existentes se encuentran en buen estado, con el fin que no sea necesario realizar su reposición en el corto plazo y se vea afectado el pavimento que se encuentra recientemente construido.</p> <p>Se debe presentar la información de cotas clave y localización de redes en planos.</p>

Fuente: Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas, Ecuador.

5.2. Cuantificación

“Con base en las actividades identificadas en el estudio técnico, su cuantificación y los análisis de precios unitarios, se obtienen los montos por actividad para finalmente armar el presupuesto del proyecto.”⁵²

Puede que las necesidades reales del proyecto contemplen o no actividades aquí descritas y algunas no estén presentes en este presupuesto.

⁵² Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones. *Construcción pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito*. p. 38.

Tabla XXVI. **Listado complementario de actividades y trabajos de cuantificación**

Descripción	Cantidad	Unidad de medida
Planos finales	15	Juego
Administración	1	Diseño
Limpieza, podado de arboles	1	Horas
Excavación de desperdicio	1	Metro cubico
Excavación para nivelación	1	Metro cubico
Remoción y estabilización de taludes	1	Metro cubico
Remoción de escombros	1	Metro cubico
Excavación para alcantarillas	1	Metro cubico
Excavación para subdrenajes	1	Metro cubico
Excavación para gaviones	1	Metro cubico
Relleno de gaviones	1	Metro cubico
Alcantarillas de concreto	1	Unidad
Cajas y cabezales de concreto para alcantarillas	1	Metro cubico
Cunetas revestidas de concreto	1	Metros cuadrados
Bordillos de concreto	1	Metros lineales
Gaviones	1	Metros cúbicos
Geotextil para gaviones	1	Metros cuadrados
Reacondicionamiento de la subrasante	1	Metros cuadrados
Capa de subbase de 20 cm. De espesor	1	Metros cuadrados
Capa de base de 15 cm de espesor	1	Metros cuadrados

Continuación de la tabla XXVI.

Riego de imprimación	de	1	Metros lineales
Riego de lija		1	
Concreto asfáltico de 5 cm de espesor		1	Metros cúbicos
Pintura termoplástica		1	Metros
Señales de identificación del proyecto		1	Unidades
Estabilización		1	Metros cuadrados
Colocación de concreto		1	Metros cuadrados
Texturizado		1	Metros cuadrados
Curado		1	Metros cuadrados
Corte		1	Metros lineales

Fuente: Cementos Progreso.

Los items incluidos anteriormente son aspectos obligatorios y necesarios incluir dentro de un proyecto de pavimentación en el área urbana, no se puede dejar de considerar trabajo con remoción de tierras, estabilización de taludes o podado de árboles.

5.3. Presupuesto

“En la industria de la construcción existen varios tipos de contratos, estos dependen de la manera en que empresa constructora cobrara por el trabajo realizado.”⁵³

⁵³ Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones. *Construcción pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito* p. 145.

Tabla XXVII. **Diferentes tipos de concretos utilizados con mayor frecuencia**

Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones. Construcción pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito	
Tipo de contrato	Descripción
Precio alzado	En este contrato la empresa constructora hace una valoración del costo total del proyecto y no existe modificación alguna de ese costo y con este monto se debe de desarrollar el proyecto.
Administración	En este tipo de contrato la constructora va cobrar un porcentaje por lo desarrollado, el cual se pacta con el dueño del proyecto o el responsable del mismo este tipo de contrato es de bajo riesgo para la empresa constructora.
Precio unitario	<p>La empresa constructora obtiene una descripción minuciosa de todas las partidas que conformaran el proyecto, una vez obtenido esto, desglosa cada partida en todas las tareas que generan esta partida, cuando se tiene toda esta información se procede a hacer un análisis de las tarjetas de precios unitarios de cada actividad, ahí es donde se contiene la cantidad de material necesario para desarrollar la actividad así como el número de personas y el rendimiento de las mismas junto con el precio directo e indirecto de esa actividad.</p> <p>Una vez obtenidas cada una de las tarjeta de todas las actividades que conformaran las partidas, la empresa constructora llega a un acuerdo con el dueño del proyecto o el responsable del mismo para que acepte todas las tarjetas de precio unitario y también acepte la modificación de cada precio unitario si es que existe algún tipo de aumento en el costo del material.</p>
Financiamiento	Este tipo de contrato es cuando la empresa constructora trabaja con recursos propios, es decir sin recibir anticipo, o pagos secuénciales, en este tipo de contratos se considera un factor de riesgo el cual quedara basado conforme a las expectativas contractuales, este tipo de contrato se considera de alto riesgo.

