

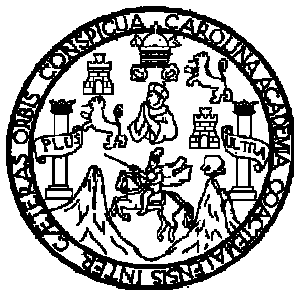
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**MEJORAMIENTO DE LAS CALLES DEL MUNICIPIO DE  
PATZICÍA, CHIMALTENANGO**

Sergio Aníbal López Jerez  
Asesorado por Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, octubre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LAS CALLES DEL MUNICIPIO DE  
PATZICÍA, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

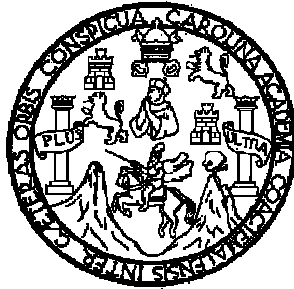
**SERGIO ANÍBAL LÓPEZ JEREZ**

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



***NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA***

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL PRIMERO:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL SEGUNDO:	Lic. Amahám Sánchez Álvarez
VOCAL TERCERO:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL CUARTO:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL QUINTO:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

***TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO***

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Inga. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR:	Ing. Mayra García de Sierra
EXAMINADOR:	Ing. Luis Alfaro Véliz
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**MEJORAMIENTO DE LAS CALLES DEL MUNICIPIO DE PATZICÍA,  
CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 3 de septiembre de 2002.

Sergio Aníbal López Jerez

## **AGRADECIMIENTOS A**

<b>DIOS</b>	Por haberme dado la vida, las fuerzas y la perseverancia, para alcanzar mis sueños y mis metas
<b>MIS PADRES</b>	Por el amor, dedicación y esfuerzo que me han brindado y lo siguen haciendo.
<b>MIS HERMANOS</b>	Por la ayuda, paciencia y comprensión que me han tenido.
<b>AMIGOS</b>	Por su ayuda incondicional.
<b>MUNICIPALIDAD DE PATZICÍA</b>	Por haberme permitido desarrollar el presente trabajo en su comunidad.
<b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	
<b>EL INGENIERO</b> <b>ALFREDO ARRIVILLAGA</b>	Por guiarme con su experiencia y conocimiento en el desarrollo del presente documento.

## **ACTO QUE DEDICO A**

### **MIS PADRES**

Aníbal López Guzmán  
María Odilia Jerez Argueta

Como una pequeña muestra  
de sus múltiples sacrificios.

### **MIS HERMANOS**

Karol, Oscar, Diego, Mónica y Aníbal.

### **MI HIJO ( A )**

Que pronto nacerá.

### **MI FUTURA ESPOSA**

Berta María Andrade Sagastume (Titi)

### **MI PRIMO**

Javier Santizo.

### **MIS AMIGOS**

Que gracias a Dios son muchos, pero en especial a: Daniel Alarcón, Rodolfo Calderón, Cesar Nij, Lester Aguilar y Sandra Sagastume.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>GLOSARIO</b>	XI
<b>RESUMEN</b>	XV
<b>OBJETIVOS</b>	XVII
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XIX
<b>1 MONOGRAFÍA</b>	
1.1 Historia del municipio	1
1.2 Colindancias del municipio	2
1.3 Aspectos climáticos	2
1.4 Suelos	3
1.5 Recursos hidrológicos	4
1.5.1 Determinación de la calidad física y bacteriológica del agua	6
1.6 Flora y fauna	7
1.6.1 Flora	7
1.6.2 Fauna	8
1.7 Zonas de vida	9
1.7.1 Bosque húmedo montano bajo subtropical	10
1.7.2 Bosque muy húmedo montano bajo subtropical	10
1.8 Forma de vida de los pobladores	11
1.8.1 Agricultura	11
1.8.2 Pecuaria	12
1.8.3 Industria	13
1.8.4 Comercio	13
1.9 Educación	15
1.10 Salud	16
1.11 Servicios	19

## **2 ASPECTOS GENERALES**

2.1	Definición de pavimento . . . . .	23
2.2	Tipos de pavimento . . . . .	23
2.3	Concepto de adoquín . . . . .	26
2.4	Antecedentes históricos del pavimento de adoquín . . . . .	28
2.5	Uso del pavimento de adoquín en Centroamérica . . . . .	33
2.6	Uso del adoquín en Guatemala . . . . .	34
2.7	Tipos de adoquín . . . . .	35
2.7.1	Por su forma . . . . .	35
2.7.2	Por el tipo de tránsito que frecuentan . . . . .	36
2.7.2.1	Pavimentos con adoquín para tránsito liviano . . . . .	38
2.7.2.2	Pavimentos con adoquín para tránsito mediano . . . . .	39
2.7.2.3	Pavimentos con adoquín para tránsito pesado . . . . .	39

## **3 ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO DE ADOQUÍN**

3.1	Subrasante . . . . .	41
3.1.1	Evaluación de las propiedades de los materiales <sup>43</sup>	
3.1.1.1	Valor soporte CBR . . . . .	43
3.1.1.1.1	Proctor normal (ASTM D 1550; AASHO T99 . . . . .	44
3.1.1.1.2	Proctor modificado (ASTM D1557; AASHO T 180 . . . . .	45
3.1.1.1.3	Determinación de las propiedades expansivas de los materiales . . . . .	46



	3.1.1.1.4	Determinación del valor soporte de California (CBR) . . . . .	49
	3.1.1.2	Índice de grupo . . . . .	51
	3.1.1.2.1	Proporción de finos . . . . .	51
	3.1.1.2.2	Límites de Atterberg . . . . .	53
	3.1.1.2.3	Cálculo del índice de grupo . . . . .	54
3.2		Capas de sub-base y base . . . . .	55
	3.2.1	Capa de subbase . . . . .	55
	3.2.1.1	Material para subbase . . . . .	57
	3.2.2	Capa de base . . . . .	58
	3.2.2.1	Tipos de base . . . . .	59
	3.2.2.1.1	Bases desuelo y agregado . . . . .	59
	3.2.2.1.2	Bases de arena-arcilla . . . . .	62
	3.2.2.1.3	Bases estabilizadas con agentes aglutinantes . . . . .	63
	3.2.2.1.4	Bases de suelo-cemento . . . . .	64
3.3		Lecho o cama de asiento . . . . .	66
3.4		Capa de rodadura de adoquines de concreto . . . . .	67
	3.4.1	Bloques prefabricados . . . . .	68
	3.4.2	Elementos de confinamiento . . . . .	69
	3.4.2.1	Llaves de confinamiento . . . . .	69
	3.4.2.2	Bordillos . . . . .	69
	3.4.3	Relleno de juntas . . . . .	70
	3.4.4	Pendiente o bombeo lateral . . . . .	71

#### **4 MÉTODOS DE DISEÑO**

4.1		Adaptación del método de Mills al diseño de espesores para pavimentos de adoquín . . . . .	74
	4.1.2	Tránsito . . . . .	74
	4.1.2	Capa de rodadura o superficie . . . . .	75

4.1.3	Capa base . . . . .	77
4.1.4	Capa de subbase . . . . .	77
4.1.5	Espesor adicional por mal drenaje . . . . .	81
4.1.6	Sustitución de material . . . . .	83
4.1.7	Otras consideraciones . . . . .	83
4.2	Ejemplos de diseño de espesores empleando el método de Mills . . . . .	84
4.2.1	Ejemplo número 1 . . . . .	84
4.2.1.1	Características del terreno . . . . .	85
4.2.1.2	Determinación del valor soporte de la subrasante . . . . .	85
4.2.1.3	Diseño de espesores . . . . .	86
4.2.2	Ejemplo número 2 . . . . .	89
4.2.2.1	Características del terreno . . . . .	89
4.2.2.2	Determinación del valor soporte de la subrasante . . . . .	90
4.2.2.3	Diseño de espesores . . . . .	90
4.3	Otros métodos de diseño . . . . .	93
4.3.1	Pavimento con subbase . . . . .	94
4.3.2	Pavimento sin subbase . . . . .	94
4.4	Diseño geométrico del pavimento. . . . .	101
4.4.1	Pendientes transversales . . . . .	102
4.4.2	Pendientes longitudinales . . . . .	103
4.4.3	Colocación del adoquín en curva . . . . .	104
4.5	Normas de calidad y métodos de ensayo para la fabricación del adoquín . . . . .	105
4.5.1	Normas propuestas para la fabricación de adoquín en Guatemala . . . . .	106
4.5.1.1	Dimensiones y forma . . . . .	106
4.5.1.1	Área de fabricación de los adoquines . . . . .	106
4.5.1.1	Materiales y fabricación . . . . .	107

4.5.2	Ensayos	
en los adoquines		109
4.5.2.1	Propuest	
a de especificaciones mínimas		
a usar		110
4.5.2.1	Métodos de ensayos propuestos para	
los adoquines		111
4.5.2.2.1	Norma alemana din	111
4.5.2.2.2	Norma española une	113
4.5.2.3	Otros ensayos sobre adoquín	116
4.5.3	Ensayos que se deberían realizar para la	
evaluación durante el proceso de fabricación		118

## **5 CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO CON ADOQUÍN**

5.1	Nivelación del terreno	121
5.2	Configuración del terreno	122
5.3	Construcción de bordillos	124
5.4	Colocación de capa de asiento	125
5.5	Colocación de los adoquines	125
5.6	Relleno de juntas	126
5.7	Sellado de juntas	126
5.8	Apisonado	127
5.8.1	Rodillo con tambo de acero	128
5.8.2	Rodillo con tubo de cemento	128
5.9	Mantenimiento y reparación	130
5.9.1	Renivelación de la superficie	131
5.9.2	Reparación	131
5.9.2.1	Reparación a escala menor	132
5.9.2.2	Reparación a escala mayor	132
5.9.2.3	Reparación por daños u obras	
Específicas		132

**6 ELABORACIÓN DEL PROYECTO MEJORAMIENTO DE LAS CALLES DEL MUNICIPIO DE PATZICÍA, CHIMALTENANGO**

6.1	Diseño	
.....		135
6.2	Elaboración de presupuesto	139
6.2.1	Datos	139
6.2.2	Preparación del terreno	139
6.2.3	Adoquinamiento	140
6.2.4	Materiales	141
6.2.5	Construcción de llaves de confinamiento	142
6.2.6	Construcción de bordillos	143
6.3	Planos	
.....		153
<b>CONCLUSIONES</b>		161
<b>RECOMENDACIONES</b>		162
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		163

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Estructura del pavimento flexible . . . . .	25
2.	Estructura del pavimento rígido . . . . .	25
3.	Adoquín típico . . . . .	27
4.	Sisa entre adoquines . . . . .	28
5.	Formas de adoquines más conocidas . . . . .	36
6.	Bases de suelo y agregados . . . . .	60
7.	Adoquín tipo huella-cruz . . . . .	68
8.	Espesor del pavimento según el CBR . . . . .	79
9.	Espesor del pavimento según el índice de grupo . . . . .	80
10.	Carga/deformación para pavimento con subbase . . . . .	97
11.	Carga/deformación para pavimento sin subbase . . . . .	98
12.	Comparación figura 10 y figura 11 . . . . .	99
13.	Limpieza y nivelación . . . . .	121
14.	Pendientes de bombeo . . . . .	122
15.	Ejemplo de pendientes . . . . .	123
16.	Configuración del terreno . . . . .	123
17.	Detalle de bordillo . . . . .	124
18.	Colocación de adoquines . . . . .	126
19.	Apisonado . . . . .	127
20.	Rodillo de tabor de acero . . . . .	128
21.	Rodillo con tubo de cemento . . . . .	129
22.	Rodillo terminado . . . . .	129
23.	Ubicación de las calles . . . . .	153

24.	Plano de la planta/perfil de la calle Adrián Cua . . . . .	154
25.	Plano de la planta/perfil de la calle de Los Mormones . . . . .	155
26.	Plano de la planta/perfil de la calle La Ronda . . . . .	156
27.	Plano de la planta/perfil de la calle El Caman . . . . .	157
28.	Plano de la planta/perfil de la calle Los Chinos . . . . .	158
29.	Plano de la planta/perfil de la calle Chi Rosario . . . . .	159
30.	Plano de detalles del adoquinamiento . . . . .	160

## TABLAS

I.	Calidad física y bacteriológica del agua en Patzicía . . . . .	06
II.	Especies florales predominantes en el municipio de Patzicía . . . . .	07
III.	Fauna silvestre en el municipio de Patzicía . . . . .	08
IV.	Fauna domestica del municipio de Patzicía . . . . .	09
V.	Población económicamente activa en Patzicía . . . . .	15
VI.	Categorías de tránsito . . . . .	37
VII.	Clasificación de tránsito . . . . .	38
VIII.	Datos prácticos para tránsito liviano . . . . .	38
IX.	Datos prácticos para tránsito mediano . . . . .	39
X.	Datos prácticos para tránsito pesado . . . . .	40
XI.	Carga/penetración para piedra triturada . . . . .	50
XII.	Clasificación de suelos según porcentaje de CBR . . . . .	51
XIII.	Porcentaje de material retenido en cada tamiz . . . . .	52
XIV.	Granulometrías para bases de suelo y agregados . . . . .	61
XV.	Granulometrías para bases de arena-arcilla . . . . .	62
XVI.	Graduación del suelo para bases de suelo-cemento . . . . .	64
XVII.	Porcentaje de cemento para bases de suelo-cemento . . . . .	65
XVIII.	Pendientes del adoquinamiento . . . . .	71

XIX.	Carga de diseño . . . . .	75
XX.	Espesores mínimos recomendados para capas de rodadura de adoquín . . . . .	76
XXI.	Requisitos para capa de base . . . . .	77
XXII.	Recubrimiento para suelos con CBR bajo . . . . .	81
XXIII.	Factor de incremento por mal drenaje . . . . .	82
XXIV.	Resistencia a la compresión . . . . .	110
XXV.	Normas a usar para los ensayos . . . . .	119
XXVI.	Presupuesto . . . . .	145
XXVII.	Resumen de materiales . . . . .	149
XXVIII.	Resumen de costos . . . . .	150
XXIX.	Cronograma . . . . .	151
XXX.	Rendimiento para trabajadores de adoquinamiento . . .	152





## GLOSARIO

<b>Adoquines</b>	Los aquí considerados, bloques de concreto fabricados en moldes, que son llenados de concreto manualmente o con máquina.
<b>Apisonado</b>	Sistema de compactación que consiste en hacer pasar un rodillo sobre la masa del terreno cuyos vacíos se requiere suprimir.
<b>Base</b>	Capa soporte, formada de suelo granular o estabilizado, que va directamente abajo de la carpeta de rodadura y de la capa de asiento, cuando la lleva. Tiene como función contribuir fuertemente a la capacidad de soportar cargas del pavimento; distribuyendo la carga recibida, hasta la subrasante, a un nivel de esfuerzos adecuados a esta última.
<b>Bombeo</b>	Es el fenómeno que produce la eyección forzada por las juntas y bordes del pavimento de una suspensión en agua de los suelos finos de la subrasante, debido al paso frecuente de cargas pesadas.
<b>Capa de asiento</b>	Capa de arena de río sobre la cual se asientan los adoquines.

<b>Carpeta de rodadura</b>	Capa superficial que soporta directamente las cargas de los vehículos, sirve de protección a las estructuras subyacentes y para hacer adecuada y durable la superficie al tránsito en todo el tiempo.
<b>Curado</b>	Consiste en mantener húmedas las superficies para impedir la rápida evaporación del agua de amasado, con el fin de minimizar la refracción del concreto y evitar su agrietamiento por brusca desecación.
<b>Escarificar</b>	Cortar verticalmente la tierra, para ablandarla sin voltearla, empleando un instrumento especial que tiene piezas de acero para el efecto.
<b>Formaleta</b>	Conjunto de obra falsa y molde para una fundición o para la construcción de mampostería.
<b>Juntas</b>	Cortes o separaciones que se establecen entre dos partes contiguas de una construcción. Empalme, unión.
<b>Llave de Confinamiento</b>	Es un elemento estructural igual a un bordillo, interrumpido en su construcción a nivel de pista, que sirve para limitar áreas adoquinadas y evitar con ello el deslizamiento de los adoquines y el deterioro, por arrastre, de otras estructuras de rodadura o de base.

**Subbase**

Capa abajo de la base, de menor calidad que ella (material selecto), y que tiene una función completamente de soporte y de distribución de cargas ante una mala subrasante; sobre la cual se coloca.

**Subrasante**

Capa de 30 cm. de espesor mínimo, generalmente formada del mismo suelo de la terracería, que constituye el cimiento de los pavimentos. Por esta razón es importante la calidad y compactación de la misma.



## RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta una descripción detallada de los pasos a seguir para el diseño y elaboración de un pavimento semi-flexible, así mismo se define cada uno de los componentes que lo integran.

El pavimento semiflexible es también llamado adoquinado, es muy utilizado en el interior del país por muchas razones, la principal de ellas es su bajo costo con respecto al pavimento rígido (pavimento de concreto), y al pavimento flexible (pavimento de asfalto), otras razones por las cuales se usa este tipo de pavimento son

- Fabricación y colocación simple con personal no especializado
- Facilidad de remoción y reinstalación para obras de agua potable, drenajes, teléfono, televisión por cable, etc.,
- y mantenimiento mínimo de fácil ejecución.

Esto ayuda a comprender el porqué, del uso tan frecuente en los municipios y departamentos de nuestro país.

Así mismo, este trabajo contiene el diseño, planificación y presupuesto de un proyecto de adoquinado, hecho para la comunidad de Patzicía, en el departamento de Chimaltenango, el cual está integrado por seis calles distintas en el casco urbano, que suman un total de dos kilómetros lineales de adoquinamiento. Si se ejecuta beneficiará a la población de este municipio.



## **OBJETIVOS**

- **General**

Plantear el proyecto de diseño de pavimento con adoquín para el mejoramiento de las calles del municipio de Patzicía.

- **Específicos**

1. Mejorar el ornato y el nivel de vida de los habitantes de la comunidad de Patzicía Chimaltenango.
2. Aumentar la plusvalía de las propiedades de las cercanías.
3. Evitar en gran parte que los habitantes padezcan de enfermedades respiratorias, por contaminación de vía oral, que provocan las calles de terracería.





## INTRODUCCIÓN

Las vías y los medios de comunicación (calles, carreteras, teléfono, radio, etc.) son importantes para el desarrollo de las comunidades, una comunidad que no posea algún medio o vía de comunicación no puede tener un desarrollo satisfactorio.

Las vías de comunicación ayudan a que dos lugares separados por una distancia, puedan mantener una buena relación comercial, esto es a nivel macro. A nivel micro una comunidad que posee calles en buen estado, no sólo tiene un mejor aspecto sino que fomenta toda clase de comercio, ya que los propietarios no tienen preocupación de que sus productos se puedan dañar por el simple hecho de trasportarlos.

Sin embargo, durante los últimos años, con el desarrollo vehicular y de la economía, las poblaciones rurales han visto un incremento en los problemas que surgen por no contar con calles en buen estado, consecuencia de esto es que en la mayoría de poblaciones se manifiestan crecientes protestas por parte de los habitantes, en las que demandan calles en buenas condiciones de circulación, sin baches, polvo o lodazales.

Este es el caso del municipio de Patzicía que se localiza en el departamento de Chimaltenango. En dicho municipio más del 80 por ciento de sus habitantes se dedica a la agricultura, de forma individual.

Debido a que algunas de sus calles no se encuentran en buen estado los agricultores, ven amenazado su forma de vivir, no sólo por las pérdidas producidas por el transporte de sus productos, sino también al percatarse que la agricultura día a día es menos rentable, debido a la fluctuación negativa en los precios.

Debido a estas circunstancias las autoridades municipales se han visto en la necesidad de encontrar soluciones viables y económicas que permitan satisfacer las demandas de los habitantes.

La mejor solución que se tiene hasta el momento, para el problema de las calles en mal estado, es el pavimento con adoquín, principalmente por su economía, además de que presenta las siguientes ventajas

- Facilidad de remoción y reinstalación para obras de agua potable, drenajes, teléfono, televisión por cable, etc.
- Ofrece una vista agradable y estética al lugar, al estar ya colocado.
- Facilidad para efectuar reparaciones.
- Mantenimiento mínimo y de fácil ejecución.
- Facilidad para obtener mano de obra.

Por tal motivo, en este trabajo de graduación, se tratará de orientar a las autoridades del municipio de Patzicía, Chimaltenango, para la elaboración de pavimentos con adoquines de concreto, lo cual tendrá como resultado el mejoramiento de las vías de comunicación (calles y avenidas) internas del casco urbano. Esto no sólo con el propósito de mejorar las condiciones de vida de los habitantes de las cercanías, si no también para mejorar el modo de transporte de los productos agrícolas.

Así pues, este proyecto comienza con la motivación de los habitantes del municipio, a organizarse y trabajar conjuntamente con la municipalidad para la realización del mismo el cual lleva por título, Mejoramiento de las calles del municipio de Patzicía, Chimaltenango, se asume el reto de unir los esfuerzos de la comunidad y el gobierno municipal en la búsqueda de la mejor solución a sus problemas y además poner en práctica los conocimientos teóricos aprendidos en la Facultad de Ingeniería.



# 1- MONOGRAFÍA

## 1.1 Historia del municipio

El municipio de Patzicía fue fundado mucho antes de la conquista, aproximadamente en el siglo XII por el indígena Pedro Apozozil. Alrededor del año 1545 los conquistadores ya habían llegado al territorio Cakchiquel, ubicado en las cercanías de este municipio.

Los primeros misioneros que llegaron a Patzicía fueron los franciscanos a ellos se debe la construcción de la iglesia ya destruida por los terremotos, de ella solo se derivan algunas imágenes como la del Señor Crucificado al que se le atribuyen numeroso milagros.

Etimológicamente la palabra Patzicía viene de la lengua Cakchiquel (voces) *TZI* que significa “perro” y *YA* que significa “agua” por lo que Patzicía quiere decir perro de agua y el nombre se completa anteponiendo el prefijo vocativo PA, debido a la proximidad Río Tziya, afluente del Coyolate.

Los españoles le denominaron: “Santiago de los Caballeros” y con ese nombre figura en los índices alfabéticos de las ciudades, villas y pueblos del reino de Guatemala.

En marzo de 1871, Miguel García Granados y Justo Rufino Barrios al frente de un ejército invaden Guatemala procedentes de México, entrando por Tacaná, llegando a Patzicía el 3 de junio de 1871. En este lugar escribieron los jefes y oficiales un acta que llamaron “Acta de Patzicía”.

Este documento fue enterrado en el parque del municipio y desenterrado el 4 de junio de 1960, encontrándose sólo fragmentos desintegrados por la humedad. Estos fragmentos se encuentran en el Archivo Nacional de Guatemala.

Este municipio ha sufrido varios movimientos telúricos que han dejado como consecuencia pérdidas humanas y materiales en toda la población, entre los más desastrosos están, el 6 de agosto de 1942, 4 de febrero de 1976 que fue uno de los más fuertes para el municipio y para el país. El más reciente se registró el 3 de noviembre de 1988.

## **1.2 Colindancias del municipio**

Este municipio se localiza en la parte central de la región Cakchiquel, y esta limitada por:

Santa Cruz Balanyá .....	al norte
Acatenango y San Andrés Itzapa .....	al sur
Zaragoza .....	al este
Patzún .....	al oeste

## **1.3 Aspectos climáticos**

Se marcan dos estaciones invierno y verano, debido a su altura de 7,200 pies sobre el nivel del mar su clima es frío, acentuándose en los meses de diciembre a marzo. Se registra una temperatura promedio de 27 grados máximo y 14 grados mínimo.

## 1.4 Suelos

Los suelos del municipio pertenecen al grupo de la altiplanicie central y al subgrupo de los profundos desarrollados sobre ceniza volcánica. Las series de suelo existentes son, Patzicía y Tecpán

La serie Patzicía posee como material madre ceniza volcánica pomácea de color claro, relieve inclinado con un declive dominante de 50 por ciento. Su drenaje interno es bienio y puede clasificarse como muy rápido por lo que su capacidad de almacenamiento de agua es muy baja. El suelo superficial posee un color café oscuro, textura franco arcillosa y consistencia suelta con un espesor promedio aproximado entre 25 y 40 cm., no posee capas que limiten el crecimiento de raíces, tiene alto peligro de erosión y una fertilidad natural regular. El subsuelo tiene una coloración café, su consistencia es suelta y su textura franco arenosa con un espesor aproximado entre 40 y 60 cm.

Los suelos de la serie Tecpán se han desarrollado a partir de ceniza volcánica de color claro, su relieve va de casi plano a ondulado, su declive dominante va de 1 a 5 por ciento con drenaje interno bueno y rápido. Su capacidad de abastecimiento de agua es regular, el suelo superficial es de color café oscuro, textura franco arenosa y consistencia friable, espesor aproximado promedio que va de 30 a 50 cm., no posee capas que limiten el crecimiento de raíces, tiene bajo peligro de erosión y una fertilidad natural regular. El subsuelo presenta una coloración café amarillento, consistencia friable, textura franco arcillosa, y espesor aproximado de 50 a 100 cm.

## **1.5 Recursos hidrológicos**

El territorio de Patzicía se encuentra dividido en las vertientes del Atlántico y del Pacífico, hacia donde drenan las cuencas de los ríos Pixcaya y Coyolate respectivamente.

El río Pixcaya y sus tributarios, riegan total o parcialmente los municipios de Tecpán Guatemala, Santa Cruz Balanyá, Patzicía, Zaragoza, Chimaltenango y San Martín Jilotepeque en el departamento de Chimaltenango, así como los municipios de Sacatepéquez y dirigirse luego al departamento de Guatemala de donde sigue corriendo, hasta llegar al Atlántico. Sus afluentes principales son:

- ✓ El riachuelo Paxilón
- ✓ Río Balanyá
- ✓ Río Sitán
- ✓ Río Xecampana
- ✓ Riachuelo Pumay
- ✓ Quebrada Culimax

El río Coyolate, buscando siempre el sur, va serpenteando y cambiando rumbo a grandes trechos, las tierras que recorre son fértiles, donde se distingue diferentes clases de cultivos, praderas, bosques y montañas.

En Chimaltenango la red hidrológica riega los municipios de Tecpán, Santa Polonia, Patzún, Patzicía, Acatenánago, Yepocapa y Pochuta.



Sus afluentes son

Riachuelo Tziyá  
Riachuelo Pache  
Quebrada El Chorro  
Riachuelo San José  
Quebrada del Chocoyo  
Quebrada Pacho Job  
Riachuelo El Pito  
Quebrada Hierbabuena  
Río Paraxaj

Sus afluentes pertenecen a la unidad hidrogeológica de depósitos clásticos cuaternarios, que comprenden todos los depósitos sueltos o poco consolidados; constituidos por caída y flujo de ceniza. Litológicamente están constituidos por materiales de todas las fracciones granulométricas, de cenizas hasta arena volcánica, la lapilli y bombas fenocristales y fragmentos líticos, a veces estratificados y a veces no.

Toda la unidad está por lo tanto constituida por niveles más o menos permeables, con permeabilidad primaria intercalados con niveles impermeables o semipermeables, pero con intersección hidráulica entre ellos (acuíferos multi-estratos). Todo el conjunto está saturado de agua en condiciones freáticas pudiéndose encontrar acuíferos colgados y acuíferos en presión.

Los pozos perforados a profundidad media de 160m. tienen caudales de 5 a 20 l/s (12 l/s en promedio), la calidad del agua subterránea contenida en los depósitos clásticos es generalmente muy buena presentando valores de conductividad eléctrica comprendidos entre 200 y 400 microhoms/cm. y siendo siempre clasificada en las clases C1-S1 y C1-S2.

La mayoría de estos ríos son utilizados para abastecer de agua para riego. El Xayá y el Pixcaya surten de agua a la ciudad capital.

### 1.5.1 Determinación de la calidad física y bacteriológica del agua

Según los análisis realizados en coordinación con el inspector de Salud del Centro de Salud del Municipio se ha podido tener un conocimiento real del grado de contaminación y turbidez. De la misma manera el trabajo realizado tiene fundamento legal según lo contemplado en el actual Código De Salud y el Código Municipal

**Tabla I. Calidad física y bacteriológica del agua en Patzicía.**

MUESTRA	LUGAR	BACTERIAS Colonias en 100ml de agua	TURBIDEZ	P H
1	Nacimiento Pacaño	14	5	6.8
2	Tanque de captación Pacaño	200	5	6.8
3	Caja de captación F. La Muchacha	150	5	7.6
4	Nacimiento el Chorro	No Detectado	5	6.8
5	Caja de captación Paturul	50	5	6.8
6	Nacimiento Paturul 1	50	5	6.8
7	Nacimiento Paturul 2	15	5	6.8
8	Nacimiento Pachitup	35	5	7.6
9	Túnel Pachitup	35	5	7.6
10	Tanque principal de Pachitup	60	5	6.8
11	Tubo nacimiento Alterno Pachitup	70	5	6.8

FUENTE: Biblioteca Municipal de Patzicía Chimaltenango. Pág. 9

## 1.6 Flora y fauna

### 1.6.1 Flora.

Entre sus recursos naturales cuenta con grandes extensiones de bosques de pino y ciprés, los bosques son de especies conocida y bastantes típicas dentro de la clasificación del altiplano de la republica.

**Tabla II. Especies florales predominantes en el municipio de Patzicía**

Nombre común	Utilidad
Pino triste	La mayoría de estas especies son utilizadas para leña y madera
Pino de ecote	
Pino blanco	
Encino	
Aliso	
Ciprés	
Guapaque	
Duraznillo	
Cerezo o Capulín	
Madrón	
Mano de mico	
Leche amarilla	
Salvia santa	

FUENTE: Biblioteca Municipal de Patzicía Chimaltenango. Pág. 13

## 1.6.2 Fauna

**Tabla III. Fauna silvestre en el municipio de Patzcía**

Nombre	Usos
<b>Mamíferos</b>	1
Conejo	Algunos tienen utilidad para alimentos
Tacuazín	
Comadreja	2
Ardilla	Otros cumplen la función de mantener el equilibrio de la naturaleza
Coyote	
Pisote	
Ratón	
Gato silvestre	
Armadillo	
<b>Aves</b>	
Codorniz	
Claríneros	
Paloma	
Cenzontles	
Quetzalillos	
Búhos	
<b>Entomofauna</b>	
Miriápodos	
Chilópodos	
Arácnidos	
Insectos	
Crustáceos	

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 14**

En la tabla anterior se puede ver un listado de la fauna silvestre y su utilidad, se realiza una descripción en forma general de los usos que se dan a esta clase de animales y su función en la naturaleza.

Pueden distinguirse también diferentes especies de fauna doméstica entre las que se pueden mencionar.

**Tabla IV. Fauna domestica del municipio de Patzicía**

Nombre común	Utilidad
Vacas	1 Alimento, transporte
Caballos	
Cabras	2 Cuidado de casa
Gallinas	
Pavos	
Patos	
Perros	
Gatos	

FUENTE: Biblioteca Municipal de Patzicía Chimaltenango. Pág. 15

El potencial actual con el que se cuenta es únicamente con las montañas, El Soco y Xejuyu

### 1.7 Zonas de vida

Los estudios realizados indican que el municipio de Patzicía, se ubica entre dos zonas de vida, las cuales son.

### **1.7.1 Bosque húmedo montano bajo subtropical**

Se representa por el símbolo BH-MB. La vegetación natural típica de la parte central del altiplano es: *Quercus sp*, *Pinus Pseudostrobus* y *Pinus Montezumae*, encontrándose también *Alnus Jorellensis*, *Ostrya sp*, *Carpinus sp*, *Pronus Capulí* y *Arbustos sp*.

El uso apropiado para esta zona es combinación entre cultivos y bosques. En la parte plana se pueden producir granos básicos, verduras y frutales de zonas templadas; algunos deciduos para satisfacer el consumo local y los terrenos accidentados deben mantenerse cubiertos de bosques para protegerlos.

