



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

**EFFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y
PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA**

Pablo Joaquin Tello Urizar

Asesorado por el Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EFFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y
PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PABLO JOAQUIN TELLO URÍZAR

ASESORADO POR EL ING. YEFRY VALENTÍN ROSALES JUÁREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

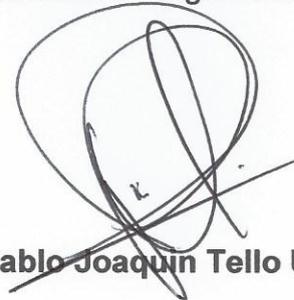
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordon
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i)

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EFFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 3 de noviembre de 2016.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Pablo Joaquin Tello Urizar

Guatemala, 13 de octubre de 2017

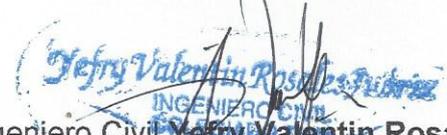
Ingeniero civil
José Gabriel Ordoñez Morales
Escuela de Ingeniería Civil
Área de Materiales y Construcciones civiles
Facultad de Ingeniería, USAC

Ingeniero Ordoñez:

Por medio de la presente me dirijo a usted, para hacer de su conocimiento que como Asesor del estudiante universitario, Pablo Joaquin Tello Urizar, con numero de carné: 201021418, he tenido a la vista el trabajo de graduación titulado: "EFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA" el cual encuentro satisfecho.

En tal virtud, LO DOY POR APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.



Ingeniero Civil **Jeffrey Valentin Rosales Juárez**
Número Colegiado: 7177



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
21 de febrero de 2018

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EFFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Pablo Joaquín Tello Urizar quien contó con la asesoría del Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Pablo Joaquín Tello Urizar EFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2018

/mmm.

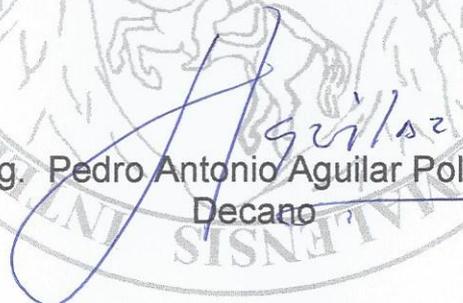
Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EFFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFÁLTICA**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Joaquín Tello Urizar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por proveerme de salud, inteligencia, constancia y capacidad para culminar con éxito esta carrera.
- Mi padre** José Roberto Tello Samayoa, por ser mi inspiración, ejemplo de vida, trabajo y sacrificio.
- Mi madre** Flor de María Urizar Palacios, por ser mi guía, inspiración, ejemplo de trabajo constante, consejera y amiga.
- Mis hermanos** José Roberto y Carlos Enrique, por el amor y apoyo incondicional que me han brindado siempre.
- Mi novia** Andrea Ortiz, por todo el amor, apoyo incondicional y paciencia a lo largo de toda mi carrera, por siempre tener palabras de ánimo.
- Mis sobrinos** José Joaquín Tello Gonzales y Daniel Adrián Tello Gonzales, por recordarme qué es ser niño de nuevo, por sus alegrías, ocurrencias y amor.

Mis amigos

Raciel Méndez, Pablo Hernández, Roberto Sandoval, Jorge Rodríguez, Walter Juárez, Miguel de León, Byron Noguera, Sergio Acajabón, José Escobar, Conrado Miranda y Rodrigo Ovando, porque a pesar de los años la amistad prevalece.

Mi familia

Por el apoyo recibido en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi asesor	Ingeniero Jefry Rosales, por su amistad, confianza y asesoría en este trabajo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser fuente de conocimiento.
Facultad de Ingeniería	Por los conocimientos adquiridos, y por las amistades para la vida.
Ingeniero José Istupe	Por su amistad, confianza y por compartir sus conocimientos para mi formación profesional.
Laboratorio de Asfaltos	Darío Lucas, José Istupe, Edgar Morales, Bryan Ortiz, Carlos Gómez, Herbert López, Paola Pérez, María Fernanda Díaz y Alejandra Franco.
Mis amigos	José Sánchez, Stephanie Molina, Werner Valdez, Dina Ventura, Raúl Ticún, Rodrigo Chacón, Alexandra García, Rodrigo Villagrán, Allan Paniagua, José Galindo, Luis López, Gerardo Taracena, Emilio Ramos y Fernando Gil.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Estudios previos de mezclas asfálticas en caliente	1
1.1.1. Estudios previos sobre el criterio para diseñar mezclas asfálticas en caliente	1
1.1.2. Criterios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente	2
1.1.3. Conclusiones	9
1.1.4. Recomendaciones	11
1.2. Estudios previos para la producción de mezclas asfálticas en caliente.....	12
1.2.1. Producción de mezclas asfálticas en caliente	12
1.2.2. Conclusiones	17
1.2.3. Recomendaciones	17
1.3. Estudios previos para la rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente..	18
1.3.1. Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfaltico	19
1.3.2. Conclusiones	19

1.3.3.	Recomendaciones.....	20
2.	CAÑA DE AZÚCAR	23
2.1.	Historia de la caña de azúcar	23
2.2.	Procesos de los ingenios azucareros	28
2.2.1.	Proceso agrícola	33
2.2.2.	Proceso industrial.....	46
2.2.3.	Proceso comercial.....	53
2.3.	Zafra	53
2.4.	Propiedades químicas de la caña de azúcar	57
2.5.	Componente del jugo de caña de azúcar	60
3.	ESTUDIOS REALIZADOS.....	65
3.1.	Tránsito promedio de transporte azucarero.....	65
3.2.	Índice de desperdicios no controlados sobre la carpeta asfáltica	70
3.3.	Pérdida de volumen de la caña de azúcar.....	71
3.4.	Pérdida de caña de azúcar durante el transporte	76
3.5.	Proporciones de la solución de jugo de caña y agua.....	78
4.	PROCESAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR	85
4.1.	Ingenios azucareros	85
4.1.1.	Ubicación	85
4.1.2.	Área de influencia territorial.....	87
4.2.	Área territorial del cultivo de caña de azúcar	88
4.2.1.	Carreteras dentro del área territorial del cultivo de caña de azúcar.....	91
4.2.2.	Tipos de carpetas de rodadura	93
4.3.	Tipos de transporte de caña de azúcar	96

4.3.1.	Transporte de corte manual.....	96
4.3.2.	Transporte de corte mecanizado	97
4.3.3.	Alternativas transporte de caña de azúcar	99
4.3.4.	Carreteras aptas para transporte azucarero.....	101
4.3.5.	Problemáticas en el transporte de la caña de azúcar.....	103
4.4.	Seguridad vial	106
4.4.1.	Normas dirigidas a infraestructura y entorno vial.....	107
4.4.1.1.	Aspectos por considerar en el diseño de una carretera.....	107
4.4.1.2.	Aspectos por considerar en el diseño de pavimentos.....	111
4.4.1.3.	Mantenimiento de las carreteras y seguridad vial.....	114
4.4.2.	Situación de la seguridad vial en Guatemala.....	118
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	121
5.1.	Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559	121
5.1.1.	Objeto.....	121
5.1.2.	Preparación de la muestra.....	121
5.1.3.	Instrumentos.....	122
5.1.4.	Procedimiento.....	125
5.2.	Estabilidad y flujo Marshall.....	125
5.2.1.	Objeto.....	125
5.2.2.	Procedimiento.....	125
5.2.3.	Forma de calcular	126
5.2.4.	Para el informe	126
5.3.	Densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188.....	127

5.3.1.	Objeto.....	127
5.3.2.	Preparación.....	128
5.3.3.	Instrumentos	128
5.3.4.	Procedimiento	128
5.3.5.	Forma de calcular.....	128
5.3.6.	Para el informe	129
5.4.	Densidad específica teórica máxima Rice ASTM D 2041 y AASHTO T 209.....	130
5.4.1.	Objeto.....	130
5.4.2.	Preparación de la muestra	130
5.4.3.	Instrumentos	130
5.4.4.	Procedimiento	131
5.5.	Porcentaje de vacíos – densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269	133
5.5.1.	Procedimiento	133
5.6.	Análisis e interpretación de resultados del diseño Marshall	134
5.6.1.	Trabajo de laboratorio para el diseño de mezcla	134
5.6.2.	Características de la mezcla asfáltica	135
5.6.3.	Definición de granulometrías para diseño de mezclas	136
5.7.	Resultados obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188	137
5.8.	Resultados obtenidos densidad específica teórica máxima	143
5.9.	Resultados obtenidos porcentaje de vacíos – densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269	147
5.10.	Resultados obtenidos prueba de estabilidad – flujo Marshall ...	149
5.11.	Análisis e interpretación de resultados de las pastillas sometidas a los efectos de jugo de caña.....	154

5.11.1.	Trabajo de laboratorio para el diseño de mezcla con porcentaje de bitumen óptimo	155
5.11.2.	Características de la mezcla asfáltica.....	155
5.11.3.	Diferencia de aspecto y textura superficial en las pastillas de mezcla asfáltica	155
5.11.4.	Cálculo de densidad específica bruta	157
5.11.5.	Cálculo de densidad específica teórica máxima	159
5.12.	Porcentaje de vacíos – densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269.....	160
5.13.	Definición de metodología para ensayos de pastillas sometidas a los efectos de jugo de caña	162
5.13.1.	Resultados obtenidos de pastillas sumergidas en la solución 20 %-80 %.....	164
5.14.	Prueba de estabilidad – flujo Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña.....	170
5.15.	Resultados obtenidos de pastillas sumergidas en solución 50 %-50 %	173
5.16.	Prueba de estabilidad – flujo Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña.....	180
5.17.	Análisis de resultados	186
5.17.1.	Datos de análisis de resultados	186
5.17.2.	Análisis de resultados obtenidos gravedad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188	187
5.17.3.	Análisis de resultados obtenidos gravedad específica teórica máxima	188
5.18.	Análisis de resultados obtenidos del porcentaje de vacíos densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269	190
5.19.	Análisis de resultados obtenidos en prueba de flujo Marshall..	191

5.20. Análisis de resultados obtenidos en prueba de estabilidad	
Marshall	193

CONCLUSIONES.....	195
RECOMENDACIONES	197
BIBLIOGRAFÍA.....	199
APÉNDICE	203
ANEXOS.....	205

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Adecuación de tierras para cultivo.....	34
2.	Diseño de fincas para la siembra	35
3.	Preparación de suelos antes de la siembra.....	36
4.	Siembra manual y mecánicamente	37
5.	Control de malezas.....	39
6.	Clases de sistemas de riego	41
7.	Aplicación de fertilizantes	42
8.	Plagas en caña de azúcar	43
9.	Aplicación de estimulantes para el crecimiento	44
10.	Proceso agrícola de caña de azúcar	45
11.	Extracción de jugo de caña.....	46
12.	Concentración del jugo de caña	49
13.	Cristalización del azúcar.....	50
14.	Centrifugado y secado del proceso	51
15.	Proceso industrial en los ingenios azucareros.....	52
16.	Corte de caña durante la zafra	55
17.	Transporte de caña en época de zafra	55
18.	Proceso de cosecha zafra	56
19.	Porcentajes aproximados de los componentes de la caña de azúcar graficados	61
20.	Porcentajes aproximados de los constituyentes de la caña.....	63
21.	Muestreo de tránsito en la salida de la finca del ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente.....	68

22.	Muestreo de tránsito en la entrada del ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente.....	69
23.	Muestreo de tránsito en el entronque de la carretera principal y el ingreso al ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente.	70
24.	Muestras de caña de azúcar	73
25.	Muestra de caña de azúcar deshidratada	73
26.	Prueba de tránsito	74
27.	Muestreo estudio de limpieza, equipo de limpieza, km 113 CA-02 occidente	77
28.	Muestreo estudio de limpieza, personal de recolección de desperdicios, km 113 CA-02 occidente	78
29.	Máquina extractora de jugo de caña	80
30.	Caña de azúcar después de pasar por el extractor de jugo	81
31.	Agua de lluvia recolectada	82
32.	Solución 2: agua de lluvia y jugo de caña	83
33.	Mapa ingenio Amatitlán	86
34.	Mapa ingenio en Escuintla	87
35.	Mapa ingenio en finca Belén	91
36.	Mapa de ubicación del ingenio ubicado en la finca Buganvilia.....	93
37.	Transporte de cosecha, realizada manualmente.....	97
38.	Transporte de cosecha, realizada utilizando equipo mecánico.	98
39.	Transporte de caña de azúcar con vagones	101
40.	Vías carretables de acceso	102
41.	Daños en carreteras	106
42.	Aspectos diseño de pavimento.....	113
43.	Mantenimiento de carreteras	116
44.	Mantenimiento para seguridad vial.....	117
45.	Equipo de prueba flujo - estabilidad Marshall.....	127

46.	Prueba densidad específica Bulk, peso sumergido	129
47.	Equipo de densidad teórica máxima	133
48.	Pastillas diseño Marshall, porcentaje de bitumen variable	140
49.	Pruebas de laboratorio obtención de datos densidad específica Bulk.....	143
50.	Prueba densidad específica teórica máxima	147
51.	Toma de datos en pastillas, diámetros y alturas	154
52.	Comparación película de solución superficial	156
53.	Pastillas expuestas a 60 °C	163
54.	Jugo de caña, medición para ambas soluciones	174
55.	Pastillas sometidas a efectos de jugo de caña	184
56.	Obtención de datos, diámetros y alturas.....	186

TABLAS

I.	Causas y efectos de inestabilidad de pavimento	6
II.	Causas y efectos de la carencia de durabilidad	7
III.	Causas y efectos de permeabilidad	8
IV.	Causas y efectos de problemas de trabajabilidad.....	9
V.	Cuadro comparativo de autores expuestos.....	22
VI.	Ingenios fundados en el período de 1863 a 1914	29
VII.	Ingenios fundados en el período de 1958 a 1969	30
VIII.	Ingenios fundados en el período de 1975 a 1981	30
IX.	Lista de ingenios azucareros en Guatemala	32
X.	Composición de carbohidratos del jugo de caña	47
XI.	Composición de minerales en el jugo ya diluido	48
XII.	Propiedades químicas de la caña de azúcar	57
XIII.	Promedio de la composición química (%) de los tallos y los jugos de la caña de azúcar.....	59

XIV.	Composición de la caña	60
XV.	Composición del jugo de caña.....	61
XVI.	Valores referenciales constituyentes de la caña.....	62
XVII.	Total de camiones cargados con caña, con su respectivo equipo, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente	66
XVIII.	Total de vehículos pesados (camiones con cisternas, buses, camiones de volteo, tractores) que ingresan al ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente.....	66
XIX.	Total de vehículos livianos y pesados, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente.....	67
XX.	Resultados obtenidos, prueba de compresión por tránsito	75
XXI.	Densidades de soluciones.....	79
XXII.	Colindancias del ingenio ubicado en la finca Buganvilia.....	93
XXIII.	Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D3515).....	135
XXIV.	Diseño granulométrico por el método Marshall	136
XXV.	Gráfica granulométrica de diseño Marshall	137
XXVI.	Datos de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall.....	138
XXVII.	Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall	141
XXVIII.	Resumen de densidad Bulk frente a porcentaje de bitumen	141
XXIX.	Gráfica de densidad específica Bulk en mezcla con granulometría Marshall.....	142
XXX.	Datos de densidad específica teórica máxima con granulometría Marshall.....	145

XXXI.	Resumen densidad teórica máxima frente a porcentaje de bitumen	146
XXXII.	Gráfica de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall	146
XXXIII.	Resumen densidad teórica máxima frente a porcentaje de bitumen.....	149
XXXIV.	Gráfica de porcentaje de vacíos – densidad de mezcla Marshall.....	149
XXXV.	Datos de estabilidad y flujo Marshall.....	150
XXXVI.	Resumen de flujo frente a porcentaje de bitumen.....	151
XXXVII.	Gráfica de flujo frente a porcentaje de bitumen	151
XXXVIII.	Resumen de estabilidad frente a porcentaje de bitumen	152
XXXIX.	Gráfica de estabilidad frente a porcentaje de bitumen.....	152
XL.	Diámetros y alturas de las pastillas de diseño	153
XLI.	Diseño granulométrico por el Método Marshall.....	156
XLII.	Datos de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña	157
XLIII.	Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña	159
XLIV.	Datos de densidad específica teórica máxima de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña	160
XLV.	Datos de porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número 1 al 8, a los efectos del jugo de caña.....	160
XLVI.	Resultados obtenidos en porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas número del 1 al 8, a los efectos del jugo de caña.....	161

XLVII.	Datos de porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número del 9 al 16, a los efectos del jugo de caña	161
XLVIII.	Resultados obtenidos porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número 9 al 16, a los efectos del jugo de caña.....	162
XLIX.	Resumen de las características de la solución 1 de jugo de caña.....	164
L.	Datos obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña.....	165
LI.	Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	166
LII.	Densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	167
LIII.	Datos obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña en una solución (20 %-80 %)......	167
LIV.	Datos obtenidos de los resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña.....	168
LV.	Grafica de resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña.....	169
LVI.	Datos obtenidos de porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	169
LVII.	Resultados obtenidos porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	170
LVIII.	Datos de estabilidad y flujo Marshall	170

LIX.	Resumen del flujo frente a tiempo solución (20 %-80 %)	171
LX.	Gráfica de flujo frente al tiempo	172
LXI.	Resumen de estabilidad frente a tiempo (20 %-80 %)	172
LXII.	Gráfica de estabilidad frente a tiempo	173
LXIII.	Resumen de características solución 2 de jugo de caña	174
LXIV.	Datos obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	175
LXV.	Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	176
LXVI.	Densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña en una solución (50 %-50 %)	177
LXVII.	Datos obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	177
LXVIII.	Datos obtenidos de los resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	178
LXIX.	Grafica de resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	179
LXX.	Datos obtenidos de porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	179
LXXI.	Gráfica obtenida de porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	180
LXXII.	Datos de estabilidad y flujo Marshall	180
LXXIII.	Resumen de flujo frente a tiempo-solución (50 %-50 %)	182
LXXIV.	Gráfica de flujo frente a tiempo	182

LXXV.	Resumen de estabilidad frente a tiempo (50 %-50 %)	183
LXXVI.	Gráfica de estabilidad frente a tiempo	183
LXXVII.	Diámetros y alturas de las pastillas de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña	184
LXXVIII.	Resumen de densidad específica Bulk, para ambas soluciones	187
LXXIX.	Gráfica comparativa de densidad específica Bulk, para ambas soluciones	188
LXXX.	Resumen de densidad específica teórica máxima, para ambas soluciones	189
LXXXI.	Gráfica comparativa de densidad específica teórica máxima, para ambas soluciones	189
LXXXII.	Resumen de porcentaje de vacíos, para ambas soluciones	190
LXXXIII.	Gráfica comparativa de porcentajes de vacíos, para ambas soluciones	191
LXXXIV.	Resumen de flujo Marshall, para ambas soluciones	192
LXXXV.	Gráfica comparativa de flujo Marshall, para ambas soluciones	192
LXXXVI.	Resumen de estabilidad Marshall, para ambas soluciones	193
LXXXVII.	Gráfica comparativa de flujo Marshall, para ambas soluciones	194

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
@	Arroba
Atm	Atmosférica
W	Cantidad de agua
V	Cantidad de caña
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kg	Kilogramo
Km/h	Kilómetros por hora
Km	Kilómetros
m	Metro
m²	Metro cuadrado
P_f	Nivel de servicio final del pavimento
P₀	Nivel de servicio inicial del pavimento
%	Porcentaje
TM	Tonelada métrica

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials, o Asociación americana de funcionarios de carreteras estatales y transporte.
Alza	Levantamiento de la caña apilada en las guardarrayas después del corte para colocarla sobre el transporte y llevarla hacia el ingenio.
ASAZGUA	Asociación de Azucareros de Guatemala.
Asfalto	Mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra y pegajosa, derivada del petróleo, totalmente soluble en disulfuro de carbono y combinada esencialmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Se usa comúnmente en el rubro de la pavimentación de carreteras y calles.
Asfalto espumado	Se forma cuando al asfalto caliente, se le añade una cantidad de agua pequeña, se evapora y produce una expansión explosiva del asfalto en el vapor de agua saturado.
Azúcar (sacarosa)	Compuesto orgánico de mayor producción de manera pura. Asimismo, una sustancia de sabor dulce, cristalizada en granos pequeños, que se extraen

esencialmente de la remolacha y de la caña de azúcar, a través de la concentración y la cristalización del jugo.

Bagazo Residuo sólido derivado de la molienda de la caña de azúcar.

BASE Capa de material selecto y procesado que se coloca en la parte superior de una sub base o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa también puede ser de mezcla asfáltica o con procesos según sea el diseño.

BMP Buenas prácticas de manufactura.

Caña de azúcar Planta compuesta de hojas, tallos, raíces y casualmente de flores.

Carpeta Parte superior de un pavimento, generalmente de pavimento bituminoso o de concreto, que sostiene de forma directa la circulación vehicular.

Carpeta asfáltica Parte superior del pavimento flexible que da la superficie de rodamiento; se elabora con material pétreo seleccionado y producto asfáltico dependiendo del camino que se construirá.

Carretera Vía de tránsito público construida en los límites de derecho vial. Además de ser camino para el tránsito

de vehículos motorizados, de dos ejes por lo regular, con características geométricas de acuerdo con las normas técnicas actuales en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Coefficiente de variación	Es la relación entre la desviación típica de una muestra y su media.
Compactación	Técnica por la cual los materiales elevan su resistencia y su compresibilidad disminuye.
Cuneta	Zanjas laterales paralelas al eje de la carretera o caminos construidos entre los extremos de los hombros y el pie de los taludes. Su sección transversal varía, regularmente es de forma triangular, trapezoidal y cuadrada.
Equipo	Jaula en la cual se transporta la caña de azúcar de un punto a otro.
Fibra	Materia seca en la caña, insoluble en agua.
Filler	Es un material de relleno que al mezclarse íntimamente con el asfalto modifica algunas propiedades del sistema.
Mezclas densas	Poseen una proporción de vacíos no mayor al 6 %.
Mezclas gruesas	El tamaño máximo del árido es mayor a 10 mm.

Mezclas semidensas	La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
Pavimento	Estructura integral de las capas de sub base, base y carpeta de rodadura, puestas sobre la subrasante, diseñadas y destinadas a sostener las cargas vehiculares.
Sub base	Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se localiza inmediatamente por debajo de la capa de base.
Subrasante	Superficie finalizada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se coloca la estructura del afirmado o pavimento.
Zafra	Período del año donde se cosecha la caña de azúcar y es procesada para fabricar azúcar. Este período, regularmente, comienza en noviembre y termina en mayo.

RESUMEN

Este estudio de ingeniería civil titulado: Efectos que produce el jugo de caña en la durabilidad y propiedades de una carpeta asfáltica, está estructurado en seis capítulos para su mayor comprensión. En el capítulo uno se describen y analizan estudios previos sobre mezclas asfálticas en caliente, producción de mezclas asfálticas y rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado.

Después se analizan varios subtemas como la historia de la caña, los procesos de los ingenios azucareros, la zafra, propiedades químicas y los componentes del jugo de caña de azúcar.

Es importante resaltar que el tema de investigación es de mucho interés debido a que no se cuenta con estudios previos sobre, cómo una carpeta asfáltica es afectada por el jugo de la caña de azúcar. Debido a que este proceso puede llegar a afectar la durabilidad y las propiedades estructurales, se simularán las condiciones naturales sobre las cuales se lleva a cabo este proceso en los trayectos de transporte de caña de azúcar.

Así mismo, en el primer diseño se someterá a los ensayos habituales en el laboratorio, el segundo diseño se someterá a ensayos en los cuales se simularán las condiciones generales naturales que se dan en los diferentes tramos de carretera donde ocurre este proceso. Luego se someterán a una comparación de durabilidad y se evaluarán las propiedades de ambos casos de mezcla para determinar cómo afectó el jugo de caña de azúcar a la carpeta asfáltica.

De esta manera, se podrá determinar si el jugo de la caña de azúcar influye de una manera positiva o negativa sobre la misma, para así tomar las respectivas medidas para tratar que tenga la mayor durabilidad posible y no disminuya la seguridad vial en la carretera.

OBJETIVOS

General

Determinar de qué manera afecta el jugo de caña de azúcar las características físicas y propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica.

Específicos

1. Interpretar qué sucede en una carpeta asfáltica al ser afectada por el jugo de caña de azúcar durante tres, siete, catorce y veintiún días.
2. Analizar los resultados obtenidos en laboratorio de las mezclas asfálticas por diseñar, mediante las especificaciones de la sección 401 de las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos.
3. Determinar si la aplicación de este tipo de agente externo afecta de manera positiva o negativa en la durabilidad de la carpeta asfáltica.
4. Indicar las causas y efectos que tendrá el jugo de la caña de azúcar en la carpeta asfáltica.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación consistió en diseñar una mezcla asfáltica en caliente utilizando el método Marshall dentro de los parámetros ya establecidos, según las Normas AASHTO T245 y ASTM 1559. Además, cumpliendo con la división 400 de pavimentos asfálticos, sección 401 de pavimento de concreto asfáltico en caliente, y con las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, de la Dirección General de Caminos. Se realizó un diseño de mezcla que fue utilizado como patrón para ambos casos.

El primer diseño fue ensayado en las condiciones normales en las que se emplea una mezcla asfáltica. El segundo diseño se realizó sumergiendo las pastillas durante medio día en una solución de agua de lluvia y jugo de caña a temperatura ambiente, luego se metió al horno a una temperatura aproximada de cuarenta a ochenta grados centígrados para simular las condiciones de la superficie de una carpeta asfáltica. Se repitió el proceso durante siete, catorce y veintiún días para que el estudio contara con varios parámetros de tiempo.

Lo anterior sirvió para determinar cómo afecta el jugo de caña en una superficie de una mezcla asfáltica, simulando las condiciones reales que se dan en las rutas de transporte de la caña de azúcar; de esta manera se podrá determinar cómo afecta la durabilidad y las propiedades estructurales de la carpeta asfáltica.

1. ANTECEDENTES

1.1. Estudios previos de mezclas asfálticas en caliente

Para determinar los efectos que produce el jugo de caña en la durabilidad y las propiedades de una carpeta asfáltica, se realizaron estudios previos de mezclas asfálticas en caliente. En los siguientes apartados se nombra al autor e ingeniero civil José Luis León Fajardo; se presentan los criterios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, seguido de las conclusiones y recomendaciones.

1.1.1. Estudios previos sobre el criterio para diseñar mezclas asfálticas en caliente

Para los estudios previos de mezclas asfálticas en caliente se incluye al ingeniero civil, José Luis León Fajardo, con el trabajo de tesis *Criterios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente*. El documento da los conceptos generales para el diseño y las diferentes etapas del proceso de producción de una mezcla asfáltica. Asimismo, desarrolla un proyecto que permite establecer un prototipo para el desarrollo del diseño de mezcla asfáltica.

Otro de sus objetivos es dar a conocer los análisis y ensayos, así como las especificaciones técnicas para lograr que todos los agregados minerales, mezclas y productos asfálticos cumplan con los requisitos de diseño y, de este modo, garanticen una mejor inversión y durabilidad en el proyecto.

También se incluye la revisión de las especificaciones utilizadas y aprobadas en Guatemala. El último objetivo es comparar los datos obtenidos en laboratorio, en los diferentes ensayos realizados, con las especificaciones normadas.

1.1.2. Criterios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente

Para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, el ingeniero León Fajardo, plantea un proceso que inicia con recomendaciones, producción de la mezcla asfáltica, características de la mezcla y comportamiento, propiedades consideradas en el diseño, evaluación y ajuste del diseño, aplicaciones del experimento y el método de Marshall para el diseño de mezcla.

Sobre las recomendaciones el autor señala:

Cuanto más se comprenda sobre las mezclas asfálticas, será más fácil construir pavimentos de alta calidad. Todo pavimento asfáltico está constituido por: agregados y cemento asfáltico.

Las partículas de agregado en una mezcla asfáltica debidamente compactadas deben absorber las cargas del tráfico. La carga es transmitida a través del pavimento por las pequeñas áreas de contacto entre las partículas de agregado. De la fricción en estas áreas depende mucho la estabilidad del pavimento. Los agregados fracturados y triturados o los de superficie rugosa, desarrollan esta fricción mejor que los de canto rodado o superficie redondeada.

En relación con la producción de la mezcla asfáltica, el autor expresa:

Los pavimentos de concreto asfáltico son preparados en una planta mezcladora. Aquí los agregados son combinados entre ellos, calentados, secados y mezclados con el cemento asfáltico para producir la mezcla en caliente. Las plantas pueden ser pequeñas y simples o grandes y complejas, dependiendo de la cantidad de mezcla asfáltica que se quiera producir por hora.

Una planta central de asfalto se debe encontrar dotada de la maquinaria indispensable para producir la más alta calidad de pavimentos asfálticos. Como su nombre lo indica esta será instalada en el centro de una red importante de trabajos, cuyos puntos finales se encuentren a una distancia tal que las mezclas no pierdan las temperaturas de aplicación al hacer el recorrido de la planta a los trabajos.

Sobre las características de mezcla y comportamiento indica que son cuatro:

- Densidad de mezcla
- Vacíos de aire
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido del asfalto

Sobre la densidad indica señala lo siguiente:

La densidad es particularmente importante al inspector, porque la alta densidad del pavimento terminado es esencial para los últimos comportamientos de pavimento.

En exámenes y análisis de diseño de mezcla, la densidad del espécimen compactado es usualmente expresado en libras por pie cúbico (lb/ft³) o

kilogramos por metro cúbico (kg/m³). Esto se calcula multiplicando la gravedad específica del volumen de la mezcla por la densidad del agua (62,416 lb/pie³ (1 000KG/M³)).

En relación con el tema de vacíos de aire expresa que:

Son pequeños espacios o bolsas de aire que ocurren entre la capa de partículas de agregado en la mezcla final compactada. Un cierto porcentaje de vacíos de aire es necesario en toda mezcla de grado denso para carretera, para permitir alguna compactación adicional de pavimento bajo el tránsito y proveer espacios dentro de los cuales pequeñas cantidades de asfalto pueden fluir durante esta compactación subsecuente.

Sobre vacíos en el agregado mineral señala que:

Vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de vacío-aire que están entre las partículas de agregado en una mezcla pavimentada compactada. Entre mayor VMA en el agregado seco, hay mayor espacio disponible para las películas de asfalto. Basado en el hecho de que lo grueso de la película de asfalto sobre las partículas de agregado hace mayor la durabilidad de la mezcla. De igual forma se anota que requerimientos mínimos específicos para VMA son recomendados y especificados como una función gradual del agregado.

Asimismo, en relación con el contenido de asfalto expresa:

El contenido de asfalto óptimo de una mezcla es altamente dependiente sobre características de los agregados, tales como graduación y absorción. La graduación de agregado está directamente relacionada con contenido de asfalto

óptimo. Entre más fina sea la mezcla más larga será el área total de la superficie del agregado y más grande la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, las partículas. Contrarios a otras mezclas más ordinarias que tienen menos área de superficie total de agregado, estas demandan menos asfalto.

Contenido total de asfalto es la cantidad de este que debe ser agregado a la mezcla para producir las calidades deseadas. Contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; la cantidad de asfalto que efectivamente forma una película limitante sobre las superficies de agregado. El contenido de asfalto efectivo es calculado al substrair la cantidad de asfalto absorbido del contenido de asfalto total.

Buenos pavimentos de asfalto de mezcla-caliente funcionan bien porque son diseñados, producidos y colocados en tal manera que dan ciertas propiedades deseadas. Hay diferentes propiedades que contribuyen a la calidad de pavimentos de mezcla-caliente. Ellos incluyen:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Trabajabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento

Siguiendo este orden de ideas, sobre la estabilidad expresa:

La estabilidad de un pavimento de asfalto tiene como característica la resistencia al empuje y rutas bajo cargas (tránsito). Un pavimento estable mantiene su forma y uniformidad bajo cargas repetidas y el pavimento no estable desarrolla rutas (canales) ondulaciones (ranuras o corrugaciones) y otros signos de levantamientos de la mezcla.

Debido a especificaciones de estabilidad para un pavimento, estas dependen del tránsito esperado. Los requerimientos de estabilidad pueden ser establecidos solo después de un análisis de tránsito completo. Las especificaciones de estabilidad deben ser suficientemente grandes para manejar, adecuadamente el tráfico, pero no más alto que las condiciones de tránsito requeridos. Un valor muy alto de estabilidad produce un pavimento que es muy rígido y así, menos durable que el deseado.

Tabla I. **Causas y efectos de inestabilidad de pavimento**

Estabilidad baja	
Causas	Efectos
Exceso de asfalto en mezcla	Ranura, rutas y empujes o pérdida
Exceso de arena de tamaño medio en mezcla	Tendencia a enrollarse durante y para el periodo después de la construcción, dificultad en compactación
Agregado redondeado pequeño o superficies no aplanadas	Rutas y canales

Fuente: elaboración propia.

En relación con la durabilidad refiere que:

Generalmente, la durabilidad de la mezcla puede lograrse por tres métodos. Estos son: usando máximo contenido de asfalto, usando una

graduación densa y diseñando y compactando la mezcla para impermeabilidad máxima.

El contenido de asfalto máximo incrementa la durabilidad porque el grueso de las películas de asfalto no envejece y endurecen tan rápido como adelgazan. Consecuentemente, el asfalto retiene a lo largo del tiempo, sus características originales. También, el contenido de asfalto máximo efectivamente se sitúa en un gran porcentaje de vacíos de aire interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración de aire y agua.