Continuación de la tabla XXVII.

Llave en mano	Este tipo de contrato es muy común cuando se desarrollan proyectos de mayor alcance o edificaciones muy especializadas donde se contrata a una empresa para que lo desarrolle y tiene la obligación de entregar el proyecto al propietario una vez que esté funcione a la perfección, este tipo de contratos son de alto riesgo para ambas partes tanto el dueño como el constructor.
----------------------	---

Fuente: Agregado de Guatemala.

Estas proyecciones y clasificación de los proyectos se realizaron haciendo análisis de la duración de cada actividad mayor, una vez obtenida la duración de la misma se hizo un análisis de las duraciones de cada una de las actividades que englobarán la actividad mayor y así se podrá obtener la duración total del proyecto tomando en cuenta cierta holgura, para considerar ciertas deficiencias en el rendimiento o prevenir anomalías. De esta manera se podrá trazar la duración de un proyecto y la planeación justa del mismo.⁵⁴

⁵⁴ DÍAZ, Edna. *Procesos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico aplicados en tránsitos vehiculares de bajos volúmenes*. p. 198.

Figura 26. Diagrama de proceso de un proyecto de construcción



Fuente: DÍAZ, Edna. *Procesos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico aplicados en tránsitos vehiculares de bajos volúmenes*. p. 76.

Por otra parte, las cantidades de obra son estimadas para cada una de las actividades establecidas, y el formulador de acuerdo con la situación actual y la situación esperada con la realización del proyecto, identificará las cantidades necesarias a desarrollar en cada una de las actividades.

- Presupuesto de la constructora

En cuanto a los materiales, aquellos proyectos cuya localización se aleja de las fuentes de la zona, regularmente tienen incrementos asociados a la disponibilidad de producto que cumpla las especificaciones de calidad como gradación, limpieza, dureza, entre otros.

De la mano con lo anterior, se debe considerar en los precios el sobre costo que representa el transporte de los materiales a zonas de difícil acceso. Para el presente proyecto, se consideró una distancia para la disposición, así como para la extracción de material de 20 km.

Por su parte, en la mano de obra del proyecto, los precios difieren en las diferentes regiones del país, por lo cual es necesario ajustar el proyecto a los precios correspondientes en la zona. Los costos por Administración, Imprevistos y Utilidades (AIU) en este caso se estimaron como un porcentaje de 25 %, pero se aclara que corresponderá al formulador determinar el monto a aplicar en su proyecto con base en las características de cada entidad territorial.

Asimismo, los valores de la interventoría corresponden a un análisis aparte y un presupuesto específico, que no corresponden con algún tipo de porcentaje en particular de los costos directos. Para este caso en particular, se tuvo en cuenta que la interventoría tendría las siguientes consideraciones: un director de interventoría, un ingeniero residente, topógrafo, Ingeniero en Salud Ocupacional, equipos y oficina.

- Presupuesto del cliente

Con base en las actividades identificadas en el estudio técnico, su cuantificación y los análisis de precios unitarios, se obtienen los montos por actividad para finalmente armar el presupuesto del proyecto.

Puede que las necesidades reales de la entidad contractual contemplen o no actividades aquí descritas y algunas no estén presentes en este trabajo de investigación, siempre se trabaja lo más cercano a la realidad y según los modelos de investigación realizados.

5.4. Renglones de costos unitarios

A continuación, se detallan los renglones de costos unitarios de un pavimento rígido.

5.4.1. Integración de unitarios para un pavimento rígido

En la siguiente tabla se describen los costos unitarios y totales del pavimento rígido.

Tabla XXVIII. Integración de unitarios para un pavimento rígido

Renglón	Cantidad requerida	Costo	Sub-total
Planos finales	Juego	Q 2 500,00	Q 2 500,00
Administración de proyecto	100 horas hombre	Q 1 000,00	Q 100 000,00
Limpieza, chapeo y podado de arboles	1 hora hombre	Q 55,00	Q 55,00

Continuación de la tabla XXVIII.