### **1.7.2 Bosque muy húmedo montano bajo subtropical**

Se representa por el símbolo BMH-BM. El relieve generalmente es accidentado. La vegetación natural predominante es: *Cupresus Lusitánica*, *Chirathodendron Pentadactylon*, *Pinus Ayacahuite*, *Pinus Hartwegil*, *Pinus Pseudostrobus*, *Alnus Lorullensis*, *Quercus sp*, *Zinowiewia sp* y *Budleja sp*.

En cuanto al uso del suelo, se pueden combinar esfuerzos para satisfacer las necesidades de cultivo y manejar cuidadosamente el bosque, ya que por la presión que los pobladores ejercen sobre éste, la densidad ha ido disminuyendo, dando paso a la erosión en pendientes fuertes.

## **1.8 Forma de vida de los pobladores**

### **1.8.1 Agricultura**

La agricultura es la ocupación predominante en el municipio, pues es la base fundamental de la economía, puesto que el mayor porcentaje de la población está dedicada a la agricultura.

#### Tenencia de las tierras

La mayoría de los agricultores son arrendantes, solo un pequeño porcentaje de los habitantes poseen sus tierras.

#### Principales cultivos

Predominan para la exportación internacional el frijol, maíz y el trigo.

#### Cultivos secundarios

La remolacha, rábanos, zanahoria, repollo, lechuga, arveja china, apio, brócoli, succíni y otros los cuales también son trasladados al mercado extranjero.

#### Técnica de producción

Se resumen en semilleros, preparación de la tierra, fertilización de suelos, trasplante de semillas, mantenimiento de la plantación, utilización de foliares y plaguicidas.

## Rendimiento de la siembra

La mayoría de agricultores cosechan un 60% de sus siembras realizadas.

## Calendario agrícola

Por la fertilidad con que cuentan los suelos se prestan para producir en cualquier época del año y se programan de acuerdo a las posibilidades económicas del agricultor.

## Salarios y otras formas de pago

El promedio aproximado de ingresos familiares es de Q. 600.00, algunas mujeres salen en busca de trabajo de casa, para obtener un pequeño ingreso, pero la mayoría de trabajadores reciben su pago por jornal.

### **1.8.2 Pecuaria**

#### Animales domésticos

La mayoría de amas de casa se dedican a la crianza de animales como los son: gallinas, patos, chompipes y cerdos.

#### Ganado

En caso de los bovinos se utiliza el cuero para la creación de zapatos, cinchos, bolsas, gorras, billeteras y otros.



### **1.8.3 Industria**

#### Artesanal

En cuanto a este sector, son pocas las mujeres que se dedican a tejer su propia vestimenta, aunque algunas fabrican comercialmente tejidos típicos, los cuales son vendidos en el mercado local y extranjero, existen también pequeños productores de cerámica.

#### Textiles

Actualmente existen cuatro fábricas pequeñas que se dedican a la creación de prendas de vestir.

### **1.8.4 Comercio**

Dentro del sector comercial se puede decir que debido a la necesidad de intereses de los pobladores, prolifera el comercio en la región y se extiende dentro y fuera del país coordinado por empresas agro exportadoras.

El comercio local se rige por los días de mercado (miércoles, sábado y domingo), a los que concurren comerciantes de diferentes departamentos del país.

#### Mercadeo de producto

La mayoría de productos agrícolas y textiles poseen coberturas en los diferentes mercados.

Lugares con los que se comercia

Internacionales: México, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.

Nacionales: Chimaltenango, Patzún, Tecpán Guatemala, Quetzaltenango, Sacatepéquez, Huehuetenánigo y otros.

Listado de comercios

Tienda: Yesenia, Letty, Lilian, Dorita, Panadería: La Central, San Carlos, Las Delicias, Sabropan, Xelaju, Distribuidora: Venecia, Jade, Alexander, Shadai, Alfa y Omega, Tiendas agrícolas: Los llanos, Maya, La reforma, Patziciense, El Amanecer, Ferreterías: San José, El Chinito, Siemens, La Económica, La pintura buena, Esquí, Variedades: Cantón, Kairos, Flores, Alex, Típicos, Maya 2000, Librerías: Faro de vida y Anny, Talleres de mecánicas y estructuras metálicas: La solución, Reformita, El mirador, Esquí, Gómez, Pérez, El triunfo, El flash, El rayo eléctrico, Motta, Hugo, Ventas de Lubricantes: De Occidente, Éxodo, Don Beto, Génesis, Alex, Zapaterías: Elvita, Moderna, Último modelo, Exclusiva, Maranatha, Mími, Piloneras: Precoz, y Piloncitos Muj, etc.

Población económicamente activa

En el municipio de Patzicía se desarrollan diferentes actividades entre las que sobresalen: agricultura, artesanía y comercio.

Según datos de la Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la población económicamente activa se distribuye en las siguientes actividades.

**Tabla V. Población económicamente activa en Patzicía.**

RAMAS	Porcentaje
AGRICULTURA	81 %
INDUSTRIA	6 %
COMERCIO	4 %
SERVICIOS	9 %
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>

FUENTE: Biblioteca Municipal de Patzicía Chimaltenango. 44pp.

Se puede apreciar que la agricultura es la actividad que predomina en el municipio ya que la mayoría de la población económicamente activa se dedica a ello, así mismo se puede ver que las otras actividades productivas están muy por debajo de ésta.

### **1.9 Educación**

El aspecto educativo ha sido descuidado fuertemente, por ello es que solamente el 10 por ciento de los habitantes alcanzan una educación media y solo el 2 por ciento una educación superior, por lo tanto es difícil encontrar mano de obra calificada en este municipio.

La situación de los servicios educativos en el municipio es la siguiente:

- a) Preprimaria y primaria: el municipio cuenta con 2 escuelas en el área urbana y 9 en el área rural y 7 colegios privados.
- b) Básicos: El Instituto Nacional 3 de junio y 2 colegios privados.
- c) Academias: 3 de mecanografía y 1 de computación

#### Problemas de educación

Este problema tiene como consecuencia la pobreza que se vive en el municipio, (pues la mayoría de padres de familia utilizan a sus hijos para que ayuden a llevar un ingreso familiar, explotándolos en el campo y de esta manera ellos no pueden recibir educación), problemas familiares, desnutrición y otros.

#### Recursos para la educación

Se cuenta con una biblioteca municipal, y una maya, en algunos colegios cuentan con bibliotecas para sus alumnos.

### **1.10 Salud**

Existe un Centro de Salud con 4 enfermeras auxiliares, una enfermera graduada, un médico director, 27 promotores de salud (voluntarios), un inspector de saneamiento ambiental, 40 comadronas, una laboratorista, una trabajadora social, un técnico en salud rural, un conserje y en otros casos se cuenta con un estudiante de e.p.s. de medicina. Existe una unidad de bomberos municipales para trasladar a los enfermos y asistir accidentes.

También se cuenta con los servicios de 2 médicos, 3 enfermeras y 5 técnicos dentales. Además, se goza de los servicios de las siguientes farmacias

- ✓ Farmacia de la Comunidad
- ✓ Farmacia Siloé
- ✓ Farmacia Jordán
- ✓ Farmacia Sanaí
- ✓ Farmacia San Carlos
- ✓ Farmacia la Bendición
- ✓ Farmacia Maranatha
- ✓ Farmacia Doña Chayo

#### Mortalidad

Las principales causas de mortalidad infantil son las enfermedades respiratorias y diarreicas. Las enfermedades más comunes son

- ✓ Respiratorias
- ✓ Diarreicas
- ✓ Parasitarias
- ✓ Dermatitis

Hasta la fecha han sido tratados únicamente dos casos de cólera.

## Enfermedades

Dentro de las principales enfermedades en el municipio de Patzicía se puede observar diez las cuales son

1.-	Enfermedades respiratorias	27 %
2.-	D. P. C.	9.05 %
3.-	Neumonías	7.12 %
4.-	Enfermedades de la piel	6.46 %
5.-	Parasitismo intestinal	5.34 %
6.-	Pépticas	4.06 %
7.-	Amebiasis	1.86 %
8.-	Artritis	0.91 %
9.-	Heridas	0.90 %
10.-	Resto u otros	35.20 %
	Total	100 %

Estos casos por su magnitud nos reflejan que la mayor parte de la población se enferma de resfriados y Neumonías por situación del clima y la mala infraestructura de las viviendas.

Se considera que esta situación puede cambiar a través de implementar, un programa de educación para la salud, promoción comunitaria, cambio de hábitos y costumbres en la población.

## Recursos para la salud

Se cuenta con los servicios de

- ✓ Médicos
- ✓ Enfermeras
- ✓ Técnicos dentales
- ✓ Farmacias.

### **1.11 Servicios**

#### Comunicación terrestre

En el municipio cuenta con una carretera asfaltada que conduce al municipio de Patzún y otra que conduce al municipio de Acatenánigo, también cuenta con algunas calles que están adoquinadas

#### Líneas telefónicas

No existe en todas las casas del municipio, algunas ya tienen, otras están en trámites y otras aún no tienen.

#### Agua potable

La tercera parte de los habitantes del área urbana cuenta con el servicio de agua que no es potable, ya que no tiene tratamiento de cloración; mientras que en las aldeas no se cuenta con este servicio, sino extraen el agua del subsuelo a través de pozos y bombas eléctricas, (ya que es indispensable para lograr cultivos sanos y abundantes).

El sistema de agua potable del municipio es muy deficiente, su almacenamiento se hace por medio de dos tanques de recolección ubicadas en zonas aledañas al casco urbano, es extraída por medio de bombeo, se cuenta con dos bombas, una que funciona a base de energía eléctrica y la otra con Diesel

#### Porcentaje de viviendas con agua potable

Aproximadamente el 70 por ciento de viviendas cuentan con el servicio de agua potable esto en el área urbana y 45 por ciento en las aldeas, también se cuenta con

- 3 chorros para el servicio público
- 5 llena cantaros
- 1 pila en el centro del pueblo
- 7 tanques o lavaderos públicos

#### Drenajes

El sistema de drenajes es un tanto reducido, puesto que sólo se puede observar en las calles principales, aproximadamente se cuenta con 12 Km. de drenaje que desemboca en los barrancos aledaños a la población. El 95 por ciento de la población cuenta con algún sistema de letrina en forma de fosa séptica que es la más común.



### Servicio de recolección de desechos sólidos

Ya existe un sistema de recolección de basura, pero una gran mayoría de la población se encarga de juntar la basura de sus viviendas y la tiran en los barrancos que se encuentran cercanos de la comunidad.

También existe una persona encargada de limpiar el parque, el mercado y las calles principales en los días de mercado y la municipalidad, pero la basura es tirada en los barrancos cercanos de la comunidad.

### Servicio de electricidad

El municipio cuenta con un eficiente servicio de energía eléctrica proporcionado por DEOCSA, al 85 por ciento de la población.

## Infraestructura

El municipio cuenta con un 80 por ciento de infraestructura, por ejemplo

- ✓ Agua potable
- ✓ Energía eléctrica
- ✓ Alumbrado público
- ✓ Teléfono
- ✓ Correo y telégrafo
- ✓ Edificio municipal
- ✓ Gimnasio municipal
- ✓ Parque
- ✓ Edificio de mercado
- ✓ Algunas calles adoquinadas
- ✓ Drenajes en porcentaje reducido
- ✓ Estadio municipal
- ✓ Parques infantiles
- ✓ Servicios sanitarios
- ✓ Iglesias: católicas y evangélicas

## **2- ASPECTOS GENERALES**

### **2.1 Definición de pavimento**

Pavimento es una estructura cuya función fundamental es distribuir suficientemente las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva. Además el pavimento debe ofrecer una superficie lisa, no resbaladiza, que resista la intemperie y finalmente debe proteger al suelo de la pérdida de sus propiedades, por efecto del sol, las lluvias y el frío.

### **2.2 Tipos de pavimento**

Tradicionalmente se han definido dos tipos de pavimento, atendiendo a la forma como distribuyen las cargas sobre el suelo subyacente o subrasante;

#### **Pavimento flexible**

Es el construido de varias capas de suelo y una capa de rodadura asfáltica que transmite la carga recibida a través del espesor de las otras capas mencionadas, dejando así que la subrasante absorba una pequeña carga de acuerdo a su capacidad soporte.

## Pavimento rígido

Es el construido de una o varias losas de concreto simple o reforzado, de cemento Pórtland; rígida y resistente. Absorbe la carga recibida la cual reparte en una gran área de la subrasante.

En la actualidad se trata de implementar una nueva clasificación que sería:

## Pavimento semiflexible

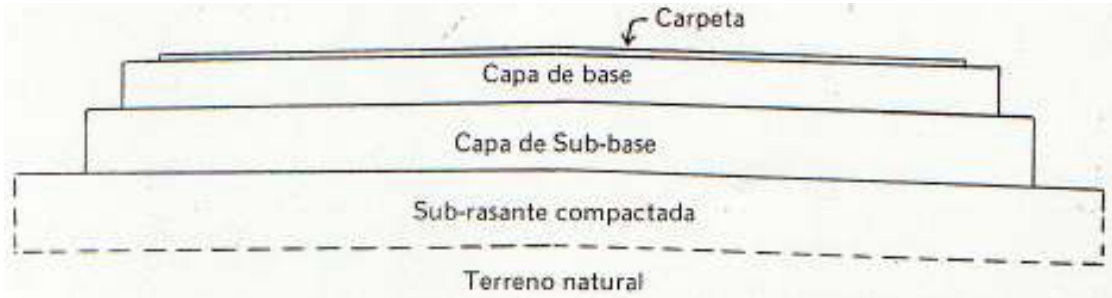
Es el construido con bases y/o subbases estabilizadas con suelo-cemento, o que tienen carpetas de rodadura de adoquín.

## Comparaciones entre pavimentos

Los pavimentos de losas de concreto son pavimentos rígidos, mientras que los pavimentos de asfalto son pavimentos flexibles.

El pavimento rígido, debido a su consistencia y alto módulo de elasticidad, utiliza la acción de viga para distribuir la carga en un área de suelo relativamente grande. En este tipo de pavimento la mayor parte de la capacidad estructural es proporcionada por la losa de concreto. En el pavimento flexible, la carpeta produce una mínima distribución de cargas, distribuyéndose éstas por el contacto de partícula a partícula en todo el espesor del pavimento.

**Figura 1. Estructura del pavimento flexible**



FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 2**

**Figura 2. Estructura del pavimento rígido**



FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 2**

Tomando en cuenta estas consideraciones, se puede decir que los pavimentos de adoquín son semiflexibles, ya que aunque cada adoquín es un bloque de concreto rígido, es a la vez una unidad independiente de los que los rodean. Al recibir un adoquín una carga concentrada, ésta se distribuye en el espesor del bloque y es transmitida sobre el área de la base cubierta por él; ya en la capa de base la carga se distribuye por contacto de partícula a partícula como en un pavimento flexible.

Se pueden considerar los pavimentos de adoquín como pavimentos del tipo flexible, por la forma como trabajan las capas inferiores a la superficie de rodaduras (base, subbase y subrasante) o adoptar una nueva clasificación para el pavimento de adoquín llamándolo semiflexible.

Cualquiera de estos pavimentos consta básicamente de los siguientes elementos

- a. Subrasante
- b. Subbase
- c. Base
- d. Carpeta de rodadura

Siendo las últimas las que incrementan o reducen su espesor y el costo de acuerdo a

- Tipo de pavimento
- Cantidad y tipo de tráfico
- Tipo de suelo o subrasante
- Distancia a los bancos de material
- Necesidad de equipo o mano de obra especializada

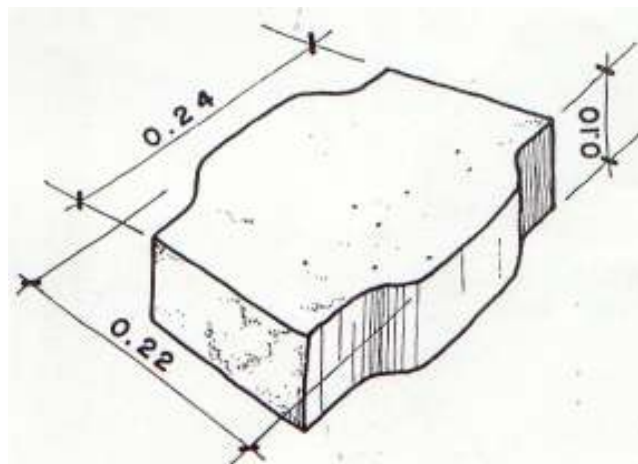
En el desarrollo del presente trabajo únicamente se ilustrarán los elementos correspondientes a pavimentos con adoquín.

### **2.3 Concepto de adoquín**

Los adoquines se puede definir como bloques de concreto, cuya función esencial es distribuir eficientemente las cargas concentradas de los ejes de los vehículos, hacia las otras estructuras que lo soportan, de manera que éstas no presenten fallo o deformación excesiva, así mismo constituyen la capa del pavimento que soportará directamente el paso de los vehículos

El adoquín no tiene forma definida esto dependerá de la estética que el ingeniero diseñador le quiera dar a su proyecto, el espesor dependerá del tipo de tránsito que se frecuente en esa área. Se puede utilizar cualquier forma para fabricar los adoquines, aunque se recomienda la de la grafica figura 2.3, por razones de facilidad de construcción, uniformidad de diseño y porque se utiliza un solo tipo de molde.

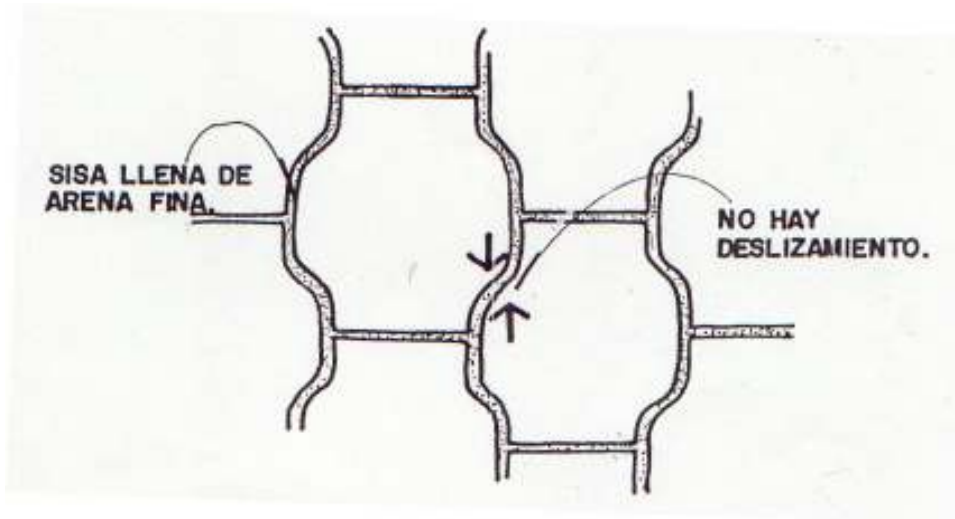
**Figura 3. Adoquín típico**



FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 14**

Su forma es tal que impide el deslizamiento entre un adoquín y otro; la sisa entre adoquines, que debe ser de 1 cm. de ancho, se llena de arena fina o arena y barro, para evitar filtraciones, y de esta forma se evita que se quiebren y desportillen entre ellos; Por consiguiente, no se necesitan mezclas ni ligantes entre adoquines, como se puede ver en la figura 4.

**Figura 4. Sisa entre adoquines**



FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 15**

La forma y dimensión de los adoquines a utilizar en este proyecto están indicadas en la figura 3 y las tolerancias en dimensión serán de 2 mm. Para los anchos y largos y de 3 mm. para el espesor. Otras especificaciones para el adoquín son

- Color: concreto natural, sin aditivo colorante.
- Textura: fina, antideslizante.
- Resistencia al desgaste: el resultado de cualquier prueba mecanizada, práctica y confiable no debe desgastar el adoquín más de 3 mm.
- Resistencia a la flexión: el valor del módulo de ruptura mínimo, determinado en una probeta rectangular, cortada de un adoquín entero, es de 40 Kg./cm<sup>2</sup>.
- Resistencia a la compresión: la resistencia a la compresión debe ser de 210 Kg./cm<sup>2</sup>. Determinada en probetas cúbicas, con un espesor de 10 cm.



## **2.4 Antecedentes históricos del pavimento de adoquín**

Cuando el hombre empezó a transportar cargas pesadas por veredas o caminos rústicos sintió que la superficies de éstos, con poca firmeza y uniformidad, le hacían la tarea muy difícil y a veces imposible, por lo cual empezó a idear la forma de mejorarlos. Llegó a descubrir que colocando piedras de forma adecuada sobre el terreno flojo lograría obtener una superficie firme y uniforme, naciendo entonces los empedrados.

Según Heródoto el primer camino pavimentado con piedras lo construyeron en Egipto, hacia el año 3000 AC para el transporte de bloques de piedra empleados en la erección de la gran pirámide. La construcción del camino duró 10 años, tiempo casi igual al que tardó la construcción de la pirámide. Este camino construido con piedra pulimentada con bajorrelieves de animales tallados, medía 1000 metros de largo con un ancho de 20 metros.

El geógrafo griego Strabo menciona la existencia de un camino pavimentado con ladrillos colocados sobre mortero desde Babilonia hasta Nínive. Las calles de Babilonia fueron pavimentadas 2000 años antes de Cristo.

El sistema de carretera más avanzado del mundo antiguo fue el de los romanos, que las necesitaban para mantener unido el imperio. Ellos ya comprendieron la importancia de construir una capa gruesa de material que no fuera afectado por la lluvia y que les proporcionara una superficie más o menos pareja para trasladarse de una ciudad a otra con cierta facilidad, comodidad y rapidez. Esta red de carreteras construida entre los años 400 AC y 400 DC llegó a tener una longitud total de unos 80,000 kilómetros.

La mejor carretera fue la vía Apia, con una extensión de 585 kilómetros (de Roma a Brindisi), fue construida excavando un foso en el terreno natural hasta encontrar terreno sólido que se compactaba y luego se colocaban 4 capas de material llamadas así:

- ✓ *Statumen*, capa de guijarros o piedras sueltas cementadas con cal con un espesor entre 25 y 60 cm.
- ✓ *Rudus o ruderatio*, de piedras más pequeñas machacadas y mezcladas con cal, de un espesor de unos 20 cm.
- ✓ *Nucleus*, capa de arena gruesa o grava fina mezclada con cal y de unos 30 cm. de espesor.
- ✓ *Pavimentum*, capa de piedras poligonales con la superficie labrada toscamente y de un espesor de 15 cm.

El espesor total era de un metro a un metro y medio y el ancho de la calzada mayor de 10 metros. En Estados Unidos se ha estimado que para construir una carretera así en la actualidad se tendría un costo de medio millón de dólares por kilómetro.

También las ciudades romanas estaban perfectamente adoquinadas como se ha podido ver en las ruinas de las ciudades de Pompeya y Herculano.

Con la caída del Imperio Romano cesó la construcción de caminos y de pavimentos, hasta el siglo XIII en que se colocaron en París los primeros pavimentos, pero los métodos de construcción y de mantenimiento no eran adecuados. En el siglo XVIII surgieron dos hombres que pueden ser llamados los padres de la construcción de carreteras modernas: Pierre Tresaguet de Francia y John Metcalf de Inglaterra, quienes aplicaron principios que aún son aceptados en la construcción de carreteras.

En el siglo XIX se ensayó el uso de varios tipos de bloques o adoquines; en Bloomington, Illinois se inició en 1870 el uso de ladrillos colocados sobre una capa de cemento y grava o de arena apisonada; casi todas las ciudades de Holanda fueron pavimentadas en esta forma. La primera carretera moderna con pavimento de ladrillo fue construida en 1895 en Cuyahoga Country, Ohio. En Nueva York, Boston y Filadelfia se construyeron pavimentos de bloques de madera alrededor de 1840; posteriormente se construyeron pavimentos de bloques de cedro en Chicago y otras ciudades, pero estos pavimentos se deterioraban rápidamente debido a la pudrición de la madera, lo cual derivó en el uso de bloques tratados con creosota. A partir de 1890 se usaron bloques de asfalto para pavimentar. Se probó también el uso de bloques de hule y de hierro colado en algunos proyectos experimentales de pavimentación.

Durante este tiempo también se usaron los adoquinados con bloques de piedra labrada; para ello se utilizaron rocas duras de origen ígneo, eruptivas o de fusión (como granito, sienita, diorita, diabasa y basalto), que deben cumplir ciertas condiciones, como dejarse partir fácilmente en planos, tener composición mineralógica homogénea y resistir a los agentes atmosféricos. Se usaron en calles con tráfico muy pesado y eran construidos por lo general sobre bases de concreto de baja resistencia, por lo que su aplicación no dio resultados prácticos y hubo de buscarse nuevas soluciones.

En 1885 se empezó a usar en Europa el adoquinado pequeño (conocido como Durax en Inglaterra y los Estados Unidos, y como Kleinflaster en Alemania). En Estados Unidos se utilizó por primera vez en 1913 en los patios de la armada en Brooklyn. Estos eran bloques de granito cortados a mano o a máquina, con forma cúbica lo cual permitía seleccionar la mejor de las seis caras para la superficie de rodadura.

El adoquinado pequeño generalmente se colocaba en forma de segmento o arcos de círculo para evitar que las juntas quedaran paralelas a la dirección del tráfico.

Estos pavimentos fueron apropiados para un tráfico bastante lento, que se movía sobre ruedas de hierro y que ejercía pequeñas fuerzas horizontales sobre la superficie de rodadura, pero el gran desarrollo que tuvo el vehículo de motor con llantas de hule, obligó a utilizar otros tipos de pavimento con una superficie más uniforme y que soportara el efecto torsionante de las llantas debido a las fuerzas de tracción y de frenado. La fabricación de adoquines de concreto solucionó el problema de la uniformidad de la superficie, pero aún cuando eran colocados en sentido diagonal al eje de la carretera, su forma cúbica o rectangular hacía posible que las fuerzas de las llantas los cambiaran de posición y los desnivelaran, aún cuando se llenaran las juntas con argamasa, asfalto o concreto.

Por fin se inició en Holanda el desarrollo de un pavimento de adoquín cuyas unidades tenían formas geométricas regulares que calzaban entre sí, reduciéndose la posibilidad de movimiento de las unidades. Esto le hizo tomar un nuevo auge y se tiene que, por ejemplo, en la zona de Baviera, al sur de Alemania Occidental, en 1962 se construyeron 14,300 metros cuadrados de caminos vecinales con adoquines de concreto suministrados por cuatro fábricas. En 1964 ya fueron ocho las fábricas que suministraron adoquines para cubrir un área de 214,635 metros cuadrados para el mismo tipo de caminos, lo cual significa un aumento de un 70 por ciento anual. En España y en Francia también es frecuente el uso de pavimentos de adoquín.

En Argentina se han venido usando desde hace más de 10 años, y en México se empezó el adoquinado de las principales calles del centro de la ciudad en el año 1961.

Recientemente se ha hecho una nueva innovación en la forma de los adoquines, siendo estos los adoquines o bloques articulados, los cuales mediante ingeniosas disposiciones de su forma permiten que los bloques queden traslapados o trabados, lo cual hace que las cargas verticales que inciden sobre uno de ellos se transfieran a todos los adyacentes.

## **2.5 Uso del pavimento de adoquín en Centroamérica**

También en el área centroamericana se ha empezado a difundir el uso del adoquín de concreto, sustituyendo al adoquín de piedra tan usual en nuestras ciudades coloniales.

En Managua, Nicaragua se encuentra la fábrica de adoquines Canal que empezó a operar en 1965 y que a la fecha ha producido varios millones de metros cuadrados de adoquín. La fábrica cuenta con una adoquinera móvil y tres estacionarias y tiene una producción de alrededor de 3700 unidades por hora. En Costa Rica hay también una fábrica de adoquines de concreto en permanente producción.

En Guatemala existen actualmente dos firmas dedicadas a la fabricación de adoquines de concreto; son Cementos Novella S.A. y Prefabricados CIFA. Además, se ha producido y colocado adoquín fundido a mano en muchas poblaciones del interior del país, con la asesoría del Instituto de Fomento Municipal (INFOM).

Sin embargo, en Guatemala aún se encuentra poco difundido el uso de adoquines de concreto y no se puede decir que haya una producción en gran escala ni que se cuente con la tecnificación suficiente.

## **2.6 Uso del adoquín en Guatemala**

Años atrás las calles con su superficie de terracería no presentaban demasiadas molestias en las poblaciones pues el volumen de tránsito vehicular no era considerado, restringiéndose al paso de unas cuantas unidades al día. La conservación de las calles era aceptable y las pequeñas molestias causadas a los vecinos y peatones eran soportables.

A medida que el tránsito vehicular creció, en todas las poblaciones se manifiesta una creciente protesta y clamor del vecino por contar con calles en buenas condiciones de circulación, sin baches, polvo o lodazales.

Como ya se mencionó anteriormente, la institución que se dedica a la planificación y supervisión de pavimentos de adoquín para el área urbana y rural del interior del país, es el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), cuya unidad de pavimentos realiza estudios de planificación y costos.

Desde el mes de junio de 1972 el Instituto de Fomento Municipal ha venido promocionando ante todas las municipalidades de la república, el sistema de pavimentación con adoquín de concreto, como una alternativa de solución al problema de recubrimiento de superficies de rodadura.

Este pavimento ha venido a constituir la alternativa, todavía económica, relativamente, ante la inflación que han sufrido los productos como es el cemento Pórtland, para pavimentos rígidos.

Éstas son algunas de las ventajas que presta el pavimento de adoquín:

- ✓ Facilidad para efectuar reparaciones
- ✓ Fabricación y colocación simple con personal no especializado y de poca calificación
- ✓ Material y mano de obra nacional
- ✓ Ofrece una vista agradable al estar ya colocado
- ✓ Costo menor, comparado con losas de concreto
- ✓ Ofrece una estética al lugar
- ✓ Facilidad para obtener mano de obra
- ✓ Mantenimiento mínimo de fácil ejecución
- ✓ Su fabricación se puede realizar en el lugar de la obra, economizando el transporte del producto ya elaborado
- ✓ Facilidad de remoción y reinstalación para obras de agua potable, drenajes, teléfono, televisión por cable, etc.

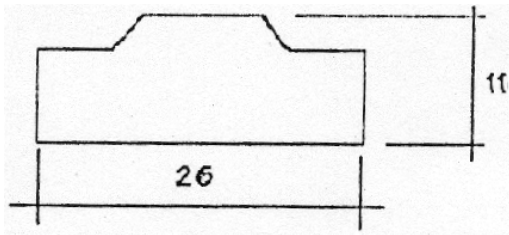
## **2.7 Tipos de adoquín**

### **2.7.1 Por su forma**

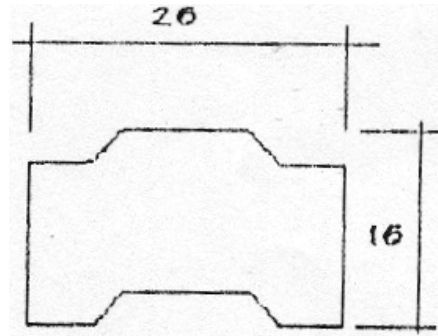
No se establece prácticamente ninguna restricción en cuanto a la forma del adoquín; pero se persigue asegurar que el adoquín pueda ser levantado con facilidad y que cuando se coloque en forma correcta, ajustará perfectamente en el otro, es recomendable que se fabriquen con medidas exactas, lo que permite colocarlos con espacios sumamente pequeños entre las propias juntas.