Tabla II. **Causas y efectos de la carencia de durabilidad**

Durabilidad pobre	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Resequedad o enredamiento
Alto contenido de vacío a través de diseño o carencia de compactación	Temprana dureza de asfalto seguido de rajadura o desintegración
Susceptibilidad al agua (Hidrofílico) del agregado en mezclas	Películas de asfalto, despoja del agregado dejando un pavimento irritado, enredado o blando

Fuente: elaboración propia.

En relación con la impermeabilidad expresa que es la resistencia de un pavimento de asfalto al paso de aire y agua dentro o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacío de una mezcla compactada. Un contenido de vacío corrido es una indicación del potencial para paso de aire y agua a través de un pavimento, el carácter de estos vacíos es más importante que el número de vacíos. El tamaño de los vacíos, en la superficie del pavimento determina el grado de impermeabilidad.

Tabla III. **Causas y efectos de permeabilidad**

Mezcla muy permeable	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Películas de asfalto delgado causaran temprano envejecimiento y enredo
Alto contenido de vacíos en diseño de mezcla	Agua y aire pueden tempranamente, entrar en pavimento causando oxidación y desintegración
Compactadora inadecuada	Resultará en altos vacíos en conducir pavimento a infiltración de agua y poca fuerza

Fuente: elaboración propia.

Sobre la trabajabilidad señala:

La trabajabilidad se describe como la facilidad con la cual una mezcla de pavimento puede ser colocada y compactada. Mezclas con buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con trabajabilidad pobre son dificultosas para colocar y compactar. La trabajabilidad puede mejorar cambiando parámetros de diseño de mezcla, fuentes de agregado y/o graduación.

Las mezclas ásperas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado ordinario) tienen una tendencia a segregarse durante el manejo y también pueden ser dificultosas para compactar. A través del uso de mezclas de ensayo en el laboratorio, con agregados finos adicionales y tal vez asfalto, estos pueden ser agregados a una mezcla áspera para hacerla más trabajable. El cuidado debe ser considerado para asegurar que la mezcla alterada encuentre todos los demás diseños de criterio, tales como contenido de vacío y estabilidad.

Tabla IV. **Causas y efectos de problemas de trabajabilidad**

Trabajabilidad pobre	
Causas	Efectos
Tamaño máximo de largo de la partícula	Superficie rugosa, dictada la colocación
Excesividad de agregado ordinario	Podría ser duro para compactar
Una muy baja temperatura de mezcla	Descubre agregados, no durable, superficie rugosa, difícil de compactar
Mucha área de tamaño mediano	Mezcla de bajo alisado, permanece sensible

Fuente: elaboración propia.

1.1.3. Conclusiones

El cemento asfáltico 60-70, conforme las pruebas de laboratorio realizadas, cumple con las especificaciones M 20, por lo tanto, se puede utilizar en el diseño de mezcla, tomando las precauciones necesarias.

Los agregados utilizados en el presente trabajo deben llevar un control en su graduación, ya que contienen muchos finos y esto influye en forma directa en su uniformidad y adaptabilidad hacia la mezcla asfáltica.

Cuando se elaboró la primera propuesta de mezcla no se tuvo el cuidado de controlar el *filler*, por lo tanto, los resultados estuvieron fuera de especificación. Cuando ya se le elaboraron las pruebas respectivas y se llevó un buen control al *filler* para la segunda propuesta, se observó una gran diferencia en la aceptación de la mezcla.

Los materiales provenientes de bancos, deben ser seleccionados de acuerdo con los resultados de ensayos de mecánica de suelos y, por ende, a sus especificaciones técnicas respectivas.

La mayor estabilidad Marshall de la mezcla propuesta, se obtiene con un 5, 20 % de asfalto en la mezcla, sin embargo, esta estabilidad proporciona rigidez, pues alcanza una fluencia de 9,6 centésimas de pulgada.

Los métodos empleados en Guatemala para el diseño y selección del pavimento por usarse, son adoptados de otros países y, por lo tanto, concebidos para las condiciones y requerimientos propios del lugar de origen. Al hacerse uso de ellos, el ingeniero deberá tener en cuenta que las condiciones no son, necesariamente, iguales en Guatemala y que el empleo de dichos métodos estará condicionado a la clase de información local con la que cuente.

Debido a las condiciones generales económicas del país, la mejora y trazo de nuevas rutas de comunicación vial, deben hacerse, preferiblemente, conservando las estructuras existentes. Para este propósito, el pavimento de concreto asfáltico es, sin duda, el más adaptable, ya que su función no es solamente como carpeta de rodadura sino que pasa a formar parte de la estructura en si del pavimento y, por lo tanto, aumenta la capacidad de carga.

En Guatemala el desarrollo en materia de carreteras tiene un alcance tal que la producción de concreto asfáltico debe llevar gran control de calidad, en la cual esta cumpla con todas las especificaciones y que, de preferencia, la mezcla por utilizarse sea de graduación gruesa, ya que proporciona mayor ventaja y no de mezclas muy finas como las que se están trabajando en la actualidad.

1.1.4. Recomendaciones

Actualmente en Guatemala se ha intensificado la construcción de obras viales, por lo cual se ha incrementado la demanda de profesional de conocedores en la materia. Se recomienda que la Facultad de Ingeniería, a través de la Escuela de Ingeniería Civil y del Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, establezca cursos y laboratorios para dar conocimientos necesarios sobre la materia tratada en esta tesis.

Que se cumplan, estrictamente, las especificaciones técnicas en las mezclas que se utilizan en diversas obras.

En Guatemala se deben revisar las especificaciones de la dirección general de caminos DGC y actualizarlas tomando en cuenta las especificaciones actuales del Instituto de asfaltos.

Que el diseño de mezcla asfáltica y su reconstrucción se realice de acuerdo con el tipo de tránsito esperado, tomando en consideración su evolución en el tiempo. Para que una mezcla asfáltica pueda tener larga duración, se deben tomar en cuenta también sus obras, en las cuales figuran todas las instalaciones subterráneas.

Para brindar un eficiente servicio al constante tránsito de vehículos, tiene que proveerse del mantenimiento adecuado a la superficie de carreteras y, así prolongar su vida útil.

1.2. Estudios previos para la producción de mezclas asfálticas en caliente

Para el análisis de la producción de mezclas asfálticas en caliente, se cita al ingeniero civil, Erick Rolando Anleu Hernández con el trabajo: *Producción de mezclas asfálticas en caliente*.

1.2.1. Producción de mezclas asfálticas en caliente

El objetivo general de su investigación fue dejar una guía que pueda ser utilizada por estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, que se enfrenten con la necesidad de adquirir conocimientos sobre la producción de mezclas asfálticas en caliente.

Otro de los objetivos es proveer la información necesaria para el desarrollo de la producción de las mezclas asfálticas en caliente, que se utilizan actualmente.

El último objetivo específico es dar a conocer la forma en que se trabajan los agregados y el asfalto, así como los distintos tipos utilizados para la producción de las mezclas asfálticas en caliente.

En relación con la producción de mezclas asfálticas en caliente el autor señala:

En una planta de dosificación los agregados son combinados, calentados y secados, proporcionados y mezclados con el cemento asfáltico, para producir mezclas asfálticas en caliente. En toda planta de dosificación se deben desarrollar las operaciones que se describen a continuación:

- Alimentación en frío del agregado
- Secado y calentado del agregado
- Cribado y almacenamiento del agregado en caliente
- Almacenamiento y calentamiento del asfalto
- Medición y mezclado del asfalto y el agregado
- Carga de la mezcla en caliente

Los agregados son llevados del lugar donde están aplicados en cantidades controladas, colocándolos en las tolvas, luego secados y calentados. Después se separan los agregados de diferente tamaño, se depositan para su almacenamiento en caliente.

Luego los agregados y el relleno mineral (si se utiliza) son pesados en cantidades controladas, combinados con asfalto y mezclados en su totalidad para formar una carga. La mezcla es luego cargada en los camiones y transportada al lugar de aplicación de la mezcla asfáltica en caliente.

Sobre el tema de: alimentación en frío del agregado, el autor resalta que: se lleva a cabo en tres procesos: alimentación uniforme en frío, proporcionamiento de los agregados fríos, e inspección de la alimentación en frío.

Alimentación uniforme en frío: los agregados finos y gruesos utilizados según el diseño, son colocados en tolvas frías independientes. Debe tenerse la precaución de mantener siempre llenas las tolvas y así garantizar el flujo uniforme a través del alimentador.

Para reducir problemas en la alimentación en frío, se debe evitar una alimentación errática de material de las tolvas frías para no provocar que

algunas tolvas calientes se llenen de demasiado y otras trabajen con muy poco material.

El control de la alimentación en frío es la clave de las operaciones posteriores para la producción de las mezclas asfálticas en caliente.

Se debe observar el procedimiento de calibración de las compuestas y durante la producción se deberán revisar estas periódicamente, para garantizar que las aberturas permanezcan correctas.

Al salir de las tolvas frías, los agregados son descargados en el secador, el cual tiene dos funciones principales:

- Reducir la humedad de los agregados
- Elevar la temperatura del agregado al nivel deseado

En este punto de la producción es importante observar y monitorear: la operación básica del secado, el control de la temperatura, la calibración de los indicadores de temperatura y las revisiones de la humedad.

Durante el proceso de producción de la mezcla asfáltica en caliente, normalmente se hace una sencilla prueba para determinar la cantidad de aceite combustible en los agregados. Esta prueba consiste en tomar una muestra del agregado que está siendo descargado del secador, introduciéndolo en un balde de agua, con lo cual todo material aceitoso flotará hacia la superficie por ser menos denso que el agua.

El secador incluye un quemador que trabaja con aceite o gas. En el medio guatemalteco es común utilizar el búnker como combustible, el cual sirve para

mantener una flama constante y así producir calor durante el proceso de secado. Además, cuenta con un ventilador para expandir el calor en el interior del cilindro.

Es vital manejar una temperatura correcta porque la del agregado es la que controla la temperatura de la mezcla y no la del asfalto como se podría pensar. Los agregados que se calientan más de lo debido tienden a endurecer el asfalto durante el mezclado. Los agregados que no son calentados lo suficiente son difíciles de revestir con el asfalto, lo cual dificulta el proceso de colocación de la mezcla.

La mejor forma de revisar la temperatura es introducir un censor en un baño de aceite o asfalto caliente, al lado de un termómetro calibrado.

También es importante revisar la humedad del agregado que sale del secador, para lo cual se deberá observar: si en el agregado hay vapores o manchas húmedas, lo cual indicará que el secado está incompleto o que es un material poroso que está liberando humedad interna.

Después de que los materiales han sido calentados y secados se transportan por un elevador en caliente hasta la unidad de clasificación donde el agregado en caliente pasa por una serie de cribas o zarandas que lo separan en fracciones pequeñas de varios tamaños y luego lo depositan en las tolvas calientes.

Cuando los materiales pasan a través de las zarandas puede haber agregados finos que caen en la tolva para materiales más grandes, esto se conoce como sobrante y es normal hasta una cantidad especificada.

Después de pasar por el cribado el agregado es conducido a las tolvas calientes las cuales tienen la función de depósito temporal. Cada tolva es un compartimiento dividido en tres partes y deben tener la capacidad de almacenaje para la máxima producción.

Cuando el material cae por la compuerta esta lo divide en material fino en un extremo y grueso en otro, por lo tanto, el uso correcto del dispositivo de muestreo determinará que sea una muestra representativa.

Los agregados son extraídos de las tolvas calientes y se depositan en la tolva de pesaje. Generalmente, los agregados se extraen del más grueso al más fino. Esta secuencia tiene como objetivo colocar las fracciones finas en la parte superior de la tolva de pesaje, donde no pueden escapar a través de las compuertas en la parte inferior de la balanza. Los pesos por ser extraídos son marcados en el cuadrante de la báscula, el cual funciona acumulativamente por lo que se debe estar seguro de que trabaje en este sistema.

Sobre la inspección de la mezcla asfáltica en caliente se resalta que se deberán hacer inspecciones visuales de la mezcla cuando se está descargando al camión y a medida que sale de la planta hacia el lugar de destino. Muchos de los problemas que puedan existir en las mezclas asfálticas en caliente pueden detectarse con una cuidadosa inspección visual. Uno de los factores importantes por controlar es la temperatura, con una inspección visual se podrá detectar si la temperatura de carga está o no dentro del margen correcto. Si de un camión que está siendo cargado sale humo de color azul, es señal de un sobrecalentamiento.

Si la temperatura de la mezcla es baja, la mezcla puede aparecer inactiva a medida que se deposita en el camión y puede mostrar una distribución no

uniforme del asfalto. Un pico muy alto en la carga del camión puede demostrar también falta de calentamiento; o bien que el contenido de asfalto en la mezcla es muy bajo.

1.2.2. Conclusiones

Los agregados constituyen más del 75 % del volumen de las mezclas asfálticas en caliente y por ello es indispensable que su costo sea lo más bajo posible, puesto que su incidencia es determinante para obtener el precio final.

El diseño de las mezclas asfálticas en caliente se utiliza como parámetro comparativo al obtener los resultados de los ensayos realizados, para establecer si la mezcla producida cumple satisfactoriamente con los parámetros y requerimientos establecidos.

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad se debe contar con un sistema adecuado de inspección y ensayos. Así como conocer el funcionamiento de todo el equipo utilizado en las plantas de producción, dependiendo si es de dosificación o mezcladora de tambor. De la correcta administración de una planta de producción de mezclas asfálticas en caliente dependerá que todas las actividades se desarrollen adecuadamente y así garantizar que los costos de producción no sean tan altos.

1.2.3. Recomendaciones

Tomar precauciones para prevenir heridas por quemaduras y gases venenosos, debido a que el asfalto es un hidrocarburo que se mantiene caliente durante su almacenaje, manejo y muestreo.

Manejar los agregados de tal manera que se evite su contaminación y disminuya la posibilidad de que las partículas más grandes se separen, pues esto ocasionaría variaciones en la graduación de la mezcla asfáltica en caliente.

Tener un registro estricto de los muestreos, ensayos y resultados de estos por cada día de producción.

Realizar inspecciones visuales de la mezcla asfáltica en caliente para disminuir al mínimo las deficiencias, puesto que la mayoría pueden ser detectadas por personal con suficiente experiencia en este campo.

Evaluar los gastos, en lo que se refiere a tiempos de producción, horas máquina, combustibles, mantenimiento y valor de los agregados puestos en planta, utilizando para esto un sistema cruzado de control que permita detectar cualquier anomalía.

1.3. Estudios previos para la rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente

Para analizar la rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente es necesario citar al ingeniero civil Víctor Alejandro Rosales Castañeda, con el tema *Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente*. En los siguientes apartados se presentan las conclusiones y recomendaciones del mencionado trabajo de investigación.

1.3.1. Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico

En el trabajo *Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado reciclando el pavimento asfáltico existente* su autor tuvo como objetivo proporcionar una guía para la rehabilitación de pavimentos utilizando las técnicas de reciclado en frío *in-situ* y la tecnología de asfalto espumado, mostrando los procesos constructivos, herramientas de laboratorio y maquinaria requerida para el reciclado del pavimento asfáltico.

1.3.2. Conclusiones

Con base en la experiencia en cuanto al diseño y evaluación de pavimentos, se puede afirmar que una parte fundamental para determinar el tipo de rehabilitación por aplicar en una ruta existente, es la evaluación visual preliminar de la misma. Por medio de esta evaluación se logra la identificación de las fallas que posee la carpeta asfáltica de rodadura y, de estar expuestas, las capas subyacentes.

Diversos estudios y proyectos tanto nacionales como internacionales, han demostrado que el reciclado en frío es una opción que provee al pavimento de una importante mejora en cuanto al aporte estructural, ya que la capa de base, al ser mezclada con la carpeta de rodadura, mejora sus características físicas y mecánicas. Así mismo, la aplicación de esta técnica genera un ahorro significativo de recursos, tanto humanos como económicos y reduce considerablemente los impactos ambientales en el proyecto.

Aplicada la técnica del reciclado en frío se produce una mejora sustancial a la estructura de pavimento, y esto en conjunto con la estabilización con asfalto

espumado aumenta aún más, proporcionando una capa de base estabilizada con propiedades mecánicas que aseguran un pavimento más duradero. También representa una buena opción para caminos de terracería.

Realizar el diseño de la mezcla de materiales con asfalto espumado siguiendo los procedimientos establecidos en las normas y utilizando el equipo adecuado, asegurará la optimización de recursos del proyecto.

Asegurar el control de calidad de los materiales, del proceso de reciclado, de los agentes estabilizadores por utilizar y del proceso constructivo en sí, proporcionará los resultados esperados de la obra y asegurará que se mantenga en óptimas condiciones para el período de diseño estipulado.

1.3.3. Recomendaciones

Es de suma importancia que durante la evaluación del tramo por rehabilitar mediante la realización de pozos a cielo abierto, se efectúe de forma correcta la toma de espesores y de muestras de las capas existentes en la estructura de pavimento. Esto servirá para determinar los espesores disponibles de las capas de rodadura y de base por reciclar y estabilizar con asfalto espumado y, si surgiera el caso, realizar los ajustes de espesores necesarios.

La realización de los ensayos de laboratorio a los materiales existentes, representa una parte fundamental para el reciclado en frío y posterior estabilización con asfalto espumado debido a que con ellos se establecerá la compatibilidad de los mismos y el aporte que puedan dar a la nueva estructura de pavimento. Por tal motivo, se recomienda contar con el equipo de laboratorio necesario para el análisis de los materiales y para el diseño de mezcla con asfalto espumado, así como para llevar un control de calidad efectivo.

Es imprescindible conocer las características necesarias para el correcto funcionamiento y manejo de la máquina recicladora con que se cuente, y de sus componentes para obtener un rendimiento óptimo durante la rehabilitación con el reciclado en frío y estabilización con asfalto espumado.

Como en todo proyecto de construcción, resulta de suma importancia mantener un estricto control de calidad del proyecto de rehabilitación mediante el reciclado en frío y estabilizado con asfalto espumado. Mantener un buen control de calidad de los materiales por utilizar, de los agentes estabilizadores, de la maquinaria y del proceso constructivo, asegurará el buen funcionamiento del pavimento para el período establecido de vida útil.

Tabla V. Cuadro comparativo de autores expuestos

	1° TESIS	2° TESIS	3° TESIS
Autor	José Luis León Fajardo	Erick Rolando Anleu Hernández	Víctor Alejandro Rosales Castañeda
Año	1996	2002	2011
Carrera	Ingeniería Civil	Ingeniería Civil	Ingeniería Civil
Título	Criterios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente	Producción de mezclas asfálticas en caliente	Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente
Objetivo	La revisión de las especificaciones utilizadas y aprobadas en Guatemala	Proveer la información necesaria para el desarrollo de la producción de las mezclas asfálticas en caliente, que se utilizan actualmente.	Conocer el funcionamiento del reciclado en frío <i>in-situ</i> , así como sus propiedades, equipos utilizados y ventajas del sistema.
Conclusión	La mayor estabilidad Marshall de la mezcla propuesta, se obtiene con un 5,20 % de asfalto en la mezcla, sin embargo, esta estabilidad proporciona una rigidez a la misma, pues alcanza una fluencia de 9,6 centésimas de pulgada.	Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad se debe contar con un sistema adecuado de inspección y ensayos. Así como conocer el funcionamiento de todo el equipo utilizado en las plantas de producción, dependiendo si es de dosificación o mezcladora de tambor.	Realizar el diseño de la mezcla de materiales con asfalto espumado siguiendo los procedimientos establecidos en las normas y utilizando el equipo adecuado, asegurará la optimización de recursos del proyecto
Recomendación	En Guatemala, se debe revisar las especificaciones de la DGC y actualizarlas tomando en cuenta las especificaciones actuales del Instituto de Asfaltos.	Tener un registro estricto de los muestreos, ensayos y resultados de estos por cada día de producción.	Es imprescindible conocer las características necesarias para el correcto funcionamiento y manejo de la máquina recicladora con que se cuente, y de los componentes de la misma para obtener un rendimiento óptimo durante la rehabilitación con el reciclado en frío y estabilización con asfalto espumado.

Fuente: elaboración propia.

2. CAÑA DE AZÚCAR

2.1. Historia de la caña de azúcar

La caña de azúcar es gramínea procedente de la India y la distribución a los países del continente asiático desaparece en la historia de la época antigua. En la China apareció 800 años a.C. En la invasión de los árabes, la caña se propagó a Egipto y a las costas del oeste del continente africano; su cultivo en España se estableció en el 703 de la era actual.

En 1493, en su segundo viaje a tierras americanas, Cristóbal Colón introdujo la caña de azúcar a la isla la Española, en la actualidad República Dominicana. Allí se produjo como primera vez azúcar en 1509. Del lugar mencionado se extendió su cultivo e industrialización hacia Cuba, Jamaica y demás islas de las Antillas.

Se le atribuye la introducción de la caña en Guatemala a Pedro de Alvarado, en San Jerónimo Vera Paz (Baja Verapaz), en donde se crearon los primeros trapiches, y seguidamente se extendió hacia el sur a partir de La Antigua hasta Escuintla y Santa Rosa.

En relación con el cultivo de la caña en Guatemala se remonta a la época colonial en donde únicamente se conocía la “panela” que desde esa época se producía con fines del consumo nacional. Para mediados del siglo XIX se comenzó a producir azúcar cruda o mascabada y luego en 1900, el azúcar de grano grande amarilla. En ese entonces varios ingenios colocaron las centrifugas.

Según los datos estadísticos registrados en 1920 la producción crecía a 1, 500 000 cargas de panela y a 300 000 quintales de azúcar blanca y por las informaciones del señor John c. Bellamy, gerente de la asociación de azucareros de Guatemala, en el periodo de 1915 a 1922 se exportaba panela y azúcar amarilla hacia Europa y Estados Unidos en el momento, en que el precio en el mercado internacional ascendió a \$0,22 la libra (moneda americana).

El progreso de la industria azucarera en Guatemala se incrementó a partir de 1930 cuando se estableció el consorcio azucarero, entonces la producción era de 500 000 quintales y se elaboraba en 12 ingenios: Pantaleón, Concepción, el Baúl, el Salto, Palo Gordo, Mirandilla, Tulula, Santa Teresa, San Diego, Los Cerritos, Santa Cecilia y Mauricio. Desde esa época los aumentos en las demandas y los mercados nacionales y extranjeros se han distribuido de acuerdo con las capacidades individuales de los ingenios asociados.

El panorama que se pulsaba con anterioridad tuvo un cambio muy distinto, los propietarios de los ingenios comenzaron a invertir fuertes cantidades de dinero para la adquisición de equipos y maquinaria moderna para aumentar su capacidad y mejorar su eficiencia. Esta renovación implicó nuevas instalaciones, tales como molinos, calderas, centrifugas, entre otros, y equipo de campo para las labores de cultivo, cosecha y transportes, camiones, carreteras.

Actualmente, la industria azucarera de Guatemala es una de las fuentes de producción agrícola-industrial más importantes de la economía nacional y conjuntamente con el café, algodón, banana y carne (ganado vacuno) juega un papel preponderante en el comercio exterior del país. En 1959 la producción fue de 1 500,000 quintales de azúcar y para la zafra del presente año se logró una producción promedio de 2 400,000 toneladas métricas según Asazgua.

En Guatemala la industria azucarera, forma uno de los rubros más importantes en la actividad productora del país. Así como las demás industrias de agroexportación, la materia prima principal es la caña de azúcar y en su mayoría es cultivada en las tierras fértiles de la Costa Sur. Esta al ser industrializada da como producto finalizado el azúcar.

Es importante mencionar que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) Guatemala, está entre una de las mayores áreas cultivadas del país (más de 180 000 hectáreas), áreas que fueron cultivadas con algodón. La evolución en cuanto al uso de madurantes en los cultivos de caña de azúcar siempre ha sido dinámica. Al inicio, las aplicaciones de madurante se realizaban solamente en el primer tercio de zafra (noviembre, diciembre). En la actualidad, esto ha cambiado al punto de que en la mayoría de ingenios se llega moliendo caña tratada con madurante, en el primer y segundo tercio de zafra (noviembre a febrero), y en distintas ocasiones se han visto los ingenios en la necesidad de aplicar en el tercer tercio de zafra (marzo a abril).

En otro caso, el ciclo vegetativo de la caña de azúcar alcanza tres etapas que, con una variante ligera de acuerdo con la variedad, se precisan así: la primera se refiere al desarrollo de las cepas que van desde la germinación o brotación hasta que el campo cierra (5 a 6 meses de edad). Además, es la etapa de mayor requerimiento de agua, el contenido de humedad está en la planta arriba del 85 %. La segunda consiste en la etapa de formación de sacarosa y se desarrolla en el final de la primera hasta el comienzo de la maduración, período en que la humedad del tallo debe ser del 78-80 %. La tercera etapa es la debida maduración, la que empieza aproximadamente a los 9 meses de edad, necesitándose entre un 73 y un 75 % de humedad en la planta para lograr tener una buena maduración.

Biológicamente, la maduración es un proceso metabólico en el cual la planta cesa su tasa de desarrollo y crecimiento vegetativo e inicia a acumular energía en forma de sacarosa en los tejidos parenquimatosos del tallo o culmo aéreo.

Asimismo, la caña de azúcar requiere de altas temperaturas en el período de crecimiento y bajas temperaturas en el período de maduración. Entre más grande es la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas en la maduración, mayores serán las posibilidades de tener jugos de alta pureza y un mayor rendimiento de azúcar. Las óptimas temperaturas para las distintas etapas del desarrollo de este cultivo son las siguientes: para la germinación en 32°C y 38 °C, para el macollamiento 32 °C y para el crecimiento 27 °C.

Es importante resaltar que la precipitación anual adecuada para este cultivo es de 1 500 mm bien distribuida en el período de crecimiento de nueve meses. La caña necesita de mayor disponibilidad de agua en la etapa de desarrollo y crecimiento, en el período de maduración, esta cantidad debe reducirse, para disminuir el crecimiento y alcanzar el acumulo de sacarosa.

La luz es uno de los elementos básicos para la producción de azúcares, por lo que su intensidad es imprescindible. Además, en condiciones normales de humedad, la radiación solar es de gran influencia en el desarrollo, así como en la formación de los azúcares y pureza.

En referencia a la semilla de caña, la constituye un trozo de tallo con tres yemas como máximo. De esta manera la siembra de semilla de caña de alta calidad, es posiblemente el paso más simple y de suma importancia que los cañeros toman en cuenta para mejorar la producción. Por esto mismo, la producción de semilla es parte integral en el planeamiento de la plantación.

También es imprescindible mencionar que la calidad de la semilla se determina por la ausencia de enfermedades, la capacidad de germinación y la pureza. En Guatemala, entre las enfermedades más serias de la caña de azúcar están: el mosaico, el carbón, el raquitismo de las socas y la roya. Estas se propagan al sembrar semilla infectada. La producción de semilla en semilleros manejados técnicamente es la manera más fácil de asegurar que la semilla sea pura.

El semillero es un área exclusiva del cañaveral para la producción de la semilla, lo cual proviene del primer o segundo corte únicamente; la cosecha ulterior se deja como caña comercial. Los semilleros deben ser planeados con anticipación a la siembra, con el objetivo de obtener la cantidad de semilla necesaria para la plantación comercial. Una hectárea de semillero en condiciones excelentes ocasiona alrededor de 60 toneladas de semilla, con esta se siembran hasta seis hectáreas.

Además, la semilla de caña debe originarse de caña joven, entre siete a nueve meses de edad y del primer o segundo corte como máximo, esto para asegurar una germinación uniforme, e impedir la resiembra y minimizar el combate de malezas.

Es imprescindible tener en cuenta que, si se deja transcurrir demasiado tiempo entre el corte de la semilla y la siembra, podría disminuir la germinación; el tiempo máximo recomendado son cinco días después del corte.

Para evitar la enfermedad del raquitismo de las socas, que se transmiten en la semilla de caña, así como de los cuidados en el semillero y en la corta, los trozos deben ser tratados de preferencia con calor, proceso que es parte esencial de cualquier esquema de producción de semilla de caña.

Hay distintos métodos para el tratamiento con calor: agua caliente, aire caliente y vapor aireado. Actualmente, se practica el de agua caliente a 52 °C por veinte minutos a las yemas. La cantidad de semilla indispensable para sembrar una hectárea oscila en 8 a 10 toneladas de acuerdo con la capacidad de brotamiento y macollamiento de la variedad y con el peso de los tallos, los cuales pueden ser delgados.

2.2. Procesos de los ingenios azucareros

En la actualidad, existen en Guatemala catorce ingenios, los cuales se ubican en los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Guatemala, estos se abastecen con facilidad de materia prima necesaria, cuentan con suficiente mano de obra y vías adecuadas de comunicación que permiten un acercamiento con los centros de distribución y consumo.

En los ingenios su tamaño depende de la capacidad instalada de producción que tengan. Para efectos prácticos en Guatemala hay cinco ingenios grandes y estos son los que rebasan una producción de 2 900,000 quintales de azúcar por zafra. Los medianos son cinco y se encuentran en el rango de 1 500,000 a 2 899,000 quintales de azúcar por zafra, mientras los otros ingenios se consideran pequeños.

Actualmente, se le denomina ingenio azucarero al que realiza la inducción al personal operativo del área agrícola al inicio de la zafra; no obstante, se presenta un inconveniente porque en este período se integra nuevo personal sin inducción.

Es importante resaltar que la agroindustria azucarera es una organización que se ha convertido con el transcurrir del tiempo en una de las primordiales fuentes de divisas para el país y generadora de empleos en abundancia, en la economía guatemalteca. Sus once ingenios contribuyen definitivamente al desarrollo de distintos municipios del país y más de un millón de personas, por esto se constituye en un factor concluyente para el progreso en Guatemala.

La caña de azúcar se introduce en Guatemala en 1530, y en 1590; los frailes dominicos fundan en Centroamérica, el primer ingenio en San Jerónimo, Baja Verapaz, Guatemala. La producción era de 150 quintales mensuales y era apoyada por 1 000 trabajadores. En ese entonces usaban mulas para transportar el azúcar a su destino.

Tabla VI. **Ingenios fundados en el período de 1863 a 1914**

Ingenio Santa Teresa	1863
Ingenio Pantaleón	1870
Ingenio San Diego	1890
Ingenio El Baúl	1911
Ingenio Tzululá	1914

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Ingenios fundados en el período de 1958 a 1969**

Ingenio La Sonrisa	1958
Ingenio Los Tarros	1960
Ingenio Concepción	1961
Ingenio Palo Gordo	1962
Ingenio Madre Tierra	1963
Ingenio Santa Ana	1967
Ingenio La Unión	1969

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, en la primera mitad de la década de 1960. Estados Unidos reasignó la cuota preferencial para la importación de azúcar, quitándole a Cuba su cuota y autorizándoles una cuota global a los países centroamericanos. Es de esa manera como la industria guatemalteca se introduce a la exportación formal de azúcar, formando sus primeros embarques en 1963. Tener una cuota global, les permitió a los ingenios tener un grupo para realizar sus embarques.

Tabla VIII. **Ingenios fundados en el período de 1975 a 1981**

Ingenio El Pilar	1975
Ingenio Magdalena	1975
Ingenio Tierra Buena	1977
Ingenio Guadalupe	1981

Fuente: elaboración propia.

A inicios de este período finalizó la operación en grupo y los ingenios comenzaron a exportar el azúcar de manera independiente. La recepción de caña en los ingenios en Guatemala comienza con el procedimiento de lavado para eliminar los residuos de la tierra, piedras y material extraño. Es importante mencionar que el agua puede ser reciclada para ahorrar en el consumo y debe ser tratada por medio de un proceso físico sencillo que es la sedimentación o por medio de filtros para retener los residuos sólidos que acaban en los ríos. Actualmente, en Guatemala se consumen unos 12 galones de agua por minuto por tonelada de caña.

Tabla IX. **Lista de ingenios azucareros en Guatemala**

1	Ingenio Concepción	Finca Concepción Escuintla, Guatemala
2	Ingenio Pantaleón	Km. 86,5 Carretera al Pacífico, Siquinalá, Escuintla, Guatemala
3	Ingenio Palo Gordo	Km. 142,5 Carretera al Pacífico San Antonio Suchitepéquez, Suchitepéquez, Guatemala
4	Ingenio Los Tarros	Km. 87 Finca Los Tarros, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla
5	Ingenio Madre Tierra	Km. 94,5 Carretera a Mazatenango, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla
6	Ingenio San Diego	Km. 7,5 de la carretera que de Escuintla conduce a La Antigua Guatemala
7	Ingenio Santa Teresa	Km. 22,5 Carretera al Tablón Villa Canales, Guatemala
8	Ingenio La Sonrisa	Km. 71,5 Carretera a El Salvador Barberena, Cuilapa, Santa Rosa
9	Ingenio La Unión	Km. 90 Carretera al Cerro de Colorado Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla
10	Ingenio Santa Ana	Km. 64,5 Carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa. Interior Finca Los Cerritos, Escuintla
11	Ingenio Guadalupe	Km. 122 ½ Recta a Sipacate, La Gomera, Escuintla
12	Ingenio Magdalena	Finca Bouganvilia Km. 99,5, Carretera a Sipacate La Democracia, Escuintla
13	Ingenio El Pilar	Km. 168 San Andrés Villa Seca, Retalhuleu
14	Ingenio Trinidad	Km. 72,5 Carretera antigua a Puerto de San José, Masagua, Escuintla

Fuente: elaboración propia.

En el proceso de los ingenieros azucareros, es preciso desarrollar en qué consiste el proceso agrícola, de igual forma desarrollar el proceso industrial y los factores que lo conforman. Por último, se detalla en qué consiste el proceso comercial de los ingenios azucareros, el cual se desarrolla en los siguientes apartados.

2.2.1. Proceso agrícola

Comprende desde la preparación de la tierra y siembra de la caña hasta su entrega en la fábrica. Para cubrir este proceso es necesario realizar labores tales como: preparación de suelos, siembra, fertilización, riego, control de malezas, control de plagas, aplicación de madurantes, corte, alce y transporte de la caña.