Herramientas	5 % mano de obra por hora	Q 2,75	Q 2,75
Alquiler tractor	1 hora	Q 550,00	Q 550,00
Alquiler cargador frontal	1 hora	Q 400,00	Q 400,00
Alquiler camión Cisterna	2 000 galones	Q 125,00	Q 125,00
Materiales	5 % mano de obra por hora	Q 2,75	Q 2,75
Alquiler motoniveladora para excavación	1 hora	Q 375,00	Q 375,00
Rodo liso Vibratorio 5 toneladas para excavación	1 hora	Q 300,00	Q 300,00
Camión cisterna 2 000 galones para excavación	1 hora	Q200,00	Q 200,00
Tractor tipo de cadena para excavación.	1 hora	Q 500,00	Q 500,00
Cargador frontal para excavación	1 hora	Q 400,00	Q 400,00
Camión de volteo de 10 metros cúbicos	1 hora	Q 275,00	Q 275,00
Retroexcavadora Cargadora	1 hora	Q 500,00	Q 500,00
Pick up	1 hora	Q 150,00	Q 150,00
Encargado	1 hora	Q 48,00	Q 48,00
Ayudante	1 hora	Q 35,00	Q 35,00
Mezcladora de concreto	1 hora	Q 105,00	Q 105,00
Distribuidora de asfalto	1 hora	Q 500,00	Q 500,00
Barredora autoproulsada	1 hora	Q 325,00	Q 325,00

Continuación de la tabla XXVIII.

Terminadora de asfalto	1 hora	Q 600,00	Q 600,00
Camión de estacas	1 hora	Q 155,00	Q 155,00
Maquina pinta líneas	1 hora	Q 135,00	Q 135,00
Fabricación de señales para identificación del proyecto	1 hora	Q 1 500,00	Q 1 500,00
Computadora	1 hora	Q 45,00	Q 45,00
Ploter	1 hora	Q 65,00	Q 65,00
Calculista	1 hora	Q 75,00	Q 75,00
Dibujante	1 hora	Q 35,00	Q 35,00
Texturizado	1 hora	Q 65,00	Q 65,00
Curado	1 hora	Q 65,00	Q 65,00
Corte	1 hora	Q 120,00	Q 120,00
Pintura termoplástica	1 hora	Q 275,00	Q 275,00
Total aproximado			Q 110 483,50

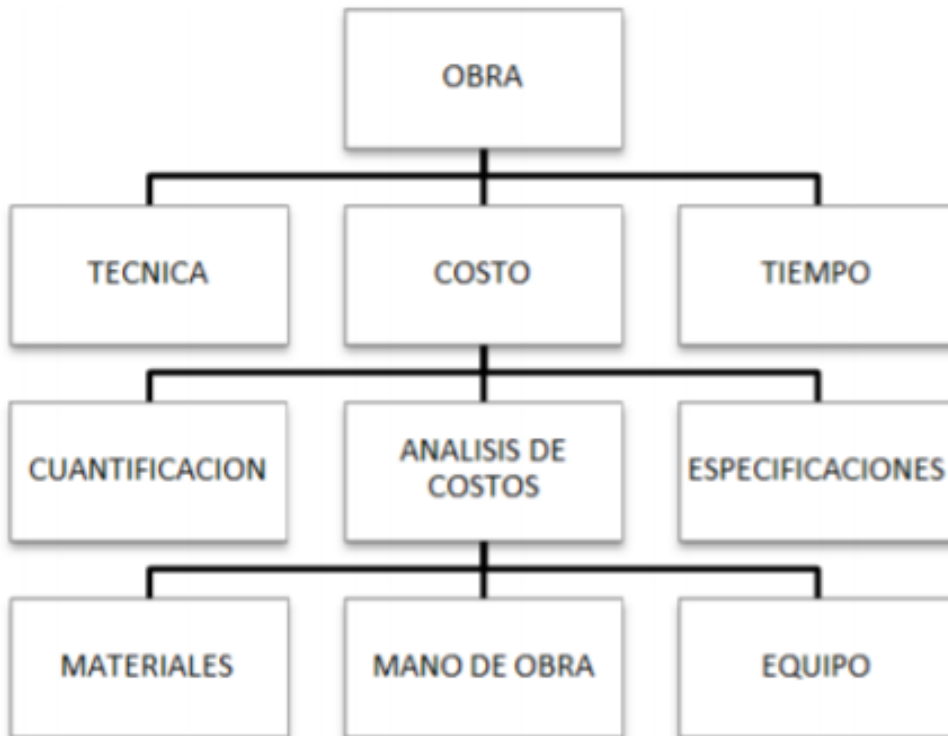
Fuente: Corporación Agregados de Guatemala.