**Figura 5. Formas de adoquines más conocidas**

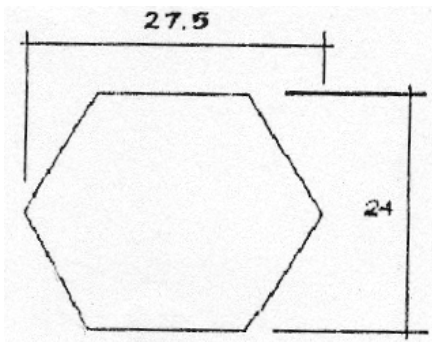
➤ Huella de cruz



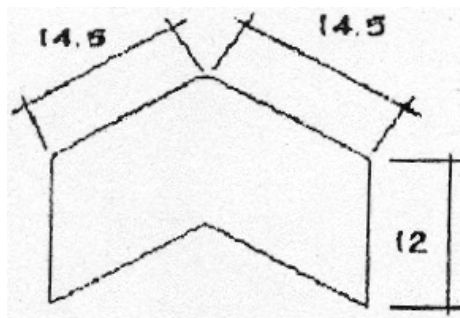
➤ Muescado simple



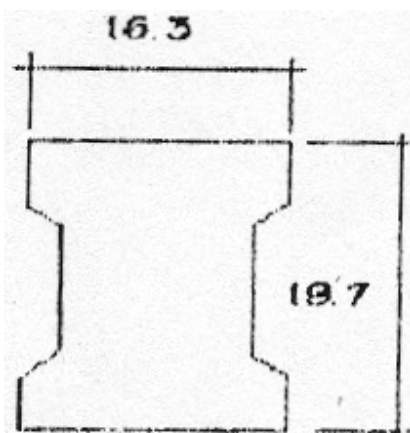
➤ Hexagonal



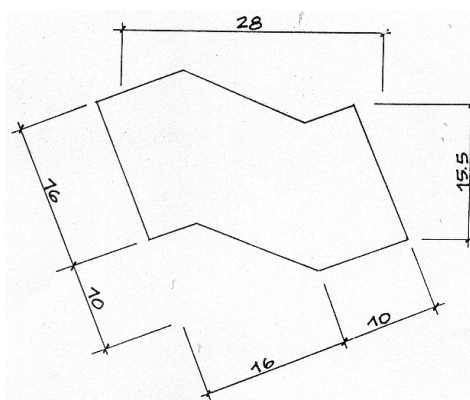
➤ Angular



➤ Muescado doble



➤ Zigzag



FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 13**



### 2.7.2 Por el tipo de tránsito que frecuentan

En la actualidad, todos los métodos de diseño de pavimentos consideran el tránsito de todos los vehículos que usarán el pavimento, para un periodo de diseño de 20 a 25 años.

**Tabla VI. Categorías de tránsito**

Categoría	Descripción
1	Calles secundarias y estacionamiento de automóviles
2	Calles alimentadoras, pocos camiones y autobuses
3	Avenidas, estacionamiento industrial y mercados
4	Calzadas, calles comerciales y muchos autobuses
5	Carreteras urbanas y autopistas

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág.10**

Tomando en cuenta la tabla anterior se puede decir que las categorías 1 y 2 son para tráfico liviano, la categoría 3 para tráfico mediano y las categorías 4 y 5 para tráfico pesado.

**Tabla VII. Clasificación de tránsito**

Tipo de tránsito	Tránsito total durante 24 horas			Carga de diseño (Lb. / rueda)
	Total Vehículos	Camiones Autobuses	Camiones Pesados*	
Pesado	3000 min.	700 min.	150 min.	14000
Mediano	1000 - 3000	250 - 700	50 – 150	12000
Liviano	1000 máx.	250 máx.	50 máx.	10000
* 18000 a 24000 Lb/eje				

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 8**

### 2.7.2.1 Pavimentos con adoquín para tránsito liviano

Deben colocarse en calles secundarias, estacionamiento de automóviles o aun, en calles principales, cuando se estime que el volumen de tránsito es relativamente bajo, inclusive tratándose de vehículos pesados. A efecto de datos prácticos se presenta la siguiente tabla

**Tabla VIII. Datos prácticos para tránsito liviano**

Capa	Subrasante		
	Buena	Regular	Mala
Adoquín	10	10	10
Capa de asiento (arena de río)	3	3	3
Base (arena gruesa)	10 - 15	15	15
Subbase (material selecto)	0	5 – 10	10 - 15
ESPESOR TOTAL (cm.)	23 - 28	28 – 38	38 - 43

FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 11**

### 2.7.2.2 Pavimentos con adoquín para tránsito mediano

Deben colocarse en avenidas y calles con tránsito constante de vehículos livianos y tránsito regular de camiones y autobuses, en estacionamientos industriales y de mercados. A efecto de datos prácticos se presenta la siguiente tabla.

**Tabla IX. Datos prácticos para tránsito mediano**

Capa	Subrasante		
	Buena	Regular	Mala
Adoquín	10	10	10
Capa de asiento (arena de río)	3	3	3
Base (arena gruesa)	15	15	15
Subbase (material selecto)	10	15	20
ESPESOR TOTAL (cm.)	38	43	48

FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 12**

### 2.7.2.3 Pavimentos con adoquín para tránsito pesado

Deben colocarse en carreteras urbanas, calzadas y calles que tengan un tránsito frecuente de vehículos pesados, como camiones y autobuses, y paso constante de gran número de vehículos, aún siendo estos de tipo liviano.

Estas calzadas y calles comprenden las vías principales que atraviesan la población y que conducen a diferentes sitios de elevada concurrencia; como mercados, plazas, edificios municipales, etc. A efecto de datos prácticos se presenta la siguiente tabla

**Tabla X. Datos prácticos para tránsito pesado**

Capa	Subrasante		
	Buena	Regular	Mala
Adoquín	10	10	10
Capa de asiento (arena de río)	3	3	3
Base (arena gruesa)	15	15	15
Subbase (material selecto)	15	20	25
ESPESOR TOTAL (cm.)	43	48	53

FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 13**

La única diferencia entre estos tres tipos de pavimento adoquinado estriba en que el adoquinado para tránsito liviano no necesita la capa de material selecto que constituye la subbase, siempre y cuando, las condiciones de la subrasante no lo exijan, colocándose la capa de arena gruesa de base directamente sobre la subrasante. En todos los casos el adoquín de 10 cm. de espesor debe de llenar ciertos requisitos mínimos de calidad en su fabricación y en las pruebas que se les aplique.

### **3- ELEMENTOS QUE COMPONEN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO DE ADOQUÍN**

#### **3.1 Subrasante**

Es la superficie que resulta una vez terminado el movimiento de tierras, pudiendo estar en corte o en relleno, y que una vez compactada tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño. En general, deben cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y retracción por efectos de la humedad; debe ser lo suficientemente rígida para evitar una deformación excesiva por efecto de las cargas accidentales y tener desniveles necesarios para desalojar el agua de lluvia fuera del área del pavimento.

El diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de la rueda a la capacidad de la subrasante. Aunque esto se puede hacer por reglas empíricas basadas en experiencias anteriores, la ingeniería económico-práctica requiere una evaluación de las propiedades más significativas de la subrasante y que el diseño del pavimento se ajuste a ella, evitando la posibilidad de producir un pavimento más caro de lo necesario o uno que no sea suficientemente resistente.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante y se puede citar cuatro clasificaciones que son

- a) Si la subrasante es de muy mala calidad (con un alto contenido de materia orgánica o material suelto sin cohesión), será necesario sustituirla por un material de mejor calidad o estabilizarla (con cemento, cal, materiales bituminosos, etc.) en un espesor que dependerá de las cargas de diseño y de las propiedades de los materiales a utilizar en las otras capas.
- b) Si la subrasante es de mala calidad (formada por suelo fino limoso o arcilloso), será necesario colocar una capa de subbase granular de material selecto o de material estabilizado antes de la colocación de la capa de base.
- c) Si la subrasante es de buena calidad (formada por un suelo bien graduado, que no ofrezca peligro de saturación), con un valor soporte excelente y buen drenaje, podrá omitirse la capa de subbase.
- d) Si la subrasante fuera excelente (con un valor soporte muy elevado y sin posibilidad de saturación), se puede omitir también la capa de base, colocando la carpeta sobre el terreno natural después de haber sido conformado y compactado. Esta última situación no se da casi nunca; por lo general resulta necesario el uso de las dos capas: subbase y base.

Los materiales que forman la subrasante deberán cumplir con ciertos requisitos para producir un pavimento de buena calidad; dichos requisitos dependen de las propiedades de los materiales que se determinan por ensayos debidamente normalizados por la *American Society for Testing Materials (ASTM)* y por la *American Association of State Highways Officials (AASHO)*. Estos requisitos deben cumplirse en una profundidad de al menos 30 cm. para calles y carreteras y de al menos 50 cm. para aeropistas y son

PROPIEDAD		REQUISITO
Tamaño máximo de partícula		7.5 cm. (3")
Límite líquido	Carreteras (*)	Mayor del 50 %
	Aeropistas	Menos del 50 %
CBR		5 % mínimo
Expansión		50 % máximo
Compactación		95 % mínimo

(\*) Con plasticidad media a baja.

Los suelos que no cumplan estas condiciones deberán ser sustituidos por un material adecuado y estabilizado.

### **3.1.1 Evaluación de las propiedades de los materiales**

Existe una gran variedad de métodos y sistemas para evaluar las propiedades de los suelos, aplicándose estos según el método de diseño de espesores que se proyecta usar. Entre ellos destaca el Método de Mills ampliamente usado para el diseño de pavimentos flexibles, y que en este trabajo ha sido adaptado al diseño de pavimentos de adoquín. Este método emplea el valor soporte CBR y el índice de grupo como propiedades de los suelos para el diseño, por lo cual se incluye una descripción de las mismas en este trabajo.

#### **3.1.1.1 Valor soporte CBR**

El CBR o valor soporte de California (*California Bearing Ratio*) ha sido uno de los métodos de evaluación de subrasantes más extensamente empleados en el diseño de pavimentos flexibles.

El CBR fue desarrollado por la División de Carreteras de California alrededor de 1930 y en 1951 fue adoptado por la ASTM con la designación *D1883, Bearing Ratio of Laboratory-Compacted Soils*.

La mayor parte de fallas en los pavimentos flexibles se debe a desplazamientos, o sea a fallas de corte, de los materiales de las diferentes capas. El CBR es una medida de la resistencia al corte del suelo en condiciones controladas de densidad y humedad.

Este método comprende tres ensayos

- a) Determinación del valor soporte de California (CBR).
- b) Determinación de las propiedades expansivas de los materiales.
- c) Determinación de la densidad máxima y la humedad óptima.

Estas propiedades se determinan por medio de los ensayos de Proctor. Existen dos tipos de ensayo proctor

#### **3.1.1.1.1 Proctor normal (ASTM D AASHO T 99)**

Se utiliza un molde cilíndrico de 4" (10 cm.) de diámetro y una altura de 4.58" (11.64cm) con lo cual se tiene un volumen de  $1/30$  de pie<sup>3</sup>; se le coloca en la parte superior un collar del mismo diámetro para darle una altura adicional.

El molde se llena en tres capas iguales del material a ensayar, compactando cada una con 25 golpes de un martinete de 5.5 libras de peso, un diámetro de 2" y una altura de caída de 1'. La energía de compactación proporcionada por este martinete es de 12,400 libras-pie/pie<sup>3</sup>, que es comparable a la que se obtiene con equipos de compactación ligeros.



### 3.1.1.1.2 Proctor modificado (ASTM D 1557; AASHTO T 180)

Se utiliza un molde cilíndrico con las mismas dimensiones que el anterior y con el respectivo collar en la parte superior, pero en este caso, el molde se llena con 5 capas, compactando cada capa con 25 golpes de un martinete de 10 libras de peso, con una altura de caída de 18 pulgadas, el cual proporciona una energía de 56,200 libras-pie/pie<sup>3</sup>, comparable a la que se obtiene con equipos de compactación más pesados en condiciones favorables de trabajo.

Al tener lleno el molde, se quita el collar y se enrrasa el cilindro. Para calcular la densidad se pesa el molde con su contenido, obteniendo el peso bruto húmedo (PBH) al cual se le resta la tara del molde para obtener el peso neto húmedo (PNH). Dividiendo el PNH entre el volumen de la muestra (1/30 pie<sup>3</sup>) se obtiene el peso unitario húmedo (PUH).

Secando la muestra al horno se obtiene el peso neto seco (PNS) y de aquí el contenido de humedad ( $W = \text{PNH} - \text{PNS} / \text{PNS}$ ), luego se puede obtener el peso unitario seco (PUS) por la relación:

$$PUS = \frac{PUH}{1 + W}$$

El proceso se repite con diferentes contenidos de humedad, trazando luego una curva que relacione el contenido de humedad (W) con el peso unitario o densidad seca (PUS); el valor más alto de la curva nos dará la densidad máxima y el contenido de humedad correspondiente, la humedad óptima.

### 3.1.1.1.3 Determinación de las propiedades expansivas de los materiales

El equipo que se utiliza para el ensayo es

- ✓ Una prensa hidráulica con una capacidad mínima de 60,000 lb. equipada con cabezal o base movable que avance a razón de 0.05"/min. para forzar al pistón de penetración dentro del espécimen. Deberá estar equipada con indicadores de carga legibles cada 10 lb. o menos.
- ✓ Un molde cilíndrico con diámetro interno de 6" (15.24 cm.) y altura de 7" (17.78 cm.), provisto de collar de extensión de 2" de altura y una plancha de base perforada de 3/8" de espesor; las perforaciones de la plancha no deben exceder un diámetro de 1/16".
- ✓ Un disco espaciador metálico de 5" 15/16 de diámetro y 2.4" de altura.
- ✓ Tamices núm. 4 y núm. 3/4
- ✓ Un penetrómetro o pistón de 1.95" de diámetro (3 pulgadas cuadradas de sección) y al menos 4" de longitud.
- ✓ Un micrómetro de reloj graduado en 0.001".
- ✓ Un disco perforado con una barra ajustable apropiada para colocar un micrómetro de reloj con trípode.
- ✓ Sobre-pesas anulares, una entera y varias divididas de 5 libras de peso, con 5" 5/8 de diámetro externo y 2" 1/8 de diámetro interno.

- ✓ Un mazo de compactación de 10 lb. de peso y 18" de caída.
- ✓ Una balanza con sensibilidad de 1 g. y capacidad de 20 Kg.
- ✓ Una bandeja de mezcla, regla metálica, tanque de inmersión, papel filtro, cronómetros, espátulas, etc.

#### Preparación de la muestra

Se seca la muestra al aire y luego se pulveriza el material, cuidando de no romper las partículas individuales. Se toma una porción de la muestra y se pasa por el tamiz de 3/4"; se descarta el material retenido y se reemplaza con igual peso de material que pasa el tamiz de 3/4" y es retenido en el tamiz No. 4, tomado del sobrante de la muestra. De esta muestra se toma unos 500 gramos y se determina el contenido de humedad actual.

Se agrega la cantidad de agua necesaria para llegar a la humedad óptima, la cual se puede calcular por la siguiente fórmula:

$$Vol.de.agua.por.agregar(c.c.) = \frac{Peso.del.mat.(gr.) \times (hum.óptima - hum.actual)}{100 + hum.actual}$$

La humedad del material deberá quedar dentro de más o menos 0.5 por ciento de la humedad óptima.

## Ensayo de expansión

Se pesa el molde y se fija junto con el collar de extensión a la plancha de base; se inserta el disco espaciador colocando sobre él un disco de papel filtro. Se llena el molde en 5 capas compactando cada capa con 55 golpes del mazo, removiendo luego el collar de extensión y se empareja cuidadosamente el suelo compactado con una regla metálica, llenando con material fino cualquier agujero que quede en la superficie. Se retira la plancha de base y el disco espaciador, se coloca un disco de papel filtro sobre la plancha de base, se invierte el molde con el suelo compactado y se fija a la plancha de base con el suelo compactado en contacto con el papel de filtro.

Se coloca el disco perforado sobre el suelo compactado; para producir una sobrecarga igual al peso de la base y del pavimento se colocan pesas sobre el disco perforado, tomando en cuenta que en ningún caso el peso debe ser menor de 10 libras. Luego se sumerge el molde en agua, permitiendo el libre acceso de ésta al fondo y a la superficie del espécimen. Se toma la medida para hinchamiento con el micrómetro de trípode y se deja saturar la muestra durante 96 horas, tomando lecturas del hinchamiento cada 24 horas.

El hinchamiento se calcula como porcentaje de la altura inicial de la muestra, así:

$$\text{Hinchamiento} = \frac{\text{Lectura.inicial} - \text{Lectura.final}}{\text{Altura} - \text{inicial.de.la.muestra}} \times 100$$

Los suelos que tengan expansiones totales menores del 3 por ciento se recomiendan como buenos para ser usados como subbase en carreteras, los que tengan arriba de este porcentaje no son recomendables.

Los suelos arcillosos y orgánicos llegan a tener expansiones máximas del 20 por ciento y los materiales para base del 1 por ciento.

#### **3.1.1.1.4 Determinación del valor soporte de California (CBR)**

Después de terminar el ensayo de hinchamiento se saca el molde del agua y se deja escurrir durante 15 minutos en posición vertical. Al pasar el tiempo indicado se remueve el disco perforado, las pesas y el papel filtro.

Se colocan nuevamente las pesas sobre la muestra, produciendo una sobrecarga igual a la que se tuvo durante la inmersión. Se centra el molde sobre la base de la prensa de ensayo y se sienta el pistón de penetración sobre la superficie, con una carga inicial de 10 lb.

Se aplica la carga sobre el pistón produciendo una penetración de 0.05 pulgadas por minuto. Se toman las lecturas de carga correspondientes a 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0,4, 0.5 pulgadas de penetración.

Con estos resultados se dibuja una curva usando como abscisas la penetración del pistón y como ordenadas la carga. La calidad del material se obtiene por comparación de la curva del material ensayado con la curva típica que corresponde al mismo ensayo efectuado en una muestra de piedra triturada.

Los valores típicos para la piedra triturada se presentan en la tabla XI.

**Tabla XI. Carga/penetración para piedra triturada**

CARGA ESTÁNDAR	PENETRACIÓN (")
1,000 lb./pulg. <sup>2</sup>	0.1
1,500 lb./pulg. <sup>2</sup>	0.2
1,900 lb./pulg. <sup>2</sup>	0.3
2,300 lb./pulg. <sup>2</sup>	0.4
2,600 lb./pulg. <sup>2</sup>	0.5

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 22**

El valor soporte CBR de un suelo es el que resulte mayor al aplicar la siguiente fórmula a los valores de carga correspondientes a penetraciones de 0.1" y 0.2", así:

$$CBR = \frac{\text{Carga a una penetración dada}}{\text{Carga estándar a la misma penetración}} \times 100$$

Por ejemplo si en un ensayo se obtuvo para una penetración de 0.1" una carga de 240 lb./pulg.<sup>2</sup> y para una penetración de 0.2" una carga de 450 lb./pulg.<sup>2</sup> se tiene

$$CBR_{a.0.1"} = \frac{240}{1000} \times 100 = 24\%$$

$$CBR_{a.0.2"} = \frac{450}{1500} \times 100 = 30\%$$

O sea que el valor CBR de este suelo es 30.

En general se puede hacer la siguiente clasificación atendiendo al valor soporte CBR, ver tabla XII.

**Tabla XII. Clasificación de suelos según porcentaje de CBR**

100 %	—	80 %	Son excelentes materiales para bases
80 %	—	50 %	Son buenos materiales para bases
50 %	—	30 %	Son buenos materiales para subbase
30 %	—	20 %	Son muy buenos materiales para subrasante
20 %	—	10 %	Son buenos materiales para subrasante
10 %	—	5 %	Son regulares materiales para subrasante y son los más usuales en nuestro medio
5 %	—	0 %	Son malos materiales para subrasante.

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 23**

### **3.1.1.2 Índice de grupo**

El método del índice de grupo también ha sido utilizado muy ampliamente para el diseño de pavimentos. El índice de grupo es un número obtenido con base en una fórmula que toma en cuenta las siguientes propiedades de los suelos, proporción de finos y límites de Atterberg

#### **3.1.1.2.1 Proporción de finos**

La proporción de finos se obtiene del ensayo granulométrico normalizado por la ASTM, que consiste en separar los distintos gruesos de granos de la muestra de suelo, utilizando una serie de tamices cuyas aberturas van de 19.05 mm. (Tamiz de 3/4") hasta 0.074 mm. (Tamiz núm. 200)

Para efectuar el ensayo se debe obtener el peso neto de la muestra seca pulverizada (M), procediendo luego a tamizarla; en seguida se obtiene el peso retenido en cada tamiz. Elaborando una tabla como la siguiente.

**Tabla XIII. Porcentaje de material retenido en cada tamiz**

TAMIZ	DIAM. (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL				% PASA ACUMULATIVO
		P.B.S.	TARA	P.N.S.	% DE M.	
¾"	19.05	A'	T	A	a	a1
No. 4	4.76	B'	T	B	b	b1
No. 10	2	C'	T	C	c	c1
No. 40	0.42	D'	T	D	d	d1
No. 200	0.074	E'	T	E	e	e1
Fondo	.....	F'	T	F	f	f1
Σ P.N.S. = M					100%	

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 24**

El % de *M* es el porcentaje de peso retenido en cada tamiz respecto a la muestra total, y se calcula así

$$a = \frac{A}{M} \times 100$$

Si la ΣPNS, no es igual a M, se corrige el error en la fracción de mayor peso, siendo admisible un error máximo del 1 por ciento. El % *pasa acumulativo* es el porcentaje de la muestra menor que un tamiz determinado y se calcula así:

$$a1 = 100 - a \quad b1 = a1 - b \quad c1 = b1 - c \text{ etc.}$$

Para el cálculo del índice de grupo (IG) sólo se utiliza el % *pasa acumulativo*, del tamiz núm.200



### 3.1.1.2.2 Límites de Atterberg

En 1911 el científico sueco Atterberg definió ciertos límites arbitrarios en el contenido de humedad de los suelos finos para dividir los estados de consistencia de estos suelos.

Para obtener el índice de grupo (IG) sólo interesa el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP) que es igual al límite líquido menos el límite plástico (LP).

Límite Líquido (LL) es el máximo contenido de humedad para el cual el suelo es plástico (AASHO T 89).

Para efectuar el ensayo se utiliza el material que pasa un tamiz núm. 40, mezclándolo con agua hasta formar una pasta suave.

Se coloca en el platillo del aparato de Casagrande hasta llenarlo aproximadamente 1/3 de su capacidad, formando una masa lisa. Se divide esta pasta en dos partes por medio del ranurador especial. Se hace girar la manivela del aparato a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes (N) necesarios para que el fondo del surco se cierre en una longitud de 1/2" aproximadamente. El número de golpes debe ser de 15 a 35. Luego se toma la muestra y se le determina el contenido de humedad (W). El límite líquido se obtiene aplicando la fórmula:

$$LL = \frac{(N)0.121}{25} \times W$$

El límite plástico es el mínimo contenido de humedad para el cual el suelo es plástico (AASHO T 90).

Para efectuar el ensayo se utiliza una porción de la misma muestra preparada para el ensayo del límite líquido.

Se deja secar hasta que alcance una consistencia que no se adhiera a la palma de la mano; se toma una porción y se hace rodar con la palma de la mano sobre una superficie lisa no absorbente, formando un cilindro de aproximadamente 1/8". Al llegar a este tamaño se vuelve a hacer una esfera el material y se repite el procedimiento reduciendo el contenido de humedad por el manipuleo, hasta que el cilindro se raje o empiece a desmoronarse. En este momento se le determina el contenido de humedad y este es el valor del límite plástico.

El índice de plasticidad (IP) se calcula por la fórmula:

$$IP = LL - LP$$

### **3.1.1.2.3 Cálculo del índice de grupo**

El índice de grupo es un valor que indica la calidad del suelo dependiendo de su granulometría y de los valores obtenidos para el límite líquido y el índice de plasticidad.

Debe ser un número entero y positivo comprendido entre los valores de cero y veinte (si resulta un número fraccionario se redondea al entero más cercano); si resultara un valor negativo se adopta el cero y si es mayor de veinte, se torna como veinte.

Para su cálculo se emplea la fórmula:

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

Donde:

a	=	(% pasa núm. 200) - 35	(entre 0 y 40)
b	=	(% pasa núm. 200) - 15	(entre 0 y 40)
c	=	LL-40	(entre 0 y 20)
d	=	IP-10	(entre 0 y 20)

El valor resultante del índice de grupo es función de la calidad del suelo.

Para el cálculo del espesor de pavimentos por medio del índice de grupo y considerando los tipos de tráfico, se han desarrollado curvas empíricas.

### **3.2 Capas de subbase y base**

El propósito fundamental de estas capas es el de proporcionar un medio de distribución para las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de un pavimento, pero también es importante el aislamiento de la subrasante de la humedad superficial para evitar que tenga asentamientos o deformaciones, especialmente cuando ésta es arcillosa. En ello radica la importancia de darle a un pavimento los espesores adecuados usando los materiales más indicados.

#### **3.2.1 Capa de subbase**

Es la capa de material que se coloca entre la subrasante y la capa de base y puede construirse con una gran variedad de suelos, ya sea en su estado natural o mejorado (estabilizados) por un tratamiento adecuado.

Las principales funciones de la subbase son

- a. Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la base.
- b. Servir de material de transición entre el suelo de sub-rasante y la base, así como de elemento aislador entre ellas.
- c. Romper la capilaridad de la terracería y drenar el agua proveniente de la base.

De aquí, que un material de subbase debe satisfacer las siguientes condiciones:

- ✓ Ser susceptibles de compactación, es decir, que la compresión o la vibración conduzcan fácilmente a una disposición estable de las partículas correspondiente a una cantidad de vacíos reducida y a una gran densidad seca. Los suelos de granulometría continua siempre serán apropiados; hay suelos de granulometría discontinua que compactan bien, pero no se deberá usar suelos de granulometría uniforme.
- ✓ Ser poco sensibles al agua, para lo cual es preciso que la proporción de finos arcillosos sea pequeña; son ideales los suelos cuyo índice de plasticidad sea nulo o inferior a 5.
- ✓ Conservar en las condiciones higrométricas más desfavorables, una consistencia suficiente. Para determinar esta consistencia se debe obtener el IG y el valor soporte CBR

- ✓ Poder vivir en buena vecindad, esto es, adaptarse a las características del terreno de la subrasante sobre el cual será colocado. Debido a esto pueden presentarse dificultades en diversas circunstancias, especialmente, si el material de base es sensible al agua y el suelo de subrasante es o muy impermeable o expuesto a fuertes succiones capilares, será necesario colocar una capa de sub-base anticapilar de drenaje, que corte las succiones capilares y evacue el agua que proviene ya sea de estas succiones o de filtraciones de arriba hacia abajo.

Si el material de subrasante contiene elementos muy finos que en el curso de la compactación y cuando la pista está ya en servicio, pueden penetrar en el material de subbase y alterar su granulometría, su estabilidad, su consistencia y hacerlo sensible al agua, es preciso colocar una subbase anticontaminante con una granulometría intermedia que le permita resistir la contaminación sin ser impermeable.

En zonas muy frías y cuando la subrasante es sensible a las heladas deberá construirse una subbase antihielo.

### **3.2.1.1 Materiales para subbase**

Consistirán en materiales de tipo granular con las siguientes propiedades mínimas:

Valor soporte CBR del 30 por ciento sobre muestra saturada y con el valor de compactación que se especifique (nunca menor del 90 por ciento; generalmente se usa el 95 por ciento), el índice de plasticidad no mayor de 9 y el límite líquido no mayor de 40.

Los materiales de sub-base deben ser de fácil compactación para alcanzar la densidad máxima determinada. Si contienen gravas o rocas, éstas no deben ser mayores de 2/3 del espesor de la sub-base. Además, deben ser materiales libres de materia orgánica, materia vegetal, basuras o terrones de arcilla.

### **3.2.2 Capa de base**

En un pavimento flexible, es la capa de base el principal elemento de distribución de las cargas y esfuerzos ejercidos sobre la capa de rodadura, por lo cual el suelo o material compactable a usar debe ser de muy buena calidad. La elección de este material debe ser objeto de una atención especial, debiendo satisfacer condiciones más precisas y severas.

Las principales funciones de la capa de base son

- a. Transmitir y distribuir las cargas provenientes de la capa de rodadura.
- b. Servir de material de transición entre la subbase y la capa de rodadura.
- c. Ser resistentes a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión producidos por el tránsito.
- d. Tener mayor capacidad soporte que el material de subbase.

Los materiales para la capa de base deben cumplir con algunos requisitos los cuales se presentan a continuación

- ✓ Se admite en general que los materiales deben tener un tamaño inferior a 1"1/2 (4cm.); de lo contrario, se está expuesto a una segregación en la puesta en obra y a desprendimientos en la superficie antes de colocar la capa de rodadura.
- ✓ La curva granulométrica debe estar comprendida entre las curvas tipo, excepto en el caso en que una granulometría discontinua sea favorable a una buena compactación, pero debe considerarse que si el material tiene demasiados finos es muy sensible al agua, y si tiene pocos finos compacta mal.
- ✓ El material que forma la capa de base debe tener buena resistencia al punzonamiento, por lo que para pavimentos de alta calidad se exige que tenga un valor soporte CBR mayor del 80 por ciento.

### **3.2.2.1 Tipos de bases**

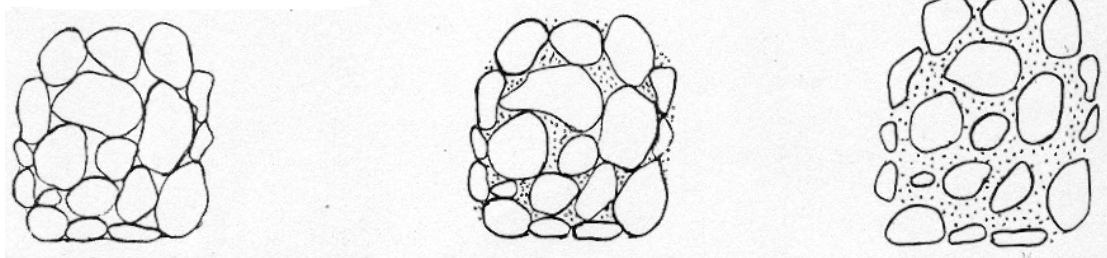
Existe una gran variedad de suelos que pueden utilizarse como base. Entre los más usuales en nuestro medio se tiene

#### **3.2.2.1.1 Bases de suelo y agregado**

Los materiales utilizados en este tipo de bases pueden encontrarse en estado natural o provenir de la mezcla de gravas con suelos. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión.

Todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos respecto al agregado, pudiendo definirse tres casos típicos

**Figura 6. Bases de suelo y agregados**



<p>Agregados sin finos.</p>	<p>Agregado con los finos necesario para tener la densidad máxima.</p>	<p>Agregado con gran proporción de finos.</p>
<p>Contacto de partícula a partícula.</p>	<p>Contacto de partícula a partícula con la resistencia a la deformación incrementada.</p>	<p>Sin contacto de partícula a partícula; el agregado flota en el suelo.</p>
<p>Densidad variable Permeable. Insensible a las heladas.</p>	<p>Densidad alta. Baja permeabilidad. Sensible a las heladas.</p>	<p>Densidad baja. Baja permeabilidad. Sensible a las heladas.</p>
<p>Alta estabilidad si está confinado, baja si no se confina.</p>	<p>Estabilidad alta confinado o sin confinar.</p>	<p>Baja estabilidad.</p>
<p>No es afectado por condiciones de humedad severas.</p>	<p>Es poco afectado por condiciones de humedad severas.</p>	<p>Grandemente afectado por condiciones de humedad severas.</p>
<p>Difícil de conformar y compactar.</p>	<p>Poca dificultad para conformarlo y compactarlo.</p>	<p>Fácil de conformar y compactar</p>

FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de Pavimentos. Pág. 30**



Puesto que resultaría antieconómico y muchas veces casi imposible obtener el material con una graduación ideal para obtener la máxima estabilidad, la AASHO ha fijado las graduaciones que pueden dar una buena estabilidad; éstas son indicadas en la especificación AASHO M-147 así

**Tabla XIV. Granulometrías para bases de suelo y agregados**

TAMIZ NÚM.	PORCENTAJE EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA					
	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D	TIPO E	TIPO F
2"	100	100				
1"		75 – 95	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 – 75	50 – 85	60 - 100		
No. 4	25 - 55	30 – 60	35 – 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
No. 10	15 - 40	20 – 45	25 – 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
No. 40	8 - 20	15 – 30	15 – 30	25 - 45	20 - 50	30 – 70
No. 200	2 – 8	5 – 20	5 – 25	10 - 25	6 - 20	8 – 25

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 28**

Además los materiales deben ser tales que

El agregado grueso debe tener un porcentaje de desgaste en el ensayo de Los Ángeles menor de 50.