- Proceso de cultivo de caña: producción de caña a través de los diferentes procesos de manejo del cultivo iniciando por adecuación de tierras, preparación de suelos, siembras, control de malezas, fertilización, riego, control de plagas y aplicación de inhibidores de floración.

Figura 1. **Adecuación de tierras para cultivo**



Fuente: <http://ingagropecuariudeaestudiante.blogspot.com/> Consulta: 12 de octubre de 2016.

En el proceso de cultivo de caña, las condiciones correctas de suelo para el desarrollo y crecimiento de la caña se logran mediante una arada profunda, de hasta 40cm de preferencia con tractor. Materia orgánica en forma de estiércol de gallináceas o residuos industriales, podría ser distribuida e incorporada al suelo en el momento del laboreo. También es importante mencionar que el cultivo de abonos verdes, como la crotalaria, la soja y la mucana, aumenta la cantidad de materia orgánica que se logra incorporar al suelo. Seguidamente de las operaciones de arada y rastreada se continua con la surcada, con una profundidad de entre 25 y 30 cm. En algunas parcelas la erosión se previene abriendo los surcos de manera perpendicular a la dirección de la pendiente.

- **Diseño de fincas:** establecer con base a la topografía del terreno, la distribución, tamaño y forma de los lotes que se cultivarán, garantizando las mejores rutas de acceso y condiciones para realizar las labores agrícolas y de cosecha, con el fin de lograr la máxima productividad.

Figura 2. **Diseño de fincas para la siembra**



Fuente: <http://proyectosespecificos.blogspot.com/2010/10/produccion-intensiva-de-frutales.html/>

Consulta: 12 de octubre de 2016

Para el adecuado diseño de campo para el cultivo de caña de azúcar, hay que tomar en cuenta que el objetivo es diseñar los campos para establecer la forma en que deben estar acondicionados los terrenos, para que el proceso de preparación, siembra, riego, drenaje, cosecha manual y mecánica, puedan ejecutarse eficientemente. Como resultado se tendrá el plano del diseño.

Por lo mismo, esto tiene una secuencia de labores por seguir que comprende, levantamientos topográficos, planimetría y altimetría, dibujar y

georreferenciar de manera preliminar el diseño sobre el plano altimétrico. Además, efectuar el reconocimiento del campo para verificar el diseño inicial y de igual forma ajustar el trazado del diseño con base en las observaciones de las superintendencias de campo y cosecha.

- Preparación de suelos: la finalidad es roturar, voltear, fraccionar y pulir el suelo para crear una cama adecuada de siembra.

Figura 3. Preparación de suelos antes de la siembra



Fuente: https://i.ytimg.com/vi/BAQJWZ3_Apk/maxresdefault.jpg/ Consulta: 12 de octubre de 2016

Para reforzar el párrafo anterior respecto del tema de preparación de suelos, se anota que este proceso consiste en efectuar las operaciones necesarias de campo para crear un ambiente adecuado para la germinación

óptima de la semilla y el adecuado desarrollo del cultivo. El objetivo de la preparación del suelo es, no crear un suelo duro y compactado, que no facilite el establecimiento del cultivo, provocando mortalidad de semillas y plantas. Al contrario, crear un suelo granular y suelto, que permitirá un fácil y rápido enraizamiento, obteniendo plantas más firmes que competirán fácilmente con las malezas existentes.

- Siembras: proceso mediante el cual se coloca semilla vegetativa, de una variedad apta para la zona, con un estándar de 15 yemas viables por metro lineal.

Figura 4. **Siembra manual y mecánicamente**



Fuente: <http://cultivoca.blogspot.com/> Consulta: 12 de octubre de 2016

Es decir, que el procedimiento de la caña de azúcar se reproduce a través de trozos de tallo. El método más utilizado es que la siembra la realizan de este a oeste, de manera que se logra la mayor captación de luz solar. Los tallos que se usan tienen entre 6 a 9 meses de edad, provienen de cultivos cuidados y sanos. Asimismo, usan de preferencia la parte media del tallo (esquejes con 3

yemas). Las semillas están cubiertas con 5 cm del suelo, de esta manera influyen en la germinación y temprano desarrollo. Actualmente, existen tres maneras de realizarlo: manualmente con azadón, tracción animal y de forma mecánica.

- Control de malezas: evitar la emergencia de los bancos de semilla de malezas que compiten por luz, agua y nutrientes con el cultivo. Es importante identificar las malezas porque se aprovechan mejor los recursos de manejo. Asimismo, es posible seleccionar el método de manejo más adecuado, para disminuir el impacto ambiental por uso irracional. Es necesario recopilar un historial de incidencia de arvenses, y esto permite establecer un plan de control, conocer preferencias respecto del suelo y clima. A continuación, se muestra un organigrama con las estrategias que existen para el control de malezas.

Figura 5. **Control de malezas**

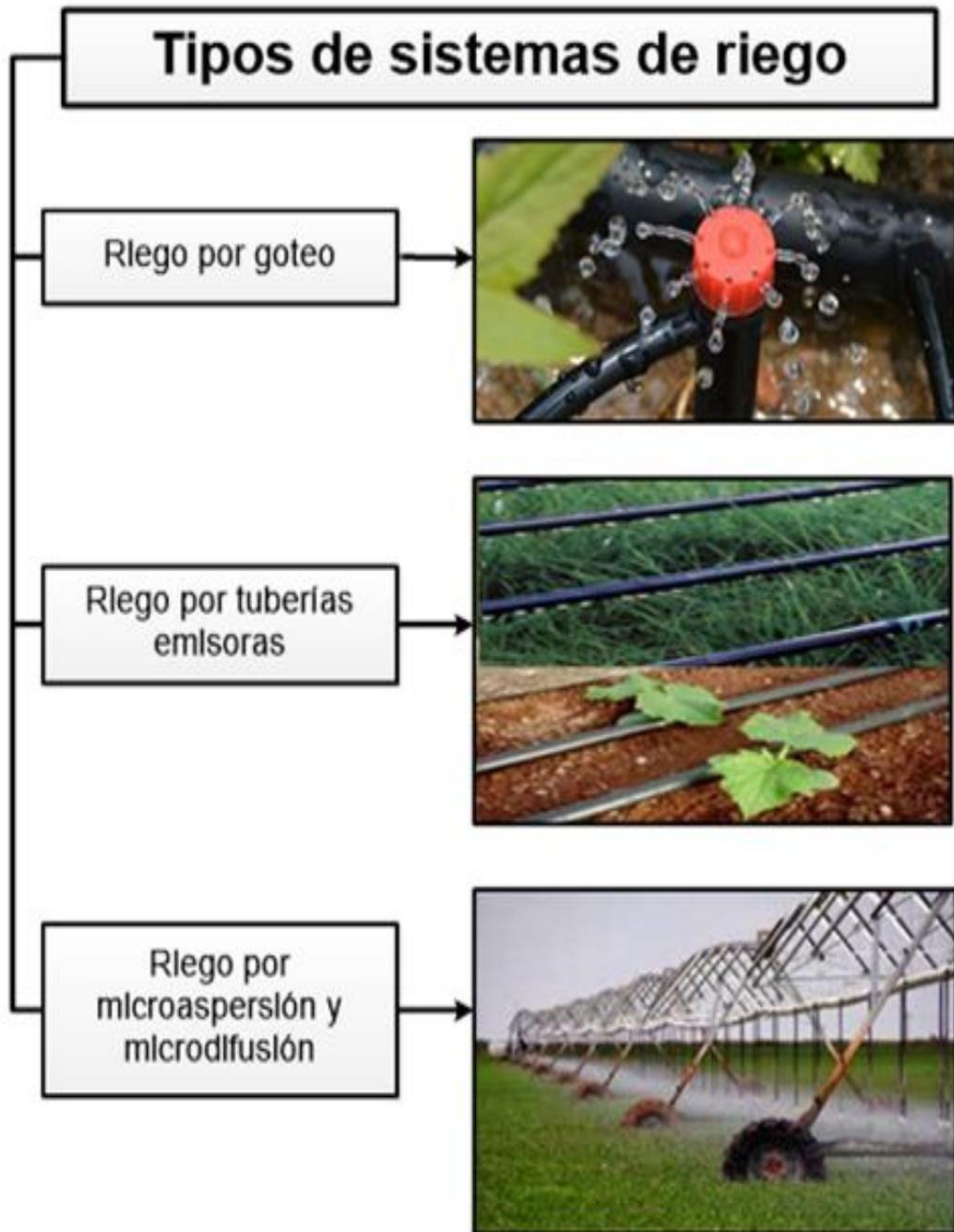


Fuente: elaboración propia.

- Riegos: suministro artificial de agua al suelo para proporcionar las condiciones adecuadas de humedad al cultivo. También es importante mencionar que por tratarse de un cultivo de larga duración que produce cantidades enormes de biomasa, la caña de azúcar es de las plantas que requiere de mayores cantidades de agua, además de ser considerada como resistente a la sequía. Por lo general, es cultivada bajo riego. El proceso de riego en la caña durante la etapa de crecimiento en la estación seca y comúnmente soleada, aumenta significativamente los rendimientos en gran proporción.

La necesidad de agua para la caña de azúcar varía de 1,600 a 2 500 mm/año. La variación es por la zona en que se desarrolla el cultivo, no obstante, las necesidades de agua varían aún mas según la etapa de crecimiento en donde se ubica la planta. A continuación se muestra un organigrama con los tipos de riego.

Figura 6. Clases de sistemas de riego



Fuente: elaboración propia.

- Fertilización: proveer los nutrientes esenciales al cultivo, para su desarrollo, basado en análisis de suelos. El elemento principal es el nitrógeno.

Figura 7. **Aplicación de fertilizantes**



Fuente: <https://www.infotopo.com/exteriores/jardin/los-fertilizantes-nitrogenados-y-su-aplicacion/>
Consulta: 12 de octubre de 2016

No obstante, los fertilizantes se aplican por grupos de manejo de suelos, según los requerimientos, de análisis de suelos y rendimiento potencial. Los nutrientes necesarios para la plantación se toman del aire y del suelo. El suministro de nutrientes al ser aplicado en el suelo ampliamente, hace que los cultivos crezcan mejor y produzcan mayores rendimientos. Pero si uno solo de los nutrientes necesarios es insuficiente, el crecimiento de las plantas es limitado y los beneficios de los cultivos son reducidos. En conclusión, los fertilizantes son necesarios con la finalidad de obtener altos rendimientos en los cultivos.

- Manejo integrado de plagas: conjunto de labores agronómicas que, de una forma integral y amigable con el ambiente, ayudan a la reducción de poblaciones de insectos capaces de causar pérdidas económicas al cultivo.

Figura 8. **Plagas en caña de azúcar**



Fuente: http://www.cesavep.org/campanias/MFC/mfc_desc.html/ Consulta: 12 de octubre de 2016

Es importante mencionar que las plantaciones de caña de azúcar son atacadas a nivel de suelo, tallo y follaje por diversidad de plagas y enfermedades, en la siembra y en el momento de la cosecha. Para un adecuado manejo de plagas, así como de enfermedades, y minimizar los efectos de estas se puede implementar el manejo regional fitosanitario con tres actividades en el desarrollo del cultivo.

“Prevención”, que se centra en la georreferenciación de las plantaciones, gestión agronómica del cultivo, identificación y conocimiento del insecto nocivo-benéfico y organismo causal de enfermedades. “monitoreo-

diagnóstico”, que se centra en determinar las zonas seleccionadas, a través del muestreo sistemático, los niveles de infestación-distribución de las plagas y los niveles de propagación e intensidad de las enfermedades. Se finaliza con “combate”, que se relaciona con las características regionales del clima y medidas de control del manejo integrado de enfermedades y plagas en el cultivo y verificación de efectividad de estas.

- Aplicación de inhibidor de flor y madurantes: disminuir la floración de la caña, estimulando el crecimiento para obtener mayores producciones.

Figura 9. **Aplicación de estimulantes a crecimiento**

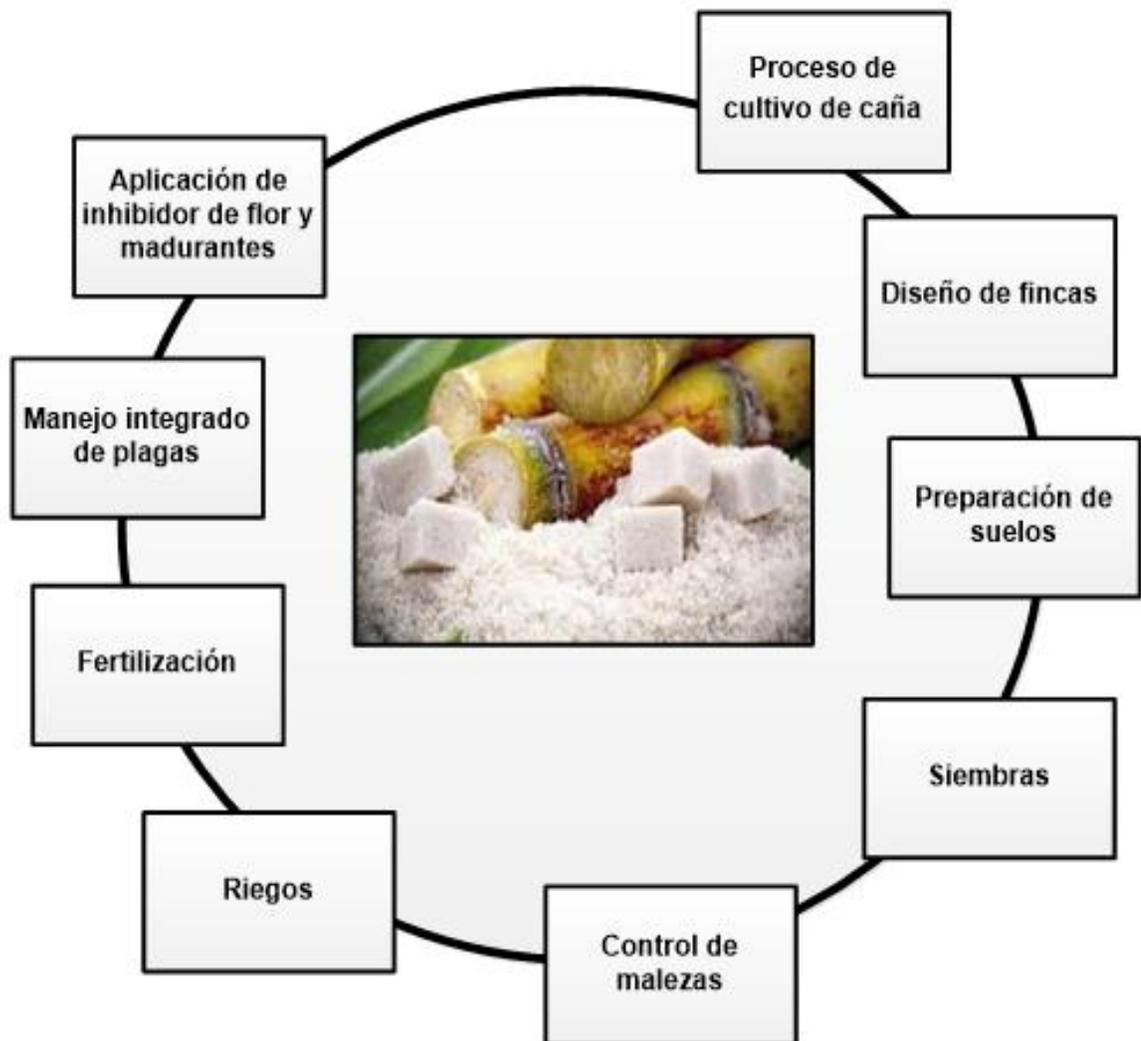


Fuente: <http://www.lasjarasonline.com/blog.html?start=60/> Consulta: 12 de octubre de 2016

Es decir, que el madurante puede inhibir la floración en ciertas variaciones de caña. La floración de no inhibirse podría reducir los niveles de sacarosa provocando resequedad de los entrenudos superiores causando el acorchamiento y la pérdida de la azúcar almacenada en esta

área. No obstante, el madurante seca las hojas de la caña, este efecto produce a menudo mejor quema, reduciéndose notoriamente la basura y costos adicionales de la misma.

Figura 10. **Proceso agrícola de caña de azúcar**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Proceso industrial

Empieza por la recepción de la caña, y continúa con su preparación, siguiendo con la extracción de jugos, su tratamiento, evaporación, cristalización, centrifugado, secado y finaliza con el empaque.

- Extracción del jugo: seguidamente la caña es descargada en las mesas transportadoras para pasar a las picadoras y desfibradoras, que la convierten en pequeños trozos facilitando la extracción del jugo en los molinos. Es aquí cuando comienza la fase de molienda, a través de un tándem de molinos que extraen el jugo de caña. En esta etapa se agrega agua caliente para obtener la máxima cantidad de sacarosa en un proceso llamado maceración.

Figura 11. Extracción de jugo de caña



Fuente: <https://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc65/inti5.php> / Consulta: 13 de octubre de 2016

En este proceso la caña es desmenuzada con cuchillas rotatorias y una

desfibradora, antes de molerla para facilitar la extracción del jugo que se hace pasándola en serie, entre los filtros, o mazas de los molinos. Se utiliza agua en contracorriente para ayudar a la extracción que llega a 94 o 95 % del azúcar contenido en la caña. El remanente queda en el bagazo residual que es utilizado como combustible en las calderas, así como materia prima para la fabricación de tableros de bagazo. Esta constituye la primera etapa del procesamiento de fabricación de azúcar crudo.

- Purificación del jugo: el jugo obtenido se cuela, con lo que inicia la etapa de calentamiento facilitando la sedimentación de sólidos insolubles y separándolos del jugo claro que queda en la parte superior del clarificador. Luego se le lleva a los filtros rotatorios al vacío para la recuperación de su contenido de sacarosa. En la siguiente tabla se muestra la composición de carbohidratos del jugo de caña de azúcar:

Tabla X. **Composición de carbohidratos del jugo de caña**

Carbohidratos		Concentración
Monosacáridos (%)	Glucosa	0,26 – 0,33
	Fructosa	0,26 –0,33
Disacáridos (%)	Sacarosa	9,6–10,9
Oligosacáridos (% BRIX)	1-Cestosa	0,26-0,33
	6-Cestosa	0,03-0,5
	Neocestosa	0,01-0,4
Polisacáridos (% BRIX)	Almidón	0,3-1,3

Fuente: elaboración propia.

De igual forma el jugo tiene partículas en suspensión a las que se

adhiera, en el proceso del recalentado, flocos de materiales proteicas coaguladas. Por lo mismo, es indispensable eliminar todas las partículas para evitar que se encuentren mezcladas con cristales de azúcar, no obstante, resulta difícil separar esas partículas, ya que atraviesan el filtro, entonces el jugo filtrado resultante no es limpio. En la siguiente tabla se detalla la composición de minerales en el jugo diluido:

Tabla XI. **Composición de minerales en el jugo ya diluido**

Constituyentes		Concentración (% BRIX)
Cationes	Potasio (K ₂ O)	0,77-1,31
	Sodio (Na ₂ O)	0,01-0,04
	Calcio (Ca O)	0,24-0,48
	Magnesio (MgO)	0,1-0,39
	Hierro (Fe ₂ O ₃)	0,006-0,04
	Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,0005-0,17
	Cobre (CuO)	0,002-0,003
	Zinc(ZnO)	0,003-0,012
	Manganeso (MnO)	0,007
	Cobalto (C _o O)	0,00007
	Silicio (SiO ₂)	0,016-0,101
Aniones	Cloro (Cl)	0,16-0,27
	Fosfato (P ₂ O ₅)	0,14-0,4
	Sulfato (como SO ₃)	0,17-0,52

Fuente: elaboración propia.

- Concentración del jugo: el jugo claro es enviado al tándem de evaporación para ser concentrado hasta obtener la meladura, la cual es

purificada en los clarificadores antes de ser llevada a los tachos.

Figura 12. **Concentración del jugo de caña**



Fuente: <http://claudialuceroo.blogspot.com/2015/05/> Consulta: 13 de octubre de 2016

En el proceso de concentración de jugo de caña de azúcar, la primera etapa de concentración se cumple en la estación evaporada, la segunda en los tachos cristalizadores. La estación evaporada constituye cuatro efectos, en el primero llega jugo claro calentando en tres precalentadores a 125°C. El primer efecto se calienta con vapor de escape de la turbina mezclado regularmente con vapor reducido de la caldera.

- **Cristalización:** es en los tachos donde se produce la masa cocida conformada por cristales de azúcar y miel.

Figura 13. **Cristalización de la azúcar**



Fuente: <http://claudialuceroo.blogspot.com/2015/05/> Consulta: 13 de octubre de 2016

Esta etapa es esencial porque en ella el azúcar disuelto se cristaliza al estado que se conoce actualmente. Asimismo, el jugo concentrado que sale del último cuerpo de la estación evaporadora, se mezcla con azúcar amarillo, y se disuelve en él, formando el licor estándar que tiene regularmente 62 a 66° Bx. Se filtra para eliminar el material en suspensión en los filtros bujías. Este licor o jarabe estándar se introduce en los tachos de cocimiento.

- **Centrifugación y secado:** la masa cocida pasa a centrifugas de alta velocidad que separaran los cristales de azúcar. Durante este proceso, el azúcar es lavado para retirar los residuos de miel y, posteriormente, ser secado y enfriado. La miel que se retira de este proceso se utiliza como materia prima para la elaboración del alcohol.

Figura 14. **Centrifugado y secado del proceso**



Fuente:

http://www.nicaraguasugar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=177/

Consulta: 13 de octubre de 2016

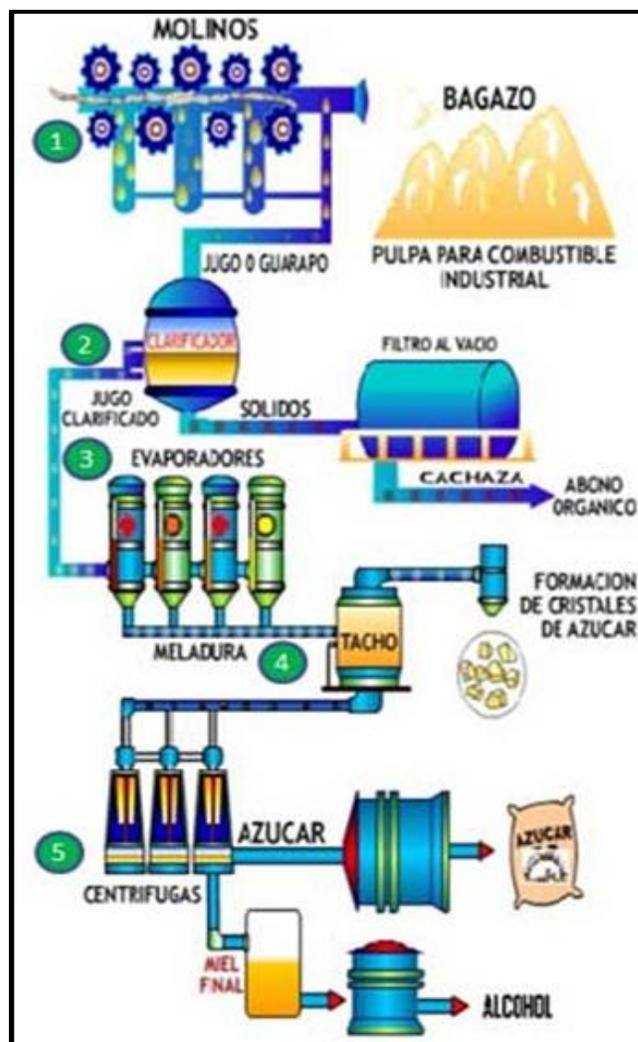
La masa cocida resultante de la cocción y cristalización del jarabe se forma de cristales de azúcar y por las mieles que no se cristalizan. La separación de los cristales de azúcar de las mieles, se realiza en equipos denominados centrífugos o turbinas, por la actividad combinada de la fuerza centrífuga y la fuerza de gravedad.

En la siguiente figura se muestra el proceso industrial en los ingenios azucareros. Este inicia en los molinos, el jugo bruto se clarifica mediante el procedimiento de tratamiento químico, este puede ser sólido y evaporador, el sólido mediante el filtro al vacío sirve de abono orgánico.

El jugo clarificado y filtrado continúa en el procedimiento, este es llevado a los evaporadores donde se consigue el jarabe, que pasa al tacho y se cristaliza su sacarosa. No obstante, los cristales de azúcar se llevan a las centrífugas y se separan los cristales de la miel innecesaria, regresándola a los tachos para

producir más cristales o se usa como materia prima para la producción de alcohol etílico. El resultado del paso en las centrífugas es el azúcar crudo el cual sigue en el proceso de refinación o puede venderse para consumo humano como el azúcar morena. Asimismo, el azúcar crudo es refinado y secado, ya listo para empacarlo y venderlo en el segmento nacional e internacional.

Figura 15. Proceso industrial en los ingenios azucareros



Fuente: <http://www.ipg.com.gt/web/guest/28>. / Consulta: 13 de octubre de 2016

2.2.3. Proceso comercial

Inicia con la negociación de contratos con clientes, continúa con la recepción y el almacenaje del azúcar en las bodegas, y el transporte y traslado hacia los centros de distribución y consumo.

2.3. Zafra

La caña es un cultivo de zonas tropicales o subtropicales del mundo. Requiere agua y suelos adecuados para crecer bien. Es una planta que asimila muy bien la radiación solar, teniendo una eficiencia cercana al 2 % de conversión de la energía incidente en biomasa. Un cultivo eficiente puede producir 100 a 150 toneladas de caña por hectárea por año (con 14 % a 17 % de sacarosa, 14 % a 16 % de fibra y 2 % de otros productos solubles).

La caña se propaga mediante la plantación de trozos de caña, de cada nudo sale una planta nueva idéntica a la original; una vez sembrada la planta crece y acumula azúcar en su tallo, el cual se corta cuando está maduro. La planta retoña varias veces y puede seguir siendo cosechada. Estos cortes sucesivos se llaman “zafras”. La planta se deteriora con el tiempo y por el uso de la maquinaria que pisa las raíces, así que se debe replantar cada siete a diez años, aunque existen cañaverales de 25 o más años de edad.

La caña requiere de abundante agua. Su periodo de crecimiento varía entre 11 y 17 meses, dependiendo de la variedad de caña y de la zona. Requiere de nitrógeno, fósforo, potasio y ciertos oligoelementos para su fertilización. En zonas salinas se adiciona azufre para controlar el sodio. La caña se puede cosechar a mano o a máquina. La cosecha manual se hace a base de personas con machete o rulas que cortan los tallos (generalmente

después de quemada la planta para hacer más eficiente la labor) y los organizan en chorras para su transporte. Una persona puede cosechar entre 5 y 7 toneladas por día de caña quemada y 40 % menos de caña sin quemar. La cosecha mecánica se hace con cosechadoras que cortan la mata y separan los tallos de las hojas con ventiladores.

Una máquina puede cosechar 30 toneladas por hora, pero con el inconveniente de que daña la raíz o soca, disminuyendo en gran medida el nacimiento de nuevas plantas por este método, por lo que muchas veces se hace necesaria la replantación. Una vez cortada, la caña debe transportarse rápidamente al ingenio para evitar su deterioro por levaduras y microbios. El transporte se hace en vagones o tirados por un camión o tractor. Los vagones tienen capacidades entre 5 y 20 toneladas cada uno.

La zafra azucarera en Guatemala es un período intensivo en cuanto a mano de obra en la cosecha de caña de azúcar. Esta se realiza mayoritariamente por trabajadores temporales y por subcontratos. En general, la cosecha tiene lugar durante la época seca y dura de cuatro a seis meses, de noviembre a mayo. La zafra se puede realizar de manera mecánica, pero también a mano, y durante esta temporada, la caña cortada se procesa en los ingenios durante las 24 horas del día.

Figura 16. **Corte de caña durante la zafra**



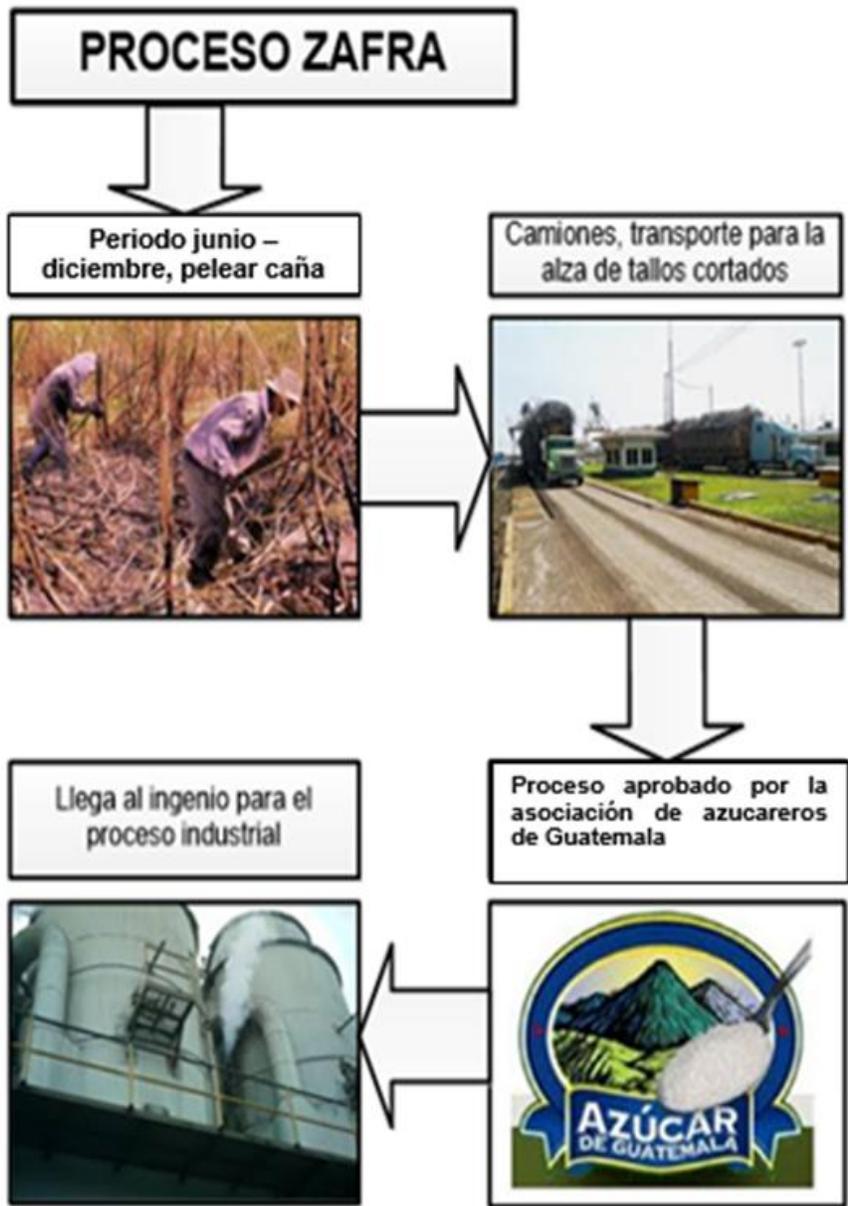
Fuente: <http://connuestraamerica.blogspot.com/2016/04/guatemala-y-los-trabajadorescaneros-de.html>, Consulta: 13 de octubre de 2016

Figura 17. **Transporte de caña en época de zafra**



Fuente: <http://cb24.tv/zafra-azucarera-termina-con-alza-de-11-en-guatemala/>, Consulta: 13 de octubre de 2016

Figura 18. **Proceso de cosecha zafra**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Propiedades químicas de la caña de azúcar

A la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*.) se le denomina como una planta monocotiledónea que es perteneciente de la familia de las poáceas. También es necesario reconocer morfológicamente las plantas, porque ello permite observar diferencias y conocer las especies, así como las variantes que existen para después hacer una relación con el rendimiento y la adaptación de su comportamiento. Por lo mismo, se muestra la siguiente tabla con las propiedades químicas de la caña de azúcar.

Tabla XII. Propiedades químicas de la caña de azúcar

Propiedad	Información	Propiedad	Información	Propiedad	Información
Energía	394,50 kcal	Potasio	161,10 mg	Vitam. A	0,00 µg
Proteínas	0,00 g	Fósforo	12,15 mg	Vitam. B1	0,00 mg
Hidratos	98,70 g	Fibra	0,00 g	Vitam. B2	0,00 mg
Agua	1,30 g	Grasa	0,00 g	Vitam. B3	0,50 mg
Calcio	42, 80 mg	Colesterol	0,00 mg	Vitam. B6	0,01 mg
Hierro	1,10 mg	AGS	0,00 g	Vitam. B9	0,50 µg
Yodo	0,00 µg	AGM	0,00 g	Vitam. B12	0,00 µg
Magnesio	11,10 mg	AGP	0,00 g	Vitam. C	0,00 mg
Cinc	0,10 mg	Carotenos	0,00 µg	Vitam. D	0,00 µg
Selenio	0,90 µg	Retinol	0,00 µg	Vitam. E	0,00 µg
Sodio	20,15 mg				

Fuente:

<http://saludybuenosalimentos.es/alimentos/index.php?s1=Verduras%2FHortalizas&s2=Tallos&s3=Ca%F1a+de+Az%FAcar>, Consulta: 13 de octubre de 2016

De esta forma se anota que la variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, influye en la eficiencia del manejo de la cultura cañera y su desenvolvimiento. También lo hace la variabilidad natural del suelo, las prácticas agrícolas de manejo como la fertilización, muestreo y recuperación. Es necesario mencionar que el manejo del suelo puede afectar los elementos químicos, físicos, mineralógicos y biológicos, provocando impacto esencialmente en las capas superficiales.