5.5. Costos totales

El presentar estos costos como un porcentaje de los costos directos se genera una ecuación que es válida, solamente estos llegan al nivel previsto, pues en caso contrario, varia la relación porcentual entre ellos y el constructor puede verse abocado a no poder cubrir sus gastos generales.

Es claro, además, que si aumenta el costo directo se obtendrá una utilidad adicional. Pero si ocurre lo contrario entonces no se alcanzará a cubrirlos siendo completamente desfavorable para la constructora.

Figura 27. Diagrama de balance de obra



Fuente: Corporación Cementos de México.

Además, la empresa indica que el 10 % de los Gastos Generales son en base a los Costos Directos existiendo un gran riesgo de ineficiencia y de cifras rojas en su utilidad. Por lo tanto, es de gran importancia la determinación detallada de los costos indirectos dentro de obras de construcción y de los gastos, para no depender de cálculos incorrectos.

El diagrama de balance de una obra, muestra que para toda creación de obra es necesaria una técnica para planearla, un tiempo para su construcción y los recursos para su realización. Las técnicas empleadas por las empresas

constructoras y la tecnología juegan un papel muy importante dentro de la obra, además gracias a ello el tiempo es hoy menor en cada proceso constructivo.

El costo sin embargo tiene un papel sustancial, lo cual requiere de un correcto balance entre sus bases especificaciones, cuantificaciones y análisis; es decir que se desea construir y que estas permitan cuantificar, lo más exacto los volúmenes y análisis que llevará a obtener el costo parcial de cada uno de dichos procesos.

5.6. Análisis beneficio-costo

Las carreteras cumplen una función crucial en la sociedad moderna, proporcionando una mayor movilidad de personas, bienes y servicios. Han jugado un papel importante en el progreso europeo y continúan conduciendo el crecimiento socioeconómico.

Los beneficios de las carreteras de pavimento son diversos, incluido el costo-beneficio, la reducción de la contaminación sonora, la mejora de la seguridad y de la comodidad, la durabilidad y la capacidad de reciclaje. Utilizar materiales de asfalto en la construcción de carreteras y en su mantenimiento puede mejorar las condiciones para todos los usuarios de las carreteras. Las nuevas tecnologías hacen del asfalto el único material de carreteras sostenible de elección.

Tabla XXIX. **Beneficios a corto plazo, por aplicar pavimento en los espacios deteriorados**