El porcentaje que pase la malla núm. 200 no debe ser mayor que 2/3 partes del porcentaje que pasa la malla núm. 40.

El límite líquido no debe ser mayor de 25. El índice de plasticidad no debe ser mayor de 6.

### 3.2.2.1.2 Bases de arena-arcilla

Estas bases son mezclas que debidamente proporcionadas tienen considerable resistencia a la desintegración cuando han sido compactadas con la humedad óptima a su máxima densidad y se pueden utilizar para carreteras de segundo orden. Deben ser protegidas o imprimadas inmediatamente después de construídas, pues al perder humedad más allá de límites razonables, se desintegran rápidamente y pierden de manera sensible su valor soporte. Si son debidamente protegidas, dan resultados excelentes y su construcción es económica. Las graduaciones aceptables son:

**Tabla XV. Granulometrías para bases de arena-arcilla**

TAMIZ No.	PORCENTAJE EN PESO DE MATERIALES QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA		
	TIPO A	TIPO B	TIPO C
10	100	100	100
40	40 – 80	40 -80	40 - 80
80	35 – 48	35 - 48	20 - 40
Limo	7 – 20	8 - 15	9 - 18
Arcilla	3 – 20	9 - 20	12 - 22

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 30**

Además deben tener las siguientes características, las arenas deben ser duras, angulosas y preferiblemente silíceas.

Las arcillas deben ser de calidad uniforme y estar libres de terrones, materiales vegetales y sustancias deletéreas.

La fracción que pasa por el tamiz núm. 200 será menor del 50 por ciento de la fracción que pasa el tamiz núm. 40

El límite líquido no debe ser mayor de 25.

El índice de plasticidad debe ser igual o menor de 9,

#### **3.2.2.1.3 Bases estabilizadas con agentes aglutinantes**

En los últimos años se han estado usando en Guatemala bases estabilizadas con agentes aglutinantes en las carreteras de primer orden. La principal ventaja de estas bases es que permiten el uso de muchos agregados y suelos de baja calidad, a la vez que hacen posible una reducción en el espesor total del pavimento. Además, su construcción es fácil y presentan una compactación uniforme y rápida.

Los principales tipos son:

- ✓ Bases con estabilización bituminosa
- ✓ Bases estabilizadas con cal
- ✓ Bases de suelo-cemento

En este trabajo sólo se describirán detalladamente las bases de suelo-cemento por ser hasta ahora las más aplicables en nuestro medio.

### 3.2.2.1.4 Bases de suelo-cemento

Están formadas por mezclas de determinados suelos con cemento Pórtland. Cuando han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración. La adición de cemento a suelos altamente plásticos, los transforma en buenos materiales para bases y los vuelve muy poco sensibles al agua.

La graduación del suelo a usar debe ser

**Tabla XVI. Graduación del suelo para bases de suelo-cemento**

Tamiz núm.	PORCENTAJE EN PESO DE MATERIAL QUE PASA EN TAMICES DE MALLA CUADRADA
3"	100
No. 4	50 – 100
No. 40	15 – 100
No. 200	0 – 50

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 32**

Además, es recomendable que tengan:

- ✓ Limite líquido menor de 40.
- ✓ Índice de plasticidad menor de 9.
- ✓ No deben tener más del 2 por ciento de materia orgánica.

Para los pavimentos de adoquín resulta muy indicada la construcción de bases de suelo-cemento que aseguran un mínimo de deformación y gran resistencia al punzonamiento, además de ser poco sensibles a la humedad.

La proporción de cemento a utilizar dependerá del tipo de suelo, los valores aproximados son:

**Tabla XVII. Porcentaje de cemento para bases de suelo-cemento**

CLASIFICACION DEL SUELO SEGÚN AASHO	PORCENTAJE DE CEMENTO REQUERIDO	
	(POR VOL.)	(POR PESO)
A - 1 -a	5 - 7	3 - 5
A - 1 -b	7 - 9	5 - 8
A - 2	7 - 10	5 - 9
A - 3	8 - 12	5 - 10
A - 4	8 - 12	7 - 12
A - 5	8 - 12	8 - 14
A - 6	10 - 14	9 - 15
A - 7	10 - 14	9 - 15
SUELOS ORGÁNICOS	NO SON UTILIZABLES	

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 33**

Se puede prescindir de la construcción de las capas de base y subbase cuando el terreno de subrasante sea de muy alta calidad, siempre que el tráfico previsto sobre el pavimento sea liviano y de poca intensidad, lo que no ocurre en nuestro medio por la generalidad de suelos arcillosos. Esto da la posibilidad de construir un pavimento sumamente económico, en el cual será muy fácil efectuar cualquier reparación debida a fallas de la subrasante únicamente removiendo los adoquines del área afectada y colocándolos posteriormente en su mismo lugar.

Además, puede construirse en esta forma un adoquinado temporal, que podrá ser removido sin pérdida de los materiales de la capa de rodadura, cuando el volumen de tráfico exija la construcción de una cimentación de mayor resistencia, utilizándose luego el mismo adoquinado.

### **3.3 Lecho o cama de asiento**

Es una capa de arena gruesa que se coloca sobre la capa de base, inmediatamente antes de colocar el adoquinado.

Las funciones de esta capa son

- ✓ Proporcionar un acomodamiento para los adoquines sobre la capa de base, cubriendo perfectamente las pequeñas irregularidades que ésta pudiera tener
- ✓ Ofrecer una sustentación y un apoyo uniformes en toda la superficie de cada adoquín.
- ✓ Servir también para drenar el agua que pudiera infiltrarse en las juntas de los adoquines. evitando así que penetre en la base dañándola.
- ✓ El espesor de la capa de arena una vez compactada, debe ser de 2 a 3 cm.

Para la construcción de este lecho deberán usarse arenas naturales, de río o de mina, con las siguientes características:

- ✓ Tamaño máximo de grano de 5 mm.

- ✓ No debe contener materia orgánica.
- ✓ PuedeN usarse arenas bien graduadas, pero sin finos arcillosos (material que pasa la malla NÚM. 200).

### **3.4 Capa de rodadura de adoquines de concreto**

El propósito de construir una capa de rodadura o carpeta sobre la estructura del pavimento es proveer una superficie que cumpla las siguientes funciones

- a. Ofrecer una superficie de rodadura lisa y uniforme.
- b. Resistir con un desgaste mínimo los esfuerzos producidos por las llantas de los vehículos.
- c. Proteger a las capas inferiores de los efectos del sol, las lluvias y el frío.

La capa de rodadura construida con adoquines de concreto cumple satisfactoriamente con estos requisitos. Además, reúne las características positivas de los pavimentos de concreto con las ventajas de los pavimentos flexibles agregando las ventajas derivadas de la prefabricación, facilidad de colocación y remoción, etc. Consta de los siguientes elementos:

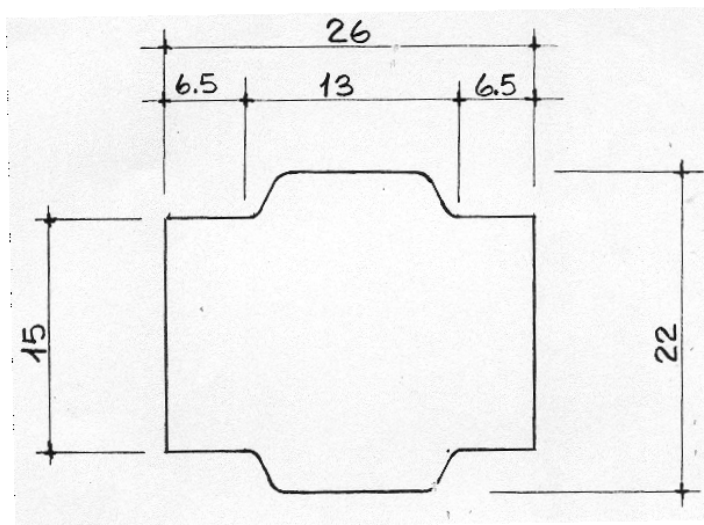
- Bloques prefabricados
- Elementos de confinamiento
- Relleno de juntas
- Pendientes

### 3.4.1 Bloques prefabricados

Los adoquines que se utilizan actualmente son bloques de concreto que se fabrican por medio de moldes; se puede hacer llenando los moldes manualmente, con pequeñas máquinas vibroprensadoras semimanuales o fabricados con grandes máquinas automáticas que producen adoquines vibroprensados de gran calidad y con gran rendimiento.

La forma ideal del adoquín no está científicamente definida. Inicialmente se fabricaron en forma similar a los antiguos adoquines de piedra con forma rectangular de unos 15 x 10 cm. o cuadrados, de 10 x 10 cm. en la cara superficial. Posteriormente, se ha desarrollado una gran variedad de formas geométricas que casan entre sí. La forma que más se ha utilizado en Centro América y México es la llamada huella-cruz, que resulta de fácil fabricación y manipulación y tiene una figura estéticamente muy agradable. (Ver figura 7)

**Figura 7. Adoquín tipo huella-cruz**



FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 35**



### **3.4.2 Elementos de confinamiento**

En cualquier adoquinado es indispensable confinar la arena del lecho y restringir la tendencia de los bloques a desplazarse lateralmente, lo cual se puede lograr por varios medios

- ✓ Bordillo fundido en el lugar
- ✓ Bordillo prefabricado
- ✓ Adoquines laterales especiales

Para acoplar las juntas sinuosas o quebradas del adoquinado a la cara lateral recta del bordillo se usan “medios adoquines” o “adoquines laterales” fabricados para el efecto; si no se cuenta con ellos, se llena el espacio con concreto de mezcla igual a la del adoquín.

#### **3.4.2.1 Llaves de confinamiento**

Es un elemento estructural igual a un bordillo interrumpido en su construcción a nivel de pista, que sirve para limitar áreas adoquinadas y evitar con ello el deslizamiento de los adoquines y el deterioro, por arrastre, de otras estructuras de rodadura. El fin primordial de ésta es evitar el desplazamiento longitudinal de los adoquines, y, además, sirve para limitar las áreas adoquinadas.

#### **3.4.2.2 Bordillo**

Elemento estructural longitudinal, generalmente de concreto, que sobresale de la pista y sirve para dar alineamiento a las calles y banquetas.

Pueden funcionar como cauce de las aguas superficiales y brinda confinamiento y consolidación o les estructuras de rodadura.

Es un elemento indispensable en el pavimento con adoquín, y sirve para dar alineamiento a las calles y banquetas y evitar que los adoquines se desplacen lateralmente, reteniéndolos para que no se abran o desacomoden.

### **2.4.3 Relleno de juntas**

Las juntas que quedan entre adoquines deben ser perfectamente llenadas con un material que impida el menor movimiento de los bloques entre si en el sentido lateral. Sin embargo, no debe ser un mortero ya que éste le quita su flexibilidad al pavimento y dificulta la remoción de parte del adoquinado cuando se hace necesario.

Las juntas deben tener una separación de 6 a 10 milímetros, llenándolas con una arena fina de río o de mina con las siguientes características:

- ✓ Tamaño máximo de grano de 3 a 5 mm.
- ✓ No debe contener materia orgánica.

Para ayudar a sellar las juntas contra la infiltración de agua superficial es conveniente usar una mezcla de arena fina con arcilla en proporciones entre 5:1 a 10:1 en volumen.

En este caso deben mezclarse perfectamente los materiales en seco, humedeciéndolos antes de colocarlos. Con esta mezcla se logra un relleno de juntas que aunque es flexible es menos erosionable que la arena sola y una vez seca, se vuelve impermeable al agua que escurre sobre el pavimento.

### 3.4.4 Pendiente o bombeo lateral

Sirve para desaguar rápida y eficazmente las aguas pluviales que inciden sobre el pavimento, más cuando son de adoquín, ya que la superficie de los adoquinados no es lo suficientemente impermeable, por filtraciones en las juntas.

Los pavimentos se diseñan y construyen con pendientes longitudinales y transversales. La pendiente transversal resbala el agua con un espesor de lámina uniforme y produce una mejor distribución de esfuerzos.

En cuanto a la pendiente longitudinal el perfil debe ser en lo posible una línea de pendiente adecuada y fácil; esto último se logra evitando pendientes menores al 2 por ciento, para que las aguas escurran con facilidad hacia los tragantes o desagües.

La pendiente transversal depende de la pendiente longitudinal, de esta forma; a mayor pendiente longitudinal menor pendiente transversal así

**Tabla XVIII. Pendientes del adoquinamiento**

PENDIENTE LONGITUDINAL	PENDIENTE TRANSVERSAL
2% - 4%	3%
> 4%	2%

FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 35**

El diseño estructural en el pavimento con adoquines, lleva a determinar el espesor de las distintas capas que lo conforman, basado en el tipo de tránsito y las cargas de los vehículos.



## 4- MÉTODOS DE DISEÑO

Actualmente no se cuenta con ningún método racional específico para el diseño de espesores de pavimentos de adoquín, siendo común el uso de espesores adaptados de diseños de otros tipos de pavimentos.

La obtención de fórmulas racionales que ligen el comportamiento del adoquín con la calidad de la subrasante es dificultosa por el mecanismo estructural un tanto complicado de éste, pero llegando a la conclusión de que se trata de un pavimento de tipo flexible, puede adaptarse a su diseño un método similar a los utilizados en el diseño de pavimentos asfálticos.

Haciendo esta consideración el Instituto del Cemento Pórtland Argentino ha adaptado el método de diseño de pavimentos flexibles del CBR para pavimentos con bloques articulados tipo *Blokret* (ya mencionado anteriormente).

Como uno de los objetivos del presente trabajo es encontrar un método adecuado a nuestro medio para el diseño de pavimentos de adoquín, se ha efectuado un estudio de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles, habiendo encontrado que el método de Mills es el que mejor se adapta a las condiciones prevalecientes en Guatemala.

#### **4.1 Adaptación del método de Mills al diseño de espesores para pavimentos de adoquín.**

El método de Mills se empezó a usar en Guatemala en 1956 por la Dirección General de Caminos y desde entonces se ha utilizado en la mayor parte de proyectos de pavimentos flexibles que han sido construidos en la república.

Este método toma como factor principal el CBR auxiliado por el índice de grupo, un factor adicional que toma en cuenta el drenaje de la superficie y considera además la intensidad y peso del tráfico.

Tiene también la ventaja de haber sido creado por Mills como consultor en un proyecto de diseño y construcción de carreteras en el Brasil, bajo condiciones climáticas semejantes a las de Guatemala.

##### **4.1.1 Tránsito**

La estimación del tránsito que usará el pavimento debe considerar los conteos actuales y las actividades del área a que servirá la pista a construir, así como posibles usos futuros; sin embargo, Mills estima más importante el peso máximo de los vehículos que su número; un solo vehículo excesivamente pesado puede causar más daño a un pavimento que mil vehículos ligeros. Sin embargo, el número de aplicaciones de carga tiene un efecto y por ello la clasificación del tráfico considera tanto el número como el peso de los vehículos. Ver tabla XIX.

**Tabla XIX. Carga de diseño**

TIPO DE TRÁFICO	TRÁFICO TOTAL DURANTE 24 HORAS			CARGA DE DISEÑO (lb./rueda)
	TOTAL DE VEHÍCULOS	CAMIONES Y AUTOBUSES	CAMIONES PESADOS *	
PESADO	3,000 MÍNIMO	700 MÍNIMO	150 MÍNIMO	14,000
MEDIANO	1,000 - 3,000	250 - 700	50 - 150	12,000
LIVIANO	1,000 MÁXIMO	250 MÁXIMO	50 MÁXIMO	10,000
(*) 18,000 a 24,000 libras por eje				

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 40**

#### **4.1.2 Capa de rodadura o superficie**

La capa de rodadura está constituida por los adoquines en sí. El espesor de adoquín a usar se elegirá atendiendo al tránsito para el cual se proyecte la pista. Los espesores recomendados están en la tabla XX.

**Tabla XX. Espesores mínimos recomendados para capas de rodadura de adoquín**

CLASIFICACIÓN DEL TRÁFICO	ESPESOR DEL ADOQUÍN	RECOMENDABLE APLICARLO PARA
PESADO	12 cm.	Aeropuertos Autopistas de tráfico intenso Patios para maquinaria pesada Calles de tráfico de autobuses y camiones Patios industriales y para vehículos pesados Patios para vehículos militares o sobre orugas
MEDIANO	10 cm.	Acceso a residencias Garajes particulares Calles en pequeñas poblaciones Parqueos para vehículos livianos Autopistas con tráfico moderado Estacionamientos de servicio y gasolineras Calles secundarias de colonias y notificaciones Caminos vecinales con tráfico pesado pero escaso Calles con tráfico de vehículos usuales y vehículos de carga livianos Parqueos y áreas de circulación de vehículos en centros comerciales
OTROS	5 cm.	Aceras para peatones Calles para bicicletas o motocicletas Veredas en parques, zoológicos, etcétera.
NOTA: En Guatemala por facilidad de fabricación solo se produce adoquín de 10 cm.		

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 42**

#### Lecho o cama de asiento

El lecho de arena sobre el cual se colocan los adoquines no es objeto de diseño, ya que no tiene una función estructural; su espesor se fija de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3 inciso 3. (3.3 Pág.66)



### 4.1.3 Capa de base

Generalmente la capa de base, al igual que la capa de superficie, se conserva con un espesor uniforme a lo largo de todo el proyecto, variando solamente el espesor de la subbase de acuerdo con la calidad del suelo de subrasante. La tabla XXI da los espesores de base en función del tráfico previsto y establece ciertos valores límites en las propiedades de los materiales a usar. Podrá reducirse el espesor de la base en un 25 por ciento cuando el material de la subrasante tiene un valor de soporte CBR mayor de 40 y un índice de grupo de 0.

**Tabla XXI. Requisitos para la capa de base**

CLASIFICACIÓN DE TRÁFICO	GRANULOMETRÍA PARA MATERIALES AASHO M - 147 *	ESPESOR MÍNIMO (cm)	CBR DE 55 GOLPES MÍNIMO (%) AASHO T - 193	LÍMITE LÍQUIDO MÁXIMO	ÍNDICE DE PLASTICIDAD MÁXIMO
PESADO	col. A o B	20	90	25	6
MEDIANO	col. A,B,C o D	18	75	25	7
LIVIANO	col. A,B,C,D,E o F	15	60	27	8

(\*) Ver tabla XIV en el capítulo 3 (Pág.61)

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 45**

### 4.1.4 Capa de la subbase

El espesor de la subbase es determinado tomando en cuenta el espesor indicado por el método del CBR así como el indicado por el método del índice de grupo, ya que la experiencia ha demostrado que un método señala propiedades malas de un suelo que no indica el otro.

La fórmula empleada es la siguiente

$$T_{sb} = \left\{ \left[ \frac{2T_c + T_g}{3} \right] - (S + B + L) \right\} \times F_d$$

Donde:

$T_{sb}$  = Espesor de subbase

$T_c$  = Espesor total del pavimento indicado por el método del CBR (ver figura la 8), espesor que depende del CBR de la subrasante,

$T_g$  = Espesor total de pavimento indicado por el método del índice de grupo (Ver la figura 9), espesor que depende del índice de grupo de la subrasante.

$S$  = Espesor de capa de superficie (determinado según la tabla XX)

$B$  = Espesor de capa de base (determinado según la tabla XXI).

$L$  = Espesor de capa de asiento o lecho.

$F_d$  = Factor de incremento de espesor por mal drenaje (determinado según la tabla XXIII pág. 83).

Debe cumplirse además que:

$$\frac{2T_c + T_g}{3} \geq T_c$$

En caso de ser menor se utilizará el valor de  $T_c$ .

La fórmula de Mills obtiene un promedio de los espesores según los dos métodos, por medio de la expresión  $(2 T_c + T_g) / 3$ , pero le da más peso al  $T_c$  debido a que éste es obtenido con la muestra compactada en forma óptima, y sujeta a las peores condiciones de humedad que se podrán dar en la realidad.

**Figura 8. Espesor del pavimento según el CBR**

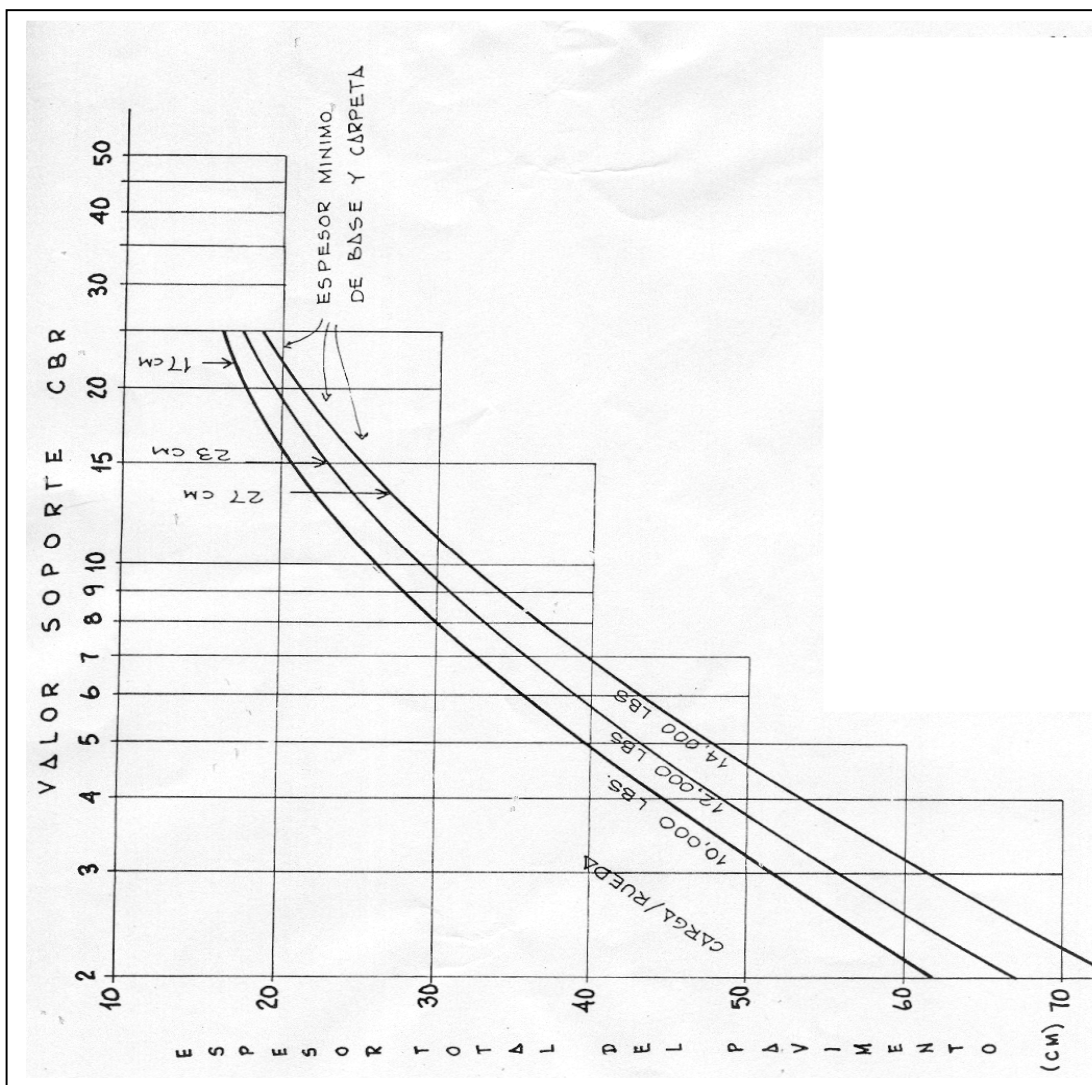
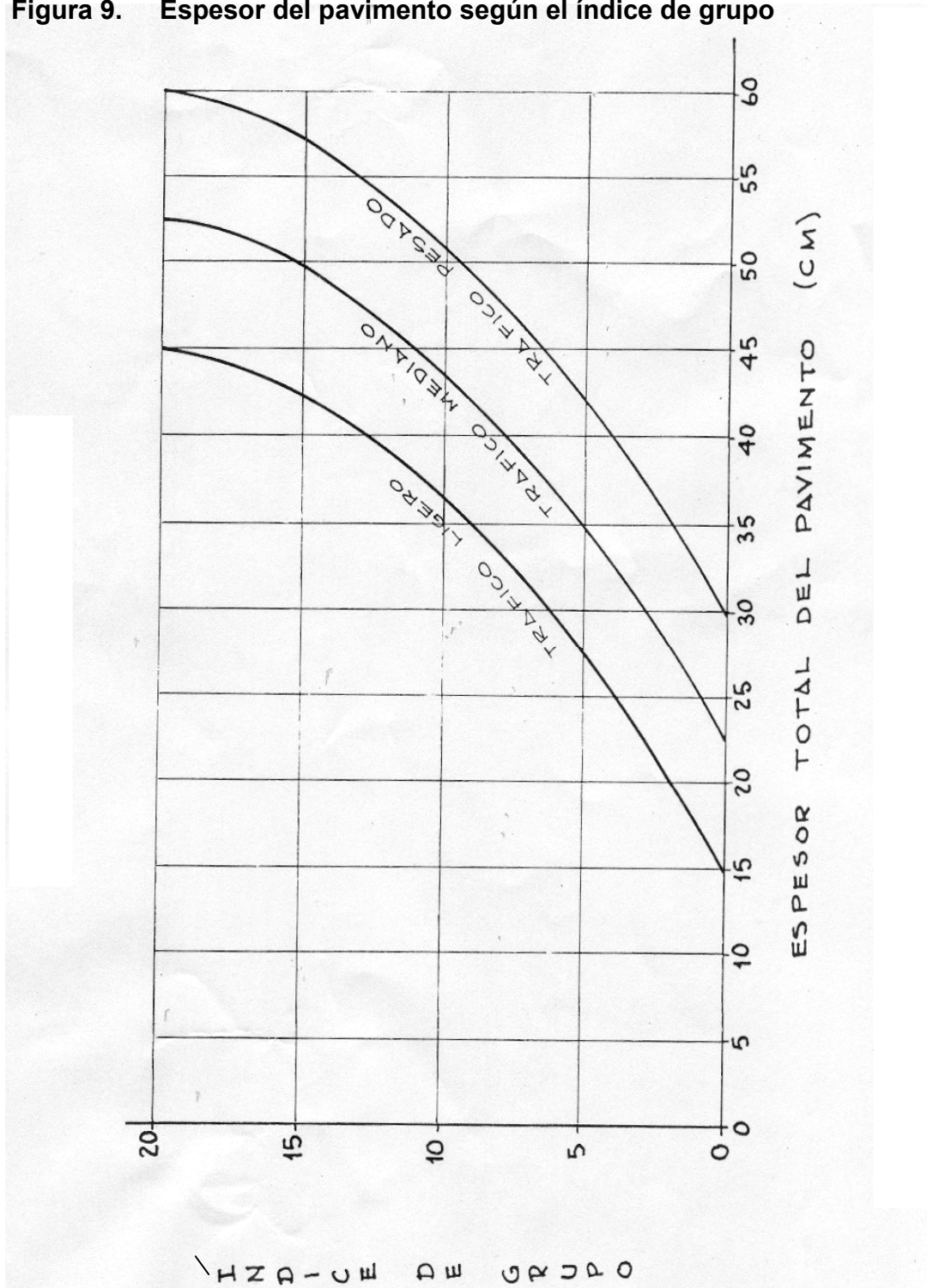


Figura 9. Espesor del pavimento según el índice de grupo



FUENTE: Rodolfo Girón. Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 49

En algunos ensayos de la subrasante se obtienen valores de CBR menores que dos por ciento. En este caso se deberán hacer nuevas determinaciones del CBR, para confirmarlo, ya que este valor corresponde a suelos muy malos. Si se obtiene nuevamente un valor tan bajo, deberán tomarse precauciones especiales para el diseño y construcción como

- o Construir un drenaje adecuado.
- o Darle al tramo pendientes suficientes.
- o Recubrir a manera de aislamiento el suelo malo con material de buena graduación y que contenga alguna arcilla, en espesores de acuerdo a la siguiente tabla

**Tabla XXII. Recubrimiento para suelos con CBR bajo**

CBR DE LA SUBRASANTE	ESPESOR MÍNIMO DE MATERIAL DE RECUBRIMIENTO
1.5	24" (61 cm.)
1.0	30" (76 cm.)
0.5	38" (97 cm.)

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 50**

#### **4.1.5 Espesor adicional por mal drenaje**

El margen de espesor adicional para mal drenaje fue ideado para obtener un diseño balanceado a lo largo de todo el proyecto. Tiene el propósito de dar pavimentos de capacidad de carga uniforme empleando espesores extra de subbase donde el drenaje natural es malo.

Cuando la pendiente longitudinal de la pista es fuerte, el agua fluye rápidamente, pero al disminuir la pendiente aumenta el peligro de estancamiento de agua. El problema se agudiza en pendientes planas especialmente en secciones de corte en trinchera donde es mayor la posibilidad de sobresaturación de la subrasante.

El espesor adicional de la subbase aumenta la profundidad de distribución de cargas en estas áreas críticas y disminuye la intensidad de las presiones transmitidas a la subrasante.

El factor no se aplica cuando la subrasante está compuesta de material de alta estabilidad y buenas propiedades de permeabilidad, o sea cuando el suelo de la subrasante tiene un CBR igual o mayor que 20 y un índice de grupo igual o menor que 3. En la tabla XXIII se da el factor para espesor adicional por mal drenaje.

**Tabla XXIII. Factor de incremento por mal drenaje**

<b>SECCIÓN TRANSVERSAL</b>	<b>PENDIENTE LONGITUDINAL (%)</b>	<b>ESPESOR MÍNIMO (cm.)</b>	<b>FACTOR DE INCREMENTO</b>
CORTE	0	20	1.25
RELLENO	0	15	1.20
CORTE	1	10	1.15
RELLENO	1	5	1.10
CORTE	2	0	1.05
RELLENO	2	0	1.00

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 40**

Para pendientes longitudinales intermedias se debe interpolar. Para pendientes mayores del 2 por ciento no se requiere ningún incremento.

#### **4.1.6 Sustitución de materiales**

El objeto de construir los pavimentos en varias capas de materiales de distintas calidades es lograr una estructura que resista las cargas previstas, pero que a su vez tenga el menor costo posible. Haciendo esta consideración, el método de diseño fija los espesores mínimos de las diferentes capas, pero pueden tenerse casos en que los bancos para material de la subbase se encuentren muy distantes y se hace necesario un acarreo muy largo que sube enormemente su costo. En cambio hay un buen material para base disponible a una corta distancia. Puede suceder también que se tengan bancos cercanos para ambos materiales, y que el costo de excavación y transporte del material para base sea menor o igual que el de subbase. En estas circunstancias es obvio que resulta conveniente sustituir la capa de subbase por material de base; puesto que este es un material de mejor calidad será necesario un espesor menor al obtenido en el cálculo

Para hacer la reducción de los espesores, el Instituto de Asfalto recomienda una relación de 1.35 a 1, es decir que el espesor de subbase se puede reducir en un 35 por ciento al usar material de base granular.