En la siguiente tabla se muestra que en la caña de azúcar el contenido de agua representa entre el 73 % y el 76 %, los sólidos solubles totales (Brix % caña) fluctúan entre 10 y 16 %, y la fibra (% de caña) varía entre 11 y 16 %. Los azúcares más simples, glucosa y la fructuosa (azúcares reductores), existen en el jugo de cañas con grado avanzado de madurez en concentración entre 1 % y 5 %, la calidad del jugo y de otros productos dependen de la proporción de los azúcares reductores, los que cuando aumentan por causa del deterioro o la inmadurez de la planta, pueden producir incrementos en el color y variedad en el sabor.

Tabla XIII. **Promedio de la composición química (%) de los tallos y los jugos de la caña de azúcar**

Constituyente químico	Porcentaje
En los tallos	
Agua	73-76
Sólidos	24-27
-Sólidos solubles (Brix)	10-16
-Fibra (seca)	11-16
En el jugo	
Azúcares	
-Sacarosa	75-92
-Glucosa	70-88
-Fructuosa	2-4
Sales	
-Inorgánicas	3,0-3,4
-Orgánicas	1,5-4,5
Ácidos orgánicos	1-3
Aminoácidos	1,5-5,5
Otros no azucares	
-Proteínas	0,5-0,6
-Almidones	0,001-0,050
-Gomas	0,3-0,6
-Ceras, grasas, entre otros	0,15-0,50
-Compuestos fenólicos	0,10-0,80

Fuente: elaboración propia.

Además, la caña de azúcar es excelente para la digestión, ya que funciona eficazmente como laxante suave por su alto contenido de potasio, también da bajos en el índice glucémico y mantiene el cuerpo en forma y saludable. De igual forma se ha descubierto que el jugo de caña de azúcar es beneficioso

para la prevención, así como para el tratamiento de dolor de garganta, resfriado y gripe.

2.5. Componente del jugo de caña de azúcar

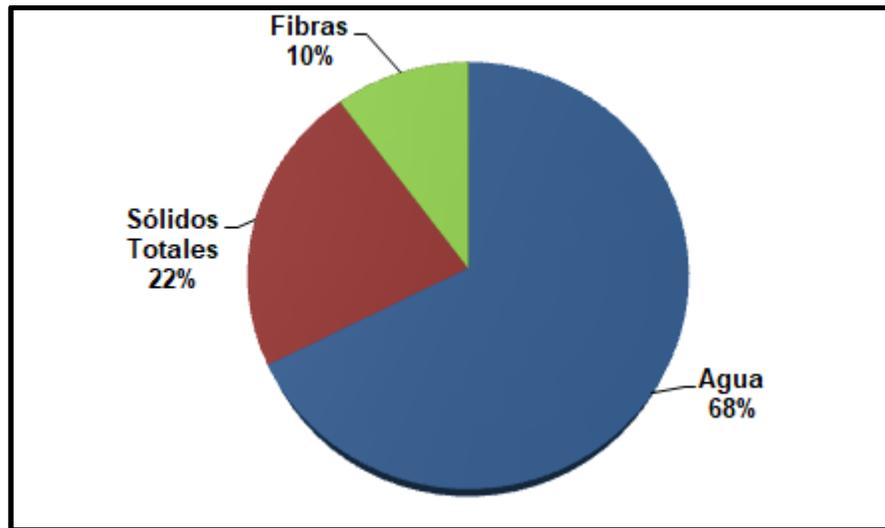
El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz solar, razón por la cual su cultivo se realiza en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado. El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En ambas partes también se encuentran otras sustancias en cantidades muy pequeñas. Las proporciones de los componentes varían de acuerdo con la variedad (familia) de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, entre otros. Sin embargo, unos valores de referencia general pueden ser:

Tabla XIV. **Composición de la caña**

Componente	Porcentaje
Agua	73-76
Sólidos totales	24-27
Fibras	11-16

Fuente: ARAGÓN TRUJILLO, Erick Estuardo. *Análisis de la descomposición de cuatro variedades de caña de azúcar*. p. 6.

Figura 19. **Porcentajes aproximados de los componentes de la caña de azúcar graficados**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Composición del jugo de caña**

Componente	Porcentaje en Jugo	Porcentaje de los Sólidos Solubles
Azúcares	11-25	80-92
Sacarosa		75-88
Glucosa		2-4
Fructosa		2-4
Sales	3,0-7,5	
Sales de ácidos inorgánicos		1,5-4,5
Sales de ácidos orgánicos		1,0-3,0
Ácidos orgánicos libres	0,5-2,5	
Ácidos carboxílicos		0,1-0,5

Continuación de la tabla XV.

Aminoácidos		0,5-2,0
Otros no azúcares Orgánicos		
Proteínas		0,5-0,6
Almidón		0,001-0,050
Gomas		0,30-0,60
Cera, grasas fosfatidas		0,050-0,15
No-azúcares no identificados		3,0-5,0

Fuente: ARAGÓN TRUJILLO, Erick Estuardo. Análisis de la descomposición de cuatro variedades de caña de azúcar. p. 8.

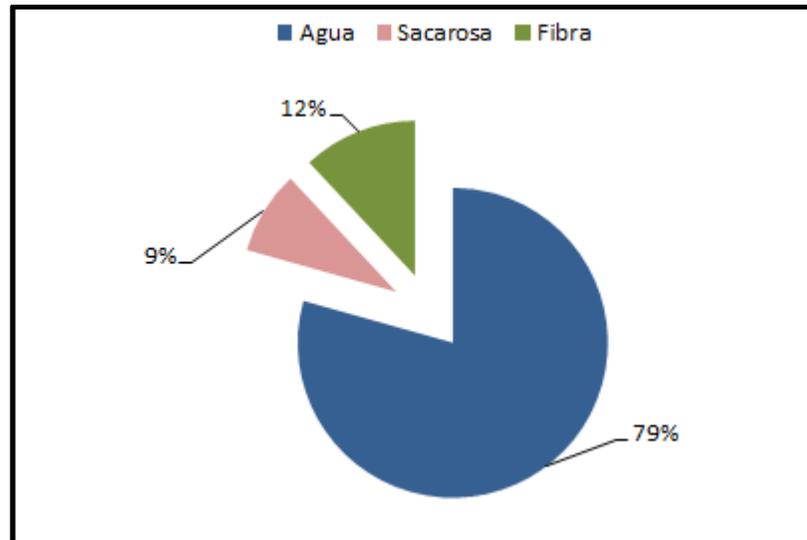
Es importante saber que las hojas de la caña nacen en los entrenudos del tronco. Conforme crece la caña, las hojas más bajas se secan, caen y se reemplazan por las que surgen en los entrenudos superiores. Igualmente nacen en los entrenudos las yemas en ciertas condiciones y pueden llegar a dar lugar al nacimiento de otra planta. El tronco de la caña de azúcar se compone por una parte sólida que se le llama fibra y una parte líquida, el jugo, que contiene agua y sacarosa. En la tabla se muestran los valores mencionados:

Tabla XVI. **Valores referenciales constituyentes de la caña**

Agua	73-76 %
Sacarosa	8-15 %
Fibra	11-16 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Porcentajes aproximados de los constituyentes de la caña**



Fuente: elaboración propia.

También la sacarosa del jugo se cristaliza en el procedimiento como azúcar y la fibra constituye el bagazo una vez molida la caña.

3. ESTUDIOS REALIZADOS

3.1. Tránsito promedio de transporte azucarero

Es de suma importancia conocer el tránsito que circula por la carretera existente, asimismo, se toma en cuenta el porcentaje de tránsito pesado, de esta manera se conocerá la carga aproximada que debe resistir el pavimento y la acumulación de sus efectos, durante el período de diseño. El tránsito actual en un horario de 8:00 a 17:00 horas, con un intervalo de una hora, en el km 94,5 CA-02 occidente, es aproximadamente de 6 692 vehículos, con un tránsito pesado menor al 5 %, que equivale a 237 vehículos.

Es decir, que el tránsito, se ha calculado por el número máximo de vehículos que pueden circular por un tramo carretero en el período de tiempo determinado, en un intervalo de una hora, en condiciones existentes del tramo y se toma en cuenta la velocidad del tránsito. La capacidad depende de la composición del tránsito.

El estudio se realizó de forma presencial, contando de manera visual y realizando una bitácora en la cual se plasmaron los resultados obtenidos, para posteriormente ser tabulados, analizados e interpretados. (Anexo 5. Bitácora utilizada para realizar estudio de muestre de tránsito)

Tabla XVII. **Total de camiones cargados con caña, con su respectivo equipo, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente**

CAMIONES CARGADOS CON CAÑA		
HORARIO	CON DOS EQUIPOS	CON TRES EQUIPOS
8:00 - 9:00	3	2
9:00 - 10:00	3	0
10:00 - 11:00	7	0
11:00 - 12:00	6	1
12:00 - 13:00	4	2
13:00 - 14:00	3	2
14:00 - 15:00	1	0
15:00 - 16:00	3	4
16:00 - 17:00	3	0
TOTAL	33	11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Total de vehículos pesados (camiones con cisternas, buses, camiones de volteo, tractores) que ingresan al ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente**

VEHICULOS PESADOS		
HORARIO	ENTRADA (UNIDADES)	SALIDA (UNIDADES)
8:00 - 9:00	19	4
9:00 - 10:00	15	15
10:00 - 11:00	15	15
11:00 - 12:00	12	28
12:00 - 13:00	12	12
13:00 - 14:00	6	5

Continuación de la tabla XVIII

14:00 - 15:00	14	15
15:00 - 16:00	15	17
16:00 - 17:00	12	19
TOTAL	120	130

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Total de vehículos livianos y pesados, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente**

VEHÍCULOS LIVIANOS Y PESADOS	
HORARIO	UNIDADES
8:00 - 9:00	237
9:00 - 10:00	677
10:00 - 11:00	712
11:00 - 12:00	727
12:00 - 13:00	1100
13:00 - 14:00	933
14:00 - 15:00	865
15:00 - 16:00	749
16:00 - 17:00	692
Total	6692

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Muestreo de tránsito en la salida de la finca del ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Muestreo de tránsito en la entrada del ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Muestreo de tránsito en el entronque de la carretera principal y el ingreso al ingenio, jueves 18 de enero 2018, de 8:00 a 17:00 horas, km 94,5 CA-02 occidente**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Índice de desperdicios no controlados sobre la carpeta asfáltica

El transporte de caña de azúcar se realiza en camiones, cuando estos circulan por algún tramo de la carretera principal. Es permitido que lo hagan con dos vagones como máximo, a diferencia de los camiones que utilizan vías

alternas, ya que estos pueden realizar la operación con un máximo de cuatro vagones, los cuales tienen capacidad de transportar de 40 a 50 toneladas aproximadamente.

La estimación del desperdicio de caña, se lleva a cabo a través del control a los camiones, creando tres rutas de monitoreo, en las que se realizan colectas de la caña dejada sobre el recorrido, con el objetivo de cuantificar la caña pérdida por viaje, el desperdicio por hectárea y el costo de esa pérdida por hectárea.

Debido a que la molienda promedio por hora es aproximadamente de 1 200 toneladas, la cantidad de unidades de transporte debe satisfacer dicha demanda para no interrumpir la continuidad del proceso. Al inicio de la zafra la demanda no se satisface debido a que no en todas las fincas la cosecha se está llevando a cabo.¹

Se estableció que durante el transporte de la caña de azúcar del campo al ingenio se pierden 1,52 toneladas por hectárea, que representan un costo de Q. 21,53 quetzales por hectárea y de Q. 129 607,24 quetzales para el ingenio evaluado. Las principales causas de pérdida son el mal alce y el mal estado de las rutas, que representan el 20 % de las causas y provocan el 80 % de la pérdida durante el transporte.²

3.3. Pérdida de volumen de la caña de azúcar

Se tomaron varias muestras de caña de azúcar de la misma longitud para someterlas a una prueba de compresión por medio de tránsito. Se pasó un

¹ Área de transporte, ingenio Pantaleón.

² MARTÍNEZ, Julio. *Contribución a la eficiencia en la producción de caña de azúcar, en la zona seis del ingenio Madre Tierra*. p.35.

vehículo promedio de aproximadamente tres toneladas, dos veces por cada una de las muestras para determinar cuánto peso pierde y libera sobre la carpeta asfáltica, luego se deshidrataron las muestras y se obtuvo el porcentaje de humedad promedio que presenta la caña de azúcar.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{PNH}-\text{PNS})}{\text{PNS}} * 100$$

$$\% \text{ Humedad} = 291,70$$

Figura 24. **Muestras de caña de azúcar**



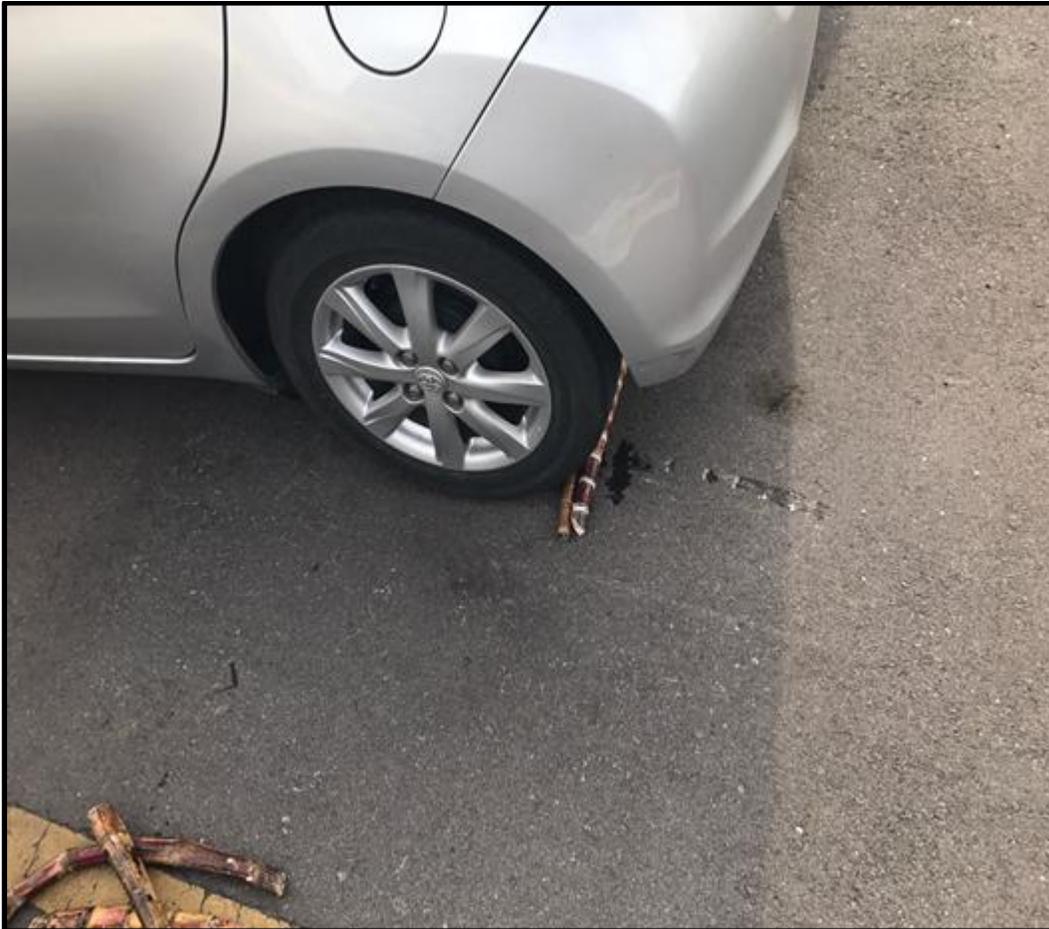
Fuente: elaboración propia, según datos obtenidos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 25. **Muestra de caña de azúcar deshidratada**



Fuente: elaboración propia, según datos obtenidos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 26. **Prueba de tránsito**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XX. **Resultados obtenidos, prueba de compresión por tránsito**

% Humedad de la caña					
No.	Peso caña húmeda	Peso caña húmeda (gr), comprimida por tránsito de 3 ton	Diferencia de peso (gr)	Peso caña deshidratada al horno (gr)	Contenido de jugo de caña (gr)
1	139,66	135,63	4,03	37,95	101,71
2	183,33	178,96	4,37	49,78	133,55
3	183,04	178,26	4,78	49,17	133,87
4	228,20	224,68	3,52	61,98	166,22
5	217,84	208,92	8,92	56,57	161,27
6	197,57	193,45	4,12	53,95	143,62
7	344,43	338,29	6,14	91,27	253,16
8	359,47	334,39	25,08	88,32	271,15
9	340,45	325,32	15,13	81,76	258,69
10	169,54	155,91	13,63	32,62	136,92
PROM	236,35	227,38	8,97	60,34	176,01

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

3.4. Pérdida de caña de azúcar durante el transporte

Se realizó un muestreo para evaluar la forma en la cual los ingenios tratan la manera de contrarrestar la contaminación producida por el desperdicio de caña de azúcar generado por el mal manejo que tienen en su transporte, desde el lugar de cosecha y carga hasta el lugar de descarga y procesamiento.

Los resultados se obtuvieron del estudio campo realizado en el km 113 CA-2 occidente, en el cual se entrevistó a un contratista, quien se encarga de recolectar los desperdicios de caña que permanecen sobre la carpeta asfáltica y sus alrededores, en época de zafra.

La jornada de trabajo de los equipos de limpieza va desde las 6:00 hasta las 15:00 horas. Cada equipo está conformado por cuatro personas, de las cuales tres están encargadas de recolectar los desperdicios de caña y una asignada como piloto del vehículo. Además, tiene asignado un tramo de carretera que consta de un promedio de 33 kilómetros, en el cual se trabajan entre dos y tres fases por tramo asignado, cada fase consta de un día dependiendo de la cantidad de quintales recolectados.

Cada equipo recolecta un alrededor de 30 a 35 quintales, en un tramo de 15 a 20 kilómetros de limpieza, esto puede variar dependiendo del tramo asignado, por lo cual se obtiene un promedio de 1,90 quintales por kilómetro aproximadamente.

Finalmente, la cantidad de quintales recolectada es transportada por cada equipo de limpieza al ingenio correspondiente para pesarlo en la báscula y, posteriormente, venderlo a los ganaderos de la región, los cuales lo utilizan como un complemento alimenticio para su ganado.

Figura 27. **Muestreo estudio de limpieza, equipo de limpieza, km 113 CA-02 occidente**



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Muestreo estudio de limpieza, personal de recolección de desperdicios, km 113 CA-02 occidente**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Proporciones de la solución de jugo de caña y agua

Se realizaron dos soluciones con diferente concentración para evaluar los efectos que produce el jugo de caña en la durabilidad y propiedades de una carpeta asfáltica y así tener un factor de comparación entre ambas soluciones, para evaluar, si a mayor concentración de jugo de caña, aumenta o disminuye algún dato obtenido.

La solución 1, se realizó con 2 litros de jugo de caña y 8 litros de agua de lluvia, obteniendo un total de 10 litros de solución con una concentración de 20 % de jugo de caña y 80 % de agua de lluvia.

La solución 2, se realizó con 5 litros de jugo de caña y 5 litros de agua de lluvia, obteniendo un total de 10 litros de solución con una concentración de 50 % de jugo de caña y 50 % de agua de lluvia.

Tabla XXI. **Densidades de soluciones**

Densidades				
Material	Peso (gr)	Volumen (ml)	Densidad (gr/ml)	Solución (%)
Probeta + solución (20 %-80 %)	50,69	6,00	1,00164	20-80
Probeta + solución (50 %-50 %)	53,09	8,00	1,05846	50-50
Probeta + agua	50,68	6,00	1,00000	100
Probeta	44,82	-	-	-

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 29. Máquina extractora de jugo de caña



Fuente: elaboración propia, la Molienda.

Figura 30. **Caña de azúcar después de pasar por el extractor de jugo**



Fuente: elaboración propia, la Molienda.

Figura 31. Agua de lluvia recolectada



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en el Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 32. **Solución 2: agua de lluvia y jugo de caña**



Fuente: elaboración propia según datos obtenidos en el Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

4. PROCESAMIENTO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

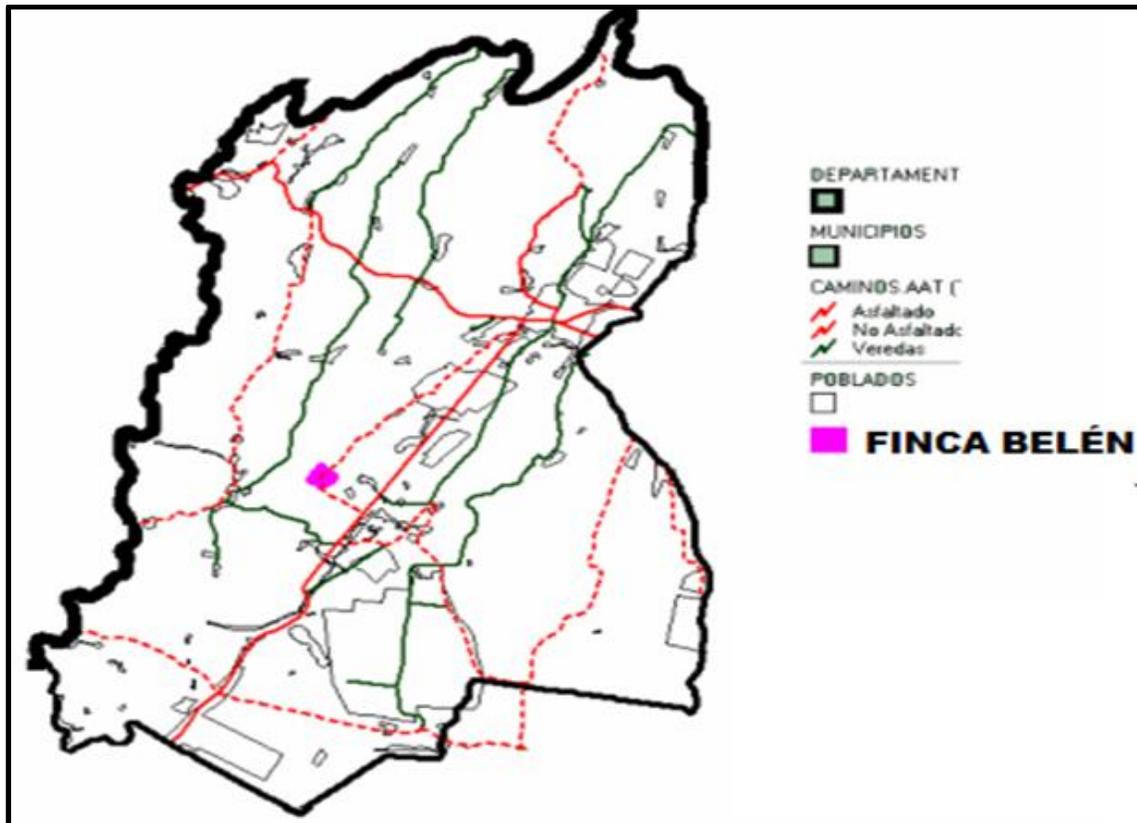
4.1. Ingenios azucareros

En la actualidad existen varios ingenios en Guatemala que son dedicados a la producción de azúcar, en este estudio, por razones de seguridad se omitirán sus nombres y solo se anota que se ubican en Amatitlán y en Escuintla.

4.1.1. Ubicación

- El ingenio que se ubica en la finca Belén en Amatitlán, comprende un área de 478,23 hectáreas, ubicada en 14° 11" latitud norte, 90° 53" longitud oeste y 146 MSN, la precipitación pluvial es de 2 469 Mm./año y la temperatura media anual es de 25° C.

Figura 33. Mapa ingenio Amatitlán



Fuente: <http://www.oxfamblogs.org/lac/agatha-causa-destrozos-a-viviendas-en-amatitlan/>

Consulta: 16 de enero de 2017.

- El otro ingenio se encuentra ubicado en la finca Bugarvilia, en el municipio de La Democracia, Escuintla. Sus coordenadas geográficas son: latitud Norte 14°42'40" y longitud Oeste 89°57'26". Tiene una altitud promedio de 20 m.s.n.m.

Figura 34. Mapa ingenio en Escuintla



Fuente: <https://culturapeteneraymas.wordpress.com/2012/02/14/mapas-del-departamento-de-guatemala-2/> Consulta: 16 de enero de 2017.

4.1.2. Área de influencia territorial

El ingenio ubicado en la finca Belén; tiene una extensión territorial de 478,23 ha. Finca Belén limita al norte con finca Santa Isabel; al sur, con finca Venecia González, finca Tesalia y aldea el Horizonte; al este con finca Camantulul y al oeste con finca Santa Isabel, finca San Juan y finca San Ignacio. Actualmente, la planta procesadora del ingenio se encuentra ubicada en el km. 99,5 ruta a Sipacate, La Democracia, Escuintla, en las coordenadas geográficas latitud 14° 07' 12" Norte y longitud 90° 55' 48" Oeste, con una altura promedio de 57 m.s.n.m.

La serie de suelos del ingenio en la cual se ubica la finca Belén se caracteriza por su profundidad y por contar con material volcánico mezclado. Los suelos de la finca están taxonómicamente agrupados en orden de los Andisoles, y ocupan el 26 % del área y están en el cuerpo y ápice de los abanicos de la cadena montañosa, el origen es de cenizas volcánicas.

El ingenio que se ubica en la finca Bugarvilia; la vía de acceso es por la carretera al Pacífico CA-2, luego sigue la ruta para el puerto de Sipacate, cruzando el municipio de La Democracia, y se cruza a la izquierda tomando una carretera de terracería la cual guía a la aldea El Pilar, de 45 000 hectáreas aproximadamente de caña, para la producción de azúcar, etanol y electricidad, se tuvo en la zafra 2009-2010 una producción de 11,4 millones de quintales de azúcar.

Su topografía es ondulada con un aplazado hacia la costa. Está ubicado en la jurisdicción de dos municipios, los cuales son Cuyotenango y San Andrés Villa Seca, en los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu, con una extensión de 34 478 ha, divididas con un aproximado de 1 200 parcelas, la mayoría con tamaños de 20 hectáreas y excepcionalmente de 45 ha. Tiene áreas forestales, fajas y calles, y un área agrícola de 24 000 ha, divididas en tres sectores A, B y C; de los cuales el sector C, es el mayor, ocupando el 50 % del área del parcelamiento. La serie de suelos, está clasificada en Ixtán arcilla y en menor escala la Ixtán franco-limoso; no obstante, se hallan suelos de la serie Champerico en áreas pequeñas.

4.2. Área territorial del cultivo de caña de azúcar

Las características agronómicas del ingenio ubicado en la finca Belén; son: color amarillo verdoso y los hijuelos son de color rosado en la yema. El

crecimiento es rígido y no posee afate. Con una variedad florecedora de fácil corte y desperejado regular, con retoño y adaptable a cualquier suelo, no obstante, su rendimiento merma de manera mínima en suelos poco arenosos y profundos. La variedad CP 72 2086 es de temprana maduración, por lo mismo se recomienda su siembra y cosecha durante noviembre a febrero, ya que si surge algún atraso las actividades, por el elevado porcentaje de floración, se crea tejido corchoso, iniciando en el tercio superior hacia abajo, lo que conlleva un despunte más bajo en la cosecha y esto provoca la reducción de la producción.

En la actualidad existe una capacidad instalada de 12 000 toneladas/día neto y cerca de 150 días de zafra. Es decir, que el 20 % del azúcar molido es procesado para producir azúcar blanca estándar, y el 80 % restante está compuesto de azúcar cruda a granel como producto terminado. También se produce melaza y electricidad.

El 30 % de la producción es azúcar blanca, y el 70 % restante está compuesto de azúcar cruda a granel como producto final. El área cuenta con riego equivalente a un 63 % del área total cultivada, los métodos de riego son utilizados en el siguiente orden: 5 902 hectáreas con aspersión y 59 % del área regada, 2 004 hectáreas con bombeo gravedad y 20 % del área regada, 1 124 hectáreas con gravedad y 11 % del área regada, 856 hectáreas con pivote central móvil y 9 % del área regada y las 87 hectáreas con pivote central fijo y el 1 % del área regada.

Los suelos de esta finca son aptos para la mayoría de cultivos de la región, sin embargo, por el alto contenido de arena no es recomendable sembrar cultivos que necesiten anclarse, ya que el suelo no ofrece un buen

medio para soportar el anclaje amplio de especies arbóreas. En esta clase de suelos no es necesario realizar labores de preparaciones intensas de suelos.

El ingenio ubicado en la finca Bugarvilia tiene 92 módulos de aspersión cañón, los que cubren alrededor de 14 600 hectáreas físicas y 158,7 hectáreas por módulo, esto es en promedio 3,08 riegos por hectárea con una totalidad de 45 000 hectáreas de riego por temporada. Este ingenio cuenta con una organización agrícola, se conforma de los departamentos de campo, como ingeniería e investigación agrícola, el departamento de investigación agrícola se encarga de realizar evaluaciones en las áreas de cultivo, está conformado de divisiones y áreas. Las divisiones de esta finca son: agrícola, área riegos, fertilidad, productos, malezas.

División por variedades, semilleros, investigadores de variedades de las zonas oriente, occidente, litoral; división Biomag, así como las áreas de plagas, producción de hongo *Metarhizium*, invernaderos y área de botánica.

El área de maleza está conformada de estructura con funciones establecidas, y tiene moléculas de herbicidas modernas, en donde se utilizan como variables de respuesta: un porcentaje de control que ejercen las moléculas en las especies arvenses y los probables daños fitotoxicológicos hacia el cultivo. El uso principal de esta área es para cultivar caña de azúcar, almacenando las ecológicas áreas boscosas naturales y explotación de zonas arenosas, además de las especies maderables como la Teca.

4.2.1. Carreteras dentro del área territorial del cultivo de caña de azúcar

El departamento de fertilización y malezas del ingenio que se ubica en la finca Belén está en las coordenadas 14°16'18" latitud norte y 91°05'47" longitud oeste a una altura de 180 msnm., kilómetro 112 de la ruta que conduce a la aldea Cerro Colorado al suroeste de la ciudad capital, en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, del departamento de Escuintla.

En el Km 90 carretera al Cerro de Colorado Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla existen dos accesos, ambos por la carretera a la aldea Cerro Colorado, el principal en el desvío sobre el km 94 y el segundo sobre el km 102.

Figura 35. Mapa ingenio en finca Belén



Fuente: <https://culturapeteneraymas.wordpress.com/2012/02/14/mapas-del-departamento-de-guatemala-2/> Consulta: 16 de enero de 2017.

Ingenio ubicado en la finca Bugarvilia en el municipio de la Democracia, del departamento de Escuintla, en el km 99,5 de la carretera hacia Sipacate, se desvía a 7 km de terracería hacia las instalaciones del ingenio. La finca está ubicada a 107 km aproximadamente de la ciudad de Guatemala. Colinda al norte con la finca Santa Marta y Los Amigos, al sur con la finca Santa Ricarda, al este con el río Achíguate, y en el oeste con la finca San Patricio.

La finca Bugarvilia se ubica a 17° 07' 10" latitud norte y longitud oeste 90° 55' 48", a 50 msnm, con una precipitación pluvial de 1 500 mm/año y una temperatura que oscila entre 20 y 30°C. Ubicada en la zona del bosque subtropical húmedo. A una distancia de 105 kilómetros de la ciudad capital, 13 kilómetros de la cabecera municipal de La Democracia y 45 kilómetros de la cabecera de Escuintla. Al norte limita con la finca Santa Marta y Los Amigos, hacia el sur con las fincas Santa Ricarda y Parcelamiento, El Pilar, al este con las fincas, Las Ninfas y aldea Cuyuta y fincas San Patricio.

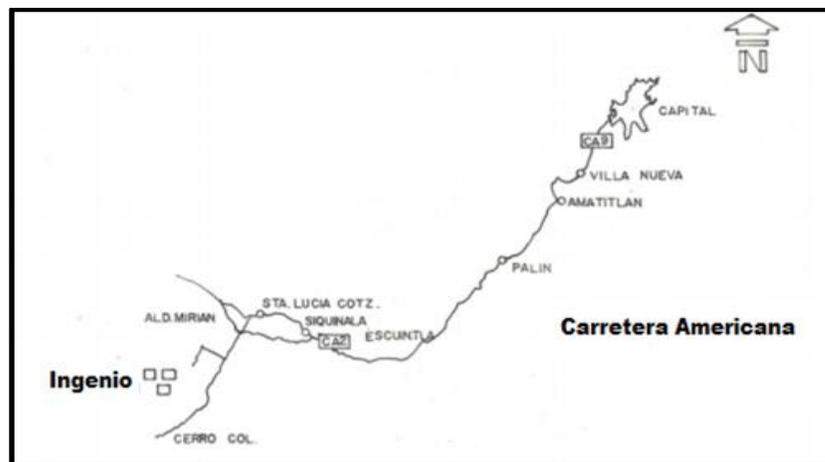
Asimismo, se utiliza la carretera hacia el municipio de La Gomera, recorriendo 5 kilómetros de terracería que conducen hacia el parcelamiento Los Ángeles, se ubica en el municipio de San José, Escuintla, tomando la carretera a Linda Mar, 22 Kms. de asfalto hasta llegar al parcelamiento. De igual forma, se puede acceder por el municipio de la Democracia, Escuintla, por la carretera al ingenio Magdalena, 22 Kms. de terracería en el parcelamiento El Pilar y Ceiba Melia. Existe un acceso de 19 km., por finca Granada, La Gomera y finca Felicidad, La Democracia, pero no recibe mantenimiento, es decir, que es inaccesible.