Descripción

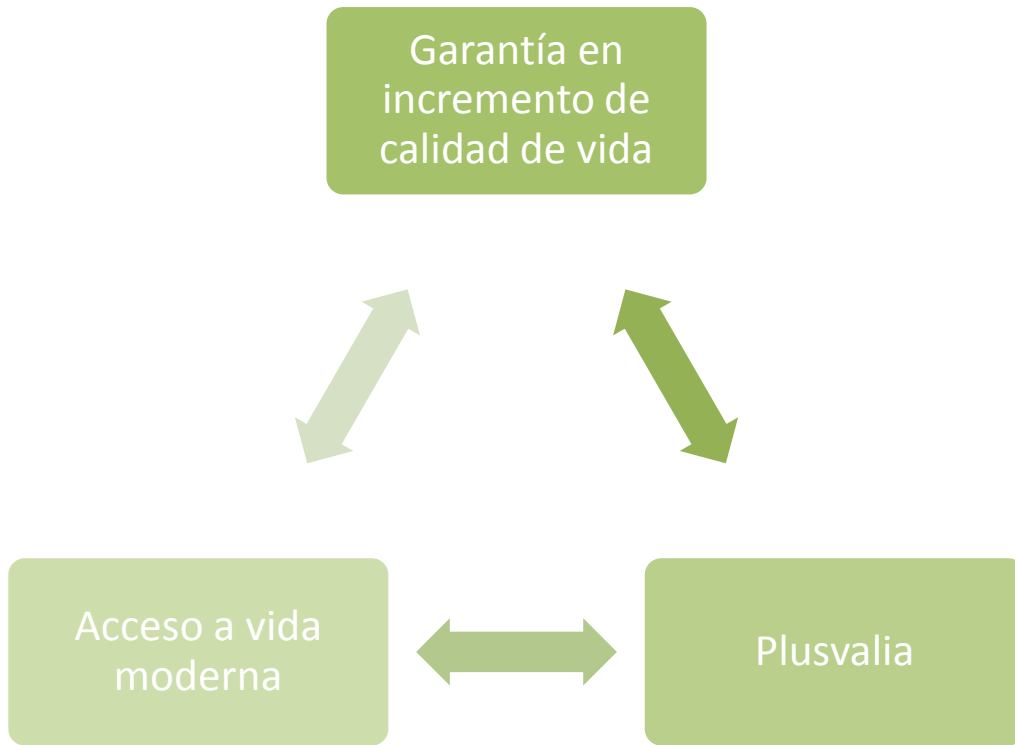
<p>Reducción del ruido</p>	<p>El uso de superficies de asfalto puede reducir de forma significativa el ruido dentro y fuera del carro, ayudando a prevenir accidentes al aliviar una fuente de estrés que contribuye al cansancio del conductor. Las carreteras de asfalto estándar tienen los niveles de ruido más bajos de todas las superficies de carretera tradicionales.</p> <p>El reciente desarrollo de asfalto poroso y silencioso ha reducido aún más los niveles de ruido. Una superficie estándar de asfalto produce la mitad de ruido que la superficie estándar de concreto y el asfalto poroso reduce esto en un 50 % más.</p>
<p>Dispersión del agua en la superficie</p>	<p>Nueva tecnología del asfalto garantiza la dispersión y el drenaje rápidos del agua en la superficie que reduce el rocío de agua y, en consecuencia, mejora la visibilidad del conductor en condiciones húmedas.</p> <p>Estos nuevos materiales de asfalto poroso reducen de forma considerable el rocío cegador y, al dispersar el agua de la superficie, también reduce el riesgo de derrape y aumenta la visibilidad de las señales viales.</p>
<p>Resistencia al derrape</p>	<p>El drenaje y la textura de la superficie de las carreteras son dos elementos cruciales que ayudan a beneficios-asfalto-derrape resistencia al derrape. Se han dedicado muchas investigaciones a la eliminación del agua y a proporcionar sujeción en las llantas.</p> <p>La capacidad de drenaje del asfalto poroso y la exactitud en la mezcla de agregados juegan un papel importante en la resistencia al derrape. Las superficies de asfalto que proporcionan altos niveles de resistencia al derrape pueden utilizarse en lugares donde la seguridad es primordial. Por ejemplo, fuera de los colegios o donde hay pendientes o curvas extremas.</p>

Continuación de la tabla XXIX.

<p>Fácil mantenimiento que reduce la alteración del tráfico</p>	<p><i>Las propiedades de las carreteras de asfalto permiten que puedan ser abiertas con facilidad y restablecidas inmediatamente.</i></p> <p><i>Esto es muy importante para en el mantenimiento de carreteras en general con el objetivo de reducir la aparición de huecos y para extender la vida de la estructura,</i></p> <p><i>Proporcionando una superficie suave, segura y con mantenimiento adecuado para los vehículos.</i></p> <p><i>Las carreteras de asfalto son fáciles de construir y, debido a que el asfalto no necesita un tiempo de mantenimiento-carretera-asfalto “curación”, los conductores pueden utilizar las carreteras tan pronto como el último rodillo deja la zona de construcción. Esto significa menos retrasos en carreteras más seguras para el público.</i></p> <p><i>La velocidad y la facilidad de acceso también es importante para permitir la instalación o el reemplazo de tuberías y de cableado para los servicios de utilidad, como el agua, el gas y la electricidad, que es crucial al minimizar la congestión y la frustración del conductor asociadas.</i></p>
<p>Totalmente reciclable</p>	<p>El asfalto es 100 % reciclable. Se tritura y se vuelve a preparar con materiales frescos, ahorrando dinero y preservando materiales no renovables. El reciclaje también reduce el uso de grava de calidad virgen, conserva el vertedero y ahorra transporte.</p>
<p>Versátil y flexible</p>	<p>La superficie de asfalto puede ser hecho a la medida, formuladas adecuadamente y diseñadas para soportar la carga de tráfico y las condiciones climáticas de una carretera en específico.</p> <p>Hay soluciones de asfalto para autopistas, para carreteras urbanas, suburbanas y rurales y su flexibilidad es particularmente útil para lidiar con el estrés de las fuertes cargas de tráfico en puentes.</p> <p>En áreas donde las carreteras deben lidiar con hielo y deshielo frecuente, las superficies de asfalto pueden ser diseñadas para tolerar los ciclos de temperatura extrema gracias a la elasticidad del bitumen.</p>