#### **4.1.7 Otras consideraciones**

El método de Mills ofrece un procedimiento sencillo para que los ingenieros de campo puedan aplicar los resultados de las pruebas hechas en laboratorios de campo a sus diseños, pero se deberán efectuar las pruebas y el análisis de resultados con mucho cuidado para evitar resultados erróneos.

En todos los pavimentos, pero especialmente en los de adoquín, es primordial la construcción de buenos drenajes, ya que cualquier acumulación de humedad que penetre a la estructura originará fallas en ella.

Las pendientes longitudinales y transversales deberán ajustarse a las mínimas especificadas, para facilitar un escurrimiento rápido del agua.

El llenado de las juntas es el aspecto más importante en la colocación del adoquín y debe hacerse con los materiales y métodos indicados en las especificaciones para evitar que el agua penetre en ellas o que las deslave. Debe ponerse especial atención a las juntas en los bordillos, cunetas y en el acoplamiento de éstas a los tragantes.

## **4.2 Ejemplos de diseño de espesores empleando el método de Mills**

### **4.2.1 Ejemplo número. 1**

En el año 1974 se efectuó la ampliación del silo central del Instituto de Comercialización Agrícola (INDECA), incluyendo la pavimentación de las calles internas y áreas de maniobra para la carga y descarga de granos.

Para efectuar el diseño del pavimento se consultó al ingeniero Roberto Lou del Centro de Investigaciones de Ingeniería, quien efectuó el diseño como se resume a continuación



#### **4.2.1.1 Características del terreno**

El área por pavimentar se encuentra en lo que antiguamente fuera una explotación de arena para construcción, hay condiciones de inestabilidad potencial en el terreno debidas a la existencia de una intrincada red de zanjas y galerías subterráneas que alcanzan profundidades en algunos casos de más de tres metros, y que se encuentran rellenas con suelos misceláneos en estado suelto. La estabilización de las áreas afectadas implicaría un movimiento de tierras considerable, por lo cual se recomienda el empleo de un pavimento flexible a base de adoquines de concreto, el cual será capaz de amoldarse a pequeños asentamientos en la subbase sin deterioro de la capa de recubrimiento y será fácil de reparar en caso de asentamientos excesivos.

#### **4.2.1.2 Determinación del valor soporte de la subrasante**

Las características del suelo de subrasante fueron determinadas por examen directo en el campo y por análisis de laboratorio. Las pruebas realizadas fueron

Identificación con base en examen visual y manual

Límites de Atterberg, según AASHO T—89 y T—90.

Compactación, según AASHO T—180.

Valor Soporte de California (CBR) según AASHO T—193.

Los resultados de las pruebas de acuerdo al informe 352 - S del Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería fueron

MUES / MATERIAL	LL	IP	Densidad máxima	Humedad óptima	CBR 0.1"	CBR 0.2"	AASHO IG m-145
1 Arcilla café	60	27	92	29	5	4	A-7-5 19
2 Arcilla café	55	28	101	21	3	3	A-7-6 19
3 Arcilla café	61	30	92	26	4	3	A-7-5 20

Estos resultados indican que la subrasante está constituida por suelos arcillosos de alta plasticidad, cuyas propiedades críticas son:

Valor soporte CBR	3
Índice de grupo	20

#### 4.2.1.3 Diseño de espesores

##### Análisis del tráfico

El tráfico en el área a pavimentar será de camiones pesados (con un mínimo de 18,000 lb./eje).

La intensidad del tráfico será de más de 150 camiones por día.

De la tabla XIX se obtiene

Tráfico pesado	Carga de diseño 14,000 lb./rueda
----------------	----------------------------------

##### Capa de rodadura

El espesor de adoquín a usar como capa de rodadura será según la tabla XX, tráfico pesado espesor = 12 cm.

Capa de asiento

Espesor aproximado 3 cm.

Material arena de río sin excesiva cantidad de finos.

Capa de base

De la Tabla XXI se obtiene

Espesor: 20 cm.

Material suelo granular, preferentemente con grava, bien graduado y que compacte fácilmente.

Valor soporte CBR mínimo: 90 por ciento

Límite líquido máximo 25

Índice de plasticidad máximo 6

Capa de subbase

Espesor: aplicando la fórmula:

$$T_{sb} = \left\{ \left[ \frac{(2T_c + T_g)}{3} \right] - (S + B + L) \right\} \times Fd$$

Donde se tiene

$$T_c = 62 \text{ cm. (de la figura 8)}$$

Tg = 60 cm. (de la figura 9)

S = 12 cm.

B = 20cm

Fd = 1.00 (de tabla XXIII) porque la pendiente de la sección es mayor del 20 por ciento.

$$Tsb = \left\{ \left[ \frac{2(62) + 60}{3} \right] - (12 + 20 + 31) \right\} \times 1.00$$

Pero debe cumplirse:  $\frac{2Tc + Tg}{3} \geq Tc$

$$\frac{2(62) + 60}{3} = 61.33 < 62 \quad \text{Entonces adoptar 62}$$

$$Tsb = 62 - 35$$

$$Tsb = 27 \text{ cm.}$$

Material Debe ser un suelo granular bien graduado que compacte fácilmente.

Valor soporte CBR mínimo 30

Límite líquido máximo 40

Índice de plasticidad máximo 9

El diseño del pavimento quedará así

Capa de subbase 27 cm.

Capa de base 20 cm.

Capa de asiento 3 cm.

Adoquinado 12 cm.

Espesor total 62 cm.

Posteriormente se estableció que el material de base se encontraba disponible al mismo costo que el de subbase, por lo cual resultaba más conveniente utilizar sólo material de base haciendo la reducción necesaria.

Se tiene entonces

$$\text{Espesor sustituido} = \frac{Tsb}{1.35} = \frac{27}{1.35}$$

$$\text{Espesor sustituido} = 20\text{cm}$$

El diseño definitivo será entonces:

$$\text{Capa de base} = 40 \text{ cm. (aplicada en 2 capas)}$$

$$\text{Capa de asiento} = 3 \text{ cm.}$$

$$\text{Adoquinado} = \underline{12 \text{ cm.}}$$

$$\text{Espesor total} = 55\text{cm.}$$

#### **4.2.2 Ejemplo número 2**

En nuestro medio se presentan con frecuencia casos como el que se describe a continuación.

##### **4.2.2.1 Características del terreno**

El área por pavimentar es una calle donde ya han sido colocadas las tuberías de agua potable y de drenajes, y se han construido los tragantes y bordillos, pero se estima que será necesario hacer la canalización telefónica después de unos cinco años. Esta circunstancia hace recomendable el uso de un pavimento de adoquines de concreto, en el que se podrá efectuar el zanjeado cuando sea necesario, quedando después la superficie del pavimento sin ninguna alteración.

#### 4.2.2.2 Determinación del valor soporte de la subrasante

Los resultados de los ensayos de suelos efectuados en el terreno son

##### CLASIFICACIÓN

MUESTRA	MATERIAL	LL	IP	CBR0.1"	CBR0.2"	AASHO	IG
1	Limo arenoso	18	9	18	16	A-2-4	3
2	Limo arenoso	17	8	16	17	A-2-4	3
3	Limo arcillosa	35	25	17	15	A-2-6	4
4	Limo arcillosa	35	23	16	15	A-2-6	4

Los resultados indican que la subrasante está constituida por arena con pocos finos arcillosos, siendo las propiedades críticas para el diseño:

Valor soporte CBR                    18

Índice de grupo                        3

#### 4.2.2.3 Diseño de espesores

Análisis del tráfico:

Por la ubicación de la calle a pavimentar se puede prever un tráfico no mayor de 800 vehículos al día con un máximo de 50 camiones pesados; de la tabla XIX, se tiene

Tipo de tráfico                    -            liviano

Carga de diseño                   -            10,000 lb./rueda

De la tabla XX, el espesor recomendable es

Tráfico liviano = 8 cm.

Capa de asiento

Espesor aproximado = 3cm.

Material = arena de río sin exceso de finos.

Capa de base: espesor mínimo = 15 cm.

Material      suelo granular bien graduado  
Valor soporte CBR mínimo = 60  
Límite de líquido máximo = 27  
Índice de plasticidad máximo = 8

Capa de subbase

Espesor      aplicando la fórmula se tiene

$$T_{sb} = \left\{ \left[ \frac{(2T_c + T_g)}{3} \right] - (S + B + L) \right\} \times F_d$$

Donde se obtiene

T<sub>c</sub>      =      24 cm. (de la figura 8) espesor mínimo  
T<sub>g</sub>      =      20 cm. (de la figura 9)  
S        =      8 cm.  
B        =      15 cm  
F<sub>d</sub>      =      1.00 (de tabla XXIII) porque la pendiente de la sección

es mayor del 20 por ciento.

$$T_{sb} = \left\{ \left[ \frac{2(24) + 20}{3} \right] - (8 + 15 + 3) \right\} \times 1.00$$

Pero debe cumplirse:  $\frac{2T_c + T_g}{3} \geq T_c$

$$\frac{2(24) + 20}{3} = 22.67 > 20 \quad \text{Entonces adoptar } 23$$

$$T_{sb} = 23 - 26 = -3$$

$$T_{sb} = 0 \text{ cm.}$$

Material: Debe ser un suelo granular bien graduado que compacte fácilmente.

Valor soporte CBR mínimo 30

Límite líquido máximo 40

Índice de plasticidad máximo 9

O sea que no es necesario capa de sub-base, quedando el pavimento así

Capa de base	15 cm.
Capa de asiento	3 cm.
Adoquinado	8 cm.
Espesor total	<u>26 cm.</u>

Bajo la acción de estas cargas, el efecto de losa desaparece y el material bituminoso pasa a ser considerado como material homogéneo. Por ese motivo, para los pavimentos flexibles se pueden aplicar las teorías clásicas de distribución de presiones en los suelos.

De ellas se deduce que el valor de las presiones en un punto dado dentro de un terreno homogéneo depende del espesor de la calzada encima de dicho punto y no de la calidad de las capas que componen el pavimento.



Los pavimentos de adoquines no pueden considerarse rígidos pues si bien se producen momentos de flexión locales en la extensión de cada adoquín, éstos se anulan en junta con el adoquín vecino. Sin embargo, los adoquines no actúan independientemente. Existe una transmisión de esfuerzos a los adoquines vecinos por esfuerzo de corte. Éste existirá en la medida que no supere en magnitud al esfuerzo de fricción generado entre las paredes de los adoquines por la arena fuertemente comprimida entre ellas. El profesor J. Knaption analizó este fenómeno y llegó a conclusiones que se detallarán más adelante, y que servirán de base para determinar la distribución de presiones a través de este elemento, y por ende diseñar las diversas capas que conforman un pavimento de adoquines.

#### **4.3 Otros métodos de diseño**

El único método de diseño de espesores para pavimentos de adoquín que he encontrado en la bibliografía disponible es el que propone el Instituto del Cemento Pórtland Argentino, en la publicación “Pavimento con Bloques articulados de hormigón, método aproximado de diseño(\*)” El autor expone el dimensionamiento del pavimento empleando un método de diseño para pavimentos flexibles y además expone la conveniencia de utilizar bases de suelo-cemento; a continuación se resume lo expuesto en la publicación.

Prueba de carga:

Se estudió la eficiencia del pavimento de adoquín articulado tipo Blokret, construidos anteriormente, determinando las deformaciones en subbases constituidas por suelo natural y por suelo-cemento.

(\*)Publicación del Instituto del Cemento Pórtland Argentino, por el Ing. Juan F. García Balado, Director Técnico del mismo, del año 1964.

Espesores de los pavimentos ensayados

#### **4.3.1 Pavimento con subbase**

Capa de subbase de suelo-cemento de 10 cm. de espesor.

Capa de arena silíceea común de 4 cm. de espesor (lecho).

Capa de rodadura de adoquines Blokret de 10 cm. de espesor.

El suelo de la subrasante es un material arcilloso tipo A6 que una vez compactado alcanzó densidades en dos muestras de 96.45 y 97.70 libras/pie<sup>3</sup>. Para una densidad del 95 por ciento del Proctor estándar se obtuvo un valor soporte CBR del 5 por ciento.

El suelo-cemento se obtuvo mezclando el suelo de la subrasante con arena (70 por ciento y 30 por ciento en peso respectivamente) y agregándole posteriormente un 10 por ciento de cemento en volumen. Las densidades en dos muestras del suelo-cemento compactado fueron 101.13 y 101.45 libras/pie<sup>3</sup>. Para efectuar el ensayo se aplicó la carga sobre una placa metálica rígida circular de 30 cm. de diámetro, apoyada sobre uno de los bloques hexagonales tipo *Blokret*; por las dimensiones del bloque, la circunferencia de la placa resultaba tangente a los lados de aquel.

Se midieron las deformaciones (hundimientos) en el bloque cargado y en todos los adyacentes por medio de plesímetros.

La figura 10 muestra la carga-deformación para el bloque cargado, para los tres bloques adyacentes a los que se transfiere directamente la carga y para los otros tres bloques a los que la carga llega indirectamente por intermedio de los tres anteriores.

### **4.3.2 Pavimento sin subbase**

Capa de arena (lecho) de 4 cm. de espesor sobre la sub-rasante.

Capa de rodadura de adoquines Blokret de 10 cm. de espesor.

Las características de la subrasante son las mismas que en el caso anterior, es decir que se trata del mismo pavimento al cual se le ha suprimido la capa de suelo-cemento.

Las cargas y deformaciones medidas en forma similar dieron los resultados representados en la figura 11.

En la figura 12 se han dibujado las curvas de carga y deformación correspondientes al bloque directamente cargado para los dos casos.

Las conclusiones obtenidas de las tres figuras son

Puede observarse que, medido por las deformaciones, se produce una transferencia de cargas del bloque cargado hacia los adyacentes. Se evidencia que la relación de deformación entre los bloques laterales y el central para una misma carga es mayor en el caso de la subbase de suelo-cemento derivado del hecho de que es mayor la zona de distribución de la carga.

Es indudable el papel que desempeña, a los efectos de la distribución de las cargas, la sub-base de suelo-cemento, interpuesta entre la subrasante y los bloques. La capacidad de carga del pavimento mejora considerablemente, lo cual se manifiesta claramente en el gráfico comparativo carga-deformación.

Cálculo de los espesores.

Para establecer un criterio de cálculo de espesores, según el método Argentino, se han establecido las siguientes suposiciones:

- a. La relación de espesores de bases construidas con material estabilizado con otro tipo de suelo o de bases granulares con espesores de bases de suelo-cemento se deduce del método de Hveen, según la fórmula siguiente:

$$\frac{\text{Espesor.granular}}{\text{Espesor.suelo - cemento}} = \sqrt[5]{\frac{C}{100}} = K_1$$

Donde C es el valor de la cohesión del suelo-cemento, determinado mediante el cohesiómetro. El factor C puede tener valores comprendidos entre 750 y 1500 según la calidad del suelo-cemento, consecuentemente,  $K_1$  variará entre 1.5 y 1.72. En el caso de este ejemplo el valor de  $K_1$  fue de 1.5.

- b. De una manera similar se ha establecido que existe una relación  $K_2$  entre los espesores del suelo granular y de la capa de bloques. Este valor se determina usando los resultados de los ensayos realizados, obteniendo que el valor de  $K_2$  es 2.5. Este resultado significa que la capa de bloques de 10 cm. de espesor equivale en capacidad de carga a un espesor de 25 cm. de estabilizado granular. Este valor de  $K_2$  es susceptible de ser modificado por nuevos ensayos o para otros tipos de bloques.
- c. Se ha considerado que un método ampliamente utilizado, relativamente sencillo y del cual se posee amplia experiencia es el de California (CBR). La ecuación que representa las curvas de este método es el siguiente

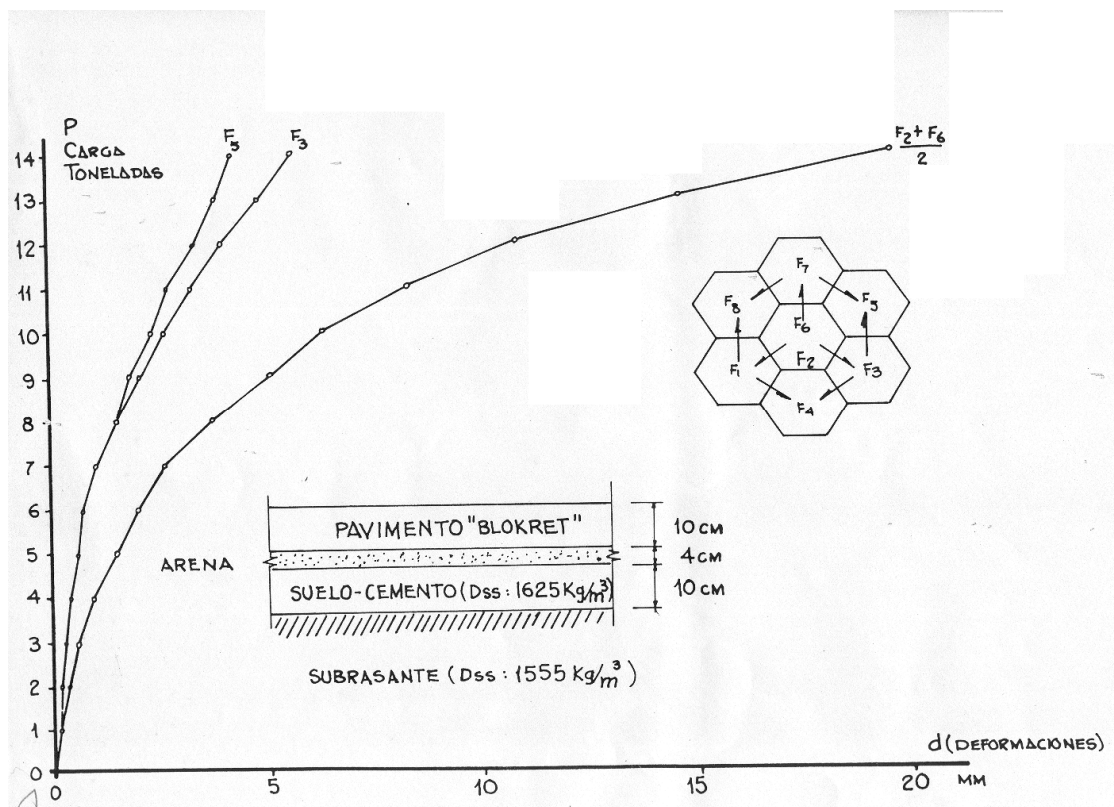
$$e = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I + 5}$$

En la cual:

- P = carga por rueda en toneladas métricas  
 I = valor soporte CBR

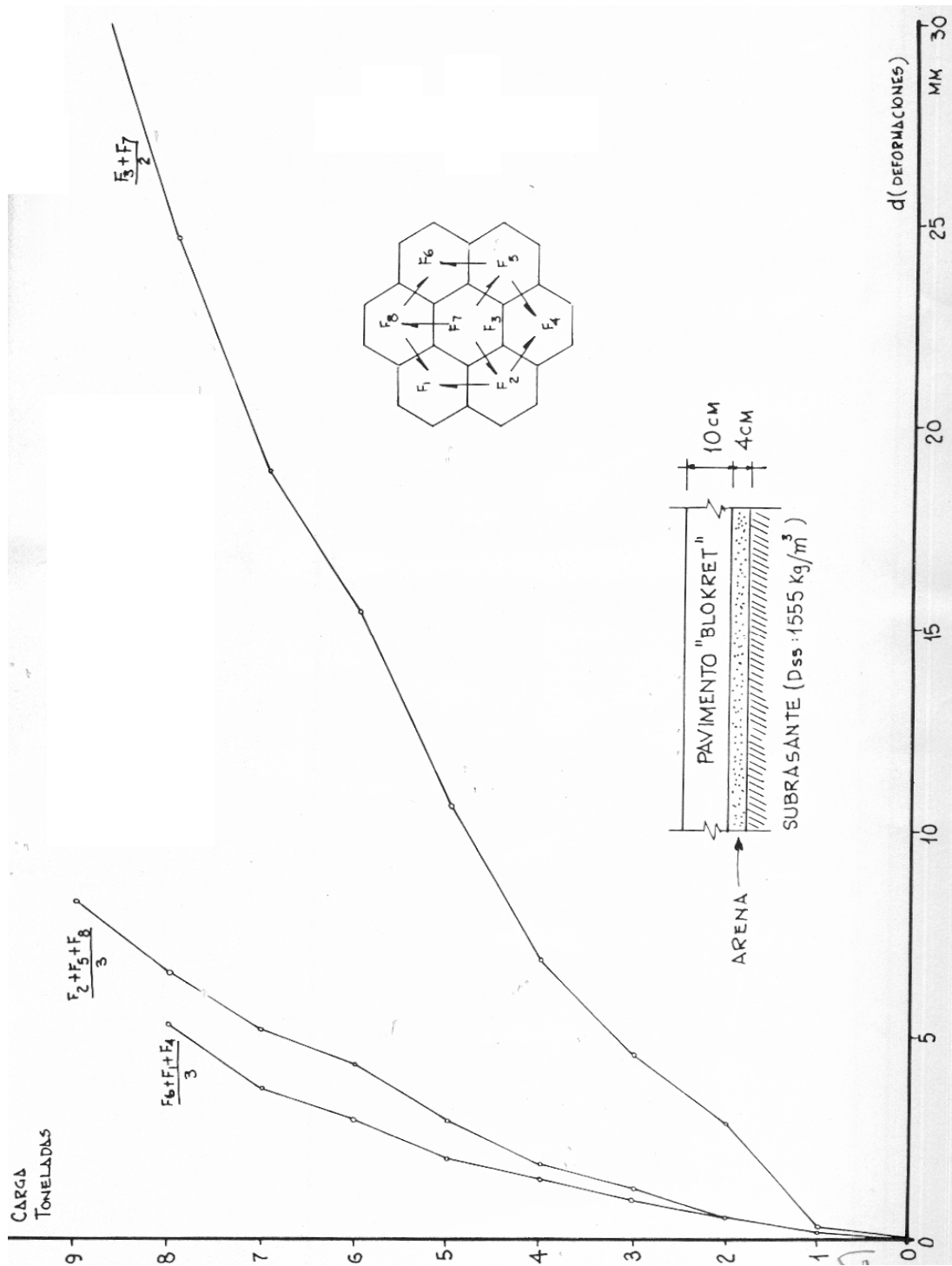
Esta ecuación proporciona el espesor total sobre una subrasante cuyo CBR sea el determinado por el ensayo.

**Figura 10. Carga/deformación para pavimento con subbase**



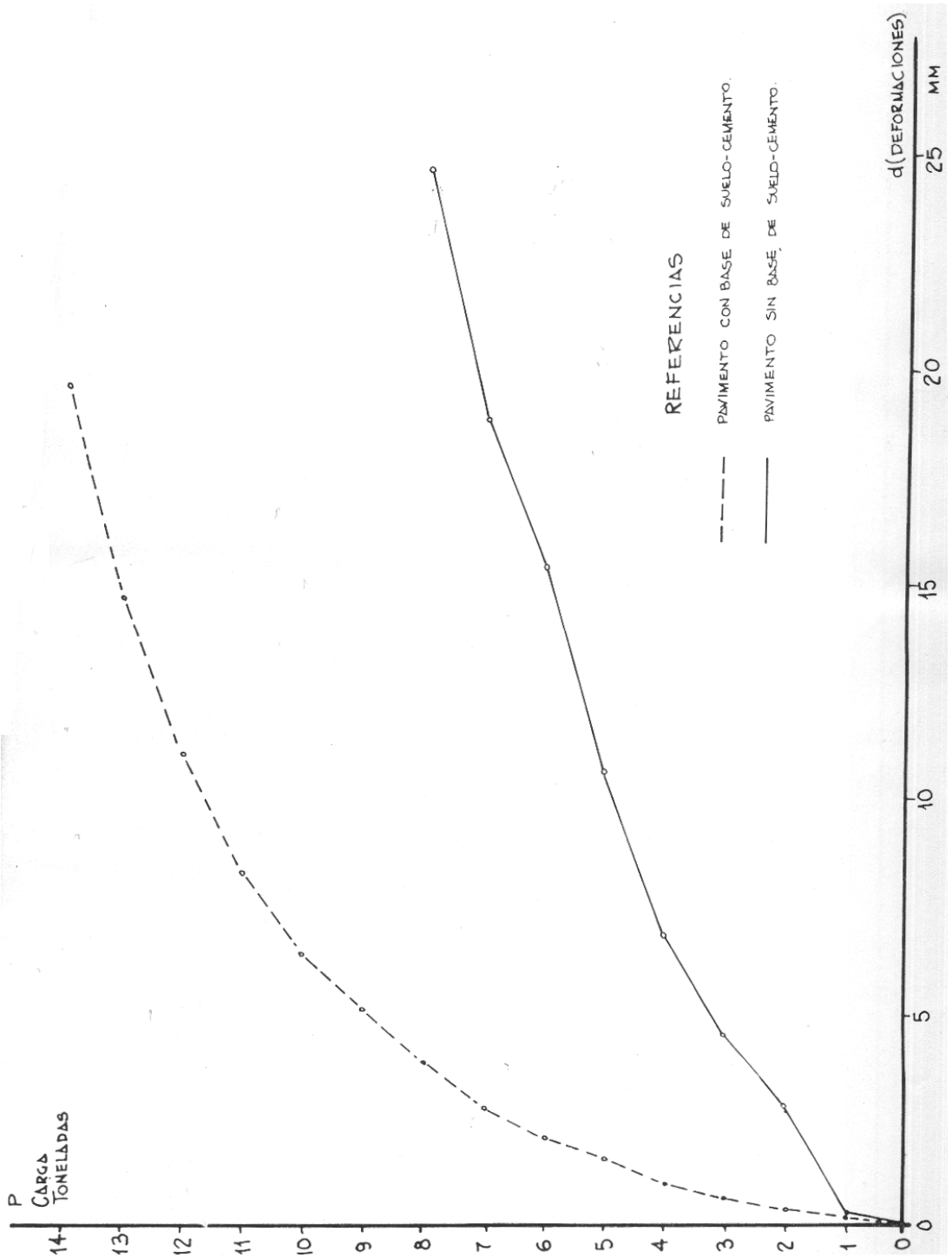
FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 65**

Figura 11. Carga/deformación para pavimento sin subbase



FUENTE: Rodolfo Girón. Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 66

Figura 12. Comparación figura 10 y figura 11



FUENTE: Rodolfo Girón. Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 67

## Ejemplo

Determinar el diseño de un pavimento urbano, para el cual la carga de rueda predominante se estime en 4000 Kg. y que la subrasante de mala calidad sea de un valor  $I = 3$  por ciento. Se supone que  $K_2 = 2.5$  y que la capa de sub-base es suelo-cemento de  $K_1 = 1.5$ .

El espesor total tratándose de un material granular sería

$$e = \frac{100 + 150\sqrt{I}}{3 + 5} = 50\text{cm}$$

El pavimento está constituido por

Bloques (espesor virtual) = $10 \times 2.5 =$	25 cm.
Capa de arena	<u>4 cm.</u>
	29 cm.

$$\text{El espesor de la capa de suelo-cemento será} = \frac{50 - 29}{1.5} = 14\text{cm}$$

El pavimento está constituido por:

Bloques	=	10 cm.
Capa de arena	=	4 cm.
Suelo cemento	=	<u>14 cm.</u>
		28 cm.



#### **4.4 Diseño geométrico del pavimento**

Un pavimento se define geoméricamente por el trazo de su eje en planta y por los perfiles longitudinal y transversal. Estas características se fijan de forma que puedan satisfacer ciertas condiciones impuestas por la naturaleza y la importancia del tráfico previsto. Esencialmente estas condiciones corresponden a dos casos distintos.

Cuando la circulación no es intensa, los vehículos circulan sin estorbarse entre ellos. Los problemas a resolver son los correspondientes a los vehículos aislados; el vehículo rápido debe poder circular a gran velocidad, el vehículo largo inscribirse en las curvas, el vehículo pesado subir las cuestas.

Cuando la circulación es intensa, los movimientos de los vehículos dependen unos de otros. Los problemas son los relativos a la intensidad de una corriente densa de vehículos; las características de la calzada deben ser determinadas de manera que la intensidad máxima prevista pueda circular en condiciones aceptables.

Los problemas de circulación del vehículo aislado condicionan especialmente el trazado en planta y el perfil longitudinal; los correspondientes a la intensidad, el perfil transversal y esencialmente el ancho de la calzada.

El ritmo de vida actual ha hecho fundamental la condición de permitir a los vehículos rápidos circular a mayor velocidad. Es esencial que en un tramo la velocidad que pueda alcanzarse sin peligro sea en toda su longitud la misma (salvo puntos excepcionales, donde sea inevitable una reducción de velocidad en los que se pone los avisos necesarios).

La pista se construye para esta velocidad máxima llamada velocidad de base, la cual se elige en función de la importancia de los puntos a enlazar y de la topografía de la región.

La noción de homogeneidad se aplica también a otras características, tales como la facilidad de circulación de los vehículos grandes o pesados (curvas o pendientes), la intensidad, etc.

Sin embargo, aquí se tiene solamente las características geométricas que pueden afectar estructuralmente al pavimento de adoquín. En los pavimentos adoquinados suma importante el desagüe rápido de las aguas de lluvia, ya que la superficie de ellos no es del todo impermeable. Para lograr evacuar las aguas en forma satisfactoria y rápida los pavimentos se construyen con pendientes longitudinales y transversales mayores que las mínimas aceptables para pavimentos de concreto corriente.

#### **4.4.1 Pendientes transversales**

La pendiente transversal que también se llama bombeo, debido a que originalmente se construía en forma de bóveda aumentando la pendiente del centro a los extremos, favorece el resbamiento del agua con un espesor de lámina sensiblemente uniforme. Esta forma produce también una mejor distribución de esfuerzos; sin embargo, para los vehículos modernos, especialmente para los de rueda doble, esta forma resulta inconveniente ya que la carga sobre las ruedas es desigual. Debido a esto se construyen actualmente las calles y carreteras con vertientes planas, lo que además facilita el perfilado por medio de moto-niveladoras en la subrasante, subbase y base.

Lo más usual es construir dos vertientes simétricas planas, las cuales se unen en el centro.

En las autopistas de dos calzadas se usa generalmente una sola pendiente transversal en cada pista, siendo entonces necesaria la cuneta sólo a un lado de la pista.

#### **4.4.2 Pendientes longitudinales**

El perfil longitudinal de una carretera debe ser una línea continua; los cambios bruscos de pendiente son peligrosos y no son adecuados para los vehículos que circulan a gran velocidad.

Deberá diseñarse el perfil longitudinal considerando el recorrido de los vehículos en las pendientes, el confort en la conducción y la evacuación de las aguas del pavimento.

El estancamiento de aguas es muy perjudicial para la conservación de la calzada por lo cual es necesario evitar pendientes pequeñas para que las aguas logren escurrirse por la orilla de la calzada hasta los tragantes o desagües.

La pendiente longitudinal mínima para pavimentos de adoquín es del 2 por ciento. La pendiente transversal depende de la pendiente longitudinal y deberá ser así

Pendiente longitudinal	Pendiente transversal mínima
2 al 4%	3%
Mayor de 4%	2%

En cuanto a pendiente máxima no hay ninguna limitación, salvo la que se origina por la capacidad para escalar de los vehículos que usarán la pista.

Cuando el área a pavimentar sea una plaza, parqueos, patios, bodegas, etc., debe tenerse especial cuidado en proveer un drenaje adecuado por medio de pendientes en uno o en dos sentidos si el terreno lo permite. Para el drenaje de áreas muy amplias es ideal el uso de rejillas intermedias con lo cual se evita cualquier riesgo de estancamiento de aguas.

#### **4.4.3 Colocación del adoquín en curvas**

Para salvar el problema de las curvas hay varias alternativas en los pavimentos adoquinados.