Tabla XXII. **Colindancias del ingenio ubicado en la finca Buganvilia**

Norte:	Finca Polonia y finca La Felicidad
Sur:	Océano Pacífico
Este:	Finca La Rubia, Aldea Las Palmas
Oeste:	Finca La Granada, finca Salamanca y finca Las Morenas

Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Mapa de ubicación del ingenio ubicado en la finca Buganvilia**



Fuente: <https://culturapeteneraymas.wordpress.com/2012/02/14/mapas-del-departamento-de-guatemala-2/> Consulta: 16 de enero de 2017.

4.2.2. Tipos de carpetas de rodadura

La carpeta de rodadura de un pavimento adoquinado debe cumplir con los siguientes elementos:

- Los bloques de adoquín prefabricado: estos se construyen en moldes

especiales que se llenan manual o mecánicamente con una mezcla de concreto que ofrece la resistencia requerida para el diseño del pavimento, asimismo se toma en cuenta el tipo de tránsito que circula en el lugar. Hay diversidad de formas geométricas de bloques de adoquín, y cada una ha sido diseñada con el fin de ir formando la carpeta de rodadura, un bloque seguido de otra forma que case uno con otro, y presenta una figura estética atractiva.

- Bordillo es un elemento longitudinal elaborado de concreto, este puede ser fundido o prefabricado, y se usa para dar alineamiento a las calles y banquetas. Funciona como badén de las aguas superficiales y da consolidación y confinamiento a las estructuras de rodadura. El bordillo sobresale de la pista cerca del 0,10 m y la parte superior es de manera redondeada y así evitar el daño a los vehículos y a los individuos que circulan por las calles.
- Las llaves de confinamiento delimitan áreas adoquinadas y ayudan a prevenir el deslizamiento y el deterioro de los adoquines. Estas se fabrican también de concreto y, según la pendiente del terreno, se colocan a cada 6,00 m aproximado.
- El relleno de juntas entre adoquines se hace con material que impida el mínimo movimiento de bloques entre sí. El relleno se realiza con arena fina de río, fuera de materia orgánica, en los bloques que están separados de 6 a 10 mm. Asimismo, en el sello de las juntas es recomendable emplear una mezcla de arena fina con arcilla de proporciones entre 5:1 a 10:1 en volumen con el objetivo de brindar un sello flexible, menos erosionable que la arena e impermeable al agua.

La capa de rodadura podría tener dos clases de tratamiento: Principalmente: 1) sello de grietas por contracción, y 2) reparación de áreas de falla por inestabilidad local. Por lo tanto, los hombros deberán ser tratados de la misma manera que se trata la carpeta asfáltica de la superficie de rodadura para impedir de esta forma que, por las filtraciones de agua, la estructura primordial del pavimento sea afectada.

Las características principales de los dos tipos de tratamiento mencionados en el párrafo anterior son las siguientes:

El sello de grietas: por contracción es esencial para grietas de abertura superior a 3 mm salidas en la superficie del pavimento, con el sellado en frío o en caliente, con material asfáltico. Las grietas se originan a raíz de la contracción de las capas inferiores del pavimento y se reflejan en la superficie de rodadura de las carreteras.

Este proceso no se ejecuta en áreas donde las grietas crean bloques interconectados de carácter poliédrico, similar al agrietamiento piel de cocodrilo, esta formación sucede en gran parte por la fatiga del pavimento, debido a las repeticiones de carga por exceso de peso en los ejes. No se aplica a fisuras con aberturas menores de 3 mm, se hará a lo largo de la línea de la grieta que se sellará, con el objetivo de lograr una adecuada impermeabilización de la estructura en el sitio que se trabajará.

La reparación de fallas de inestabilidad local se aplicará en las zonas inestables bajo la estructura del pavimento de una carretera, independiente de la inestabilidad que se haya producido por problemas de la capa de rodadura, ya sea por saturación del suelo circundante, por bolsón de suelo indeseable o por cualquier contaminación de naturaleza. Las áreas con problemas de esta

clase deben prepararse con el fin de devolver el aporte estructural original de la carretera y, asimismo, brindar la comodidad y seguridad que se esperan.

Debido a que las distintas labores que se deben realizar para dar solución al problema expuesto tendrán variaciones que estarán en directa función del área superficial por trabajar, y de la profundidad en que se ha visto afectada la estructura. También es necesario separar las distintas labores involucradas en la solución, enfrentándolas desde una perspectiva contextual que acceda a suministrar a los involucrados una herramienta que trate con equilibrio el esfuerzo hecho en la realización de tales tareas.

4.3. Tipos de transporte de caña de azúcar

El transporte de caña de azúcar es de suma importancia, el fin es recolectar la materia prima que está en el campo con alta eficiencia, garantizando el correcto, oportuno y suficiente suministro de caña hacia el ingenio, en el menor tiempo entre la cosecha y la molienda. En el siguiente apartado se muestra el transporte de corte manual y el de corte mecanizado. Asimismo, se muestran las alternativas de transporte de caña de azúcar.

4.3.1. Transporte de corte manual

El corte y alza puede llevarse a cabo manualmente y también por medio de carretas tiradas por animales, camiones o tractores con remolques. En algunas zonas la cosecha aun se realiza de forma manual, utilizando distintos tipos de instrumentos, esencialmente el machete o la mocha.

Las fases esenciales de la cosecha manual son: el corte del tallo, la separación del cogollo, así como la limpieza y el trozado del tallo, la formación

del bulto en la superficie del suelo y la carga de este en el transporte. De esta manera el corte manual es una labor tradicional que se efectúa en Guatemala. En la actualidad los cortadores de caña, reciben su remuneración por el sistema a destajo de acuerdo con el tonelaje de caña cortada. Los mecanismos de transporte utilizados de manera eficiente, componen un proceso importante para la optimización y la rentabilidad en la producción de azúcar.

Figura 37. **Transporte de cosecha, realizada manualmente**



Fuente: <http://www.canabrava.com.pe/> Consulta: 18 de enero de 2017.

4.3.2. Transporte de corte mecanizado

El corte de caña de azúcar mecanizado es utilizado por los ingenios como apoyo cuando hay ausencia de cortadores para el corte manual; el porcentaje de corte mecanizado por ingenio varía de 5 % a un 33 %. Este tipo de cosecha se realiza tanto en caña verde como en caña quemada. El corte mecanizado en verde es una práctica aceptada por los ecologistas, ya que no es necesario quemar la plantación, al contrario del corte mecanizado en quemado que, como su nombre lo dice, hay que quemar la caña para luego recogerla.

En el proceso de corte mecanizado se cuenta con modernas máquinas que operan con equipos autovolcables de 8 a 12 toneladas, para el trasbordo de materia prima a unidades de transporte de capacidad alta de carga, traccionados por tractores y/o camiones, según el recorrido al punto de producción. En distintas ocasiones, la cosechadora es cargada de forma directa sobre el equipo de transporte, impidiendo el costo del autovuelco.

La expansión del sistema de corte mecanizado está fuertemente asociada a la reducción de costos de cosecha y el efecto en la rentabilidad del cultivo. Además, es importante resaltar que las nuevas cosechadoras son aptas para dejar una mínima cantidad de caña regada y se revelan mejoras en la eficiencia y costo del transporte, esto porque la caña en trozos ocupa menos espacio que la caña larga, aumentando la capacidad de carga de los equipos de transporte.

Figura 38. **Transporte de cosecha, realizada utilizando equipo mecánico**



Fuente: <http://www.canabrava.com.pe/> Consulta: 18 de enero de 2017.

4.3.3. Alternativas transporte de caña de azúcar

Actualmente en el mercado existen distintas alternativas de equipos para el transporte de caña cortada ya sea picada o entera, entre los más innovadores y comunes están los siguientes:

Los transportes con capacidad de arrastre combinado de hasta 120 toneladas, que tiene una configuración de camión rígido que les permite no solo funcionar como vehículos de arrastre, y para cargar sobre el bastidor con cabida técnica de carga de 26 toneladas. Son vehículos construidos para operar en los terrenos dificultosos que se presentan en los ingenios.

Otro tipo de transporte son los tractores de 230 a 275 Hp remolcando trenes de vagones con carga neta de caña cortada entera de 8 a 12 toneladas o de 34 a 45 m³ de capacidad repartidas en 4 o 5 vagones.

Actualmente, el factor más importante que se considera al momento de elegir el transporte, es el tiempo de traslado desde el campo hacia el ingenio, lo que se le nombra frescura de la caña. La frescura de la caña consiste en el tiempo transcurrido desde que la caña se quema, antes del corte manual o mecanizado, hasta la entrada a los ingenios para ser procesada, el cual es calculado en horas.

Para el ingenio, el fin principal, es reducir el tiempo para reducir la pérdida del contenido de sacarosa, por tanto, desde la quema o corte de la caña comienza el procedimiento de degradación que reduce el contenido de sacarosa, debido a la acción de la enzima invertasa que convierte parte de la sacarosa en glucosa y fructosa. Asimismo, la velocidad de pérdida de sacarosa

para cosechas manual y mecanizada, con quema previa o sin quema, varía de 0,018 a 0,7 % de peso de caña por día.

Es de importancia resaltar que el corte, alce y transporte (CAT) puede representar el 50 % del costo total del cultivo antes de llegar al ingenio, por lo mismo, es necesario seleccionar un transporte eficiente y que reduzca pérdidas, ya que en el transporte se sufren grandes pérdidas por caída de caña del alce al despunte.

Es importante mencionar que en los ingenios azucareros el noventa por ciento de la caña se moviliza con camiones con remolques a los que les llaman jaulas. Generalmente, cada camión cuenta con dos jaulas que en su totalidad completan de 40 a 50 metros de largo. Por lo regular en cada viaje este equipo de dos jaulas mueve un aproximado de 50 toneladas. Existen dos tipos de transporte el de corte manual y corte mecanizado.

Casi siempre el transporte de caña de azúcar, desde los frentes de cosecha hasta el ingenio y viceversa, es gestionado y operado desde una torre de control de tráfico terrestre. Esta toma tiempos de ciclo teóricos, según la distancia a una velocidad constante, centrada en la fórmula de velocidad constante, para así validar estos ciclos, así como las condiciones de operación y tiempos de entrada y salida de las unidades de transporte de los frentes de cosecha que se monitorean constantemente vía radio de frecuencia larga.

La gestión logística de cosecha es un proceso esencial que contribuye en la generación de valor económico, para los cultivadores y para los productores de azúcar y alcohol.

Figura 39. **Transporte de caña de azúcar con vagones**



Fuente: <http://sistemacosechacom.blogspot.com/2007/04/transporte-de-caa-en-colombia.html/>
Consulta: 18 de enero de 2017.

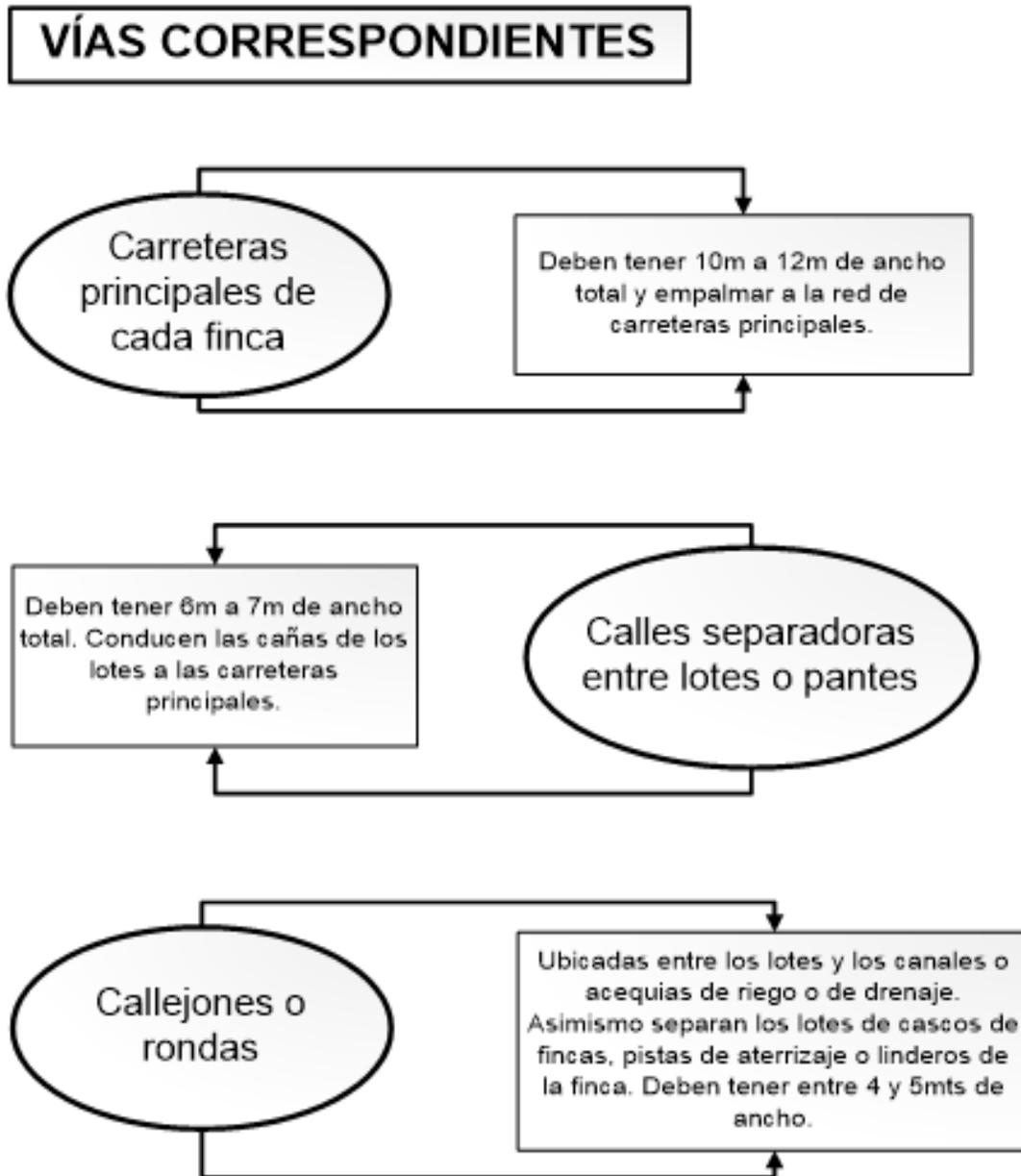
4.3.4. Carreteras aptas para transporte azucarero

La participación del Ministerio de Obras Públicas y Transportes y de la Municipalidad debe ser muy activa en el mantenimiento de caminos vecinales, ya que de esto depende que la actividad se desarrolle en forma constante y pueda satisfacer la demanda del mercado.

Parte esencial de la cadena de valor del azúcar es el sector transporte, este sector constituye una fuente de empleos y es crucial para el progreso económico del país. La infraestructura vial que utiliza este sector facilita un comercio más eficiente y contribuye al desarrollo social, a través de una mayor movilidad desde las zonas rurales hacia las zonas urbanas del país.

La industria azucarera consciente de las necesidades de recuperación de la red vial nacional ha trabajado desde hace varios años de manera conjunta con el Ministerio de Obras Públicas para mejorar la infraestructura vial de El Salvador en la construcción, reconstrucción y habilitación de 15 puentes y la reparación de más de 500 km de calles de tierra o pavimentadas.

Figura 40. Vías carreteables de acceso



Fuente: elaboración propia.

4.3.5. Problemáticas en el transporte de la caña de azúcar

Los daños que pueden sufrir las carreteras van a depender del tipo de material que esté construida ya que el comportamiento de las deformaciones, fisuras y grietas dependen de las características que el material. A continuación se describen los daños que pueden tener los pavimentos asfálticos, concreto hidráulico simple y reforzado y caminos rurales de balasto, tierra y arena.

Daños en pavimentos asfálticos: son las condiciones que se presentan en un pavimento cuando este pierde las características de servicios para las que fue diseñado. Los daños a las carreteras consistentes en deformaciones por fisuras, grietas, fallas, son ocasionados generalmente por el tipo de material que se use en la construcción y del sistema constructivo depende también en la gran medida la conservación de la vida útil.

Fisuras y grietas: es una serie de fallas interconectadas entre sí, que se encuentran en una fase inicial de desarrollo, estas forman ángulos agudos y ocurren con más frecuencia en las zonas que reciben la mayor parte de las sollicitaciones. A continuación se mencionan los tipos de fisuras y grietas más comunes:

- **Fisuras de piel de cocodrilo:** serie de grietas interconectadas, formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos, generalmente con diámetros promedios de 30 centímetros, con longitudes variables que pueden cubrir la totalidad de la sección de rodadura, también llamado tela de gallinero.
- **Fisuras en arco:** son grietas en forma de media luna (o más precisamente de cuarto creciente) que pueden apuntar en ambas direcciones,

derivadas de las fuerzas de tracción de las ruedas sobre el pavimento o de frenado sobre la misma.

- Fisura transversal: serie de fisuras o grietas que se forman en sentido transversal a la rodadura de la carretera, generalmente aisladas y que pueden afectar todo el ancho de la sección.
- Fisura longitudinal: serie de fisuras o grietas que se forman en sentido paralelo a la rodadura de la carretera, pudiendo ir aisladas o en grupos, cuyas longitudes son variables.
- Fisura por reflexión de junta: fisuras o grietas que se observan en la superficie de sobre capas que tienden a reproducir las fallas y juntas que se producen en la capa de abajo.
- Ahuellamiento: deformación longitudinal continúa a lo largo de la rodadura, pudiendo aparecer cordones laterales a cada lado.

Deformaciones superficiales; son distorsiones en la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañadas por levantamientos del material. A continuación se detallan sus casos más comunes:

- Corrugación: serie de ondulaciones, constituidas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos regulares.

- Hinchamiento: abultamiento o levantamiento localizado en la superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera.
- Hundimiento: depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada, sin tener definido un tamaño específico.

Desintegraciones: son fallas parciales o totales que ocurren por la acumulación de agua en la superficie del pavimento de la carretera y se pueden presentar de las siguientes maneras:

- Bache: desintegración total de la superficie de rodadura, que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando una cavidad de bordes y profundidades irregulares.
- Desintegración de bordes: progresiva destrucción de los bordes del pavimento, principalmente en carreteras que no cuentan con hombros o que no son pavimentados.
- Presencia de agregados: agregados parcialmente expuestos, fuera del elemento ligante con los materiales finos que forman la estructura del pavimento.
- Desprendimiento de capa de rodadura: desprendimiento de las últimas capas de agregados finos de las lechadas y/o tratamientos superficiales.
- Exudación de asfalto: afloramiento del ligante de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento formando una película continua de bitumen.

Figura 41. **Daños en carreteras**



Fuente: <http://elmanana.com.mx/noticia/68071/Daos-en-la-Carretera-Nacional-generan-perdidas.html/> Consulta: 18 de enero de 2017.

4.4. Seguridad vial

La seguridad vial detecta una serie de iniciativas enfocadas a lograr una reducción sustancial de la probabilidad de que se generen accidentes, con un adecuado gestionamiento de seguridad vial, como la señalización y semaforización, principalmente en calles muy cogestionadas de vehículos y peatones.

Para ampliar este tema, en los siguientes apartados se muestran las normas dirigidas a infraestructura y entorno vial que, a su vez, presenta los aspectos por considerar en el diseño de una carretera, y lo que se debe tomar en cuenta para el diseño de pavimentos. De igual forma se muestra el mantenimiento de las carreteras y seguridad vial, finalizando con la situación de la seguridad vial actual en Guatemala.

4.4.1. Normas dirigidas a infraestructura y entorno vial

En el procesamiento de la caña de azúcar, anteriormente se desarrollaron los ingenios que se tomaron como ejemplo para este trabajo. Se desarrolló el área territorial del cultivo de caña de azúcar de cada ingenio, asimismo se mencionaron los tipos de transporte de caña de azúcar que, a su vez, conlleva el importante tema de la seguridad vial, que abarca las normas dirigidas a infraestructura y entorno vial. En los siguientes párrafos se desarrollan los factores necesarios en el diseño de una carretera y en el de pavimentos. Asimismo, se muestran las clases de mantenimiento que se usan en las carreteras y el mantenimiento adecuado para la seguridad vial.

4.4.1.1. Aspectos por considerar en el diseño de una carretera

Para el diseño de carreteras se deben considerar los estudios de tráfico, topografía, hidrología y drenaje, localización, geotecnia y bancos de materiales, diseño del pavimento y finalmente señalización y seguridad vial. Los temas mencionados se desarrollan a continuación:

- Tráfico: estar contextualizados con el tráfico al que va a estar sometida una carretera es de suma importancia. Para proyectarlo, es necesario

tener conocimiento del número total de vehículos que circularán, el tipo, el tiempo de distribución y el factor de crecimiento por año; esto para determinar la sección transversal más adecuada; y asimismo las pendientes longitudinales máxima admisible, la longitud, así como la calidad que debe poseer la estructura del pavimento; y otras situaciones.

Para determinar el tráfico, se efectúan estudios especializados de destino y origen, conteos electrónicos y manuales de los vehículos que se conocen del tráfico al año, por día y por hora.

- El tráfico total por año, es el número total de vehículos, de cada clase, que transitan en un lugar específico de las vías durante un año. Dicha medida determina las dimensiones de la sección transversal de la vía, y esta es importante para valorar la importancia económica de esta.
- La medida de tráfico por día, es el total del año dividido por los 365 días que tiene un año. Este dato es conocido más como promedio anual de intensidad diaria de tránsito. Esta medida se utiliza para valorar la importancia económica de la vía y evidenciar las inversiones que se realizarán.
- La medida de tráfico por hora, se analiza en un período corto del día (una hora) sirve para calcular la sección transversal de la vía. Hacer el cálculo de la vía para el tráfico, horario máximo del año tendrá como resultado, que la vía esté subutilizada en las horas restantes del año. Por esto mismo, como norma se adopta la hora 30 del año la cual es el tráfico que se excede 30 horas al año. Este tráfico horario suele ser del 12 al 18 % del tráfico por hora.

Es de elevada importancia saber que cuando se proyecta una carretera no debe realizarse solo con el tráfico actual, sino que también se debe tomar en cuenta su aumento en un periodo de 10 a 20 años.

- Topografía: es la mejor opción para la línea central del diseño de una carretera, con datos adquiridos. En el levantamiento topográfico se establece el diseño geométrico de la ubicación de la nueva línea central de la carretera o en los casos de rehabilitación de la misma, también se rectifica el alineamiento horizontal y vertical que existe actualmente. Se verifica si cumple con los factores técnicos como los: pendientes máximos y mínimos, longitudes de desarrollo mínimos, ancho de los hombros esto es según el tipo de sección típica y las velocidades de diseño.

Una vez teniendo estos factores determinados se procede a la realización de los planos del proyecto. Asimismo, se menciona que en conjunto con la realización de los planos, se deberá verificar el ancho de la sección establecida para la carretera, ya que este no debe ser restringido por el derecho de vía, y así el problema será identificado y puntualizado con anterioridad.

Hidrología y drenaje: los factores hidrológicos de la región y zona del proyecto de construcción de carreteras se deben considerar para la realización del diseño de obras de drenaje, tanto mayor como menor, de igual forma con la ubicación de cada una de estas.

- Los drenajes mayores, es decir, puentes, bóvedas, entre otros, se diseñan según el volumen de tránsito que deba sobrellevar, además de los esfuerzos a los que será sometida la estructura.
- Localización: en esta etapa se deben realizar investigaciones del clima, topografía del terreno, suelos, geología y cobertura de la tierra. Cada parámetro se identifica con el propósito de caracterizar lo establecido en el caudal por solventar en función del período de diseño del proyecto.
- Geotecnia y bancos de materiales: estos estudios determinan las características estructurales del suelo así como las del pavimento existente, en caso las hubiera. Además, se establecen los bancos de materiales para sub base, base, concretos asfálticos e hidráulicos, según sea la ubicación de carretera, indicando cuál se apega de mejor forma a la especificación de construcción del proyecto. Los resultados y ensayos obtenidos de la evaluación del suelo y bancos de materiales se utilizarán para el diseño de la carretera.
- Diseño del pavimento: en esta etapa es importante determinar las cargas de diseño y los volúmenes de tránsito a los que estará sometida la estructura de la carretera. Con este fin se realizarán conteos de tránsito, además de proyecciones de la la cantidad de años de vida útil del proyecto.
- Señalización y seguridad vial: como última etapa de estudios se debe definir la metodología por usar en la etapa de señalización y seguridad vial por optar en el proyecto, definiendo la localización de distintas clases de señales de tránsito que deben colocarse a lo largo del proyecto, además de la ubicación de las pasarelas como medio de seguridad.

4.4.1.2. Aspectos por considerar en el diseño de pavimentos

En el diseño de estructuras de pavimento es importante conocer el número de vehículos que pasan por un punto dado. Para lo cual se realizan las mediciones de volúmenes de tránsito, las cuales varían desde las más amplias en un sistema de caminos, incluso en el recuento de lugares específicos tales como los túneles, puentes e intersecciones de carreteras. Asimismo, es importante lo siguiente:

- Establecer la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
- Establecer el número de vehículos que transitan en cierta zona o que circulan en ella.
- Obtener datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- Programar sistemas para control de tránsito.
- Diseñar sistemas de mantenimiento.
- Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- Proyectar el tránsito futuro.

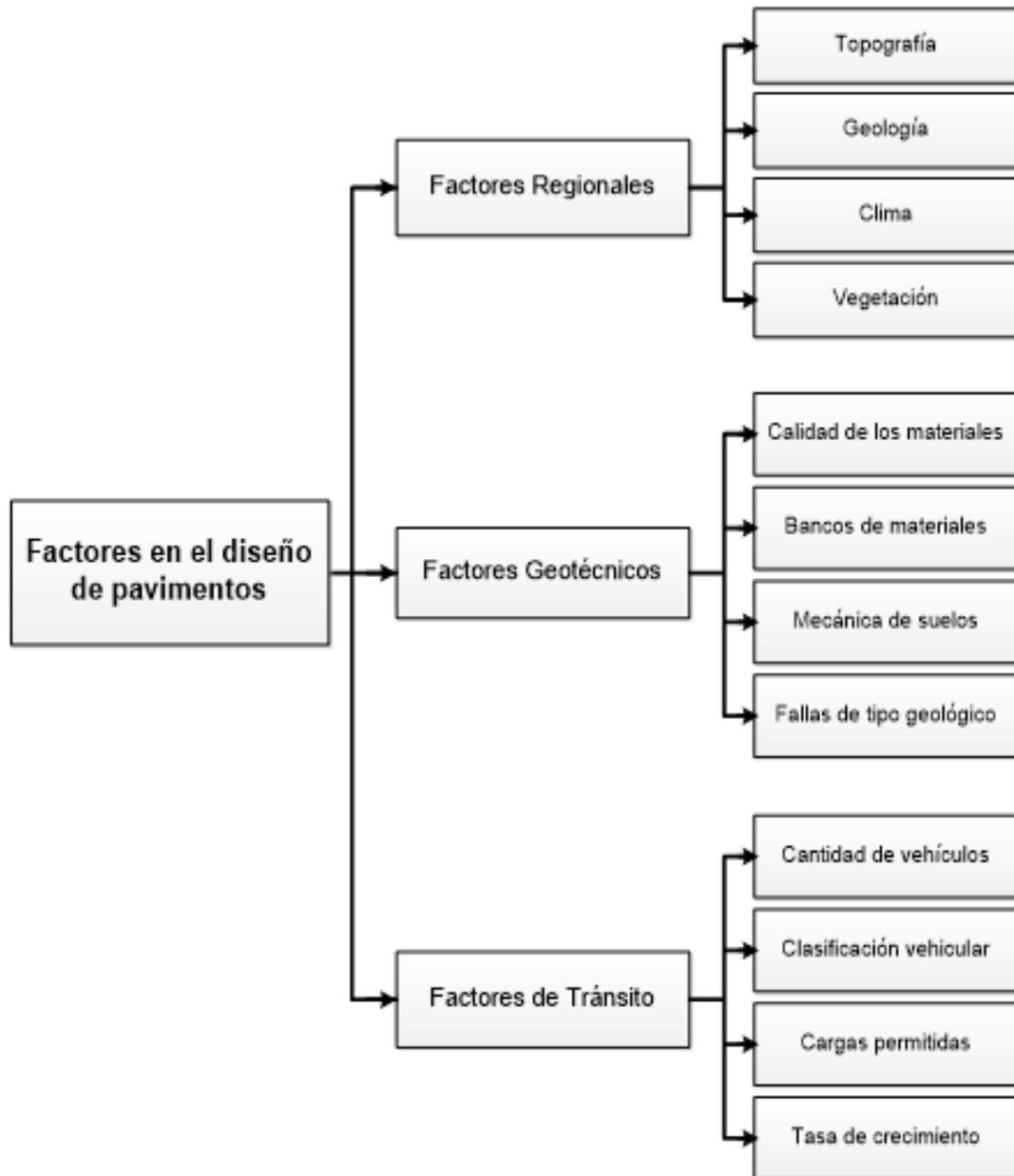
Factores que influyen en el diseño de pavimentos.

- Factores: regionales, observar el lugar (adaptación)
 - Topografía
 - Geología
 - Clima
 - Vegetación

- Estudio geotécnico
 - Calidad de los materiales
 - Bancos de materiales
 - Mecánica de suelos
 - Fallas de tipo geológico

- Tránsito
 - Cantidad de vehículos
 - Clasificación vehicular
 - Cargas permitidas
 - Tasa de crecimiento

Figura 42. Aspectos diseño de pavimento



Fuente: elaboración propia.

4.4.1.3. Mantenimiento de las carreteras y seguridad vial

El realizar un adecuado mantenimiento a las carreteras, es de suma importancia ya que de esta forma se asegura el tiempo de vida útil de cada individuo. Los tipos de mantenimiento que se realizan en una carretera son los siguientes:

- Mantenimiento rutinario, las actividades que se realizan en este tipo de mantenimiento son las siguientes:
 - Limpieza de cunetas
 - Limpieza de alcantarillas
 - Limpieza de derrumbes menores
 - Desbroce de las cunetas y áreas laterales
 - Reparación de la señalización vertical
 - Limpieza de los desfuegos de los puentes
 - Limpieza de los elementos derramados sobre la vía (calzada)
 - Repintado de la señalización horizontal
 - Rellenado de baches en la vía

- Mantenimiento preventivo, se realiza antes de la época con mayor presencia de precipitaciones pluviales, las actividades que se realizan en este tipo de mantenimiento son las siguientes:
 - Limpieza de cunetas
 - Limpieza de alcantarillas
 - Limpieza de las pilas de los puentes
 - Dragado de los ríos

- Limpieza de las torrenteras
- Mantenimiento periódico, se realiza cada 1 a 5 años, de esta forma se asegura la vida útil de la carretera; las actividades que se realizan en este mantenimiento son las siguientes:
 - Reconfiguración de la plataforma
 - Sellado asfáltico
 - Capa de refuerzo asfáltico
 - Reposición de ripio
 - Perfilado y nivelado
- Mantenimiento de emergencia, es el que se efectúa durante la época de precipitaciones pluviales, ya que en este periodo se presentan casos de emergencia. Las actividades que se realizan son las siguientes:
 - Limpieza de derrumbes
 - Reposición de la plataforma
 - Construcción de variantes
 - Estabilización de taludes

Figura 43. **Mantenimiento de carreteras**



Fuente: <http://www.cuevadelcivil.com/2009/11/mantenimiento-de-carreteras.html/> Consulta: m18 de enero de 2017.

Cada señal vial tiene vida útil en función de los materiales usados en su fabricación, de la acción de agentes externos y del medio ambiente. Las actividades dirigidas a preservar las señales en buen estado garantizan la visibilidad y legibilidad y, a su vez, inspiran respeto en los peatones y conductores. Las señales viales son afectadas y deterioradas de las capas de material reflectante por la radiación solar, lluvia, polvo, la contaminación y el vandalismo; eventualmente se reparan, se reconstruyen o se sustituyen.

El mantenimiento e inspección rutinaria conlleva a la realización de actividades requeridas para conservar las señales que están ubicadas a lo largo de la vía en perfecto estado, estas se programan una o más veces en el año. El

mantenimiento que se realiza frecuentemente consiste en reparaciones menores, reemplazo de señales y estructuras de soporte, atornillado de pernos y tuercas flojas, cambio de señales, enderezado de piezas torcidas, limpieza y control de la vegetación.

Figura 44. **Mantenimiento para seguridad vial**



Fuente: <http://www.cuevadelcivil.com/2009/11/mantenimiento-de-carreteras.html/> Consulta: 18 de enero de 2017.

Entre los aspectos indispensables por revisar son las marcas viales horizontales, aceras, bordillos, balizas, vallas y elementos de contención y puntuales, como la señalización viales, pistas de frenado, obras de fábrica, entre otros. Asimismo, los ejes que representan las carreteras tienen una longitud en metros reales, las medidas no siempre tienen que coincidir con los puntos kilométricos (Pks) que se tienen como referencia de posicionamiento en la carretera.

Es de suma importancia que las vías principales en construcción, rutas alternas, los desvíos y toda aquella que se utilice para el tránsito vehicular y peatonal esté en condiciones aceptables de seguridad y transitabilidad, en el período de ejecución de obra, en cuenta los días feriados, días en que no se ejecutan trabajos y en probables períodos de paralización. Es importante que la vía no pavimentada esté sin baches, ni depresiones y con niveles de rugosidad que admita la velocidad uniforme de operación de los vehículos.

4.4.2. Situación de la seguridad vial en Guatemala

La seguridad vial es el cumplimiento de las acciones y mecanismos por parte de las personas que circulan en la vía pública, y en el momento de interactuar con los demás, prevenir accidentes de tránsito desde una perspectiva multidisciplinaria. Es un tema de importancia que cobra vigencia en todo el mundo con el pasar del tiempo, equivalente también con el crecimiento demográfico y la importancia de acortar distancias usando medios de transporte mecanizados para reducir esfuerzo y tiempo.