Fuente: TORRES, Rafael. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido.* p. 96.

Figura 28. **Beneficio – costo**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2020.

La construcción puede llegar a ser todo un reto debido a los requerimientos de temperatura. Se debe compactar a mayor temperatura que un convencional, ya que el caucho rigidiza la carpeta a altas temperaturas.

CONCLUSIONES

1. Dentro del territorio de la República de Guatemala, se disponen de varios aspectos que pueden influir y determinar los costos elevados dentro de un proyecto de pavimento en área urbana, en el transcurso de la investigación se determina y con referencia en proyectos viales consultados, donde su referencia primaria para ejecución y mantenimiento a largo plazo, es la ubicación geográfica, carga vehicular y materiales utilizados para su construcción.
2. Se localizaron factores puntuales que puedan determinar su relación con el beneficio-costo, dentro de estos supuestos se consideran la localización geográfica, el personal requerido, insumos, materiales, horas máquina de arrendamiento, movimiento de tierras, trazado y señalización de caminos en general todo lo necesario para realizar el proyecto, además el sub contratar cuadrillas especializados para trabajar en la obra gris y los diversos agregados del pavimento.
3. Los factores importantes para ejecutar un proyecto de urbanización y pavimentado, pueden ser económicos, disposición inmediata del ofertante, costo accesible por metro cuadrado de trabajo concluido, área de trabajo con disposición territorial con bajo factor de dificultad de trabajo, poco volumen de remoción de tierra.
4. Con la relación beneficio-costo, se puede determinar en forma concluyente científica, que para el rendimiento de los costos en la mano de obra está ubicada en los renglones más altos de inversión económica

para cualquier proyecto de pavimentación rígida, la variación en mercados futuros está dispuesta por el tiempo efectivo aprovechado, ya que las cuadrillas o los empleados estarán derogando salario sin importar el tiempo de ocio o desperdiciado.

RECOMENDACIONES

1. Para la perfecta ejecución de un futuro proyecto, se considerarán las variables de tiempo de espera de materiales, remoción de tierras según la disposición de maquinaria, garantizar que todo el equipo necesario para ejecutar la obra se presente en óptimo estado mecánico, los costos planteados dentro de este trabajo de graduación, serán sujetos a la zona geográfica dentro de la República de Guatemala.
2. Se podría analizar en un futuro planteamiento o ejecución de obra, hacer uso de mano de obra tercerizada, la cual en algunas situaciones especiales disminuye los costos hasta en un 10% reduciendo notablemente el precio final de un proyecto de urbanización.
3. Se deberá hacer un análisis económico previo con distintos proveedores de servicios, como mínimo se recomienda hacer tres cotizaciones con empresas reconocidas en el mercado guatemalteco, quienes, dentro de su trayectoria de trabajo, puedan garantizar el trabajo a realizar, estableciendo un programa de respaldo por cualquier atraso o accidente con su recurso humano y maquinaria a disposición.
4. Planeación estratégica, planificación perfecta y ejecución sin atrasos, garantizara el balance en el desarrollo de cada uno de los proyectos futuros, se garantizan los costos al no incurrir en trabajos extras o adicionales de lo que ya se ha programado, además de disminuir todos los tiempos ociosos para el personal y la maquinaria pesada contratada.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. *Volumen ASSHTO M-238*. Estados Unidos: 2014. 400 p.
2. AGUILAR, Eduardo. *El desarrollo urbano de la ciudad de Guatemala 1944-1964*. Guatemala: s.e. 2016. 50 p.
3. ALAMY. *Mapa de la ciudad de Guatemala 1821*. [en línea]. <<https://www.alamy.com/espaol-mapa-de-la-ciudad-de-guatemala-en-1821-1821-62-mapaciudad1-image210501982.html>>. [Consulta: 20 de abril de 2019].
4. American Society for Testing and Materials. Annual Book of ASTM Standards. *Volumen C33, D-1293, D-516, D-512, C109, C260, ACI-318, ACI-308, C1077, D3155, C920, D5893, D6690, C-78, C-494, C-150, C-595, C-1157, C-494*. Estados Unidos, 1990. 804 p.
5. ASIES. *Municipalidad de Guatemala*. Revista No. 35. EMPAGUA, 400 p.
6. CARRIÓN, Fernando. *La ciudad construida, urbanismo en América Latina*. Guatemala: FLACSO, 2001. 404 p.
7. Cementos de México. *Propiedades de los pavimentos*. Manual, 2016. 340 p.

8. Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. *Manual centroamericano de mantenimiento de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial*. Revista, Guatemala: 2010. 342 p.
9. Departamento Nacional de Planeación Subdirección Territorial y de Inversiones Públicas. *Construcción pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito*. Revista No. 52, Bogotá, Colombia: 2017. 165 p.
10. DÍAZ, Edna; ROJAS, Miguel. *Procesos constructivos de pavimentos de concreto hidráulico aplicados en tránsitos vehiculares de bajos volúmenes en la región del Alto Magdalena*. Universidad Piloto Colombia: Revista No. 26, 2010. 41 p.
11. Dirección General de Caminos, División de Supervisión de Construcciones, Administrativas. *Manual de funciones*. Guatemala: DGC, 2010. 87 p.
12. HERNÁNDEZ, Jairo. *Tecnología del concreto. Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. México: s.e., 2002. 300 p.
13. Ingenieros Consultores de Centro América S.A. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. 1a ed. Guatemala: s.e., 2010. 724 p.
14. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. *Diseño y técnicas de construcción de pavimentos de concreto*. México: s.e., 2014. 230 p.

15. Instituto Tecnológico de la Construcción. *Pavimento de concreto hidráulico en carreteras*. 1a ed. México: s.e., 1996. 390 p.
16. KAUFFMAN, Luis. *Deterioro de pavimentos rígidos*. Colombia: s.e., 2007. 92 p.
17. KWEI, Ivon. *Historia de los traslados del capital de Guatemala*. [en línea]. <<https://aprende.guatemala.com/historia/epocas-historicas/historia-traslados-de-la-ciudad-de-guatemala/>>. [Consulta: 20 de abril de 2019].
18. MARTÍNEZ, José. *Proceso de urbanización en Guatemala un enfoque demográfico 1950-2002*. 2a ed. Guatemala: Centro de estudios urbanos y regionales, 2014. 156 p.
19. MARTÍNEZ, José. *Transformaciones urbanas en Guatemala 1950-2002*. Chile: s.e., 2011. 29 p.
20. MIRANDA REBOLLEDO, Ricardo Javier. *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Tesis para optar al título de Ing. Constructor. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2010. 93 p.
21. Mixto Listo. *Propiedad de los concretos rígidos*. Revista No. 176. Guatemala: 350 p.
22. PINTO DA CUNHA, José. *Urbanización, redistribución espacial de la población y transformaciones socioeconómicas en América Latina*. Revista No. 30. Santiago de Chile, 2002. 52 p.

23. SÁCHEZ GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. 3a ed. Bogotá: BRISTON, 1996. 230 p.
24. TORRES, Ricardo. *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 257 p.
25. Universidad Nacional Autónoma de México. *Diseño y conservación de pavimentos rígidos*. Revista No.116, Volumen 2, México: 2016. 190 p.
26. URRUTIA, César. *Historia de la Ciudad de Guatemala*. [en línea]. <<https://guatemaladeayer.blogspot.com/2011/05/catedral-metropolitana-iglesia-de.html>>. [Consulta: 20 de abril de 2019].
27. VELÁSQUEZ, Martín. *Evolución de la industria del concreto en Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2011. 205 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Jornadas de capacitación en pavimentos



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Carriles de retorno vía Puerto Quetzal – Ciudad Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Carriles de retorno vía Puerto Quetzal – Ciudad Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