- a. Cuando son curvas de gran radio es factible la colocación radial de los adoquines, agrandando las juntas en la parte exterior del arco y reduciéndolas en la parte interior; debe sin embargo, darse un espesor mínimo de junta de 3 mm. y un máximo de 12 mm. El radio mínimo en que se pueda efectuar esta operación dependerá del ancho de la pista.
- b. Otra alternativa es el uso de juegos de adoquines para curvas, pero la producción de éstos sólo resulta rentable en grandes escalas, ya que cada juego consta de 15 bloques de distintos tamaños.
- c. También es posible no alterar el sentido de colocación de los adoquines a lo largo de la curva, lo cual, resulta práctico en curvas a 90° ya que al salir de la curva quedarán los adoquines nuevamente paralelos a la dirección de la pista, pero con su lado corto en el sentido longitudinal de la pista.

En curvas a otro ángulo no es conveniente hacerlo así, ya que quedarán los adoquines oblicuos a la pista lo cual dificulta la colocación, en cuyo caso existe la posibilidad de colocar los adoquines en cuñas; se deben hacer los cortes necesarios en los adoquines para acoplar una cuña a otra, llenando con concreto de mezcla igual a la del adoquín, los espacios que queden entre dos cuñas.

#### **4.5 Normas de calidad y métodos de ensayo para la fabricación del adoquín**

Debido a la creciente importancia que tomó en muchos países, pronto fue necesario crear normas para el control de calidad del adoquín.

Así por ejemplo, en Alemania Occidental se publicaron en 1958 las normas provisionales que fueron sujetas posteriormente a varias revisiones y en septiembre de 1964 se publicó la hoja de “Normas para los adoquines de concreto DIN 18501” vigentes actualmente en Alemania Occidental. En Guatemala, aún cuando no se ha iniciado la producción en grandes plantas del adoquín, el Instituto de Fomento Municipal (INFOM), ha creado las normas para su fabricación, que se lleva a cabo en varios municipios en forma manual, bajo la supervisión de dicho Instituto.

Existen también en México especificaciones para el adoquín, elaboradas por el Departamento del Distrito Federal de la Dirección General de Obras Públicas, publicado bajo el título de: “Normas Técnicas para la Construcción del Adocreto”.

Con base en las normas mencionadas anteriormente se ha elaborado las especificaciones que podrían regir en Guatemala para la producción de adoquín vibroprensado, éstas son

#### **4.5.1 Normas propuestas para la fabricación de adoquín en Guatemala**

##### **4.5.1.1 Dimensiones y forma**

Las caras superior e inferior del adoquín deben ser planas, la cara expuesta puede tener aristas vivas o biseladas. Ambas superficies deben ser rugosas o ásperas.

Los bloques deben estar totalmente libres de grietas.

Su forma en planta debe ser tal que permita engrape entre un adoquín y otro al colocar alternados los adoquines de dos filas adyacentes.

Las dimensiones y forma de los adoquines podrán ser cualquiera de las enunciadas en el capítulo 2 inciso 7 (2.7 tipos de adoquín Pág.35), o cualquier otra que sea apropiada y que se apruebe por la supervisión.

##### **4.5.1.2 Área de fabricación de los adoquines**

El área de fabricación de los adoquines deberá ser suficientemente amplia, de acuerdo al volumen de producción y de almacenamiento previsto para la planta

El lugar de fundición y fraguado inicial no deberá estar expuesto al sol directo y el lugar de mezclado protegido de la caída de basuras, hojas, etc.

#### **4.5.1.3 Materiales y fabricación:**

Los adoquines se deben fabricar de concreto de mezclas secas, en relaciones de 1:4 a 1:5 (cemento a agregados).

Los adoquines se fabrican por lo general de una sola capa. Si se fabrican en dos capas superpuestas, el concreto de la capa inferior y el de la capa superior deben quedar unidos de manera inseparable.

Es usual usar dos capas cuando se fabrican adoquines coloreados colocando una primera capa de concreto sin colorante y luego una capa de aproximadamente 2 cm. de concreto con colorante, lo cual aunque hace más lenta la fundición, resulta más económico que colorear todo el bloque. La factibilidad de fundir en esta forma depende de la forma en que se alimente la prensa.

El concreto de la superficie de rodadura puede ser claro, oscuro o de color, si se desea mejorar el coeficiente de fricción debe usarse una granulometría conveniente para los agregados.

Los materiales para el concreto deberán ser los siguientes.

##### **a. Cemento**

Debe proceder de bolsas selladas en buen estado, que no se hayan humedecido. Dichas bolsas deben ser almacenadas en lugares ventilados y secos, no deberán guardarse durante más de un mes.

**b. Agregado grueso**

Estará constituido por grava de río perfectamente lavada o pedrín de piedra triturada. El fabricante podrá usar el tamaño de agregado que él crea conveniente para obtener la resistencia al desgaste y compresión especificada. El más recomendable es el agregado que pase un tamiz de 13 mm. (1/2") y quede retenido en un tamiz de 9 mm. (3/8").

**c. Agregado fino**

Deberá ser arena de río de origen basáltico o cuarzoso perfectamente lavada y libre de arcilla, tierra vegetal, sales y basuras. No debe contener partículas mayores de 6 mm. y no debe pasar el tamiz núm. 30 más de 1/4 parte de la muestra. No debe utilizarse arena de mar o estero a menos que la supervisión apruebe el método de lavado.

**d. Agua**

El agua a utilizar debe estar libre de aceites, grasas, residuos de materia orgánica, sales y sulfatos. En general debe utilizarse agua potable para la mezcla. Nunca debe utilizarse agua de mar o estancada.

La fabricación del adoquín debe llevarse a cabo inmediatamente después de haber hecho la mezcla. Después de fundido el adoquín deberá apilarse bajo techo en pilas no mayores de diez adoquines, al menos durante los primeros siete días. Se debe curar el adoquín humedeciendo constantemente los apilamientos durante todo el periodo de fraguado del



concreto, durante el cual, si no se tiene bajo techo deberá cubrirse con bolsas de cemento o sacos de brin manteniéndolos húmedos.

Se puede usar aditivos para acelerar el endurecimiento del concreto; en este caso se reducirá el periodo de curado. Si se usa concreto normal, no deberá colocarse el adoquín antes de transcurrir 28 días de la fundición.

#### **4.5.2 Ensayos en los adoquines**

En este punto se expone únicamente las normas para los ensayos sobre adoquín, indicando los métodos y valores mínimos que éstos deben cumplir. En lo que se refiere a los ensayos sobre los materiales que conforman el adoquín, las normas consultadas no poseen información al respecto.

#### **Recopilación de información de Normas Extranjeras e Internacionales**

En esta etapa se procedió a visitar centros de información técnica como lo son: EL CENARI en la biblioteca del Banco de Guatemala, la biblioteca de la Facultad de Ingeniería, biblioteca central de la Universidad de San Carlos, y el Centro de Información para la Construcción CICON, siendo los últimos dos centros, de donde se obtuvo las normas que sirven de base al estudio.

Inicialmente se obtuvo en el CICON la norma alemana “Adoquines de concreto, din 18501”, seguidamente se consultaron tesis en el CICON, de donde se obtuvo las normas alemanas “Pruebas de desgaste, din 52108” y “Prueba de comprensión, din 52105”, y las normas españolas “Ensayo de comprensión de adoquines de piedra, une 7068”, “Ensayo de desgaste por razonamiento en adoquines de piedra, une 7069” y “Adoquines de granito para pavimentos del mismo tipo y tamaño, une 41005”.

#### 4.5.2.1 Propuesta de especificaciones mínimas a usar

a.- Norma alemana DIN

La resistencia a la compresión se especifica solamente la que esta dada por la altura del adoquín, de acuerdo a la tabla XXIV.

**TABLA XXIV. Resistencia a la compresión**

Altura o espesor en:	Resistencia a la compresión mínima en:	
	cm.	Kgf/cm <sup>2</sup>
20	600	58.84
16	612	60.02
14	618	60.61
12	624	61.19
10	630	61.78
8	636	62.37

FUENTE: Girón, Rodolfo. **Diseño de Pavimentos de Adoquín. 128pp.**

En cuanto a la resistencia al desgaste se indica en el ensayo normal la pérdida volumétrica no debe exceder de 15cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup> y la disminución de espesor no debe ser mayor de 3mm.

b.- Norma española UNE

La resistencia a la compresión para adoquines de piedra utilizables en la pavimentación es bastante exigente ya que su valor no será inferior a 127.49 MPa (1300 kgf/cm<sup>2</sup>) para un espesor no indicado. En cuanto a la prueba de desgaste establece que dicho coeficiente no será inferior a 0.13cm<sup>3</sup>/cm<sup>2</sup> equivalente a 6.5cm<sup>3</sup>/50cm<sup>2</sup> o espesor de 1.3 mm.

## **4.5.2.2 Métodos de ensayo propuesto para los adoquines**

### **4.5.2.2.1 Norma alemana *din***

Examen visual, forma y medidas

Para este análisis se toma como base lo expuesto en la norma alemana DIN 18501 adoquines en concreto, la cual hace referencia únicamente a que las medidas se deben tomar con una aproximación de  $\pm 1\text{mm}$ , en lo que respecta a la forma de los adoquines no presenta información alguna, lo mismo sucede con la apariencia de éstos.

Ensayo de compresión DIN 52105

Las probetas serán utilizadas en la regla del cubo con un largo de arista de  $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$  o del cilindro con un diámetro de  $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$  y una altura  $50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ . El número debe ser de 5 adoquines completos, colocados entre placas de presión idénticas. La altura de las probetas incluyendo la capa de nivelación o coronamiento debe ser de por lo menos 0.9 del lado menor de la cara de compresión del adoquín. Las aristas de los cubos cortados deben tener una longitud mínima de 80mm. Si existe conicidad en las paredes laterales del adoquín y si la misma no excede del 5% de altura, los adoquines pueden probarse en forma entera. La resistencia debe sin embargo, calcularse sobre un área que represente el valor medio de las áreas de presión.

Las probetas deben ser ensayadas de tal forma que la presión sea perpendicular a la superficie de desgaste del adoquín. Las caras escogidas como caras de presión deben ser paralelas y lisas.

Dichas caras deben esmerilarse o nivelarse con una superficie de mortero de cemento de 5mm de espesor.

Durante el ensayo, la carga se aplica despacio y en forma continua. El esfuerzo debe aumentar desde 0.19Mpa/seg. a 0.29Mpa/seg. (2kgf/cm<sup>2</sup>/seg. a 3kgf/cm<sup>2</sup>/seg.) y la velocidad será tal que la rotura un poco interna dure de 60 a 90 segundos. La resistencia obtenida expresada en MPa (kgf/cm<sup>2</sup>) se redondea al valor entero más cercano.

Desgaste o abrasión (prueba de desgaste) DIN 52108

Para la prueba de abrasión se utilizarán probetas de forma de cubo de 71mm  $\pm$  1.5 mm. por arista. Las probetas serán secadas a temperatura de 100°C hasta alcanzar peso constante y deberá pre-esmerilarse.

Para iniciar el ensayo se realizarán 5 períodos de 22 vueltas en la primera cara, lo cual se repetirá en las tres caras restantes de la probeta, el ensayo produce un total de 440 vueltas que equivalen a 608 m de recorrido. El carril de desgaste será espolvoreado con el abrasivo en una proporción aproximada de 20g por cada período, luego será puesto en movimiento el disco. Después de un período deberá limpiarse el disco de desgaste y el área de prueba de la probeta.

El cálculo del volumen desgastado se hará por medida directa usando un vernier o calculando la densidad del bloque y utilizando la fórmula

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

## Resistencia al desgaste mecanizado

Llamado así, debido a una mecanización total del equipo y aplicación en todo aspecto de la alta tecnología alcanzada en el ramo de esta industria. Para este proceso se observa un cierto control de calidad y una verificación periódica de las características y propiedades del producto realizado, el primero en la planta y el segundo por la COGUANOR, a través del Centro de Investigaciones de Ingeniería; a la vez posee una gran capacidad productiva y el producto elaborado es de muy buena calidad.

### 4.5.2.2.2 Norma española *une*

#### Ensayo de compresión UNE 7068

Este ensayo se realizará en 6 probetas extraídas de los adoquines, éstas serán cubos de 7 cm. de lado, teniendo dos de sus caras aproximadamente paralelas a la superficie de rodadura. Las probetas se marcarán con señal indeleble, en dirección normal a la superficie de rodadura.

Para realizar este ensayo será necesaria una máquina apta para compresión y capaz de proporcionar una carga total de 150 toneladas. La aplicación de la carga no ha de excederse de 13.73 MPa/min. (140kgf/cm<sup>2</sup>/minuto)

Para la obtención del esfuerzo de compresión se utilizará la fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A} \text{ MPa (kgf/cm}^2\text{)}$$

P: carga máxima

A: promedio de las áreas de las bases superiores e inferiores de la probeta ensayada.

Como resultado del ensayo se tomará el que se obtenga de la media de los seis resultados. Las medidas de las probetas se obtendrán con un error inferior a 1 mm.

#### Ensayo de desgaste por razonamiento UNE 7069

Las probetas tendrán forma cúbica, de 7 cm. de lado y se cortarán con sierra, cuidando especialmente que las caras opuestas sean perfectamente paralelas.

Para la ejecución de este ensayo serán necesarios los aparatos siguientes:

Máquina para el ensayo de desgaste con las características siguientes

- Dispondrá de una plataforma giratoria cuya velocidad sea de 30 rpm, ésta tendrá su superficie paralela a otro plato en el que se fijará la probeta.
- Poseerá un dispositivo mediante el cual se podrá comprimir la probeta entre los platos con una presión de 0.059 MPa (0.6 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Tendrá dispositivos por los cuales se podrá verter abrasivo y agua en las superficies de razonamiento.

- Dispondrá asimismo de un contador de vueltas.
- ✓ Balanza hidrostática.
- ✓ Balanza de sensibilidad no inferior a 0.001 g.
- ✓ Calibrador que apreciará 0.1 mm. para medir los lados de la probeta.

El proceso operativo se inicia colocando la probeta, puesta la máquina en marcha se va vertiendo el abrasivo y el agua de manera uniforme, y después de someter la probeta a un recorrido total de 1000 m se saca de la máquina y se limpia cuidadosamente. Terminado el desgaste por una de las caras del cubo, se repite el ensayo sucesivamente por cada una de las otras dos que forman triedro con la anterior.

En este ensayo se utiliza como abrasivo carborundo cuyos granos estén comprendidos entre tamiz 40 (0.42mm) y tamiz 200 (0.074mm) y en una cantidad de 1g por cm<sup>2</sup> de superficie sometida al desgaste. La cantidad de agua que se añada es la que salga de un tubo de 2 + 0.2 mm. de diámetro, de forma que caigan 12 gotas por minuto sobre la plataforma en que se realiza el desgaste.

Después del desgaste de cada probeta, se determinará nuevamente su volumen por el procedimiento de la balanza hidrostática y se dividirá la pérdida de volumen por la superficie ensayada, con lo que se obtendrá el desgaste lineal de cada cubo. El ensayo deberá realizarse sobre dos probetas distintas del mismo material, dando como resultado definitivo la media aritmética de los desgastes lineales de cada una, expresada con un error inferior a 0.1mm.

### 4.5.2.3 Otros ensayos sobre adoquín

#### Absorción

Para este análisis no se tiene norma de base, en consecuencia el estudio sobre absorción de agua en adoquines, se hace a nivel exploratorio para así poder obtener valores que puedan ser utilizados en estudios futuros.

#### Aparatos

- Balanza
- Baño de agua
- Horno provisto de un regulador de temperatura.

#### Procedimiento

Masa de los especímenes completamente secos, se toman los especímenes y se colocan en el horno a una temperatura entre 100° C y 115° C por un período no menor de 24 horas y hasta que dos pesadas sucesivas con un intervalo de 2 horas muestren una pérdida de masa no mayor que el 0.2% de la última pesada.

Masa de los especímenes sumergidos y completamente saturados, se sumergen los especímenes en agua a temperatura ambiente (15 a 27 °C) sumergidos en el agua.

Masa de los especímenes humedecidos a saturación, Se sacan del agua los especímenes y se dejan drenar por un minuto luego, el agua superficial visible se quita pasándole un paño ligeramente humedecido e inmediatamente se pesa separadamente.



## Expresión de los resultados

El cálculo de la absorción máxima de agua, puede expresarse en dos formas

- ✓ Absorción máxima por volumen: La máxima absorción de agua del espécimen se expresa en kilogramos de agua por metro cúbico de concreto de que está hecho el adoquín y se obtiene mediante la siguiente fórmula: durante 24 horas, luego se pesan suspendidos de un alambre y completamente

$$\text{En. Kg/m}^3 = \frac{m_{sat} - m_{seco}}{m_{sat} - m_{ss}} \times 100$$

En la que

$m_{sat}$ : masa del espécimen humedecido a saturación, en Kg.

$m_{seco}$ : masa del espécimen completamente seco, en Kg.

$m_{ss}$ : masa del espécimen suspendido y sumergido en el agua.

1000: densidad del agua a 4 °C, en Kg./m<sup>3</sup>

- ✓ Absorción en porcentaje de masa: la máxima absorción de agua del espécimen puede expresarse como porcentaje en masa de agua con respecto al espécimen completamente seco y se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción máxima en porcentaje en masa} = \frac{m_{sat} - m_{seco}}{m_{seco}} \times 100$$

En la que

$m_{\text{sat}}$ : masa del espécimen humedecido a saturación, en Kg.

$m_{\text{seco}}$ : masa del espécimen completamente seco, en Kg.

#### **4.5.3 Ensayos que se deberían realizar para la evaluación durante el proceso de fabricación**

Ensayos de calidad de materiales empleados en la fabricación del adoquín

- Masa específica
- Granulometría
- Masa unitaria volumétrica
- Desgaste
- Contenido de materia orgánica

Ensayos de calidad sobre adoquín

- Examen visual, forma y medidas
- Grosor
- Absorción absoluta
- Resistencia a la compresión
- Resistencia al desgaste

En la siguiente tabla se marca la norma que se debe de usar para los distintos ensayos.

**Tabla XXV. Normas a usar para los ensayos de adoquín**

Elementos de estudio	Ensayos	NORMAS							
A. Materiales agregados fino y grueso		DIN	UNE	ASTM	ICONTEC	CONENIN	INDITECNOR	IRAM	IMCYC
	Masa específica	-	-	-	-	-	-	-	-
	Granulometría	-	-	X	-	-	-	-	-
	Masa unitaria Volumétrico	-	-	-	-	-	-	-	-
	Desgaste	-	-	X	-	-	-	-	-
	Contenido de materia orgánica	-	-	X	-	-	-	-	-
	Proporciones usadas	-	-	-	-	-	-	-	-
B. Adoquín									
	Examen visual forma y medidas	X	-	-	-	-	-	-	-
	Absorción absoluta	-	-	-	-	-	-	-	-
	Resistencia a la compresión	X	X	-	-	-	-	-	-
	Resistencia al desgaste	X	X	-	-	-	-	-	-

FUENTE: Rodolfo Girón. **Diseño de pavimentos de adoquín. Pág. 73**



## 5- CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO CON ADOQUÍN

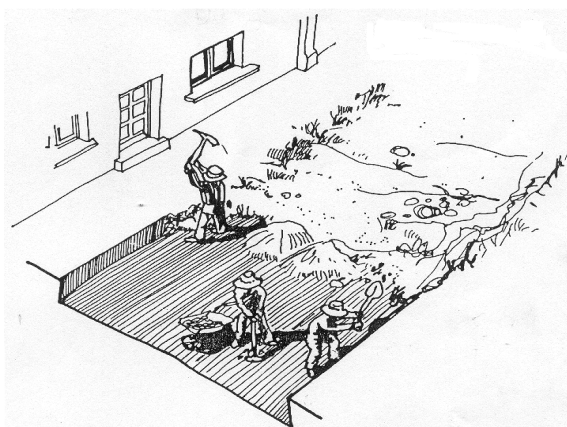
La construcción de la subrasante, subbase y base, en pavimentos con adoquín, no difiere en nada de la empleada en pavimentos de asfalto. La capa adoquinada o carpeta de rodadura y la capa de asiento sí tienen su técnica especial de construcción.

### 5.1 Nivelación del terreno

Para esto hay dos procedimientos

- a) Cuando existan planos y datos que indiquen los niveles a que debe quedar la calle.
- b) Cuando no existan planos y el nivel de la calle se acomode a la forma actual que tiene ésta; que para fines de este trabajo, será el procedimiento a describir.

### Figura 13. Limpieza y nivelación



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 50**

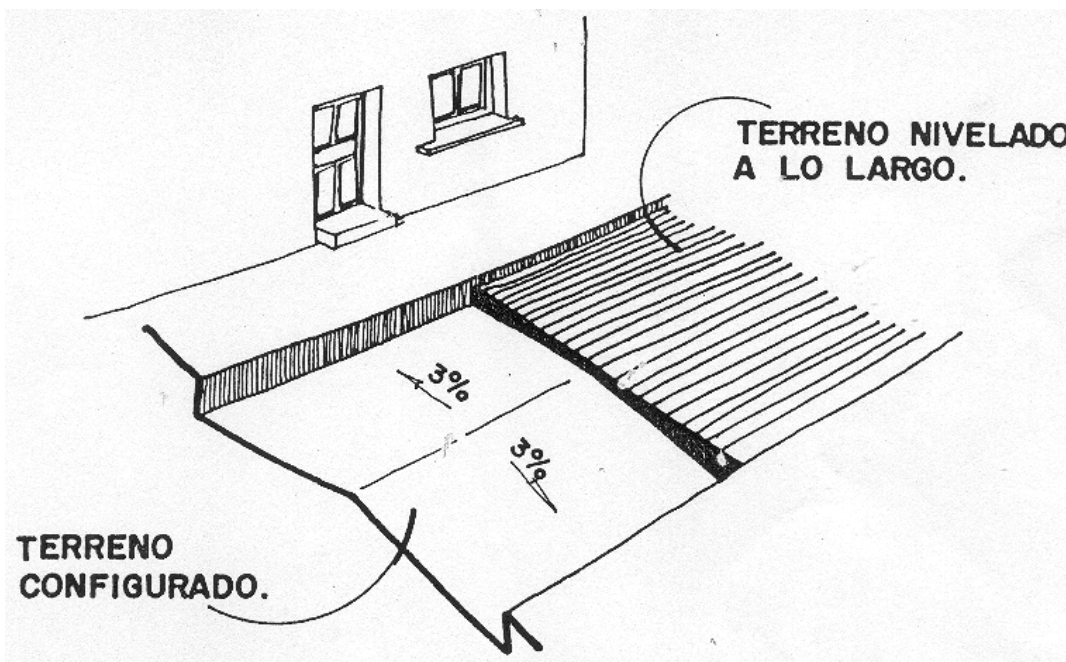
Cuando este sea el caso, será necesario que los promontorios de tierra se aplanen y los agujeros grandes se rellenen, a manera de conservar un solo nivel en toda la calle, tomando en cuenta que es mejor cortar terreno que rellenarlo. Para nivelar longitudinalmente se puede utilizar manguera o nivel de albañil.

## 5.2 Configuración del terreno

La configuración del terreno consiste en darle forma y figura después de haberlo nivelado a lo largo.

Se necesita darle pendiente a la calle hacia los lados (pendiente transversal) Esta pendiente se hace partiendo del centro de la calle hasta llegar a donde comienza la banqueta, para los lados y bajándole 3 cm. por cada metro de ancho, para garantizar una pendiente transversal del 3%; y así, evacuar las aguas pluviales que caerán sobre el pavimento.

**Figura 14. Pendientes de bombeo**

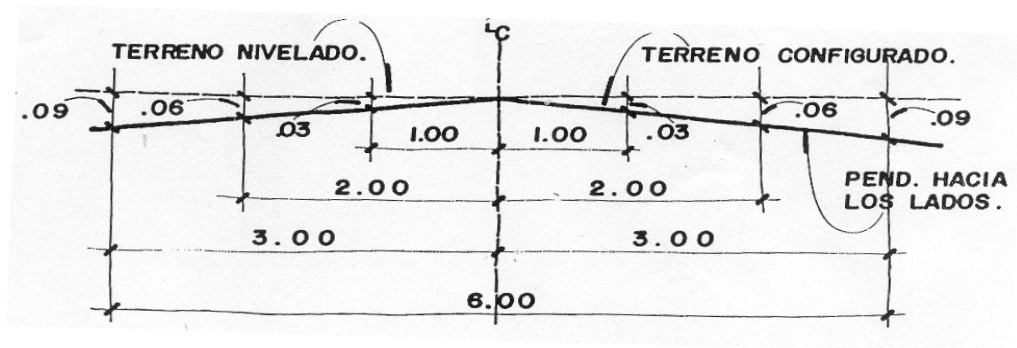


FUENTE: Jesús Moncayo. Manual de pavimentos. Pág. 51

## Ejemplo

Suponiendo que se tiene una calle de 6.00 m de ancho; sacarle la mitad al ancho de 6.00 m, que sería 3.00 m, y este valor multiplicarlo por 0.03 m (3 m); o sea:  $3.00 \times 0.03 = 0.09$  m (9 m), que es la altura que tiene que bajar el nivel de la calle en el extremo del ancho, o sea, que la diferencia entre el centro de la calle y los extremos de ésta será de 9 cm.

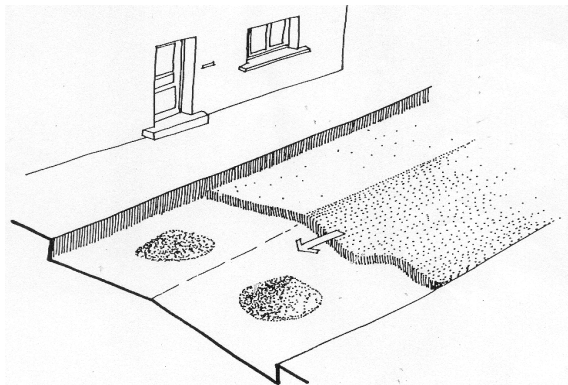
**Figura 15. Ejemplo de pendientes**



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 51**

Sobre el terreno configurado se colocan las capas de sub-base (si es necesaria) y base, con sus respectivos espesores, las cuales deben tener cierta humedad, para pasarle un rodillo o aplanadora y lograr una compactación y valor soporte adecuados, y de esta forma finalizar la operación de configuración.

**Figura 16. Configuración del terreno**



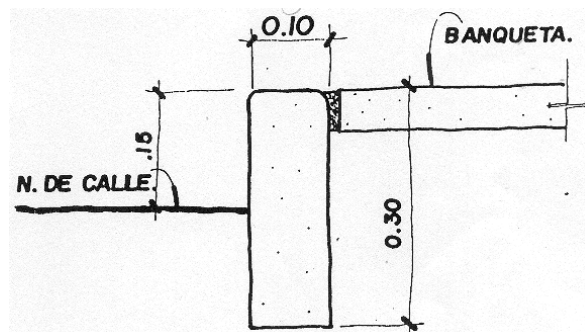
### 5.3 Construcción del bordillo

Debe fundirse antes de la colocación de la capa de rodadura, obligadamente, a efecto de lograrse la consolidación de la misma, o fundirse directamente en contacto con la última hilera de adoquines para que queden ligados.

El bordillo puede ser de dos tamaños

- a) Cuando el bordillo sirva para dar nivel a la banqueta deberá tener, como mínimo, 30 cm. de alto y sobresalir 15 cm. sobre el nivel del adoquinado

**Figura 17. Detalle de bordillo**



- b) En los cruces de calles, en el final del adoquinado y en las partes donde no sea necesaria banqueta, el bordillo tendrá, dependiendo del uso, de 15 cm. a 25 cm. de alto y se fundirá a un nivel de 1/2 cm. más bajo que los adoquines, ya que éstos se asentarán con el uso y llegarán al mismo nivel que el bordillo.

A estos bordillos también se les puede llamar llaves de confinamiento y también servirán para asegurar los adoquines cuando haya necesidad de alguna reparación, para no causar un desajuste entre los mismos o se lave la capa de asiento.

### 5.4 Colocación de la capa de asiento



Esta capa se puede trabajar de dos formas:

La primera forma consiste en tender, nivelar y dar una ligera compactación a la capa de arena de río, con el auxilio de dos reglas guías instaladas a los lados de la calle, sobre la capa de base terminada. El espacio entre la reglas se llena con la arena que se rasa después, haciendo correr otra regla sobre las guías;

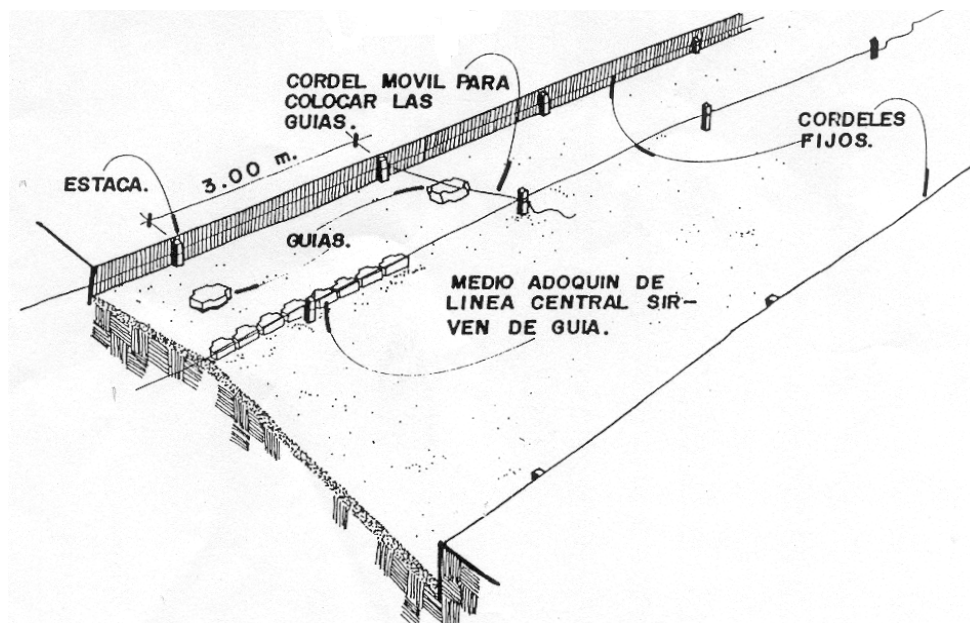
La segunda forma consiste en acondicionar y nivelar la arena de río para cada adoquín a colocar, pero en esta forma, el proceso es más lento.

## **5.5 Colocación de adoquines**

La colocación de los adoquines requiere de mucho cuidado para alinear y nivelar perfectamente las hileras de éstos.

Al colocar los adoquines, el obrero tiene que ir pisando sobre los adoquines ya colocados. No debe pisarse la cama de asiento. Primero se colocan tres estacas a cada 3.00m del tramo que se va a adoquinar: una en el centro y las otras dos en cada orilla de la calle, en cada estaca se marca el grueso o espesor de los adoquines sobre el nivel de la capa de asiento y en estas marcas se colocan pitas o cordeles, bien estirados, para obtener el nivel de la calle que se utilizará. Con estas pitas o cordeles se colocan los adoquines testigos o guías para, con base en ellos, colocar los demás y poder pasar nivel con la regla maestra. Al tener colocados los adoquines testigos o guías, se comienza el adoquinamiento; poniéndolos del centro hacia las orillas. En el centro se colocan medios adoquines a lado y lado de la pita o cordel central, dejando una separación no mayor de 1 cm. entre cada adoquín. Se debe tener especial cuidado en que éstos queden bien asentados, nivelados y alineados.

**Figura 18. Colocación de adoquines**



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 55**

## **5.6 Relleno de juntas**

Después de colocados los adoquines se rellenan parcialmente los espacios entre éstos con arena de río fina dejando, aproximadamente, 1.5 cm. sin rellenar.

El relleno se puede hacer barriendo la arena sobre el adoquinado a manera de llenar las juntas a la altura deseada y, en caso que no penetre bien, puede echársele un poco de agua para que asiente.