Por lo mencionado anteriormente, se muestra que la seguridad vial no incluye solo a los vehículos, conductores, accidentes, entre otros. Este es un campo amplio de estudio, ya que el mismo debe abordarse desde un enfoque multidisciplinario para abarcar la totalidad de la temática.

El Consejo de Prevención de Accidentes y Educación Vial, previene los cientos de accidentes que suceden a diario. Pasados cinco años, esta ONG cree poder reducir el número de víctimas a través de concursos para todos. A través de cifras de la Organización Mundial de la Salud, los accidentes viales por año terminan con 1,2 millones de personas mundialmente, mientras millones sufren heridas y distintas quedan discapacitadas. Guatemala no está

ausente en esta estadística, por esto mismo se crea una preocupación por la seguridad vial.

Luchando contra corriente en una ciudad con educación vial ausente, se crea conciencia de la importancia de las acciones conjuntas para revertir el resultado negativo de los accidentes de tránsito, y se forma conciencia del respeto por las normas viales. De igual forma, se insta a un cambio de hábitos para mitigar los impactos negativos de la carencia de educación vial.

La red vial en Guatemala cuenta con tres tipos de carreteras que son:

- De primer y segundo orden que son las asfaltadas.
- De tercer orden que son las de terracería, las cuales solo son transitables en tiempo seco.

Rutas de primer orden, entre las cuales destacan: la carretera Panamericana, que une Guatemala con México y El Salvador. La carretera Interoceánica que une Puerto Barrios y puerto Quetzal, y la Costanera que corre paralela a la costa del Pacífico.

Algunas de estas rutas también son autopistas de cuatro y seis carriles, como la que va de la ciudad del país hacia La Antigua Guatemala, y la que une la capital con puerto Quetzal pasando por Escuintla.

Rutas de segundo orden, las cuales no suelen ser tan anchas ni estar tan bien cuidadas como las del primer orden, complementando las redes principales y dando acceso a las áreas productivas de la costa sur, parte del Altiplano y el nordeste del país.

El tráfico

Debido a que el tránsito vehicular se ha incrementado demasiado en los últimos años, la municipalidad de Guatemala ha decretado varias acciones para reducir o al menos controlar el alto congestionamiento ocasionado por los cientos de miles de vehículos que circulan a diario por la capital. Entre las acciones que la Municipalidad ha creado están:

- La Policía Municipal de Tránsito, responsable de la seguridad del peatón y de la circulación de los vehículos.
- El ensanchamiento de las calles.
- Regulación del estacionamiento de los automóviles.
- Construcción de nuevas vías y pasos a nivel.
- Mejora de la red vial con la ampliación de los cruces.
- Creación de un sistema de señalización claro y visible.
- Uso del espacio vial no utilizado.
- Diseño de glorietas con prioridad para el transporte circular.
- Diseño y ejecución de las conexiones directas y los virajes libres.

La seguridad ciudadana

Cuya responsabilidad la tiene el Ministerio de Gobernación, quien tiene a su cargo a la Policía Nacional Civil (PNC), que cuenta con comisarías en los diferentes departamentos de la República. En los últimos años la incorporación de la mujer en dicha policía ha recibido atención especial.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. Resistencia de mezclas asfálticas Marshall AASHTO T 245 y ASTM D 1559

Para la realización de la prueba de estabilidad y flujo Marshall, se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

5.1.1. Objeto

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de especímenes cilíndricos de mezclas asfálticas para pavimentación, empleando el aparato Marshall. Para este procedimiento se empleará en laboratorio para el control de calidad de la mezcla asfáltica. Determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.

El método también provee información sobre propiedad de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

5.1.2. Preparación de la muestra

Las muestras se preparan de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan y mezclan hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- La mezcla asfáltica caliente se coloca en moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo será de 75, ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 75 golpes recibe, realmente, un total de 150 golpes. Después de completar la compactación, las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

5.1.3. Instrumentos

- Dispositivo para moldear probetas: consiste en un molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. El molde deberá tener un diámetro interior de 101,6 mm (4") y una altura interna aproximada de 76,2 mm (3"); la placa de base y el collar de extensión deberán ser intercambiables, es decir ajustables en cualquiera de los dos extremos del molde.
- Extractor de probetas: elemento de acero en forma de disco con diámetro de 100 mm (3,95") y 12,7 (1/2") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde, con la ayuda del collar de extensión. Se

requiere de un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta, de manera que esta pase suavemente del molde al collar.

- Martillo de compactación: consiste en un dispositivo de acero formado por una base plana circular de 98,4 mm (3 7/8") de diámetro y un pisón deslizante de $4\,536 \pm 9$ g ($10 \pm 0,02$ lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de $457,2 \pm 1,524$ mm ($18 \pm 0,06$ "), como se describe en las figuras 3 y 4.
- Pedestal de compactación: consistente en una pieza prismática de madera de base cuadrada de 203,2 mm de lado y 457,2 mm de altura (8" x 8" x 18") y provista en su cara superior de una platina cuadrada de acero de 304,8 mm de lado x 25,4 mm de espesor (12" x 12" x 1"), firmemente sujeta en la misma. La madera será roble u otra clase cuya densidad seca sea de 0,67 a 0,77 g/cm³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se fijará firmemente a una base de concreto, debiendo quedar la platina de acero en posición horizontal.
- Sujetador para el molde: consiste en un dispositivo con resorte de tensión diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. Deberá asegurar el molde completo en su posición el proceso de compactación.
- Mordazas y medidor de deformaciones: las mordazas consisten en dos segmentos cilíndricos, con un radio interior de 50,8 mm (2") maquinado con exactitud. La mordaza inferior va montada sobre una base plana, provista de dos varillas perpendiculares a ella y que sirven de guía a la mordaza superior. El movimiento de la mordaza superior se debe efectuar sin un rozamiento apreciable.

El medidor de deformación consiste en un deformímetro de lectura final fija, con divisiones en 0,25 mm (0,01"). En el momento del ensayo, el medidor deberá estar firmemente apoyado sobre la mordaza superior y su vástago se apoyará en una palanca ajustable acoplada a la mordaza inferior.

- Prensa: para la rotura de las probetas se empleará una prensa mecánica o hidráulica capaz de producir una velocidad uniforme de desplazamiento vertical de 50,8 mm por minuto (2"/min.). Su capacidad de carga mínima deberá ser de 40 kN.
- Medidor de estabilidad: la resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 22,2 kN de capacidad, con una sensibilidad de 44,5 N hasta 4,45 kN y 111,2 N hasta 22,2 kN. Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0,0025 mm (0,0001").
- Tanque para agua: de 152,4 mm (6") de profundidad mínima y manteniendo la temperatura a 60 ± 1 °C ($140 \pm 2,0$ °F). El tanque deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para sostener las probetas por lo menos a 50,8 mm (2") sobre el fondo del tanque.
- Termómetros blindados: de 9,9 a 204 °C (50 a 400 °F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 2,8 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70 °C y sensibilidad de 0,2° C (68 a 158 °F $\pm 0,4$ °F).

- Balanzas: una de 5 kg de capacidad, sensible a 1 g para pesar agregado y asfalto; otra de 2 kg de capacidad, sensible a 0,1 g para las probetas compactadas.

5.1.4. Procedimiento

Para este caso, se determinará la resistencia y la deformación de la probeta compactada, dando así un resultado para la estabilidad y la fluencia Marshall.

5.2. Estabilidad y flujo Marshall

Para la realización de la estabilidad y flujo Marshall, se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe.

5.2.1. Objeto

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación bajo carga que ocurre en la mezcla.

5.2.2. Procedimiento

- Las probetas son calentadas en el baño de agua a 60 °C. Esta temperatura representa, normalmente, la más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

- La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consta de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

5.2.3. Forma de calcular

Para conocer la estabilidad Marshall, solamente se toma el dato que marca el dial al momento de la falla. De igual forma, para el flujo Marshall se toma el dato de deformación que marca el dial al momento de la falla.

5.2.4. Para el informe

El informe debe contener la siguiente información:

- Tipo de muestra ensayada en el laboratorio <.
- Valor promedio de la máxima carga en Newtons (lb) de por lo menos tres probetas, corregido según la tabla Humboldt. Mfg. Co.
- Valor promedio del flujo, en 0,25 mm (0,01") de por lo menos tres probetas.
- Temperatura de ensayo.

Figura 45. **Equipo de prueba flujo - estabilidad Marshall**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones, Laboratorio Asfaltos, USAC.

5.3. Densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188

Para la realización de la prueba de densidad específica Bulk, se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

5.3.1. Objeto

Determinar la densidad específica Bulk, y densidad de especímenes de mezclas asfálticas compactadas. El método de ensayo proporciona una guía para la determinación de la masa del espécimen seco. La densidad específica se calcula a partir de estas masas. La densidad se obtiene multiplicando densidad específica Bulk por la densidad del agua.

5.3.2. Preparación

Se extrae del molde la probeta compactada por el compactador Marshall, se prepara para ser pesada, se toman las dimensiones como el diámetro y la altura.

5.3.3. Instrumentos

- Balanza
- Pileta de inmersión
- Vernier

5.3.4. Procedimiento

- Formada la muestra por el método Marshall, se pone a secar, se extrae de la probeta y se determina la masa seca de la muestra o testigo.
- Se pesa la masa sumergida.
- Se pesa la masa seca saturada, sumergiéndola en agua de 3 – 5 minutos.
- Se toman las alturas y diámetros.

5.3.5. Forma de calcular

La densidad específica Bulk de briquetas de una mezcla compactada, puede determinarse usando:

Donde:

Gmb = densidad específica Bulk de briquetas

A = masa seca del espécimen

B = masa seca saturada del espécimen

C = masa del espécimen sumergido

5.3.6. Para el informe

- Tipo de muestra ensayada en el laboratorio 62
- Valor promedio de la densidad específica Bulk
- Valor promedio de las alturas y diámetro para cada testigo

Figura 46. **Prueba densidad específica Bulk, peso sumergido**



Fuente: elaboración propia. Laboratorio de Asfaltos. Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

5.4. Densidad específica teórica máxima Rice ASTM D 2041 y AASHTO T 209

Para la realización de la prueba se presenta a continuación la manera correcta de realizar el ensayo y cómo presentar el informe al momento de obtener los resultados.

5.4.1. Objeto

El objeto es la determinación de la densidad específica teórica máxima.

5.4.2. Preparación de la muestra

Se deshace una muestra de asfalto compactado y se pesan 1 000 kg de mezcla suelta a temperatura ambiente.

5.4.3. Instrumentos

- Picnómetro de vacíos, de metal o plástico con un diámetro de 180 a 260 mm y una altura no menor de 160 mm. Este debe estar equipado con una tapa transparente, asegurada con un empaque de caucho y con una conexión para la aplicación del vacío.
- Balanza con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente, para que las densidades específicas de las muestras se puedan calcular al menos con cuatro cifras significativas.
- Bomba de vacío, capaz de evacuar el aire del recipiente de vacío hasta una presión residual de 25 psi.

- Manómetro de presión residual, para confirmar que se está aplicando la presión al recipiente, debe ser capaz de medir una presión residual de 25 psi o menos.
- Válvula de purga, para facilitar el ajuste del vacío que está siendo aplicado al recipiente y la liberación lenta de la presión de vacío.
- Dispositivo de agitación mecánica, capaz de aplicar una agitación suave pero consistente a la muestra.

5.4.4. Procedimiento

- Una vez que la muestra está seca y se encuentre tibia, desintegrar con las manos logrando separar sus partículas, teniendo cuidado de no fracturarlas. Las partículas de la porción del agregado fino no deben de ser mayores de 6 mm.
- Verter la muestra directamente en el picnómetro previamente tarado. Se pesa el recipiente con la muestra y se designa la masa neta (únicamente la masa de la muestra).
- Agregar agua a temperatura ambiente, suficiente para cubrir la muestra por completo. Se recomienda que el espejo de agua esté a una altura de por lo menos 1" por encima de la mezcla.
- Colocar el picnómetro con la muestra y agua sobre el dispositivo de agitación mecánica y asegurarlo a la superficie de este. Activar la bomba de vacío, poner en marcha la agitación e inmediatamente, por medio de la válvula de presión residual, se busca que la presión de vacío se encuentre dentro de un rango de 25 a 30 psi.

La presión de vacío se deberá alcanzar en un tiempo no mayor a 1 minuto y una vez alcanzado, se continuará el vacío y la agitación durante 15 minutos.

- Una vez transcurridos los 15 minutos, liberar gradualmente la presión de vacío usando la válvula de purga
- Llenar lentamente el picnómetro con agua, teniendo el cuidado de no introducir aire dentro de la muestra. Secar cualquier humedad presente en el exterior del matraz y de la placa de vidrio. Se determina la masa del picnómetro más la placa, más la muestra, más agua.
- Calcular la densidad específica teórica máxima por medio de la siguiente expresión:

Donde:

Gmm = densidad específica teórica máxima

A= masa de la muestra seca (g)

D= masa del picnómetro lleno de agua (g)

E= masa del picnómetro con la muestra y agua (g)

Figura 47. **Equipo de densidad teórica máxima**



Fuente: elaboración propia.

5.5. Porcentaje de vacíos – densidad ASTM D 3203, AASHTO 7 269 2

Para la realización de esta fase, se presenta a continuación la manera correcta de realizar el procedimiento.

5.5.1. Procedimiento

- Determinar la densidad específica Bulk de la mezcla compactada, por medio del procedimiento descrito anteriormente.
- Determinar la densidad específica teórica máxima de la mezcla suelta, por medio del procedimiento descrito anteriormente.

- Calcular el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla asfáltica, por medio de la siguiente expresión:

Donde:

VA = porcentaje de vacíos

Gmm = densidad específica teórica máxima

Gmb = densidad específica bruta

5.6. Análisis e interpretación de resultados del diseño Marshall

En los siguientes párrafos se muestra el trabajo de laboratorio para el diseño de mezcla, asimismo las características de la mezcla asfáltica, y la definición de granulometrías para el diseño de mezclas.

5.6.1. Trabajo de laboratorio para el diseño de mezcla

La dosificación de la mezcla de agregado pétreo se realizó con material con el siguiente tamaño de 1/2", 3/8" y de #4 a 0.

Se obtuvo una granulometría controlada por material retenida por tamaño de tamices. El bitumen tiene las especificaciones de un AC-30.

Los agregados cumplen las especificaciones de la Dirección General de Caminos.

5.6.2. Características de la mezcla asfáltica

Las características de diseño se basaron en las especificaciones para la granulometría de tipo E para el diseño Marshall.

Tabla XXIII. **Graduación de agregados para pavimento de concreto asfáltico (ASTM D3515)**

Tamaño del Tamiz (mm)	Porcentaje en Masa que Pasa el Tamiz designado (AASHTO T 27 Y T 11)					
	Graduación Designada y Tamaño Máximo Nominal					
	A (50,8 mm)	B (38,1 mm)	C (25,4 mm)	D (19 mm)	E (12,5 mm)	F (9,5 mm)
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"
63,00	100					
50,00	90-100	100				
38,10	-	90-100	100			
25,00	60-80	-	90-100	100		
19,00	-	56-80	-	90-100	100	
12,50	35-65	-	56-80	-	90-100	100
9,50	-	-	-	56-80	-	90-100
4,75	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2,36	10-37	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0,30	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0,075	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10
El tamaño máximo nominal es el tamaño del tamiz mayor siguiente al tamaño del primer tamiz que retenga más del 10 % del agregado combinado. El tamaño máximo es el del tamiz mayor al correspondiente al tamaño máximo nominal.						

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

5.6.3. Definición de granulometrías para diseño de mezclas

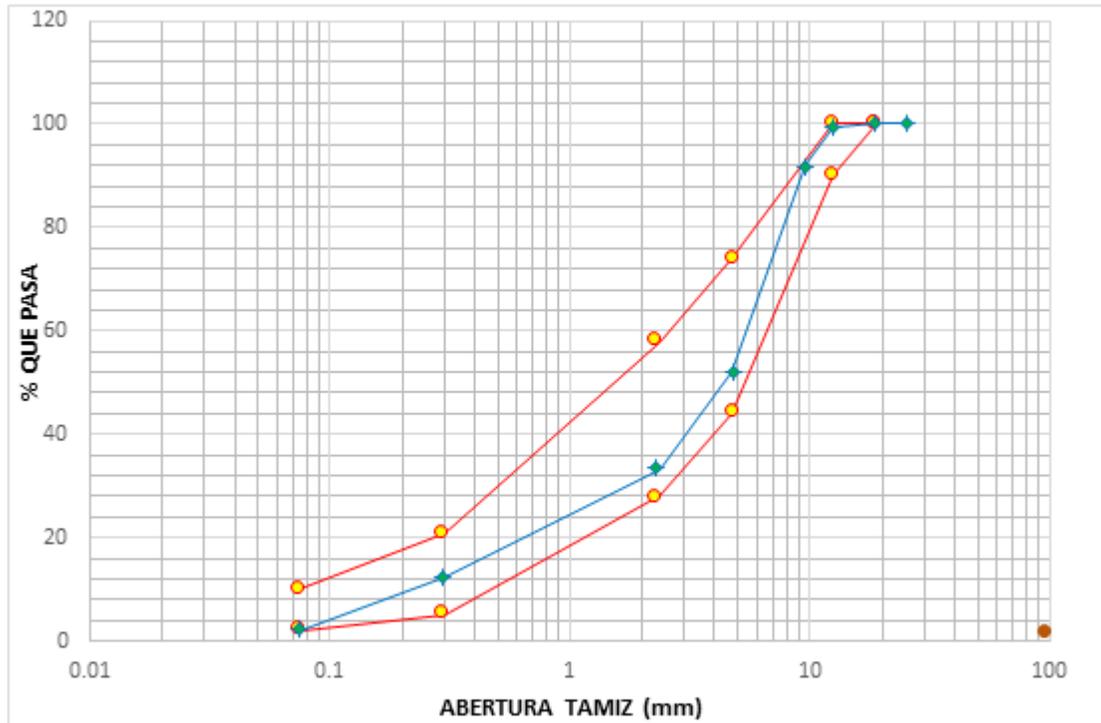
Los diseños granulométricos se tomaron en base a las especificaciones de la Dirección General de Caminos. Los diseños utilizados se muestran a continuación en la siguiente tabla.

Tabla XXIV. **Diseño granulométrico por el método Marshall**

Tamiz	Abertura (mm)	% Pasa 1/2"	% Pasa 3/8"	% Pasa #4	Gráfica de Diseño
		0,09	0,34	0,57	1,00
1"	25	100,000	100,000	100,000	100,00
3/4"	19	100,000	100,000	100,000	100,00
1/2"	12,5	93,094	100,000	100,000	99,38
3/8"	9,5	38,645	94,913	98,611	91,96
#4	4,75	2,760	22,782	77,239	52,02
#8	2,36	1,228	0,787	57,714	33,28
#50	0,3	0,730	0,585	21,455	12,49
#200	0,075	0,196	0,528	3,186	2,01

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXV. **Gráfica granulométrica de diseño Marshall**



	Parámetros de Diseño Marshall
	Gráfica de Diseño Marshall

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.7. Resultados obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188

A continuación, se presentan los datos y cálculos respectivos del ensayo descrito anteriormente.

Cálculo de densidad específica bruta

Datos:

Probeta 1, 4 % de bitumen, diseño Marshall

A: 1239,27 g

B: 1263,19 g

C: 728,32 g

Datos:

Probeta 1, 4,5 % de bitumen, diseño Marshall

A: 1248,98 g

B: 1265,17 g

C: 736,10 g

Datos:

Probeta 1, 5 % de bitumen, diseño Marshall

A: 1 235,44 g

B: 1 251,28 g

C: 725,04 g

Tabla XXVI. **Datos de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall**

#1, 4 %	gramos	#2, 4 %	gramos	#3, 4 %	gramos
Peso seco	1 239,27	Peso seco	1 234,24	Peso seco	1 234,27
Peso seco saturado	1 263,19	Peso seco saturado	1 260,58	Peso seco saturado	1 259,75
Peso sumergido	728,32	Peso sumergido	722,69	Peso sumergido	721,70
#1, 4,5%	gramos	#2, 4,5 %	gramos	#3, 4,5 %	gramos
Peso seco	1 248,98	Peso seco	1 238,63	Peso seco	1 245,98
Peso seco saturado	1 265,17	Peso seco saturado	1 251,03	Peso seco saturado	1 256,50
Peso sumergido	736,10	Peso sumergido	726,62	Peso sumergido	725,35

Continuación de la tabla XXVI.

#1, 5 %	gramos	#2, 5 %	gramos	#3, 5 %	gramos
Peso seco	1 235,44	Peso seco	1 243,85	Peso seco	1 237,80
Peso seco saturado	1 251,28	Peso seco saturado	1 256,32	Peso seco saturado	1 248,65
Peso sumergido	725,04	Peso sumergido	727,29	Peso sumergido	725,96
#1, 5,5 %	gramos	#2, 5,5 %	gramos	#3, 5,5 %	gramos
Peso seco	1 242,12	Peso seco	1 247,68	Peso seco	1 261,51
Peso seco saturado	1 247,93	Peso seco saturado	1 251,60	Peso seco saturado	1266,87
Peso sumergido	726,73	Peso sumergido	728,90	Peso sumergido	737,71
#1, 6 %	gramos	#2, 6 %	gramos	#3, 6 %	gramos
Peso seco	1 274,20	Peso seco	1 261,66	Peso seco	1 254,36
Peso seco saturado	1 275,21	Peso seco saturado	1 262,47	Peso seco saturado	1 255,34
Peso sumergido	747,38	Peso sumergido	748,61	Peso sumergido	735,99

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Figura 48. Pastillas diseño Marshall, porcentaje de bitumen variable



Fuente: elaboración propia según datos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XXVII. **Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall**

4.0% de bitumen								
1	Gmb	2,317	2	Gmb	2,295	3	Gmb	2,294
4,5% de bitumen								
1	Gmb	2,361	2	Gmb	2,362	3	Gmb	2,346
5.0% de bitumen								
1	Gmb	2,348	2	Gmb	2,351	3	Gmb	2,368
5.5% de bitumen								
1	Gmb	2,383	2	Gmb	2,387	3	Gmb	2,384
6.0% de bitumen								
1	Gmb	2,414	2	Gmb	2,455	3	Gmb	2,415

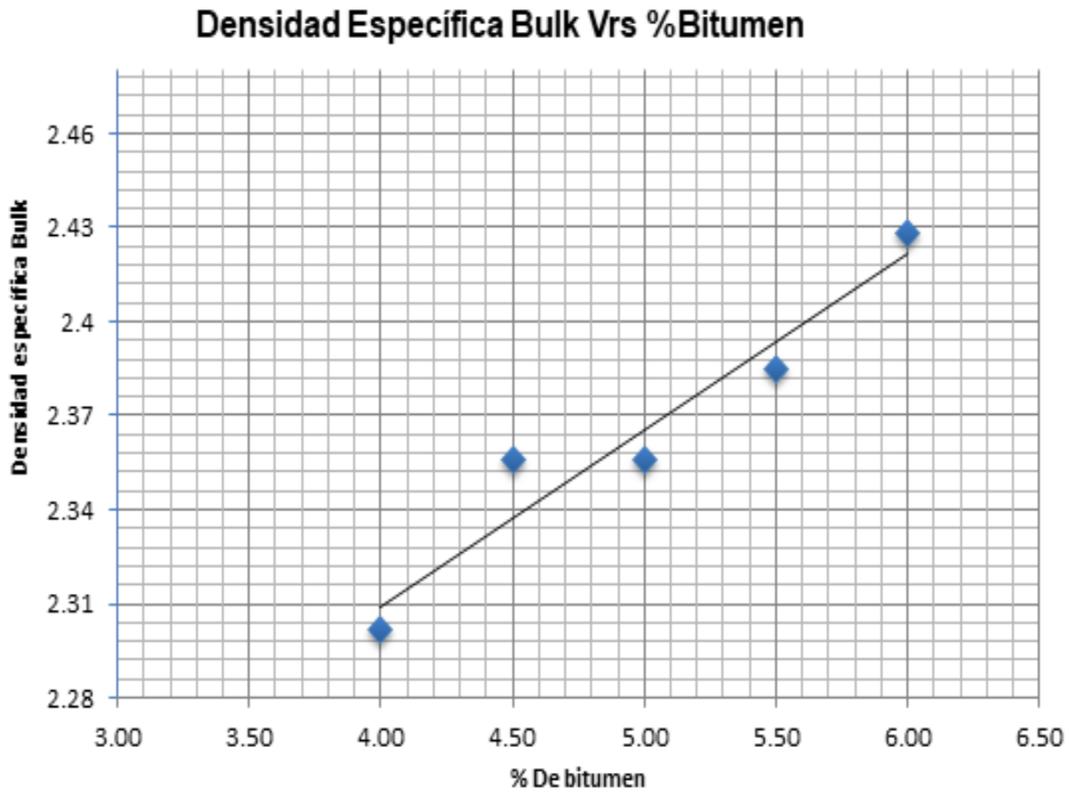
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXVIII. **Resumen densidad Bulk frente a porcentaje de bitumen**

%Bitumen	Promedio Densidad Bulk
4,00	2 301,8
4,50	2 356,2
5,00	2 355,7
5,50	2 384,7
6,00	2 428,2

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXIX. **Gráfica de densidad específica Bulk en mezcla con granulometría Marshall**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Figura 49. Pruebas de laboratorio obtención de datos densidad específica Bulk



Fuente: elaboración propia según datos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

5.8. Resultados obtenidos densidad específica teórica máxima

A continuación, se presentan los datos y cálculos respectivos del ensayo descrito anteriormente. Cálculo de densidad específica teórica máxima:

Datos:

4 % de bitumen, diseño Marshall:

A: 1 239,27 g

D: 7 380,50 g

E: 8 147,50 g

Datos:

4 % de bitumen, diseño Marshall:

A: 1 248,98 g

D: 7 383,00 g

E: 8 154,20 g

Datos:

5 % de bitumen, diseño Marshall:

A: 1 235,44 g

D: 7 379,10 g

E: 8 144,10 g

Datos:

5.5% de bitumen, diseño Marshall:

A: 1243,20 g

D: 7 382,10 g

E: 8 133,90

Datos:

6.0% de bitumen, diseño Marshall:

A: 1 276,40 g

D: 7 383,50 g

E: 8 147,80 g

Tabla XXX. **Datos de densidad específica teórica máxima con granulometría Marshall**

Rice, 4 % bitumen	Pesos en gramos
Picnómetro + agua	7 380,50
Tara + material	1 477,20
Tara	238,50
Picnómetro + agua + material	8 140,50
Rice	2,590
Rice, 4,5 % bitumen	Pesos en gramos
Picnómetro + agua	7 383,00
Tara + material	1 490,30
Tara	239,50
Picnómetro + agua + material	8 145,20
Rice	2,566
Rice, 5 % bitumen	Pesos en gramos
Picnómetro + agua	7 379,10
Tara + material	1 490,30
Tara	250,80
Picnómetro + agua + material	8 130,10
Rice	2,550
Rice, 5,5 % bitumen	Pesos en gramos
Picnómetro + agua	7 382,10
Tara + material	1 484,70
Tara	2 41,50
Picnómetro + agua + material	8 133,90
Rice	2,533
Rice, 6% bitumen	Pesos en gramos
Picnómetro + agua	7 383,50
Tara + material	1 533,40
Tara	2 57,00
Picnómetro + agua + material	8 147,80
Rice	2,499

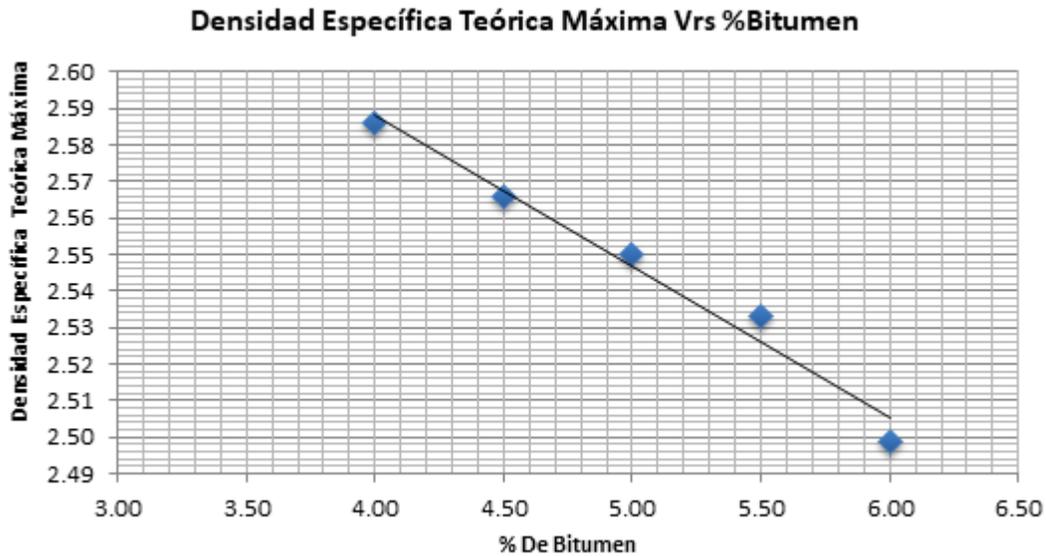
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXXI. **Resumen densidad teórica máxima frente a porcentaje de bitumen**

Porcentaje de bitumen	Densidad específica teórica máxima
4	2,59
4,5	2,566
5	2,550
5,5	2,533
6	2,499

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXXII. **Gráfica de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Figura 50. **Prueba densidad específica teórica máxima**



Fuente: elaboración propia, según datos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

5.9. Resultados obtenidos porcentaje de vacíos – densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269

Con los datos obtenidos de la densidad específica Bulk y la densidad específica teórica máxima se calcula el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica.