## **5.7 Sellado de juntas**

Después de concluido el relleno de las juntas, se prepara una mezcla de arena fina con arcilla en proporción 1:5, o sea, 1 cubeta de arcilla por 5 cubetas de arena, mezclándolas cuidadosamente.

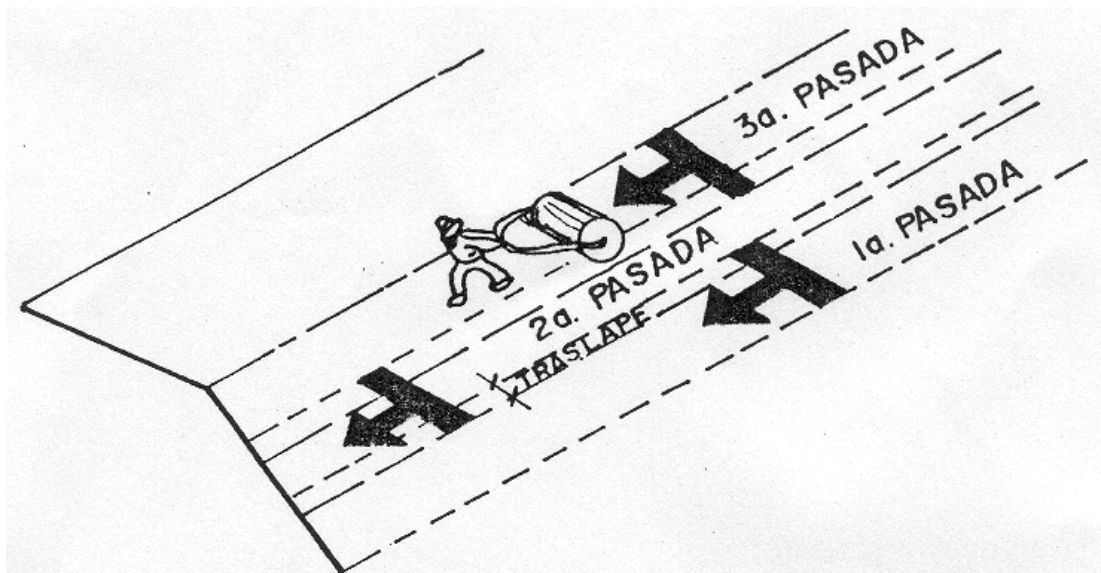
Esta mezcla de sellado se utiliza para llenar los espacios que quedaron en las juntas cuando se rellenaron parcialmente; procurando que la mezcla del sellado sobresalga de la junta para que se pueda apisonar pasando un rodillo pesado sobre el área adoquinada.

## 5.8 Apisonado

Con el bordillo fundido y el adoquinado colocado, se debe apisonar el pavimento, usando una aplanadora liviana de llantas de acero lisas o llantas neumáticas. Nunca debe usarse un rodillo pata de cabra.

El apisonado se efectúa pasando el rodillo o aplanadora sobre el adoquinado varias veces y traslapando cada rodada con la anterior.

**Figura 19. Apisonado**



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 56**

En caso de no disponer de aplanadora, ésta se puede sustituir fabricando un rodillo que se jale o empuje en forma manual.

A continuación se sugieren dos formas para la fabricación del rodillo.

### 5.8.1 Rodillo con tambo de acero

Éste debe fabricarse con un tambo de acero de 20 galones de paredes lisas, siguiendo este procedimiento.

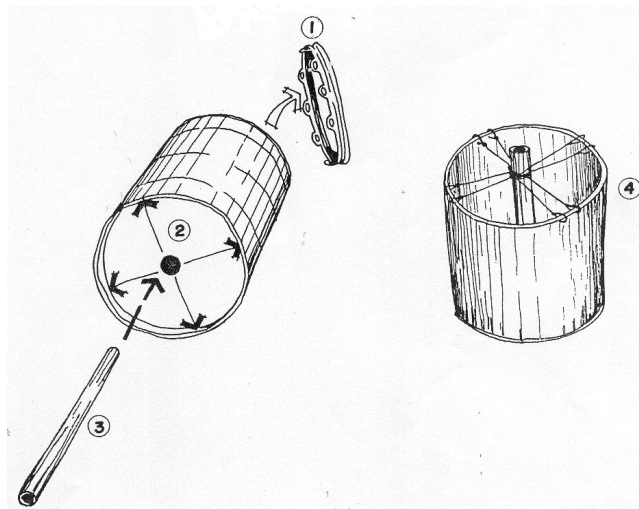
Eliminar la tapadera

Perforar un agujero de 1 1/8" aproximadamente, centrándolo cuidadosamente

Introducir un tubo de hierro galvanizado o similar de 1" de diámetro

Centrar cuidadosamente el tubo de hierro galvanizado con alambre de amarre, reglas de madera, etc. y llenar el tambo de concreto.

**Figura 20. Rodio de tabor de acero**



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 58**

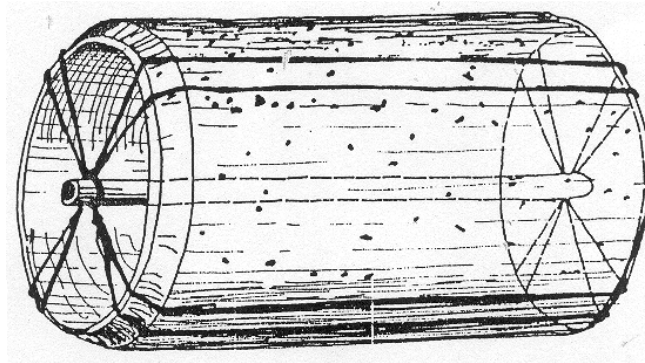
### 5.8.2 Rodillo con tubo de cemento

Éste debe fabricarse con un tubo de cemento de 24" de diámetro, siguiendo este procedimiento

- ✓ Introducir un tubo de hierro galvanizado o similar de 1" de diámetro dentro del tubo de cemento

- ✓ Centrar con alambre de amarre, reglas de madera, etc. el tubo de hierro galvanizado
- ✓ Poner vertical el tubo de cemento y llenarlo de concreto.

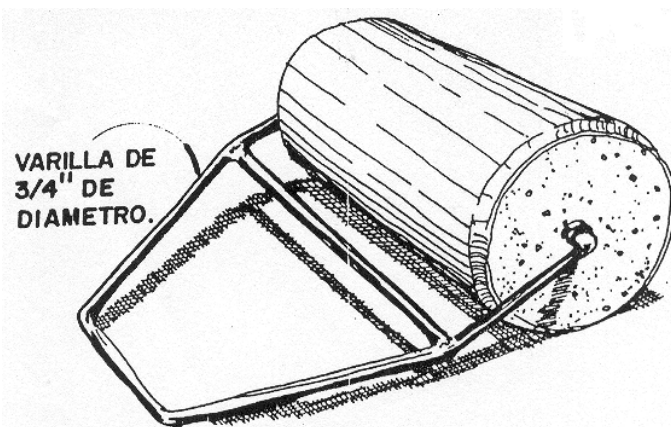
**Figura 21. Rodillo con tubo de cemento**



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 59**

Una vez fundido el rodillo, ya sea con tambo de acero o con tubo de cemento, se deja secar por un tiempo de 2 días. Al cabo de ese tiempo se puede usar el rodillo colocándole un jalador hecho de varilla de hierro de 3/4" de diámetro, de preferencia lisa.

**Figura 22. Rodillo terminado**



FUENTE: Jesús Moncayo. **Manual de pavimentos. Pág. 59**

## Apertura al tránsito

Encontrándose el pavimento con adoquines sellados y apisonados, se barre perfectamente la arena sobrante y otro material, y se abre al tránsito de vehículos.

### **5.9 Mantenimiento y reparación**

El mantenimiento en un pavimento con adoquín tiende a prevenir o retardar las fallas en éste, mientras que la reparación se aplica cuando han ocurrido dichas fallas.

#### Mantenimiento

El mantenimiento en un pavimento con adoquín se resume de la siguiente manera.

#### Mantenimiento del sello de juntas

El estado del sello de juntas y la existencia de vegetación dentro de ésta se revisará por lo menos, cada año, dependiendo de la intensidad del tránsito y tipo del mismo.

Se retirará el material vegetal y luego se complementará el sello de junta, consolidándolo nuevamente, de preferencia con arena y arcilla.

### **5.9.1 Renivelación de la superficie**

Cuando se tengan hundimientos localizados en aquellos puntos por donde se tiene huella de circulación canalizada por las ruedas de los vehículos, pero no se presenta una alteración generalizada en toda la superficie del pavimento, se procederá inicialmente, a reparar la zona dañada retirando los adoquines, la capa de asiento y corrigiendo el nivel superior de la base.

En el caso de adicionar material a la base, se escarificará y se utilizará uno con las mismas propiedades que el existente, compactándolo bien con el equipo adecuado.

Cuando el área a compactar sea muy reducida se levantarán algunos adoquines adicionales para permitir efectuar la compactación necesaria y al mismo tiempo ensanchar el área donde se va a renivelar la capa de asiento y poder ajustar de nuevo en el espacio disponible, los adoquines que se levantaron previamente.

Para la ejecución del trabajo de renivelación, hay que dejar sobre espesores, tanto en la capa de base como en la capa de asiento, para que el área renivelada llegue a tener el nivel deseado.

### **5.9.2 Reparación**

La reparación en un pavimento con adoquín se resume de la siguiente manera.

### **5.9.2.1 Reparación a escala menor**

Cuando un pavimento con adoquín presenta alteraciones moderadas en el nivel de su superficie, se tiene una reparación a escala menor, de tal forma, deben seguirse las recomendaciones expuestas en el capítulo 5 inciso 9.1(5.9.1)pero ejecutando el trabajo sobre toda la superficie. Una reparación así no requiere del cambio del material de la capa de base, sino del ajuste de un espesor hasta llegar al nivel deseado.

### **5.9.2.2 Reparación a escala mayor**

Esta reparación se da cuando un pavimento con adoquín presenta huellas pronunciadas de 3 cm. o más de profundidad en las zonas de mayor tránsito, y éstas no corresponden a problemas localizados como cambios de materiales o deficiencia en el drenaje, y si, además van acompañadas de las irregularidades expuestas en el capítulo 5 inciso 9.1(5.9.1); esto es un indicativo de que el pavimento ha llegado al final de su vida útil, por lo cual se deberá efectuar una reparación a escala mayor en toda su estructura.

La reparación a escala mayor implica levantar los adoquines y la capa de asiento, retirar el material de base, si éste no es apto para ser reutilizado por estar ya contaminado o revuelto con otro material y continuar la construcción del pavimento.

### **5.9.2.3 Reparación por daños u obras específicas**

Esta reparación se efectúa por mala compactación de las brechas, por mal funcionamiento de las redes de servicio (agua, drenajes, teléfonos, etc.) o cuando se necesite ejecutar algún trabajo, como tendido o cambio de estas redes.



Se efectuará una reparación con las mismas características que una reparación a escala mayor, pero sólo del área o franja específica.

Además, se tiene que, antes de emprender la reparación de un pavimento de adoquín, verificar el adecuado funcionamiento del sistema de drenaje subterráneo y la necesidad de modificar o no el sistema de drenaje superficial en cuanto a pendientes. Es muy importante para la durabilidad del pavimento tener un buen control del escurrimiento de agua en toda su estructura y que los materiales tengan espesores y calidad uniformes en toda su área, como que la calidad sea la óptima.

En una reparación se utiliza hasta el 90 por ciento del material existente en el pavimento: adoquines, material de la capa de base y confinamiento. Sólo será necesario incorporar material nuevo para reemplazar material defectuoso (base o adoquines): algunas unidades de adoquín que se hallan destruido o despostillado al comenzar a desarmar la capa de rodadura, el material de base complementario, la arena y arcilla para el sello de junta y la arena de la capa de asiento correspondiente



## 6- ELABORACIÓN DEL PROYECTO MEJORAMIENTO DE LAS CALLES DEL MUNICIPIO DE PATZICÍA, CHIMALTENANGO

### 6.1 Diseño

#### Datos

Valor soporte CBR	15 por ciento
Índice de grupo	4

Estos valores son del estudio realizado en este municipio donde se encontró arena limosa y arena arcillosa.

#### Diseño de espesores

#### Análisis del tráfico

Por la ubicación de las calles a pavimentar se puede prever un tráfico, para cada una no mayor de 300 vehículos familiares y 300 vehículos de carga al día con un máximo de 25 camiones pesados; de la tabla XIX, se tiene

Tipo de tráfico liviano	Carga de diseño 10,000 lb./rueda
-------------------------	----------------------------------

De la tabla XX, el espesor recomendable es

Tráfico liviano	8 cm.
-----------------	-------

En la actualidad por facilidad de elaboración los adoquines tienen una medida estándar de 10 cm. y sólo se fabrican con otros espesores bajo pedido, siempre y cuando éste sea grande.

Así que espesor 10 cm.

#### Capa de asiento

Espesor aproximado 3cm.  
Material Arena de río sin exceso de finos.

#### Capa de base

Espesor recomendado 15 cm. ya que el tránsito será más que todo para vehículo liviano  
Material Suelo granular bien graduado  
Valor soporte CBR mínimo 70  
Límite líquido máximo 25  
Índice de plasticidad máximo 6

Según el libro de especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes (libro Azul), inciso Capa base granular.

#### Capa de subbase:

El espesor se obtiene al aplicar la siguiente fórmula

$$Tsb = \left\{ \left[ \frac{(2Tc + Tg)}{3} \right] - (S + B + L) \right\} \times Fd$$

Donde se tiene

Tc	=	20 cm. (figura 8) espesor mínimo
Tg	=	25 cm. (figura 9)
S	=	8 cm.
B	=	15 cm.
Fd	=	1.00 (de tabla XXIII) porque la pendiente de la sección es mayor del 20 %.

$$Tsb = \left\{ \left[ \frac{2(20) + 25}{3} \right] - (8 + 15 + 3) \right\} \times 1.00$$

Pero debe cumplirse  $\frac{2Tc + Tg}{3} \geq Tc$

$$\frac{2(20) + 25}{3} = 21.67 > 20$$

Entonces adoptar 22

$$Tsb = 22 - 26 = -4$$

$$Tsb = 0 \text{ cm.}$$

O sea que no es necesaria una capa de sub-base, quedando el pavimento así

Capa de base	15 cm.
Capa de asiento	3 cm.
Adoquinado	10 cm.
Espesor total	<hr/> 28 cm.

## Bordillo

Altura (h) 35 cm.

Deberá salir por lo menos 10 cm. por encima de los adoquines.

## Llaves de confinamiento

Distancia 6 mt.

Tendrán esta separación debido a las pendientes tan variables.

Pendiente transversal

Pendiente 3%

Se tomará de 3 por ciento para toda la longitud, ya que en algunos puntos la pendiente longitudinal es menor a 4 por ciento y en otros es mayor, esto nos obligaría a estar cambiando constantemente de un 2 por ciento a un 3 por ciento y en el campo es difícil estar haciendo estos cambios de un tramo a otro.

No se pueden corregir las pendientes longitudinales, ya que en la actualidad ya existen viviendas, en ambos extremos, al hacerlo, algunas entradas de viviendas quedarían por debajo del nivel del adoquín, y otras por encima, de esta manera se trataran de respetar los niveles de las calles.

## 6.2 Elaboración de presupuesto

### 6.2.1 Datos

NOMBRE DE LA CALLE	ANCHO DE CALLE	LONGITUD DE PISTA	LONGITUD DE BORDILLO	CANTIDAD DE LLAVES	LONGITUD DE LLAVES
ADRIAN CUA	6	330.37	660.74	55	330
LOS MORMONES	6	322.4	644.8	54	324
LA RONDA	6	503.16	1006.32	84	504
EL CAMAN	6	365.86	731.72	61	366
LOS CHINOS	6	205.63	411.26	34	204
CHIROSARIO	6	354.45	708.9	59	354
		2081.87	4163.74	347	2082

### 6.2.2 Preparación del terreno

Limpieza = 6 mt +1 mt (bordillo ambos lados)  
= 7mt \* 2,082 mt  
= 14,574.00 mt<sup>2</sup>

Área de calles = 6 mt x 2,082 mt  
= 12,492 mt<sup>2</sup>

Trazo + estaqueado = 2,082 mt \* 3  
= 6,246.00 mt

Retiro de tierra = 12,492 x 0.15 mt (espesor de corte)  
= 1,873.80 mt<sup>3</sup>

Colocación de material selecto = 12,492 x \* 0.15 mt  
= 1,873.80 mt<sup>3</sup>

Material selecto = 1,873.80 m<sup>3</sup> x 1.30 (expansión)  
= 2,435.94 mt<sup>3</sup>

### 6.2.3 Adoquinamiento

Área de llaves	= 2082 mt x 0.10 mt (ancho de llaves) = 208.2 mt <sup>2</sup>
Colocación de adoquines	= 12,492 mt <sup>2</sup> - 208.2 mt <sup>2</sup> = 12,283.80 mt <sup>2</sup>
Adoquines	= 12,283.80 mt <sup>2</sup> x 22 (unidades / mt <sup>2</sup> ) = 270,244.00 unidades
Longitud de junta (en L)	= 0.16mt + (2 × 0.05)mt + (2 × √(0.03 <sup>2</sup> + 0.03 <sup>2</sup> ))mt = 0.435 mt / unidad
Longitud total	= 272,000 unidades x 0.435 mt / unidad = 118,320.00 mt
Relleno de juntas (Arena fina de río)	= 118,320 mt x 0.070 mt (altura) x 0.010 mt (espesor) = 83 mt <sup>3</sup>
Sellado de juntas (Arcilla en polvo)	= 118,320 mt x 0.030 mt (altura) x 0.010 mt (espesor) = 36 mt <sup>3</sup>



Colocación de capa de arena gruesa  
(Capa de asiento) espesor 0.03 mt

$$\text{Capa de asiento} = 0.03 \text{ mt} \times 12,492 \text{ mt}^2 = 375 \text{ mt}^3$$

$$\text{Apisonado} = 12,492 \text{ mt}^2$$

#### 6.2.4 Materiales

$$\begin{aligned} \text{Arena fina de río} &= 83 \text{ mt}^3 \times 1.3 \text{ (expansión)} \\ &= 108 \text{ mt}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Arcilla en polvo} &= 36 \text{ mt}^3 \times 1.3 \text{ (expansión)} \\ &= 47 \text{ mt}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Rodillos para apisonar} = 8 \text{ tubos Tc diámetro 24"}$$

$$\begin{aligned} \text{Arena gruesa} &= 375 \text{ mt}^3 \times 1.3 \\ &= 488 \text{ mt}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen de tubos} &= (V = \pi \times r^2 \times h) \\ &= 3.14 \times (0.3048 \text{ mt})^2 \times 1 \text{ mt} \\ &= 0.29 \text{ mt}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Concreto para rodillos} &= 0.29 \text{ mt}^3 \times 8 \text{ (tubos)} \\ &= 2.32 \text{ mt}^3 * 1.05 \text{ desperdicio} \\ &= 2.44 \text{ mt}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Proporción del concreto} = 1 : 2 : 2 \quad (\text{cemento, arena y pedrín})$$

Cemento =  $2.44 \text{ mt}^3 \times 9.8 \text{ (sacos / mt}^3\text{)}$   
= 24 sacos

Arena de río =  $2.44 \text{ mt}^3 \times 0.55$   
=  $1.5 \text{ mt}^3$

Piedrín =  $2.44 \text{ mt}^3 \times 0.55$   
=  $1.5 \text{ mt}^3$

Agua acarreada =  $2.44 \text{ mt}^3 \times 227 \text{ lt / mt}^3$   
= 527 lt  
= 148.5 galones

Tubo HG. diámetro 1" = 2 U

Varilla núm. 6 = 3 U

### **6.2.5 Construcción de llaves de confinamiento**

Volumen =  $2,082 \text{ mt} \times 0.32 \text{ mt (h)} \times 0.10 \text{ mt (esp.)}$   
=  $67 \text{ mt}^3 \times 1.05 \text{ des.}$   
=  $70.35 \text{ mt}^3$

Proporción del concreto = 1 : 2 : 2 (cemento, arena y piedrín)

Cemento =  $70.35 \text{ mt}^3 \times 9.8 \text{ (sacos / mt}^3\text{)}$   
= 690 sacos

Arena de río =  $70.35 \text{ mt}^3 \times 0.55$   
=  $39 \text{ mt}^3$

Piedrín =  $70.35 \text{ mt}^3 \times 0.55$   
=  $39 \text{ mt}^3$

Agua acarreada =  $70.35 \text{ mt}^3 \times 227 \text{ lt} / \text{mt}^3$   
=  $15,970 \text{ lt}$   
=  $4,282 \text{ galones}$

### 6.2.6 Construcción de bordillos

Volumen =  $4163.74 \text{ mt} \times 0.35 \text{ mt (h)} \times 0.10 \text{ mt (esp.)}$   
=  $146 \text{ mt}^3$   
  
=  $146 \text{ mt}^3 \times 1.05 \text{ desperdicio}$   
=  $153.3 \text{ mt}^3$

Proporción del concreto =  $1 : 2 : 2$  (cemento, arena y piedrín)

Cemento =  $153.3 \text{ mt}^3 \times 9.8 \text{ (sacos} / \text{mt}^3)$   
=  $1503 \text{ sacos}$

Arena de río =  $153.3 \text{ mt}^3 \times 0.55$   
=  $85 \text{ mt}^3$

Piedrín =  $153.3 \text{ mt}^3 \times 0.55$   
=  $85 \text{ mt}^3$

Agua acarreada =  $153.3 \text{ mt}^3 \times 227 \text{ lt} / \text{mt}^3$   
=  $33,142 \text{ lt}$   
=  $9,330 \text{ galones}$

Madera para formaleta = 4163.74 mt x 2 (de ambos lados)  
= 8327.48 mt  
= 8327.48 mt x 3.28 ft / mt  
= 27,314.13 ft  
= 27,314.13 ft / 6 (usos de tabla)  
= 4,552.35 ft  
= 4552.35 piezas x 1.2 (desperdicio)  
= 5,463 ft

Piezas de madera  
(para estacas) = 4163.74 mt x 2 (de ambos lados)  
= 8327.48 mt  
= 8327.48 mt / 0.80 (distancia de las  
estacas)  
= 10,409.35 estacas  
= 10,409.35 estacas / 6 (usos de la  
estaca)  
= 1734.89 estacas  
= 1734.89 estacas / 10 (estacas por pieza)  
= 173.49 piezas  
= 173.49 piezas x 1.2 (desperdicio)  
= 209 piezas

Alambre = 27,314.13 ft x 0.022 lb. / ft  
= 601 lb.

Clavo = 27,314.13 ft x 0.044 lbs / ft  
= 1202 lbs





(continuación)

3/4

PROYECTO DE:		ADOQUINAMIENTO		FECHA:		May-03		COSTO TOTAL:		Q. 1793230.85	
MUNICIPIO:		PATZICÍA		COSTO UNITARIO:		Q. 145.98/M2		DEPARTAMENTO:		CHIMALTENANGO	
Trabajadores	TIEMPO	núm	FASE DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN DEL	CANTI-	Un-	PRECIO	MANO DE	MATERIALES Q.	TOTAL DEL	
TE	P	M	S	D	DAD	dad	UNIT Q.	OBRA Q.	LOCALES	DE CIUDAD	RENGLÓN Q.
			B	MATERIALES EN OBRA							
				VOLUMEN DE CONCRETO	690	SC	36		24840		
				***** M3	39	M3	65		2535		
				LAVADA Y CERNIDA	39	M3	120		4680		
				PROPORCIÓN. 1:2:3:	4282	GL	0.2		856.4		
									32911.4		
				<b>BORDILLO</b>	<b>4163.74</b>	<b>ML</b>	<b>28.76</b>				<b>120184.59</b>
3	9	2	2	3	4163.74	ML	3.5	14573.09			
								<b>14573.09</b>			
				MATERIALES EN OBRA							
				VOLUMEN DE CONCRETO	1503	SC	36		54108		
				***** M3	85	M3	120		10200		
				LAVADA Y CERNIDA	85	M3	65		5525		
				PROPORCIÓN. 1:2:3:	9330	GL	0.2		1866		
				6 USOS	5463	PT	5		27315		
				ESTACAS DE 1" x 2" x 1'	209	U	10		2090		
					601	lb.	2.5		1502.5		
					1202	lb.	2.5		3005		
									105611.5		
				<b>HERRAMIENTA + BOTIQUÍN</b>						<b>6000</b>	<b>6000</b>
										<b>6000</b>	
				<b>TOTALES PARCIALES</b>				<b>280002.31</b>	<b>326740.5</b>	<b>911317.4</b>	<b>1518060.21</b>
				(MENOS IVA DE MATERIALES Y TRANSPORTE)							
				<b>COSTO DIRECTO</b>							<b>1244797.3</b>

(continuación)

4/4

Trabajadores		TIEMPO			núm	FASE DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN DEL REGLÓN DE TRABAJO	CANTI- DAD	Uni- dad	PRECIO UNIT Q.	MANO DE OBRA Q.	MATERIALES Q.		TOTAL DEL REGLÓN Q.
TE	P	M	S	D								LOCALES	DE CIUDAD	
					7	ADMÓN. DE CAMPO	(07 MESES) Q.45 + Q.55 + Q. 100							42000.00
					8	PRESTACIONES LABORALES								92640.00
					9	CUOTA PATRONAL DEL I.G.S.S	10%							32200.23
					10	BODEGA Y GUARDIAÍA								4000.00
					11	SUPERVISIÓN Y TRANS.								86575.65
					12	IMPREVISTOS (1%)								17754.76
						COSTO INDIRECTO								275170.64
						COSTO DIRECTO + INDIRECTO								1519967.94
					13	IVA DE MATERIALES Y TRANSPORTE								273262.91
						COSTO TOTAL DEL PROYECTO								1793230.85

PROYECTO DE: ADOQUINAMIENTO  
MUNICIPIO: PATZICÍA  
DEPARTAMENTO: CHIMALTENANGO

FECHA: May-03  
COSTO TOTAL: Q. 1793230.85  
COSTO UNITARIO: Q.145.98/M2



**Tabla XXVII. Resumen de materiales**

<b>PROYECTO DE:</b>		<b>ADOQUINAMIENTO</b>			
<b>MUNICIPIO:</b>		<b>PATZICÍA</b>			
<b>DEPARTAMENTO:</b>		<b>CHIMALTENANGO</b>			
<b>núm</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>1</b>	<b>LOCALES</b>				
	Cemento Pórtland	2217	SAC.	36	79812.00
	Arena de río fina de 3mm	125.5	M3	65	8157.50
	Arena de río gruesa de 6mm	488	M3	60	29280.00
	Arena de río fina de 3mm	108	M3	70	7560.00
	Material selecto	2,435.94	M3	60	146156.40
	Piedrín o grava de 3/4" a 1"	125.5	M3	120	15060.00
	Arcilla en polvo, sellado	47	M3	40	1880.00
	Madera para formaleta	5463	P.T.	5	27315.00
	Piezas de 1" x 2" x 10'	209	U	10	2090.00
	Alambre de amarre	601	LB.	2.5	1502.50
	Clavo de 2" a 3"	1202	LB.	2.5	3005.00
	Tubería Hg. de 1"	2	U	150	300.00
	Hierro núm.6	3	VAR.	50	150.00
	Agua acarreada	13760.5	GAL.	0.2	2752.10
	Tubos de concreto de 24'	8	U	215	1720.00
					326740.50
<b>2</b>	<b>DE CIUDAD</b>				
	Adoquines	270244	U	3.35	905317.40
	Herramienta y botiquín		GLOBAL		6000.00
					911317.40
	<b>TOTAL DE MATERIALES</b>				<b>1238057.90</b>

**Tabla XXVIII. Resumen de costos**

<b>PROYECTO DE:</b> ADOQUINAMIENTO <b>MUNICIPIO:</b> PATZICÍA <b>DEPARTAMENTO:</b> CHIMALTENANGO			
<b>núm.</b>	<b>RESUMEN COSTOS</b>	<b>COSTO EN QUETZALES</b>	<b>COSTO EN U.S DÓLAR</b>
<b>A</b>	<b>COSTOS DIRECTOS</b>		
1	Materiales	Q1,238,057.90	\$158,725.37
2	Mano de obra	Q280,002.31	\$35,897.73
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>Q1,518,060.21</b>	<b>\$194,623.10</b>
<b>B</b>	<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		
1	ADMÓN. DE CAMPO	Q42,000.00	\$5,384.62
2	PRESTACIONES LABORALES	Q92,640.00	\$11,876.92
3	CUOTA PATRONAL DEL I.G.S.S.	Q32,200.23	\$4,128.23
4	BODEGA Y GUARDIANÍA	Q4,000.00	\$512.82
5	SUPERVISIÓN Y TRANSPORTES	Q86,575.65	\$11,099.44
6	IMPREVISTOS (1%)	Q17,754.76	\$2,276.25
	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>Q271,170.64</b>	<b>\$34,765.47</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>Q1,793,230.85</b>	<b>\$229,901.39</b>

**TIPO DE CAMBIO Q. 7.80 (Quetzales) = \$1.00 (U.S. Dólar)**

Tabla XXIX. Cronograma

PROYECTO DE:		ADOQUINAMIENTO		FECHA:		May-03											
MUNICIPIO:		PATZICÍA		COSTO TOTAL:		Q. 1793230.8											
DEPARTAMENTO:		CHIMALTENANGO		COSTO UNITARIO:		Q. 145.98/M2											
Trabajadores	TE	P	M	S	D	No	FASE DEL PROYECTO	DESCRIPCIÓN DEL RENGLÓN DE TRABAJO	CANTIDAD	Unidad	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (meses)						
											1	2	3	4	5	6	7
						<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>										
	24	1					Excavación		12,492	M2							
3	18	1					Nivelación		12,492	M2							
						<b>2</b>	<b>PREPARACIÓN DEL TERRENO A ADOQUINAR</b>										
	30		2				Limpieza		14,574	M2							
4	10		2				Trazos y estaqueado		6,246	ML							
							Homogenización, humedecimiento configuración y compactación		12,492	M2							
10	99	1	1	4			Colocación de material selecto		1,873.80	M3							
							Retiro de material sobrante		1,873.80	M3							
	24	1															
						<b>3</b>	<b>ADOQUINAMIENTO</b>										
	4		3	3			Colocación de cama de asiento		375	M3							
8	16	3	2	1			Colocación de adoquines		270244	U							
	8		2	3			Relleno de juntas		83	M3							
	25		3				Sellado de juntas		36	M3							
	6		2	2			Apisonamiento		12492	M2							
						<b>4</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE LLAVES DE CONFINAMIENTO</b>										
3	9	1	1	2					2082	AL							
						<b>5</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DE BORDILLO</b>										
3	9	2	2	3					4163.74	MI							

Tabla XXX. Rendimiento para trabajadores de adoquinamiento

TIPO DE MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMIENTO			PERSONAL
		Min.	Max.	Prom.	
Excavación (0,15 m de profundidad)	m3/día	10	24	14	4Pe
Limpieza, terracería urbana.	m2/día	100	300	230	5Pe
Nivelación, enrase.	ml/día	100	250	170	1TE+6Pe
Trazo y estaqueado	m2/día	100	180	120	1MO+2A
Escarificación	m2/día	50	90	80	1TE+4Pe
Homogeneización	m2/día	20	40	30	4Pe
Humedecimiento	m2/día	310	400	380	1Pe
Configuración	m2/día	50	100	80	4Pe
Compactación	m2/día	40	100	50	1TE+9Pe
Retiro de tierra al camión	m3/día	10	24	14	4Pe
Colocación de material selecto	m3/día	10	15	12	1TE+3Pe
Construcción de bordillo (0.10*0.35)	ml/día	16	30	22	1Al+3A
Colocación de arena (t=3cm)	m3/día	12	24	20	4Pe
Colocación de adoquines*	U/día	600	1000	800	2TE+4Pe
Relleno de juntas, adoquín	m3/día	2	4	3	4Pe
Relleno de juntas, adoquín	m2/día	200	400	300	4Pe
Sellado de juntas, adoquín	m3/día	1/5	1/3	1/3	4Pe
Sellado de juntas, adoquín	m2/día	150	180	170	4Pe
Apisonamiento de adoquinado	m2/día	400	500	480	6Pe
Construcción de llaves de confinamiento	ml/día	20	30	22	1Al+3A