A continuación, se presentan los datos y cálculos respectivos de los ensayos realizados:

Datos:

4 % de bitumen

Gmb = 2 317

Gmm= 2 586

Datos:

4,5 % de bitumen

Gmb = 2 361

Gmm= 2 566

Datos:

5 % de bitumen

Gmb = 2 348

Gmm= 2 550

Datos:

5.5 % de bitumen

Gmb = 2 383

Gmm= 2 533

Datos:

6.0 % de bitumen

Gmb = 2 414

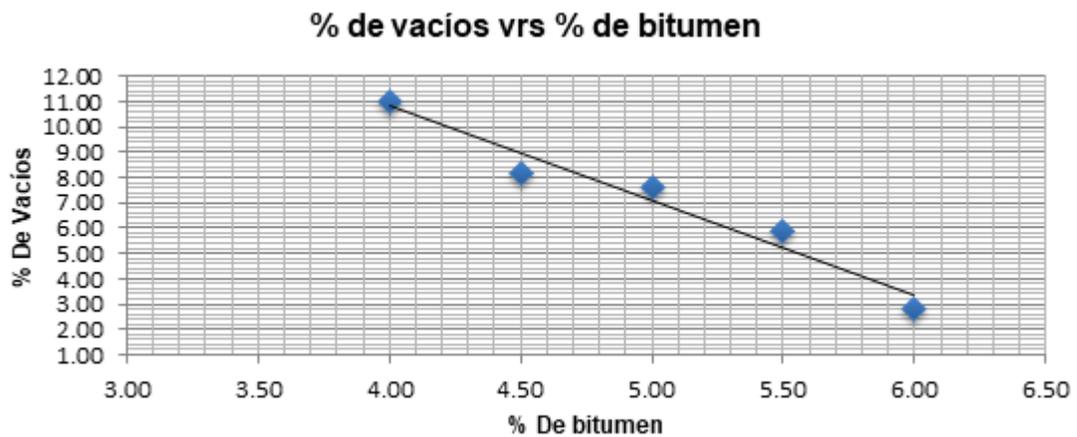
Gmm= 2 499

Tabla XXXIII. **Resumen densidad teórica máxima frente al porcentaje de bitumen**

No.	Densidad específica teórica máxima	% vacíos	% bitumen
1	2,59	10,98	4,00
2	2,566	8,17	4,50
3	2,550	7,63	5,00
4	2,533	5,86	5,50
5	2,499	2,83	6,00

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXXIV. **Gráfica de porcentaje de vacíos – densidad de mezcla Marshall**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.10. Resultados obtenidos prueba de estabilidad – flujo Marshall

A continuación se muestra la tabla de resultados obtenidos en el ensayo de estabilidad y flujo Marshall:

Tabla XXXV. **Datos de estabilidad y flujo Marshall**

4.0% de bitumen					
Pastilla #1		Pastilla #2		Pastilla #3	
Estabilidad	236	Estabilidad	215	Estabilidad	224
Lbf	2 238,68	Lbf	2 040,57	Lbf	2 125,47
Corrección	2 149,13	Corrección	1 897,73	Corrección	1 976,69
Flujo	12	Flujo	8	Flujo	9
4.5% de bitumen					
Pastilla #1		Pastilla #2		Pastilla #3	
Estabilidad	249	Estabilidad	235	Estabilidad	254
Lbf	2 361,32	Lbf	2 229,24	Lbf	2 408,49
Corrección	2 266,87	Corrección	2 140,07	Corrección	2 312,15
Flujo	10	Flujo	9	Flujo	9
5.0% de bitumen					
Pastilla #1		Pastilla #2		Pastilla #3	
Estabilidad	244	Estabilidad	233	Estabilidad	234
Lbf	2 314,15	Lbf	2 210,38	Lbf	2 219,81
Corrección	2 221,58	Corrección	2 121,96	Corrección	2 219,81
Flujo	11	Flujo	10	Flujo	13
5.5% de bitumen					
Pastilla #1		Pastilla #2		Pastilla #3	
Estabilidad	244	Estabilidad	238	Estabilidad	265
Lbf	2 314,15	Lbf	2 257,55	Lbf	2 512,26
Corrección	2 314,15	Corrección	2 167,25	Corrección	2 411,77
Flujo	10	Flujo	12	Flujo	13
6.0% de bitumen					
Pastilla #1		Pastilla #2		Pastilla #3	
Estabilidad	278	Estabilidad	251	Estabilidad	180
Lbf	2 634,91	Lbf	2 380,19	Lbf	1 709,43
Corrección	2 529,51	Corrección	2 380,19	Corrección	1 709,43
Flujo	13	Flujo	10	Flujo	10

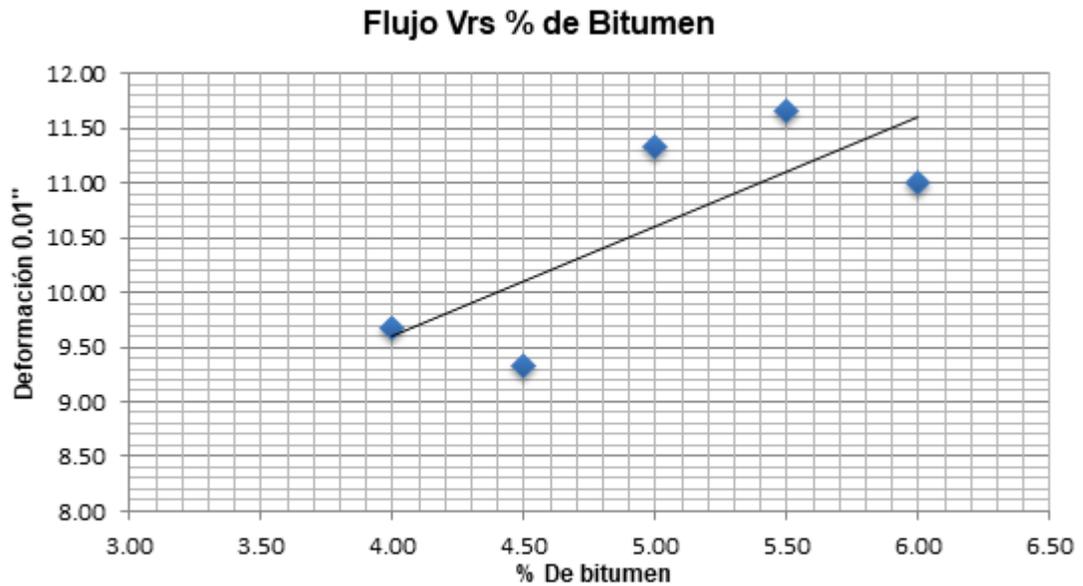
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXXVI. **Resumen de flujo frente a porcentaje de bitumen**

Porcentaje de bitumen	Flujo 0,01" diseño
4,00	9,67
4,50	9,33
5,00	11,33
5,50	11,67
6,00	11,00

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXXVII. **Gráfica de flujo frente a porcentaje de bitumen**



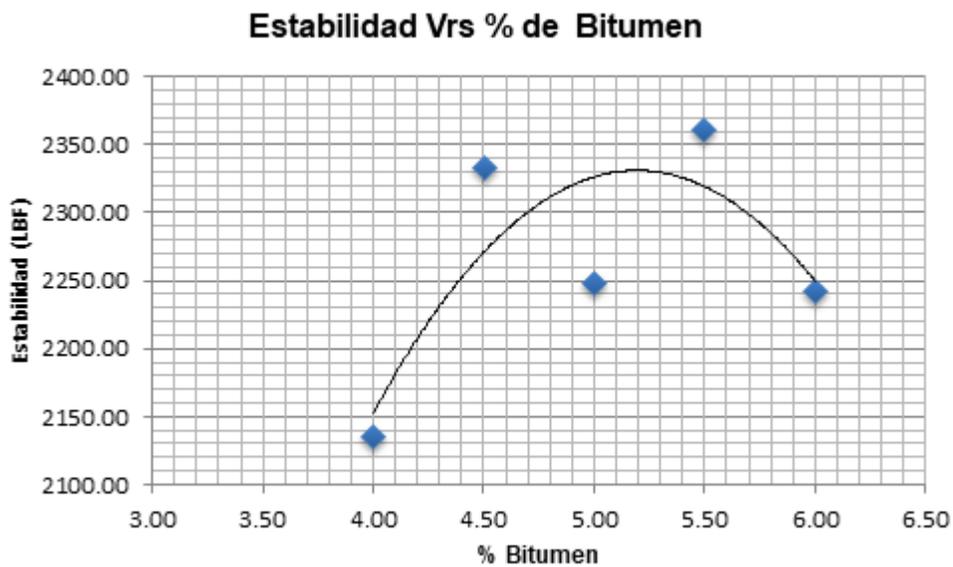
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla XXXVIII. **Resumen de estabilidad frente a porcentaje de bitumen**

Porcentaje de bitumen	Estabilidad lbf diseño
4,00	2 134,90
4,50	2 333,02
5,00	2 248,11
5,50	2 361,32
6,00	2 241,82

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XXXIX. **Gráfica de estabilidad frente a porcentaje de bitumen**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio

Tabla XL. **Diámetros y alturas de las pastillas de diseño**

4,0% de bitumen					
Pastilla 1		Pastilla 2		Pastilla 3	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,62	73,85	101,35	73,51	101,50	73,18
101,93	74,08	101,57	72,48	101,25	72,04
101,33	74,31	101,41	72,02	101,08	73,22
4,5% de bitumen					
Pastilla 1		Pastilla 2		Pastilla 3	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,12	74,47	101,60	74,39	101,19	73,97
101,97	72,72	101,56	72,23	101,44	73,09
101,39	73,19	101,44	73,95	101,13	73,90
5,0% de bitumen					
Pastilla 1		Pastilla 2		Pastilla 3	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,01	72,02	101,47	72,59	101,92	72,12
101,73	72,05	101,04	73,88	101,47	72,13
101,58	73,24	101,03	73,79	101,82	73,80
5,5 % de bitumen					
Pastilla 1		Pastilla 2		Pastilla 3	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,47	72,53	101,56	74,37	101,00	72,93
101,73	74,25	101,72	72,64	101,27	73,72
101,02	73,36	101,62	72,56	101,16	72,11
6 % de bitumen					
Pastilla 1		Pastilla 2		Pastilla 3	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,84	72,00	102,00	72,41	101,83	72,39
101,16	72,89	101,07	73,58	101,34	72,98
101,13	73,54	101,07	73,40	101,83	73,27

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Figura 51. **Toma de datos en pastillas, diámetros y alturas**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

5.11. Análisis e interpretación de resultados de las pastillas sometidas a los efectos de jugo de caña

En el siguiente apartado se desarrolla el proceso de trabajo de laboratorio para el diseño de mezcla con porcentaje de bitumen óptimo, además, se dan las características de la mezcla asfáltica, el cálculo de densidad específica bruta, la densidad específica teórica máxima y, por último, se muestra el cálculo de densidad específica teórica máxima.

5.11.1. Trabajo de laboratorio para el diseño de mezcla con porcentaje de bitumen óptimo

La dosificación de la mezcla de agregado pétreo se realizó con material, en el tamaño de 1/2", 3/8" y de #4 a 0. Se obtuvo una granulometría controlada por material retenida por tamaño de tamices. El bitumen tiene las especificaciones de un AC-30. Se obtuvo un porcentaje de bitumen óptimo de 5,7 %, se determinó dicho porcentaje con base a resultados de ensayos del diseño Marshall. Los agregados cumplen las especificaciones de la Dirección General de Caminos.

5.11.2. Características de la mezcla asfáltica

Las características de diseño se basaron en las especificaciones para la granulometría de tipo E para el diseño Marshall. Utilizando el mismo diseño granulométrico que en el diseño Marshall.

5.11.3. Diferencia de aspecto y textura superficial en las pastillas de mezcla asfáltica

Al momento de que el jugo de caña entra en contacto con la mezcla asfáltica, se comienza a formar una película delgada de solución, la cual mientras más alto sea el porcentaje de jugo de caña que la solución posea, más densa será la película que se forme y afecte la superficie de la pastilla.

Así mismo, mientras esta permanezca húmeda, la superficie se tornará más lisa, lo cual podría llegar a afectar los resultados al momento del ensayo.

Figura 52. **Comparación película de solución superficial**



Fuente: elaboración propia según datos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla XLI. **Diseño granulométrico por el método Marshall**

No.	Densidad específica Bulk (20 %-80 %)	Densidad específica Bulk (50 %-50 %)
1	2,217	2,193
2	2,317	2,287
3	2,331	2,330
4	2,327	2,318
5	2,295	2,252
6	2,260	2,281
7	2,305	2,286
8	2,349	2,309

Fuente: elaboración propia según datos del Laboratorio de asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Resultados obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188 previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña. A continuación, se presentan los datos y cálculos respectivos del ensayo descrito anteriormente.

5.11.4. Cálculo de densidad específica bruta

En la siguiente tabla se especifican los datos de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña. Estos resultados fueron obtenidos en el laboratorio.

Tabla XLII. **Datos de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña**

1	gramos	5	gramos
Peso seco	1 289,58	Peso seco	1 295,38
Peso seco saturado	1 302,90	Peso seco saturado	1 308,91
Peso sumergido	741,02	Peso sumergido	734,85
2	gramos	6	gramos
Peso seco	1 298,54	Peso seco	1 294,41
Peso seco saturado	1 311,88	Peso seco saturado	1 304,87
Peso sumergido	742,08	Peso sumergido	741,13
3	gramos	7	gramos
Peso seco	1292,03	Peso seco	1293,33
Peso seco saturado	1309,16	Peso seco saturado	1306,47
Peso sumergido	737,13	Peso sumergido	739,09
4	gramos	8	gramos
Peso seco	1 288,95	Peso seco	1297,06
Peso seco saturado	1 301,82	Peso seco saturado	1309,55
Peso sumergido	742,24	Peso sumergido	742,19

Continuación de la tabla XLII.

9	gramos	14	gramos
Peso seco	1 282,07	Peso seco	1 299,96
Peso seco saturado	1 297,84	Peso seco saturado	1 307,72
Peso sumergido	733,79	Peso sumergido	746,63
10	gramos	15	gramos
Peso seco	1 295,38	Peso seco	1 291,90
Peso seco saturado	1 308,91	Peso seco saturado	1 308,92
Peso sumergido	734,85	Peso sumergido	735,88
11	gramos	16	gramos
Peso seco	1 294,41	Peso seco	1 293,40
Peso seco saturado	1 304,87	Peso seco saturado	1 307,84
Peso sumergido	741,13	Peso sumergido	738,09
12	gramos	17	gramos
Peso seco	1293,33	Peso seco	1 290,20
Peso seco saturado	1306,47	Peso seco saturado	1 302,27
Peso sumergido	739,09	Peso sumergido	740,43
13	gramos	18	gramos
Peso seco	1297,06	Peso seco	1 291,50
Peso seco saturado	1309,55	Peso seco saturado	1 303,19
Peso sumergido	742,19	Peso sumergido	742,89

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla XLIII. **Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña**

No. Pastilla	Densidad específica Bulk		No. Pastilla	Densidad específica Bulk	
1	Gmb	2,195	9	Gmb	2,273
2	Gmb	2,294	10	Gmb	2,257
3	Gmb	2,280	11	Gmb	2,296
4	Gmb	2,283	12	Gmb	2,279
5	Gmb	2,295	13	Gmb	2,286
6	Gmb	2,279	14	Gmb	2,317
7	Gmb	2,259	15	Gmb	2,254
8	Gmb	2,303	16	Gmb	2,270

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

5.11.5. Cálculo de densidad específica teórica máxima

A continuación, se presenta una tabla con los datos de densidad específica teórica máxima de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña.

Tabla XLIV. **Datos de densidad específica teórica máxima de mezcla con granulometría Marshall, previo a someter las pastillas a los efectos del jugo de caña**

Densidad específica teórica máxima	Pesos en gramos
Picnómetro + agua	7 380,20
Tara + material	1 538,00
Tara	246,80
Picnómetro + agua + material	8 151,30
Rice	2,504

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

5.12. Porcentaje de vacíos – densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269

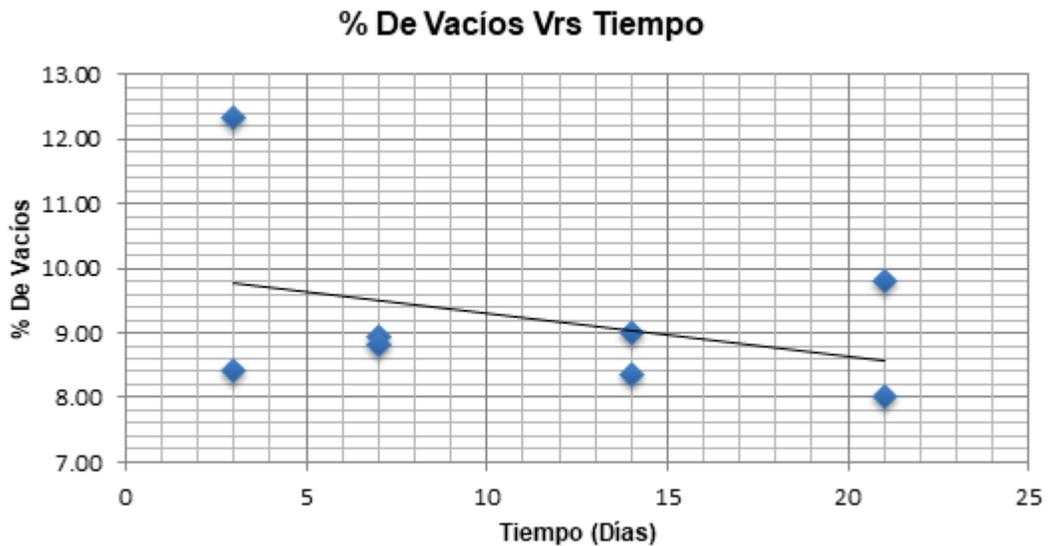
A continuación, se presentan los datos y cálculos respectivos del ensayo descrito anteriormente. Cálculo porcentaje de vacíos:

Tabla XLV. **Datos de porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número 1 al 8, a los efectos del jugo de caña**

No. Pastilla	Porcentaje de vacíos	
1	Va	12,341
2	Va	8,400
3	Va	8,938
4	Va	8,829
5	Va	8,349
6	Va	8,995
7	Va	9,805
8	Va	8,018

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio

Tabla XLVI. **Resultados obtenidos porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número 1 al 8, a los efectos del jugo de caña**



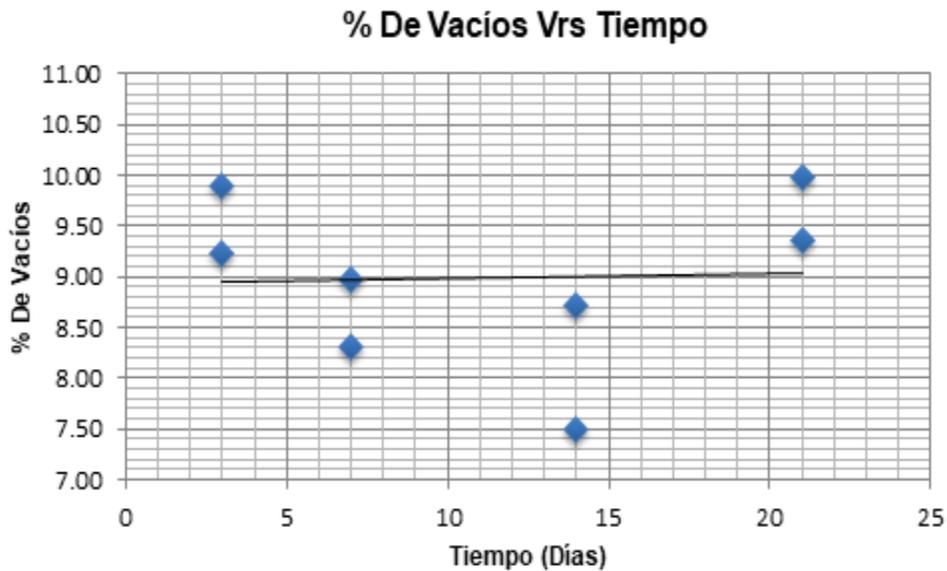
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla XLVII. **Datos de porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número 9 al 16 a los efectos del jugo de caña**

No. Pastilla	Porcentaje de vacíos	
9	Va	9,234
10	Va	9,891
11	Va	8,310
12	Va	8,974
13	Va	8,708
14	Va	7,482
15	Va	9,973
16	Va	9,348

Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla XLVIII. **Resultados obtenidos porcentaje de vacíos, previo a someter las pastillas del número 9 al 16, a los efectos del jugo de caña**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.13. Definición de metodología para ensayos de pastillas sometidas a los efectos de jugo de caña

Se realizó una solución en la cual se sumergieron las pastillas durante la mayor parte del día, simulando la mezcla que se produce entre el agua de lluvia y el jugo que desprende la caña de azúcar, producto del desperdicio que queda sobre la carpeta asfáltica al momento de transportarla del campo de cosecha a las instalaciones del ingenio correspondiente.

Se sumergieron las pastillas en la solución, se expusieron al horno por 01:30 horas dos veces al día a una temperatura de 60 °C, simulando el calor del medio día sobre la carpeta asfáltica.

Se ensayaron dos pastillas con intervalos de tiempo de 3, 7, 14, 21 días, para así determinar cómo afecta el jugo de caña la durabilidad y propiedades de una carpeta asfáltica, exponiéndola a este fenómeno en tiempos variables.

Los altos porcentajes de jugo de caña en las soluciones se determinaron en función al corto tiempo de duración de los ensayos anteriormente descritos, para así equilibrar los efectos a largo plazo.

Figura 53. **Pastillas expuestas a 60 °C**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en el Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

5.13.1. Resultados obtenidos de pastillas sumergidas en la solución 20 %-80 %

Los resultados obtenidos de pastillas sumergidas en la solución 20 %-80 %, se muestran en la siguiente tabla donde se muestra el resumen de características de la solución 1 de jugo de caña.

Tabla XLIX. **Resumen características solución 1 de jugo de caña**

Solución 1		
Solución 20 % de jugo de caña y 80 % de agua de lluvia		
No. Pastillas	Tiempo dentro de la solución (Días)	Tiempo dentro del horno a 75 °C (Horas)
1	3	9,00
2	3	9,00
3	7	21,00
4	7	21,00
5	14	42,00
6	14	42,00
7	21	63,00
8	21	63,00
Densidad de solución 1 = 1,00164 (gr/ml)		

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla L. **Datos obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Pastilla 1, 3 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1302,35
Peso seco saturado	1312,68
Peso sumergido	725,11
Pastilla 2, 3 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 300,70
Peso seco saturado	1 304,99
Peso sumergido	743,68
Pastilla 3, 7 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 299,44
Peso seco saturado	1 297,50
Peso sumergido	739,93
Pastilla 4, 7 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 318,74
Peso seco saturado	1 316,13
Peso sumergido	749,40
Pastilla 5, 14 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 317,01
Peso seco saturado	1 313,76
Peso sumergido	739,79
Pastilla 6, 14 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 328,83
Peso seco saturado	1 326,23
Peso sumergido	738,25

Continuación de la tabla L.

Pastilla 7, 21 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 328,31
Peso seco saturado	1 327,49
Peso sumergido	751,28
Pastilla 8, 21 días, (20 %-80 %)	gramos
Peso seco	1 315,66
Peso seco saturado	1 312,68
Peso sumergido	752,53

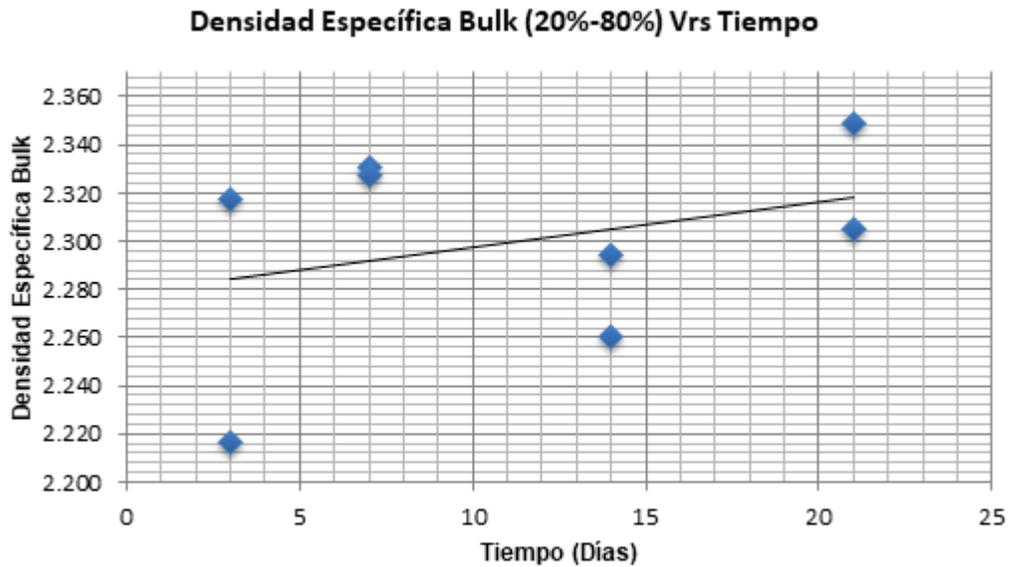
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LI. **Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Solución (20%-80%)		
No. Pastilla	Densidad Específica Bulk	
1	Gmb	2,217
2	Gmb	2,317
3	Gmb	2,331
4	Gmb	2,327
5	Gmb	2,295
6	Gmb	2,260
7	Gmb	2,305
8	Gmb	2,349

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LII. **Densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña en una solución (20 %-80 %)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla LIII. **Datos obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Rice a 3 días, (20 %-80 %)	gramos
Picnómetro + agua	7 379,00
Tara + material	1 536,40
Tara	258,50
Picnómetro + agua + material	8 140,10
Rice a 7 días, (20 %-80 %)	gramos
Picnómetro + agua	7 377,50
Tara + material	1 538,20
Tara	257,00
Picnómetro + agua + material	8 136,00

Continuación de la tabla LIII.

Rice a 14 días, (20 %-80 %)	gramos
Picnómetro + agua	7 378,60
Tara + material	1 542,30
Tara	251,80
Picnómetro + agua + material	8 144,25
Rice a 21 días, (20 %-80 %)	gramos
Picnómetro + agua	7 378,30
Tara + material	1 549,90
Tara	257,00
Picnómetro + agua + material	8 144,90

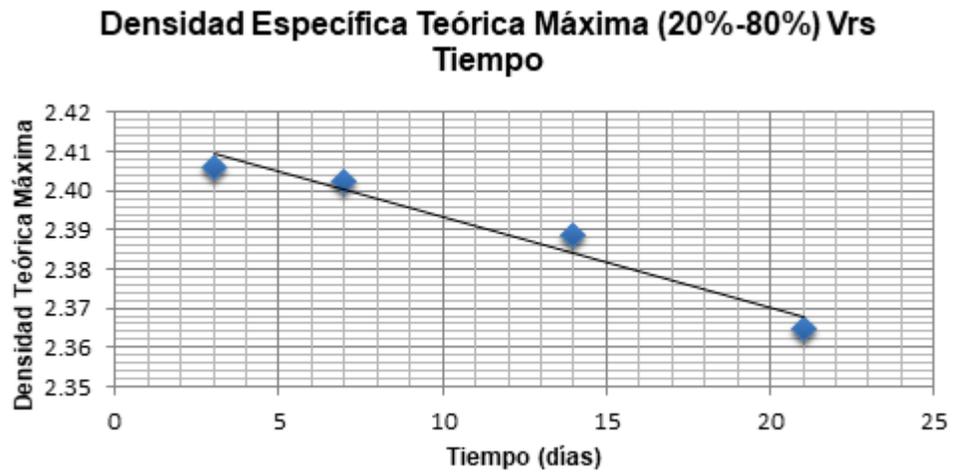
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LIV. **Datos obtenidos de los resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Solución (20 %-80 %)		
Tiempo	Densidad específica teórica máxima	
3 días	Gmm	2,406
7 días	Gmm	2,402
14 días	Gmm	2,389
21 días	Gmm	2,365

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LV. **Grafica de resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña de caña**



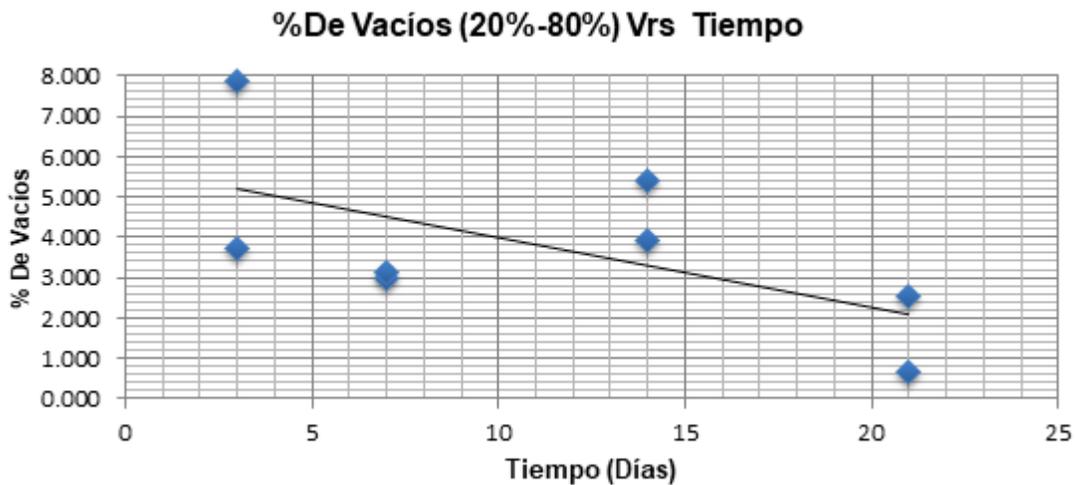
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla LVI. **Datos obtenidos de porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Solución (20 %-80 %)		
No. Pastilla	Porcentaje de vacíos	
1	Va	7,883
2	Va	3,696
3	Va	2,983
4	Va	3,133
5	Va	3,939
6	Va	5,387
7	Va	2,516
8	Va	0,676

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LVII. **Resultados obtenidos porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.14. Prueba de estabilidad – flujo Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña

A continuación, se muestra la tabla de resultados obtenidos en el ensayo de estabilidad y flujo Marshall:

Tabla LVIII. **Datos de estabilidad y flujo Marshall**

Solución (20 %-80 %), 3 días			
Pastilla #1		Pastilla #2	
Estabilidad	214	Estabilidad	246
Lbf	2 031,13	Lbf	2 356,2
Corrección	1 645,22	Corrección	2 026,32
Flujo	18	Flujo	16

Continuación de la tabla LVIII.

Solución (20 %-80 %), 7 días			
Pastilla #3		Pastilla #4	
Estabilidad	302	Estabilidad	291
Lbf	2 865,93	Lbf	2 760,3
Corrección	2 550,68	Corrección	2 373,85
Flujo	15	Flujo	24
Solución (20 %-80 %), 14 días			
Pastilla #5		Pastilla #6	
Estabilidad	279	Estabilidad	251
Lbf	2 647,45	Lbf	2 385,4
Corrección	2 276,81	Corrección	1 932,15
Flujo	21	Flujo	20
Solución (20 %-80 %), 21 días			
Pastilla #7		Pastilla #8	
Estabilidad	125	Estabilidad	285
Lbf	1 192,95	Lbf	2 700,9
Corrección	990,15	Corrección	2 322,81
Flujo	27	Flujo	24

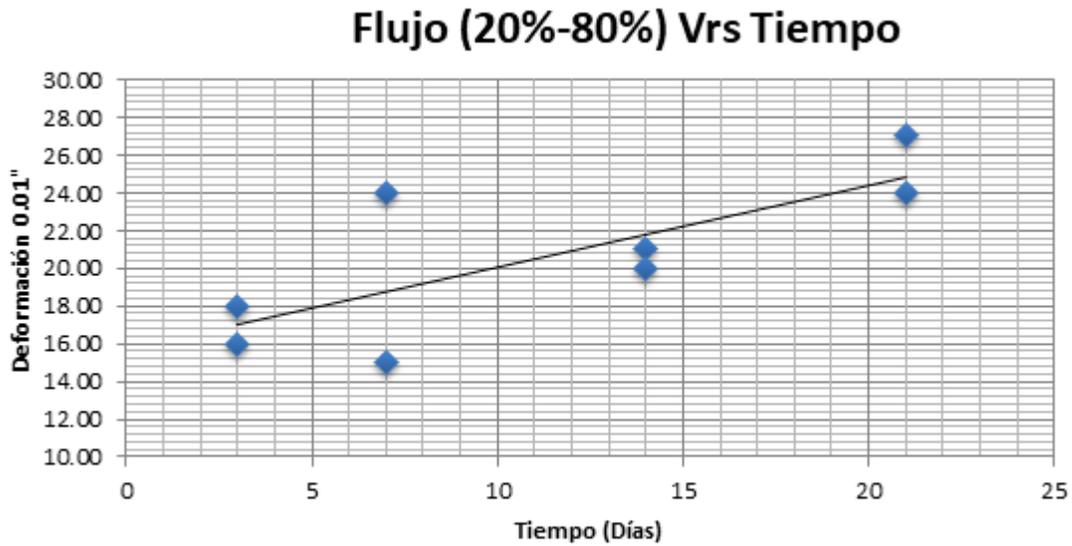
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LIX. **Resumen flujo frente a tiempo de solución (20%-80%)**

No. Pastilla	Tiempo (Días)	Flujo (0,01")
1	3	18
2	3	16
3	7	15
4	7	24
5	14	21
6	14	20
7	21	27
8	21	24

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LX. **Gráfica flujo frente a tiempo**



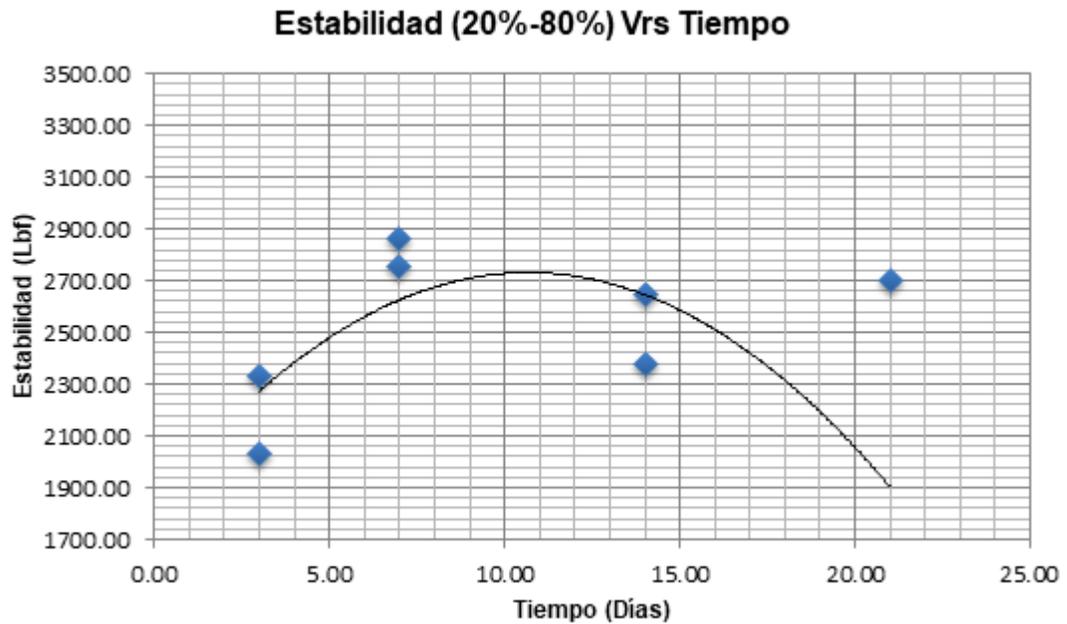
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla LXI. **Resumen estabilidad frente a tiempo (20%-80%)**

No. Pastilla	Tiempo (Días)	Estabilidad (Lbf)
1	3	2 031,13
2	3	2 333,01
3	7	2 861,11
4	7	2 757,55
5	14	2 644,34
6	14	2 380,19
7	21	1 188,46
8	21	2 700,94

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXII. **Gráfica de estabilidad frente a tiempo**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.15. **Resultados obtenidos de pastillas sumergidas en solución 50 %-50 %**

Los resultados obtenidos en el desarrollo experimental de pastillas sumergidas en solución 50 %-50 %, se muestran a través de la siguiente tabla resumiendo las características de la solución 2 de jugo de caña.

Tabla LXIII. **Resumen características solución 2 de jugo de caña**

Solución 2		
Solución 50 % de jugo de caña y 50 % de agua de lluvia		
No. Pastillas	Tiempo dentro de la solución (Días)	Tiempo dentro del horno a 75 °C (Horas)
9	3	4,50
10	3	4,50
11	7	10,50
12	7	10,50
13	14	21,00
14	14	21,00
15	21	31,50
16	21	31,50
Densidad = 1,058 46 (gr/ml)		

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Figura 54. **Jugo de caña, medición para ambas soluciones**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en el Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla LXIV. **Datos obtenidos de densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Pastilla 9, 3 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 305,80
Peso seco saturado	1 309,91
Peso sumergido	714,42
Pastilla 10, 3 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 314,30
Peso seco saturado	1 317,53
Peso sumergido	742,96
Pastilla 11, 7 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 320,96
Peso seco saturado	1 318,44
Peso sumergido	751,39
Pastilla 12, 7 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 321,04
Peso seco saturado	1 318,69
Peso sumergido	748,85
Pastilla 11, 14 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 324,59
Peso seco saturado	1 321,65
Peso sumergido	733,49
Pastilla 14, 14 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 324,54
Peso seco saturado	1 322,67
Peso sumergido	742,04

Continuación de la tabla LXIV.