\* Incluye el acarreo desde su apilamiento

Pe = Peón

TE = Trabajador especializado

MO = Maestro de Obra

Al = Albañil

A = Ayudante

### 6.3 Planos

Figura 23. Ubicación de las calles

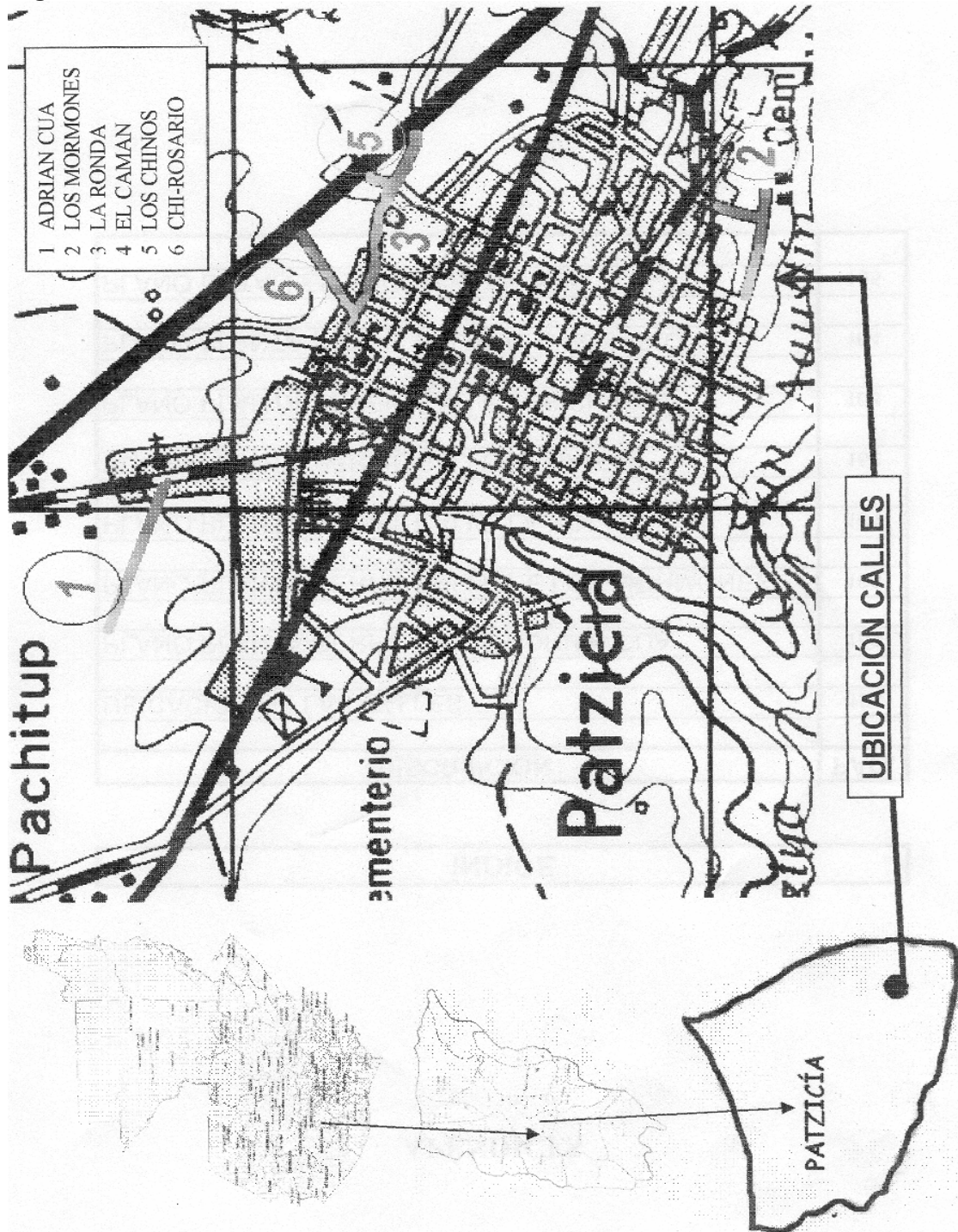


Figura 24. Plano de la planta/perfil de la calle Adrián Cua

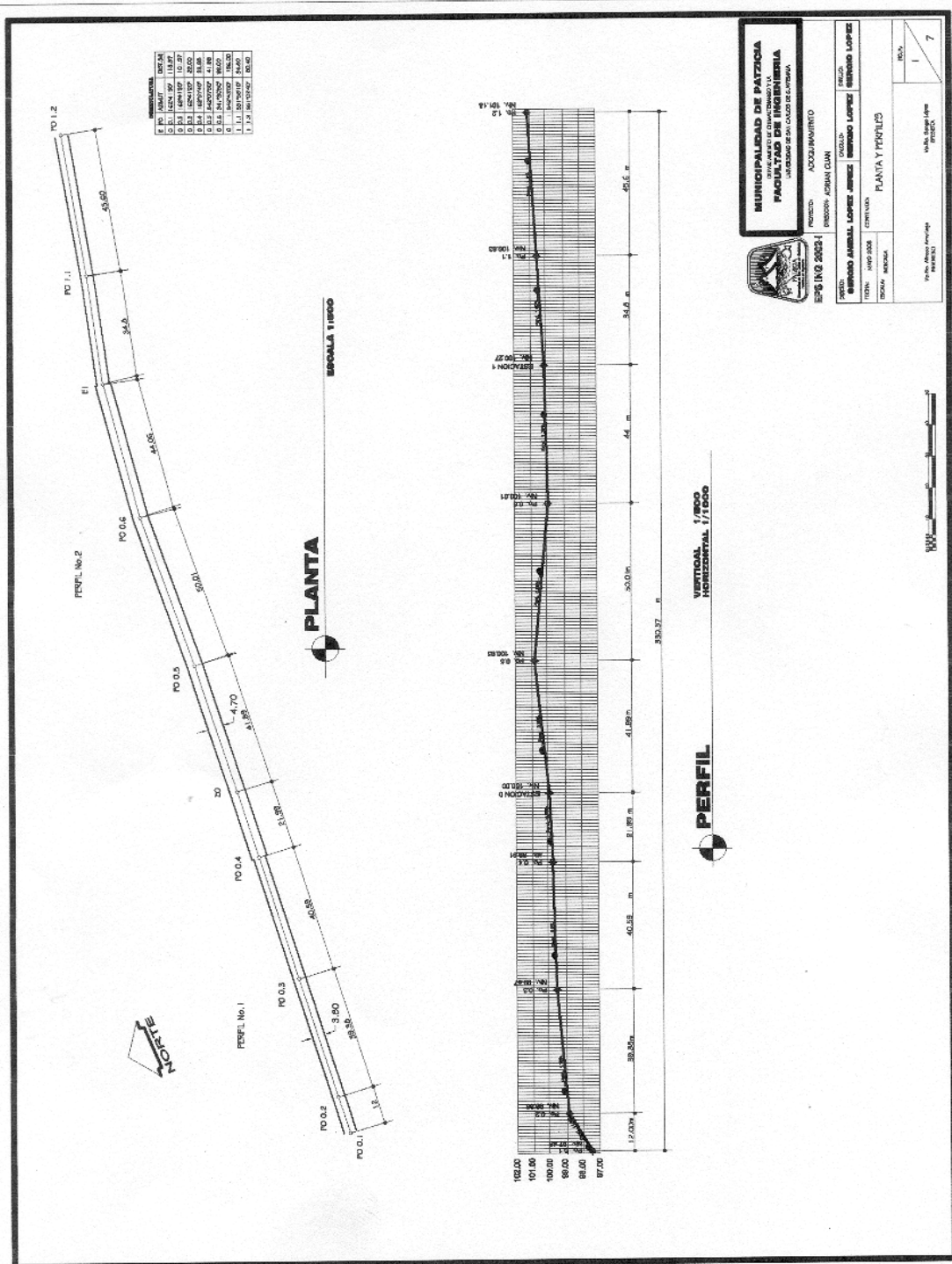
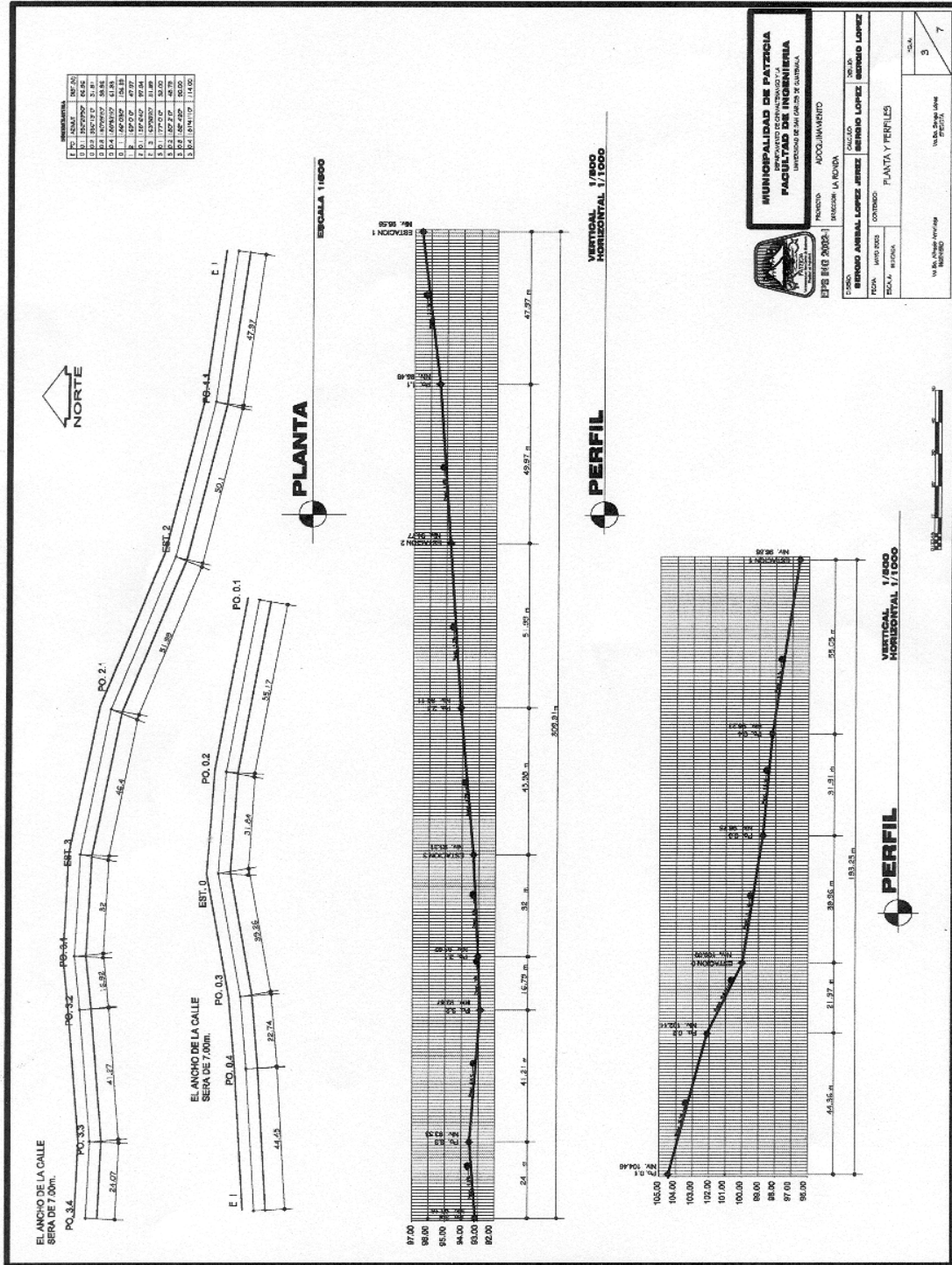




Figura 26. Plano de la planta/perfil de la calle La Ronda



**MUNICIPALIDAD DE PATATEA**  
SEMPROVIDO DE INGENIERIA Y  
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ADOQUINAMIENTO  
SECCION: LA RONDA

CLIENTE: SERGIO AMARAL LOPEZ JIREZ  
SERGIO LOPEZ SERGIO LOPEZ

FECHA: MARZO 2003  
CONTENIDO: PLANTA Y PERFILES

ESCALA: 1/500

NO. DE PLANOS: 04  
NO. DE PLANOS: 04  
NO. DE PLANOS: 04

FECHA: 03/03/2003

NO. DE PLANOS: 04



Figura 27. Plano de la planta/perfil de la calle El Caman

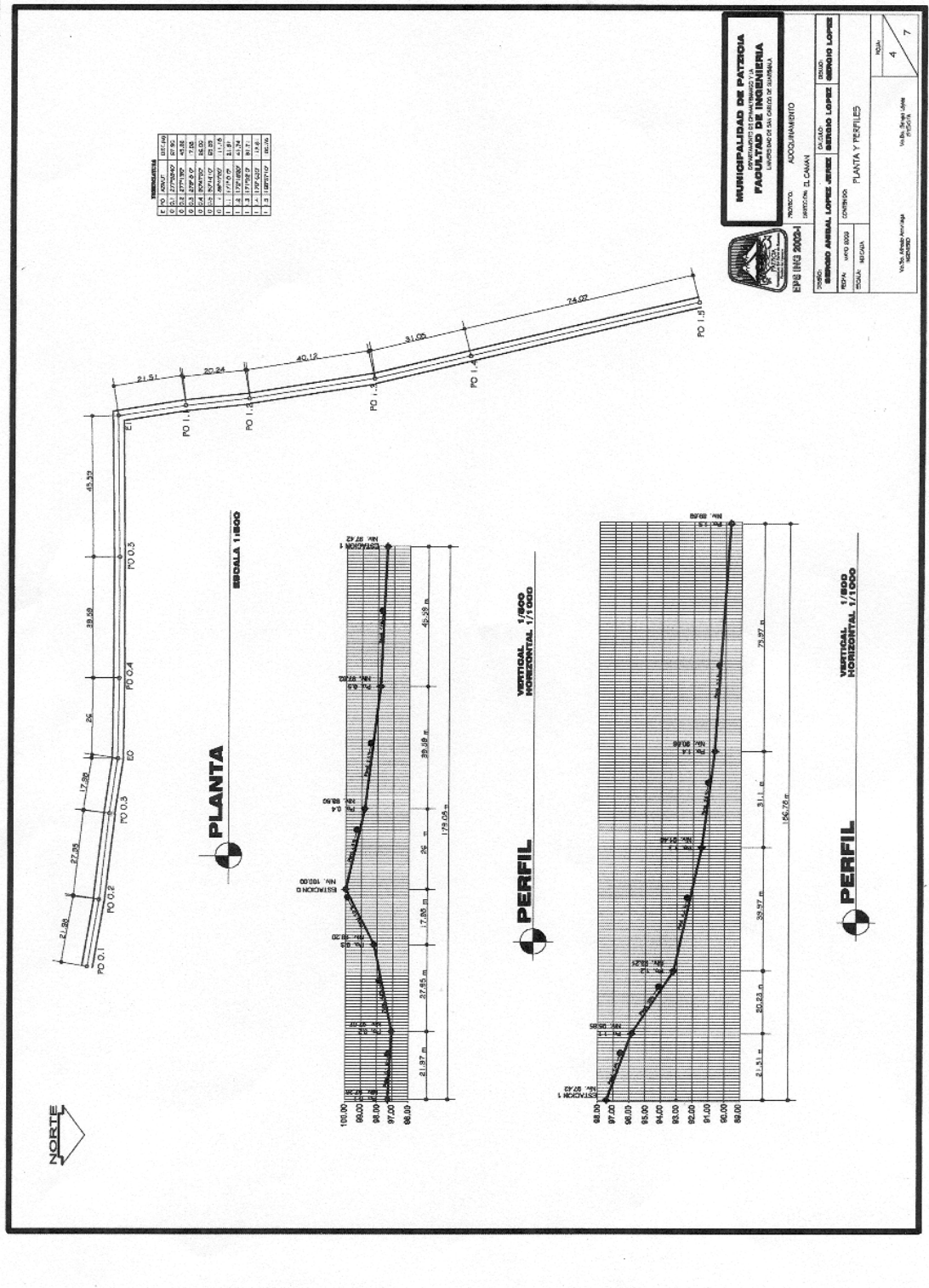


Figura 28. Plano de la planta/perfil de la calle Los Chinos

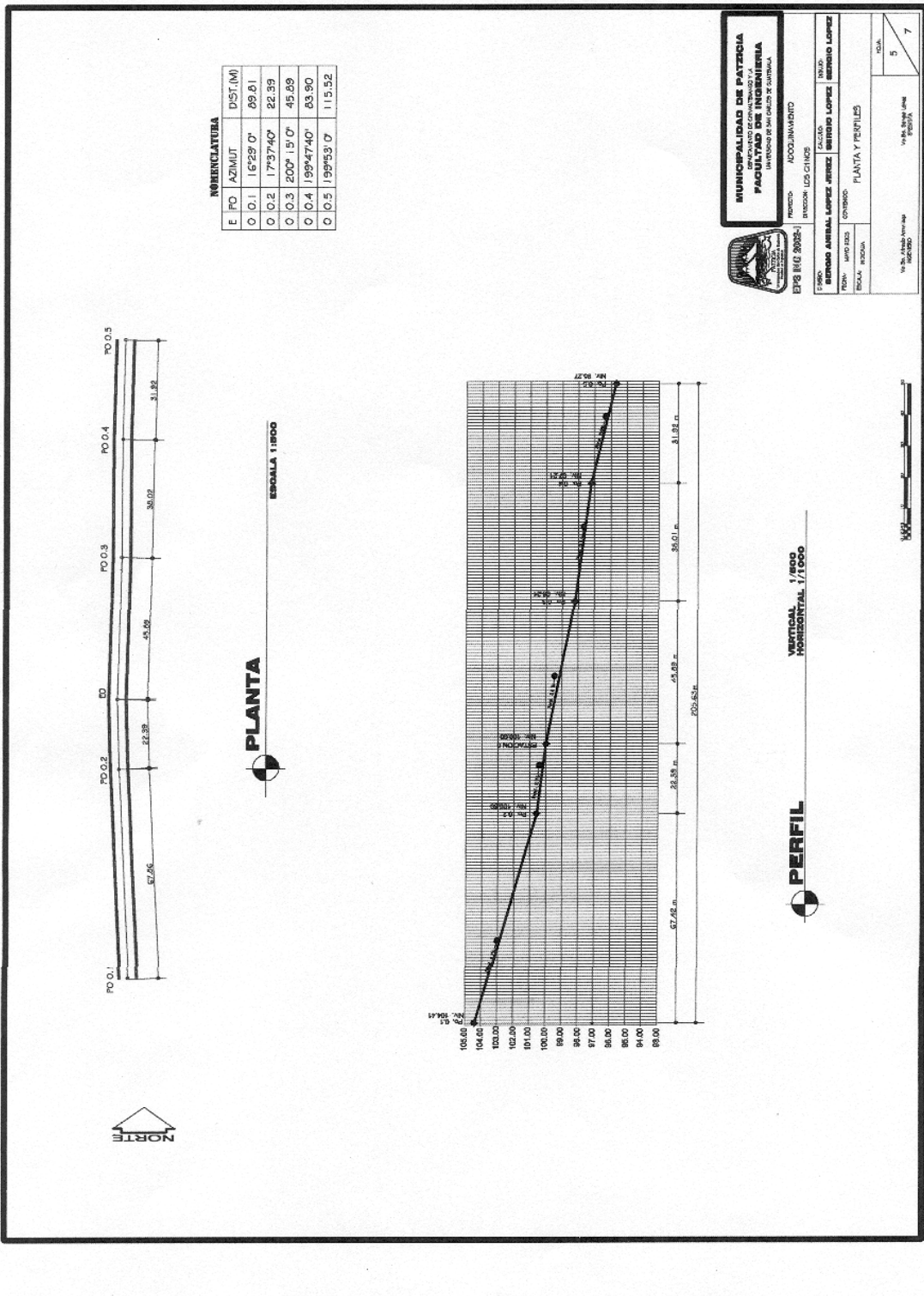


Figura 29. Plano de la planta/perfil de la calle Chi Rosario

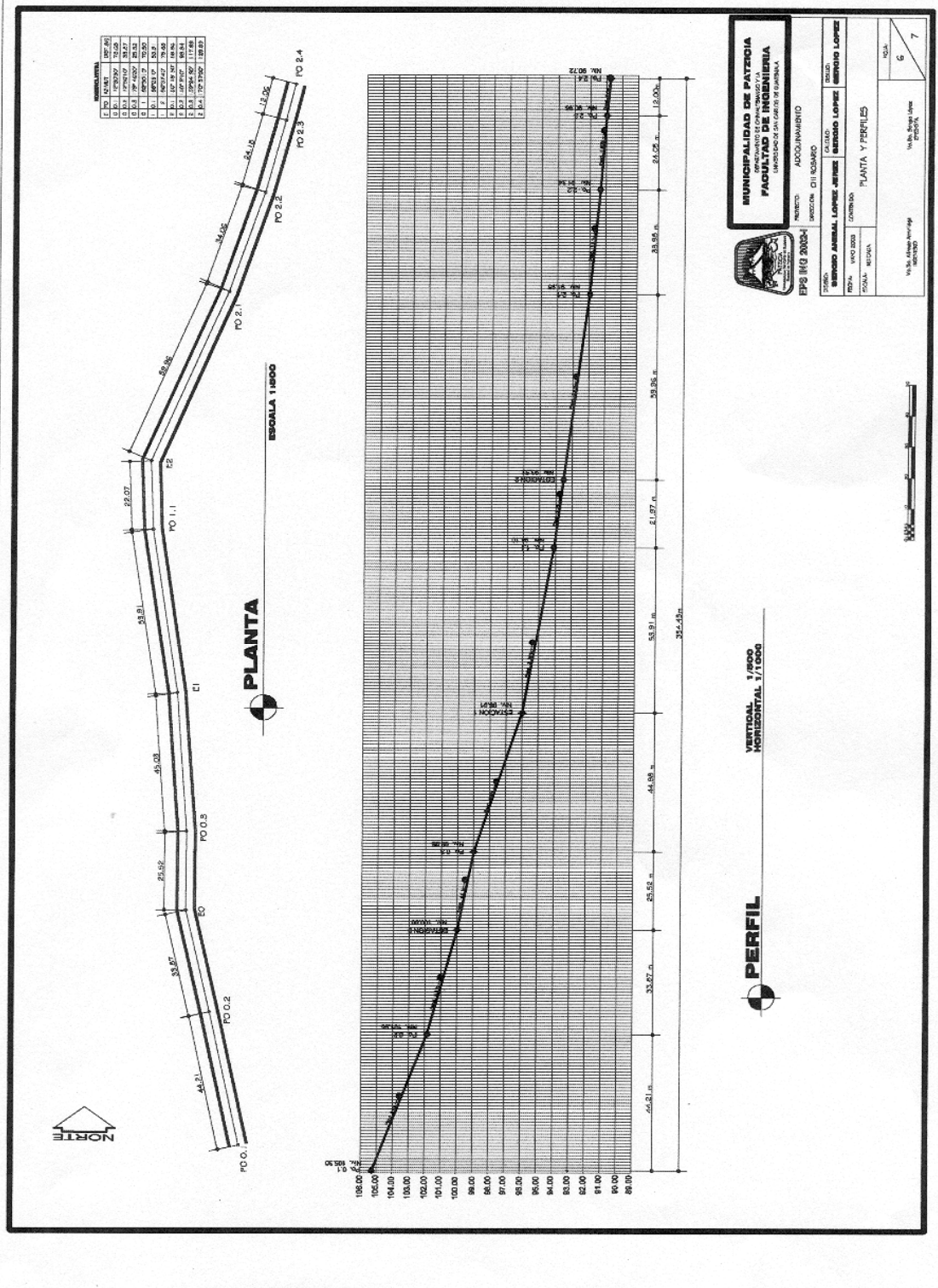
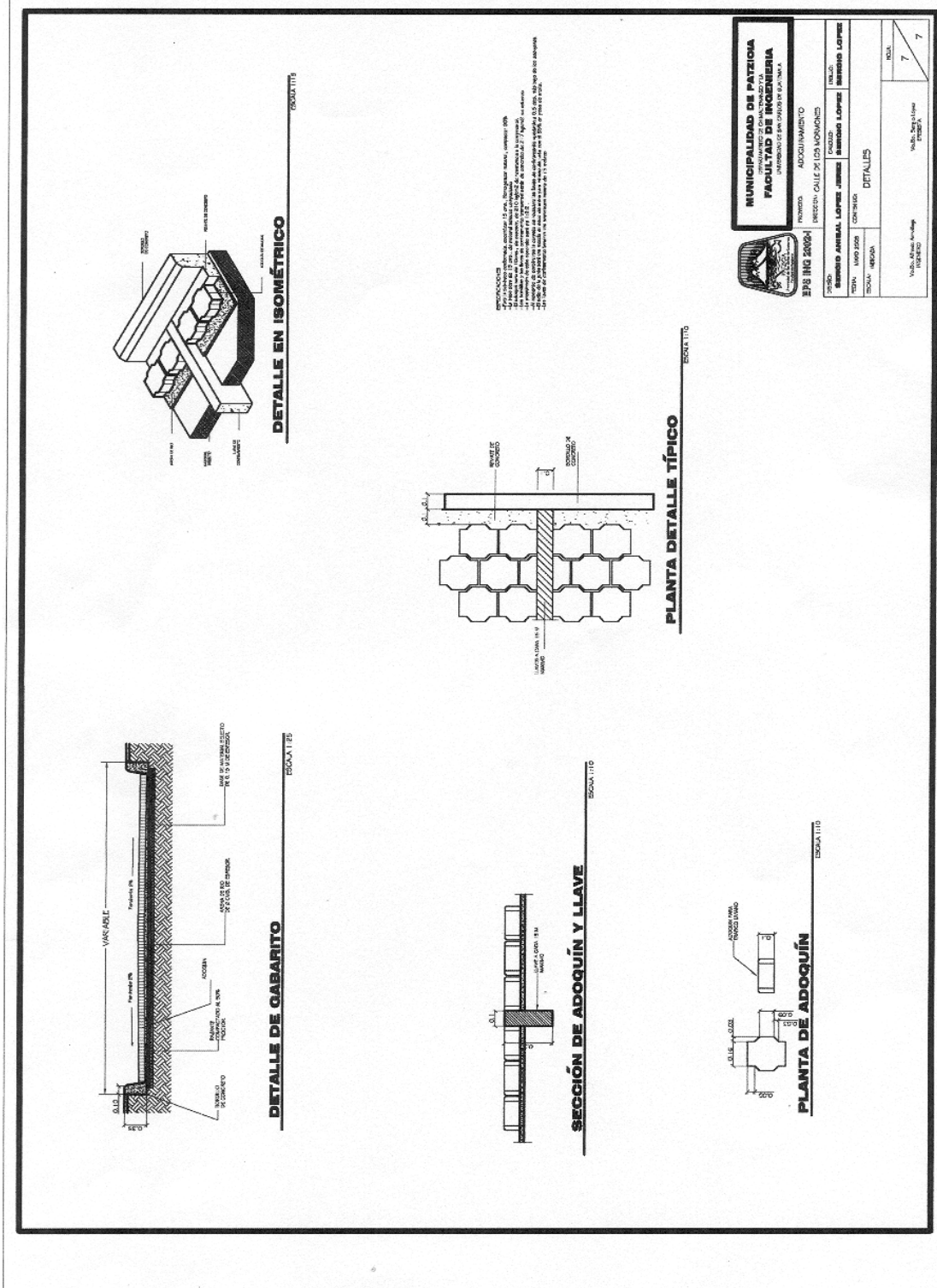


Figura 30. Plano de detalles del adoquinamiento



## CONCLUSIONES

1. El adoquinamiento es un sistema sencillo y económico que contribuye a mejorar la calidad de vida de las personas y el desarrollo de la comunidad. Además, cumple con todos los requisitos para brindar un servicio eficiente, tanto al tránsito vehicular como a los peatones.
2. Con la pavimentación de las calles en la comunidad de Patzicía, Chimaltenango, el ornato mejorará y adquirirán plusvalía las propiedades cercanas a estas calles.
3. Se colocará pavimento de adoquín, ya que en la actualidad no se cuenta con alcantarillado sanitario ni pluvial y de esta manera en el futuro se podrán implementar estos servicios.
4. Teniendo las calles adoquinadas, los pobladores de esta región reducirán el porcentaje de enfermedades respiratorias, ya que en la actualidad, un 27 % de la población sufre de las mismas, debido al polvo en verano y al agua estancada o los lodazales que se acumulan en invierno.
5. El rendimiento de los trabajadores que realicen este proyecto, es directamente proporcional a la calidad de los materiales que utilicen, de esta manera si los materiales son de mala calidad el rendimiento se verá afectado, alterando el tiempo de ejecución y el presupuesto.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar mano de obra local, ya que al ser de la región, se estarán creando fuentes de trabajo, de esta forma la municipalidad contribuirá a proporcionar empleo a sus habitantes y vecinos, evitando en parte las migraciones temporales que sólo perjudican a los trabajadores.
2. Terminar los sistemas de drenajes, agua potable, etc., estén totalmente terminados antes de adoquinar las calles y de esta forma evitar que haya una remoción innecesaria en un futuro cercano, evitando problemas tanto económicos como constructivos.
3. Tener una compactación de la base de un 95 por ciento como mínimo, de lo contrario el adoquinamiento puede presentar hundimientos en la superficie de rodadura.
4. Supervisar desde el inicio del proyecto, tanto los materiales que serán utilizados en la construcción, como los empleados y el trabajo que realicen, de lo contrario pueden surgir problemas, por la mala calidad de los materiales o por la mala construcción que realicen los trabajadores.
5. No dejar pasar mucho tiempo para la ejecución de este proyecto, de lo contrario el costo del mismo se verá afecto por el incremento de los precios, esto consecuencia de la inflación que se vive día a día en nuestro país.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Dates Barrientos, Luis Rodolfo. Estudio de las cargas y dimensiones a tomarse en cuenta en el diseño de pavimentos en la república de Guatemala y proposición de un nuevo método de diseño de pavimentos. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, agosto de 1974. 145pp.
2. División de obras municipales. Especificaciones generales y técnicas para la construcción de pavimentos con adoquines de concreto. Guatemala noviembre de 1986. 186pp.
3. Erazo Cifuentes, Francisco Roberto. Ejecución y evaluación del proyecto adoquinamiento área de taxeo de aeronáutica civil. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, marzo de 1987. 112pp.
4. Galindo Cabrera, Ronal Estuardo. Rendimiento de mano de obra en la construcción de pavimentos de adoquín y empedrado. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, octubre de 1993. 120pp.
5. Girón Wetjen, Rodolfo Ernesto. Diseño de pavimentos de adoquín. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, noviembre de 1976. 128pp.
6. Hernández Corado, Cesar Arnoldo. Contribución al estudio de pavimentos con adoquín. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, noviembre de 1976. 165pp.

7. Instituto de Fomento Municipal (INFOM). Instructivo para pavimentos con adoquines de concreto. Guatemala 1986. 82pp.
  
8. Pinto Acevedo, Ricardo Asinio. Estudio sobre adoquines de concreto fabricados en Guatemala y propuesta de normas para el control de calidad. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, agosto de 1974. 132pp.
  
9. Ruano Paz, Marco Antonio. Instructivo para pavimentación con adoquines de concreto en áreas rurales. Tesis Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, agosto de 1974. 145pp.