Pastilla 15, 21 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 328,83
Peso seco saturado	1 326,08
Peso sumergido	744,89
Pastilla 16, 21 días, (50%-50%)	gramos
Peso seco	1 320,71
Peso seco saturado	1 318,50
Peso sumergido	746,59

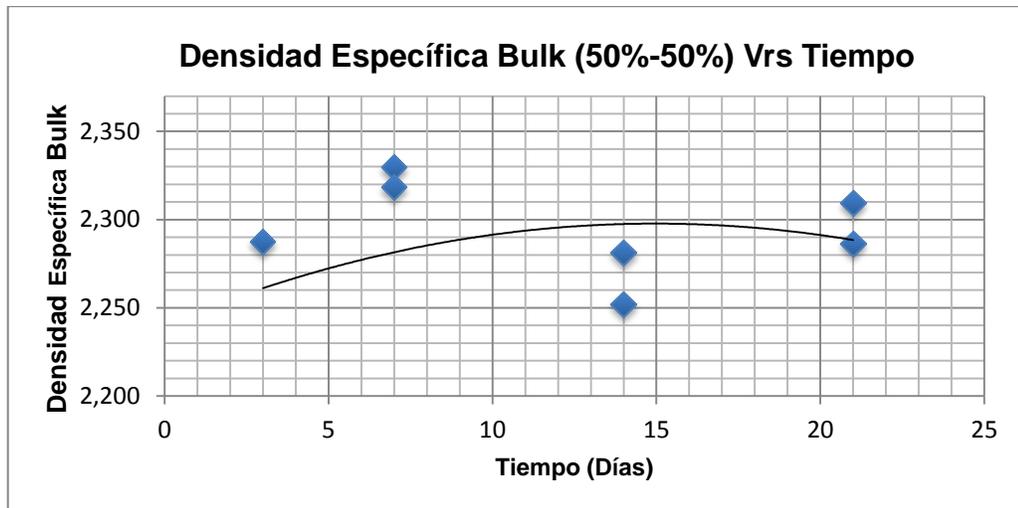
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXV. **Resultados de densidad específica Bulk de mezcla con granulometría Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Solución (50%-50%)		
No. Pastilla	Densidad específica Bulk	
9	Gmb	2,193
10	Gmb	2,287
11	Gmb	2,330
12	Gmb	2,318
13	Gmb	2,252
14	Gmb	2,281
15	Gmb	2,286
16	Gmb	2,309

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXVI. **Densidad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña en una solución del (50%-50%)**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla LXVII. **Datos obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Rice a 3 días (50%-50%)	gramos
Picnómetro + agua	7 379,60
Tara + material	1 539,00
Tara	257,90
Picnómetro + agua + material	8 140,80
Rice a 7 días (50%-50%)	gramos
Picnómetro + agua	7 381,20
Tara + material	1 554,20
Tara	257,90
Picnómetro + agua + material	8 142,00

Continuación de la tabla LXVII.

Rice a 14 días (50%-50%)	gramos
Picnómetro + agua	7 376,10
Tara + material	1 555,90
Tara	2 58,50
Picnómetro + agua + material	8 149,00
Rice a 21 días (50%-50%)	gramos
Picnómetro + agua	7 379,90
Tara + material	1 546,10
Tara	251,40
Picnómetro + agua + material	8 146,00

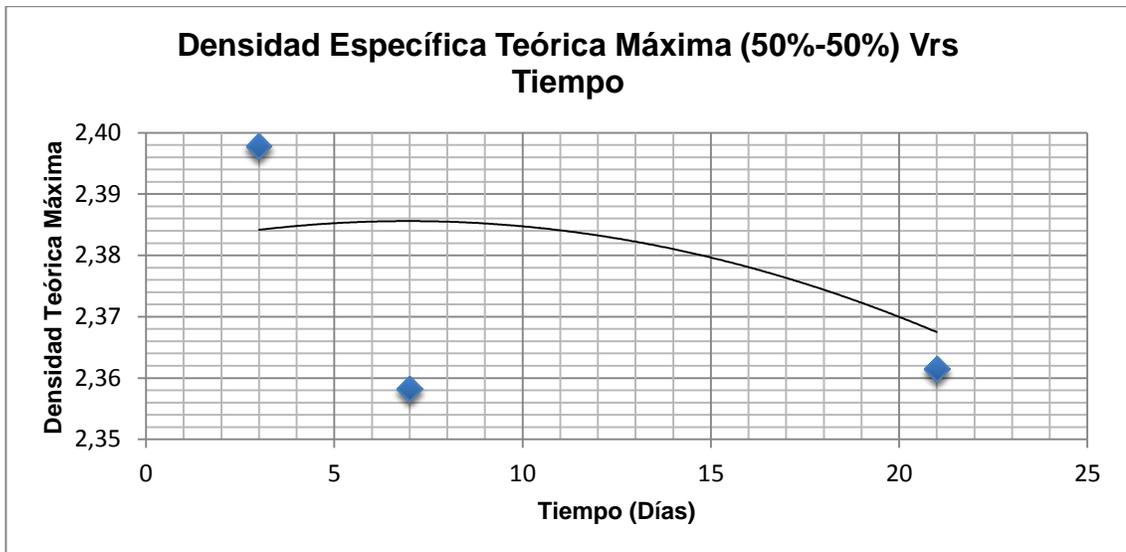
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXVIII. **Datos obtenidos de los resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Solución (50%-50%)		
Tiempo	Densidad específica teórica máxima	
3 días	Gmm	2,398
7 días	Gmm	2,358
14 días	Gmm	2,401
21 días	Gmm	2,361

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXIX. **Grafica de resultados obtenidos de densidad específica teórica máxima, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**



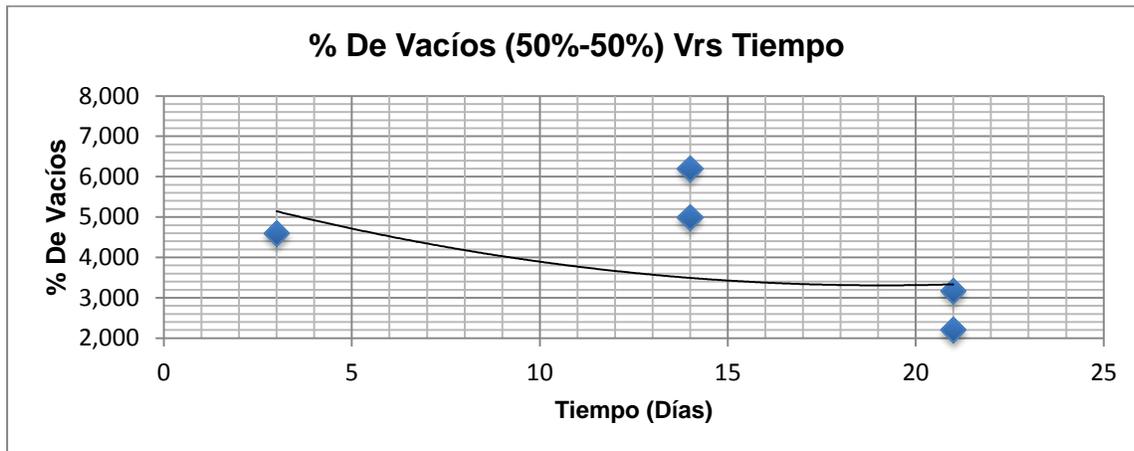
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla LXX. **Datos obtenidos de porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Solución (50%-50%)		
No. Pastilla	Porcentaje de vacíos	
9	Va	8,546
10	Va	4,599
11	Va	1,215
12	Va	1,693
13	Va	6,201
14	Va	4,988
15	Va	3,176
16	Va	2,206

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXI. **Gráfica obtenida de porcentaje de vacíos, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.16. Prueba de estabilidad – flujo Marshall, de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña

A continuación, se muestra la tabla de resultados obtenidos en el ensayo de estabilidad y flujo Marshall:

Tabla LXXII. **Datos de estabilidad y flujo Marshall**

Solución (50%-50%), 3 días			
Pastilla #9		Pastilla #10	
Estabilidad	238	Estabilidad	219
Lbf	2 281,9	Lbf	2 078,3
Corrección	1 848,31	Corrección	1 724,99
Flujo	18	Flujo	20

Continuación de la tabla LXXII.

Solución (50 %-50 %), 7 días			
Pastilla #11		Pastilla #12	
Estabilidad	278	Estabilidad	248
Lbf	2 634,9	Lbf	2 351,9
Corrección	2 266,02	Corrección	2 022,63
Flujo	28	Flujo	24
Solución (50 %-50 %), 14 días			
Pastilla #13		Pastilla #14	
Estabilidad	231	Estabilidad	375
Lbf	2 191,5	Lbf	3 547,2
Corrección	1 775,12	Corrección	2 944,15
Flujo	27	Flujo	24
Solución (50 %-50 %), 21 días			
Pastilla #15		Pastilla #16	
Estabilidad	205	Estabilidad	219
Lbf	1 946,2	Lbf	2 078,3
Corrección	1 615,37	Corrección	1 787,34
Flujo	32	Flujo	28

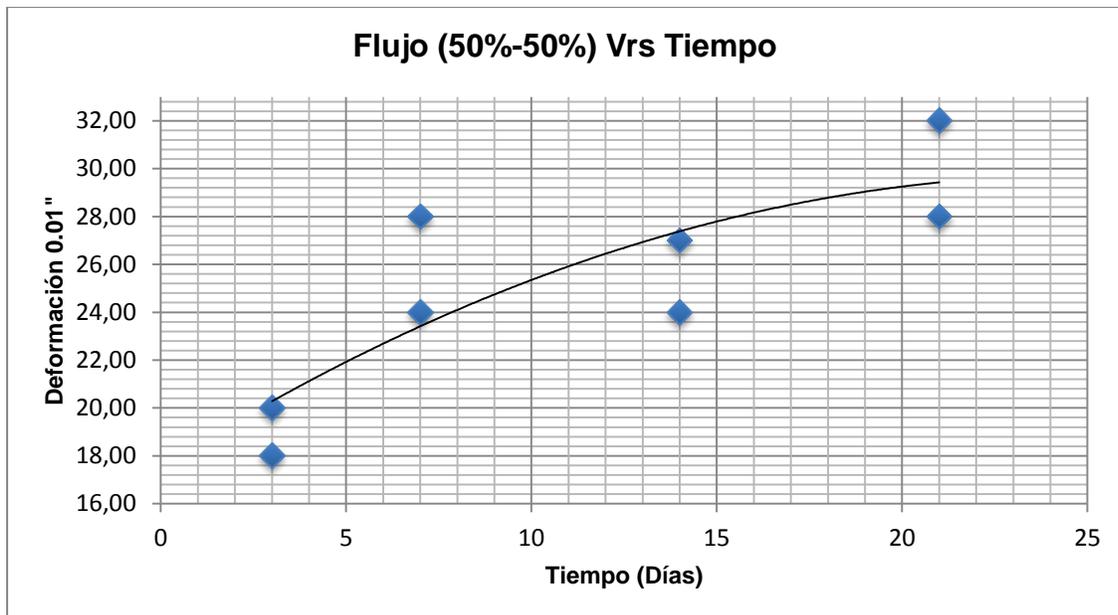
Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXIII. **Resumen flujo frente a tiempo solución (50 %-50 %)**

No. Pastilla	Tiempo (Días)	Flujo 0.01"
9	3	18
10	3	20
11	7	28
12	7	24
13	14	27
14	14	24
15	21	32
16	21	28

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXIV. **Gráfica flujo frente a tiempo**



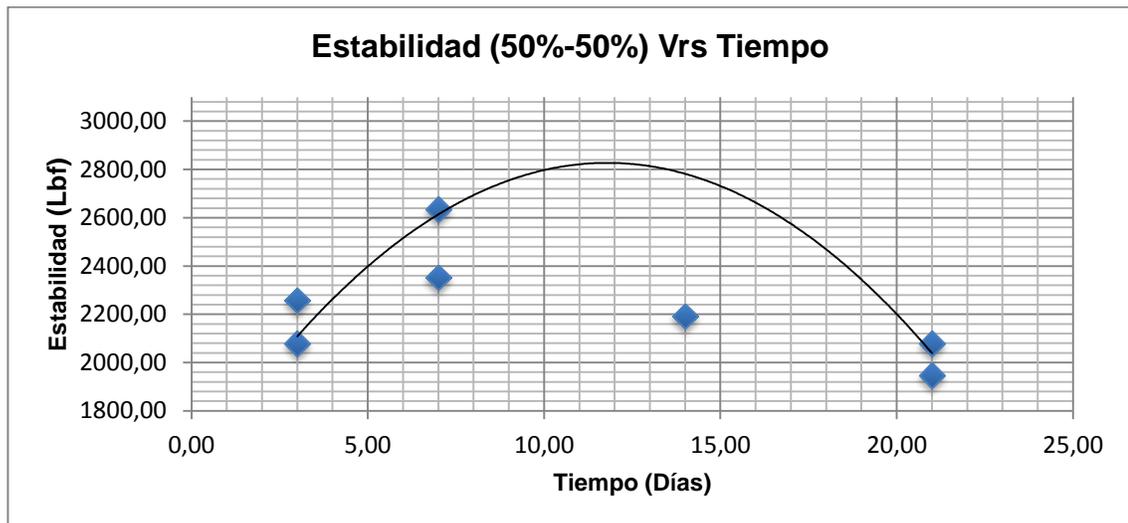
Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Tabla LXXV. **Resumen estabilidad frente a tiempo (50 %-50 %)**

No. Pastilla	Tiempo (Días)	Estabilidad (Lbf)
9	3	2 257,55
10	3	2 078,30
11	7	2 634,91
12	7	2 351,89
13	14	2 191,51
14	14	3 547,17
15	21	1 946,23
16	21	2078,3

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXVI. **Gráfica de estabilidad frente a tiempo**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

Figura 55. **Pastillas sometidas a efectos de jugo de caña**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en el Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Tabla LXXVII. **Diámetros y alturas de las pastillas de pastillas sometidas a los efectos del jugo de caña**

Pastilla 1		Pastilla 2	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,36	74,85	101,25	71,63
101,97	74,72	101,56	71,57
101,82	74,15	101,57	70,77
Pastilla 3		Pastilla 4	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,24	71,80	101,72	71,85
101,44	69,98	101,50	72,37
101,53	70,57	101,38	73,45

Continuación de la tabla LXXVII.

Pastilla 5		Pastilla 6	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,25	70,43	101,68	73,45
101,72	70,95	101,57	73,22
101,75	71,00	101,82	72,38
Pastilla 7		Pastilla 8	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,15	73,65	101,35	70,99
101,48	73,01	101,66	70,44
101,35	72,80	101,31	70,55
Pastilla 9		Pastilla 10	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,88	70,87	101,82	73,65
101,57	71,80	101,46	73,26
101,62	70,61	101,43	72,98
Pastilla 11		Pastilla 12	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,10	72,77	101,62	73,30
101,80	73,27	100,39	73,42
100,18	70,87	101,10	72,10
Pastilla 13		Pastilla 14	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,39	70,94	101,37	70,48
100,54	71,20	101,34	70,45
101,22	74,05	101,55	71,49
Pastilla 15		Pastilla 16	
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Altura (mm)
101,07	71,91	101,24	72,20
101,44	74,06	101,20	72,97
101,50	74,70	100,38	72,44

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Figura 56. **Obtención de datos, diámetros y alturas**



Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

5.17. Análisis de resultados

En el siguiente apartado se dan los datos del análisis de resultados, asimismo se da el análisis de los resultados obtenidos gravedad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188, y el análisis de resultados obtenidos gravedad específica teórica máxima.

5.17.1. Datos de análisis de resultados

Para evaluar los resultados obtenidos con las dos soluciones, se procede al análisis correspondiente de cada ensayo.

5.17.2. Análisis de resultados obtenidos gravedad específica Bulk de briquetas ASTM D 1188

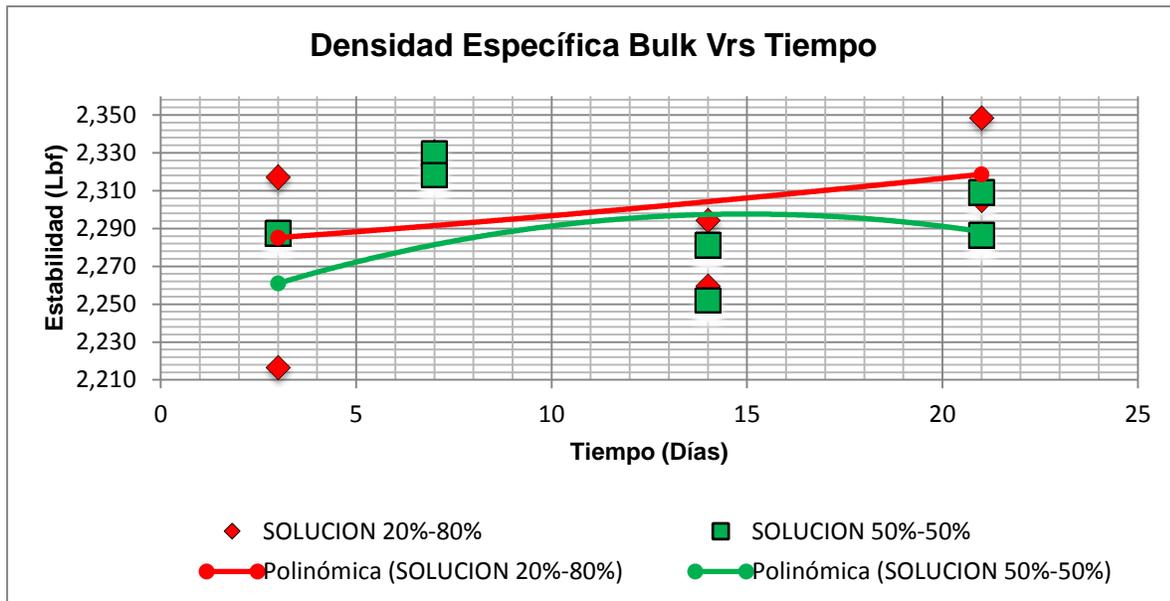
La densidad específica Bulk aumentó debido que la densidad de la solución es mayor a la del agua, está lleno, pero vacío dentro de la pastilla, por lo que su densidad aumento en el tiempo.

Tabla LXXVIII. Resumen de densidad específica Bulk, para ambas soluciones

No.	Densidad específica Bulk (20%-80%)	Densidad específica Bulk (50%-50%)
1	2,217	2,193
2	2,317	2,287
3	2,331	2,330
4	2,327	2,318
5	2,295	2,252
6	2,260	2,281
7	2,305	2,286
8	2,349	2,309

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXIX. **Gráfica comparativa densidad específica Bulk, para ambas soluciones**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.17.3. **Análisis de resultados obtenidos gravedad específica teórica máxima**

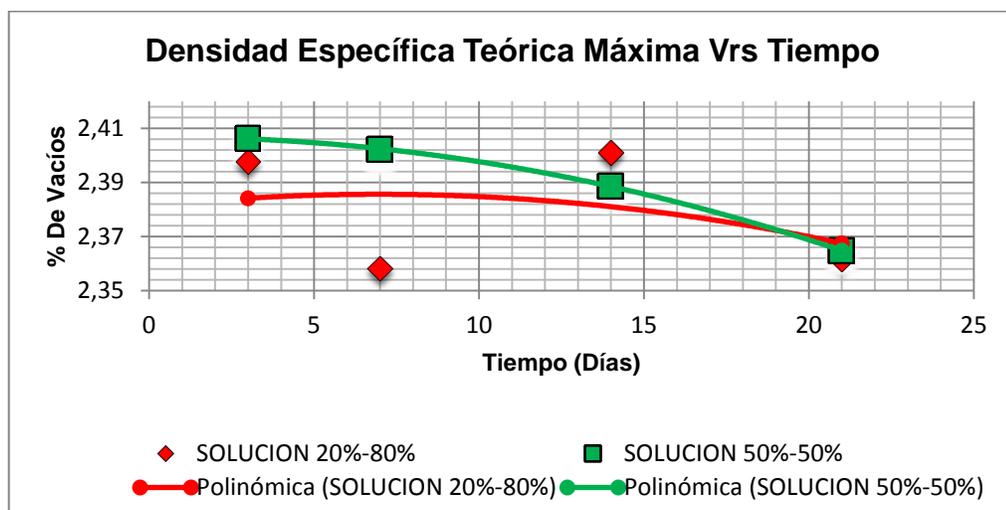
Aunque la solución llenó más vacíos, al someter la pastilla al ensayo el bitumen empezó a perder parte de sus propiedades lo cual provocó un decrecimiento en su densidad específica teórica máxima respecto del tiempo.

Tabla LXXX. **Resumen de densidad específica teórica máxima, para ambas soluciones**

No.	Densidad específica teórica máxima (20%-80%)	Densidad específica teórica máxima (50%-50%)
1	2,41	2,40
2	2,41	2,40
3	2,40	2,36
4	2,40	2,36
5	2,39	2,40
6	2,389	2,401
7	2,365	2,361
8	2,365	2,361

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXXI. **Gráfica comparativa densidad específica teórica máxima, para ambas soluciones**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.18. Análisis de resultados obtenidos del porcentaje de vacíos densidad ASTM D 3203, AASHTO T 269

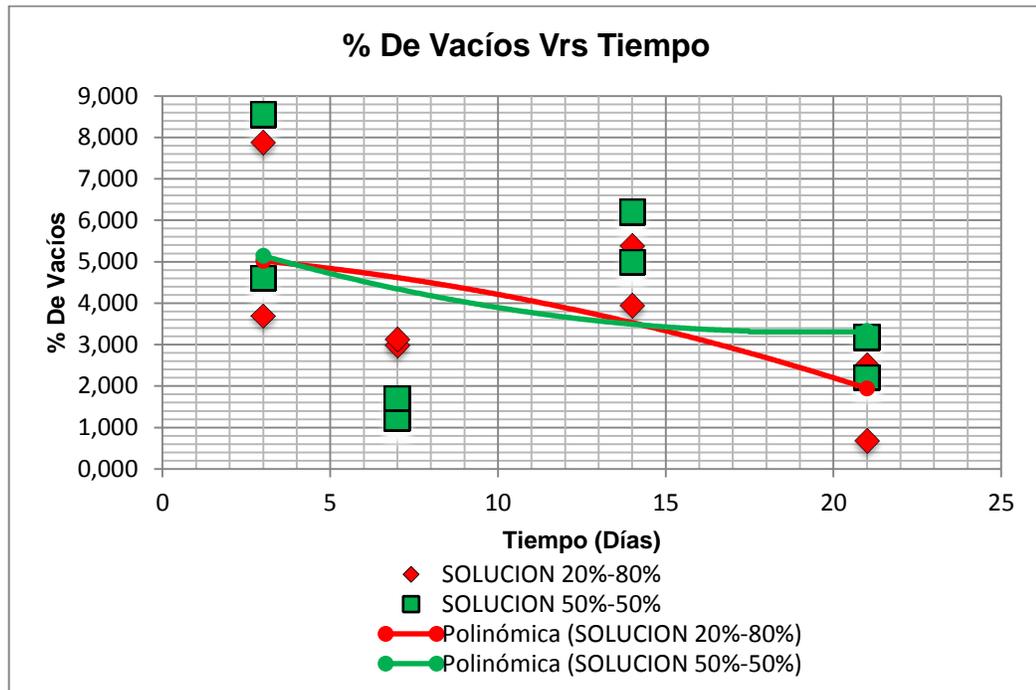
Los vacíos dependen de la densidad específica Bulk, la cual mantuvo un crecimiento parecido al que se realiza al hacer un diseño, lo mismo que la densidad específica teórica máxima, la cual tuvo un decrecimiento, por lo cual los porcentajes de vacíos disminuyeron respecto del tiempo.

Tabla LXXXII. Resumen de porcentaje de vacíos, para ambas soluciones

No.	Porcentaje de vacíos (20%-80%)	Porcentaje de vacíos (50%-50%)
1	7,883	8,546
2	3,696	4,599
3	2,983	1,215
4	3,133	1,693
5	3,939	6,201
6	5,387	4,988
7	2,516	3,176
8	0,676	2,206

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXXIII. **Gráfica comparativa porcentajes de vacíos, para ambas soluciones**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.19. Análisis de resultados obtenidos en prueba de flujo Marshall

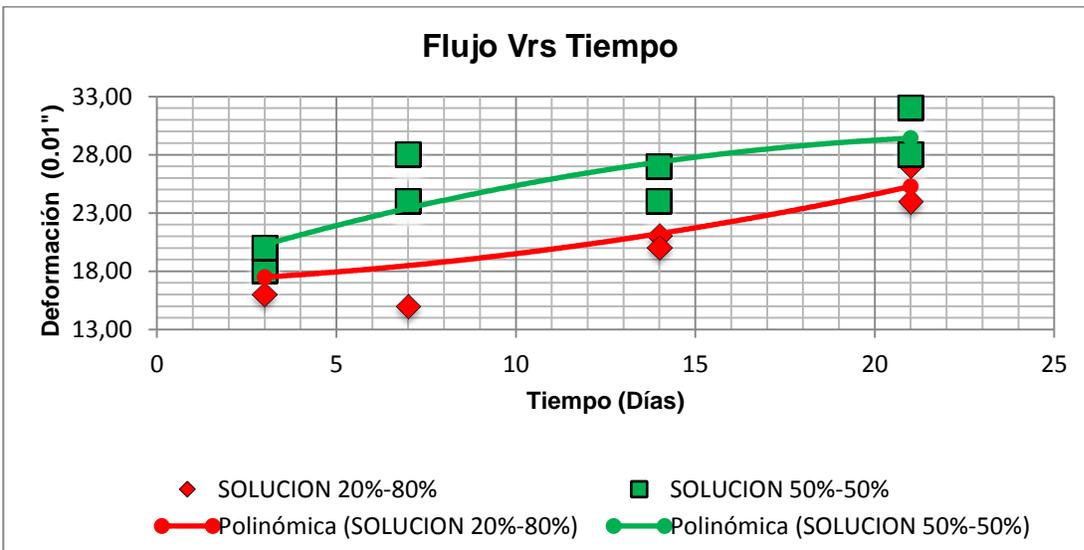
Como el porcentaje de vacíos disminuyó, debido a las densidades de las soluciones, la resistencia a corte entre partículas se reduce, por lo que presenta más deformación la solución con mayor concentración de jugo de caña.

Tabla LXXXIV. **Resumen de flujo Marshall, para ambas soluciones**

No.	Flujo 0.01" Marshall (20 %-80 %)	Flujo 0.01" Marshall (50 %-50 %)
1	18,00	18,00
2	16,00	20,00
3	15,00	28,00
4	24,00	24,00
5	21,00	27,00
6	20,000	24,000
7	27,000	32,000
8	24,000	28,000

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXXV. **Gráfica comparativa flujo marshall, para ambas soluciones**



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

5.20. Análisis de resultados obtenidos en prueba de estabilidad Marshall

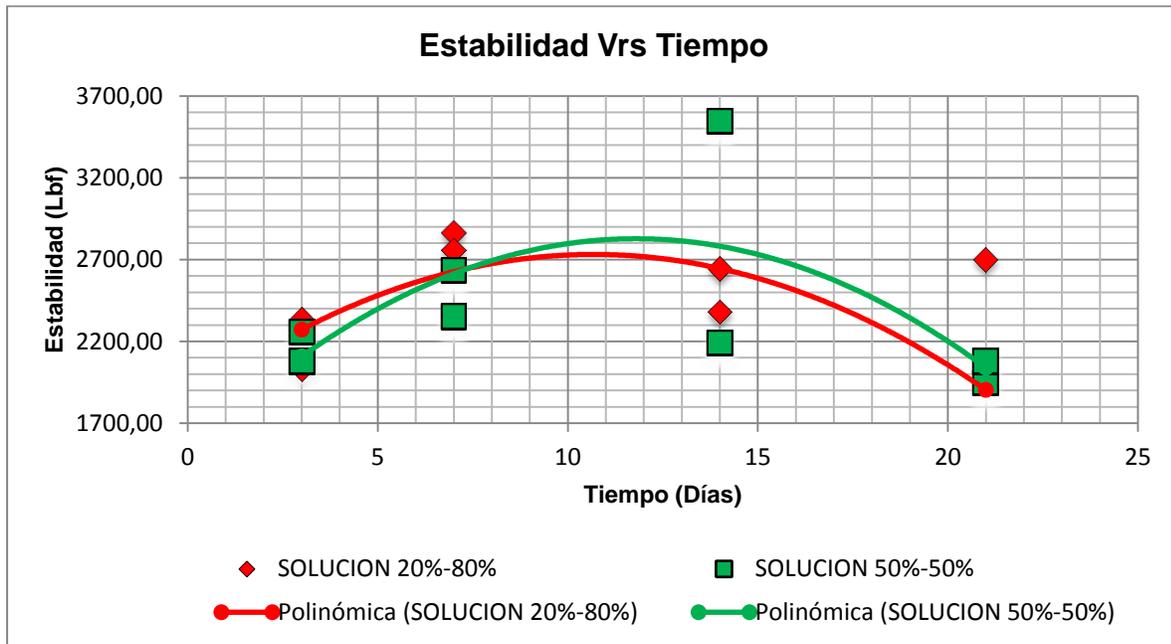
La estabilidad aumentó en ambas soluciones en los primeros días para luego disminuir su resistencia, esto debido a que el bitumen empezó a perder propiedades ganando mayor rigidez, pero luego al perder estas propiedades de manera acelerada su resistencia vuelve a disminuir.

Tabla LXXXVI. **Resumen de estabilidad Marshall, para ambas soluciones**

No.	Estabilidad lbf (20%-80%)	Estabilidad lbf (50%-50%)
1	2 031,13	2 257,55
2	2 333,01	2 078,30
3	2 861,11	2 634,91
4	2 757,55	2 351,89
5	2 644,34	2 191,51
6	2 380,19	3 547,17
7	1 188,46	1 946,23
8	2 700,94	2078,3

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en laboratorio.

Tabla LXXXVII. Gráfica comparativa flujo marshall, para ambas soluciones



Fuente: elaboración propia, empleando programa Excel; datos obtenidos de laboratorio.

CONCLUSIONES

1. El jugo de caña de azúcar afecta directamente de forma negativa y destructiva en el diseño de mezcla asfáltica, alterando tanto sus características físicas, como las propiedades mecánicas, por lo tanto, mientras más expuesta este la carpeta asfáltica a este elemento, su tiempo de vida disminuye considerablemente. Así mismo, el jugo de caña reduce el factor de fricción de la carpeta asfáltica, que disminuye considerablemente la seguridad del usuario. Estos resultados se obtuvieron con base a las concentraciones de las soluciones empleadas en los ensayos de laboratorio realizados.
2. Debido a las diferentes concentraciones de jugo de caña y al tiempo sumergido, la penetración del jugo en las pastillas de mezcla asfáltica es mayor, esto hace que la resistencia al corte entre partículas disminuya, lo que se ve reflejado en los valores de deformación de las pastillas. A menor cantidad de tiempo (tres días) menor es la cantidad de jugo presente en la mezcla asfáltica, pero es suficiente para que los valores de deformación estén fuera de rango, y esto se ve reflejado desde las pastillas ensayadas a tres días y aumento en los ensayos posteriores (siete, catorce y veintiún días).
3. Debido a que la densidad de las soluciones modificó varias características físicas de las pastillas, estas cambiaron sus propiedades mecánicas, en las cuales se tomaron los parámetros de la división 401 de la DGC. En lo que respecta a los valores aceptables para mezclas asfálticas los resultados obtenidos no cumplieron con el rango

estipulado, lo que se ve reflejado en la densidad específica Bulk y la densidad específica teórica máxima, que tuvieron resultados parecidos al realizar un diseño Marshall (el mismo comportamiento que al añadir y aumentar el porcentaje de bitumen a cada pastilla). La densidad específica Bulk aumentó y la densidad específica teórica máxima disminuyó. Esto se refleja en la disminución de los porcentajes de vacíos y en el aumento de la densidad de la mezcla asfáltica.

4. Las concentraciones de jugo variaron, pero fueron suficientes para alterar el comportamiento mecánico de la deformación. Al tercer día de estar sumergidos se somete la prueba de deformación y ambas soluciones presentan valores de deformación fuera del rango permitido. Con esto se determina la nocividad del jugo de caña para el pavimento flexible (en condiciones controladas de laboratorio).
5. En una carpeta asfáltica el exceso de jugo de caña envejecería de una manera acelerada la mezcla asfáltica teniendo en cuenta factores climáticos como la lluvia y las altas temperaturas.

RECOMENDACIONES

1. Implementar una normativa para controlar y evitar que el transporte de la caña de azúcar deje residuos sobre la carpeta asfáltica y sus alrededores.
2. Dar un mantenimiento preventivo a la carpeta asfáltica para mitigar este tipo de efectos destructivos. Planificando y organizando varios equipos de limpieza, se reduciría la cantidad de trozos de caña de azúcar que quedan sobre la misma, de esta manera si llegase a existir un porcentaje de desperdicio, este llegará a perder aproximadamente el 3,79% de su jugo por cada vez que el eje de un vehículo pasa por encima de la caña.
3. Hacer análisis químicos para ambas soluciones, así se podrá determinar cómo afecta el jugo de caña las propiedades químicas del cemento asfáltico y se determinará de manera específica qué características afectan al asfalto.
4. Agregar los ensayos de carga al diseño de la mezcla asfáltica, ya que la investigación solo contempla factores estáticos. Al realizar ensayos dinámicos sobre la mezcla se obtendrán mejores resultados en los análisis de la mezcla asfáltica.
5. Las concentraciones de jugo de caña crean una película delgada en la superficie de las pastillas ensayadas, que al estar húmeda provoca que la textura de las pastillas de asfalto sea más lisa, por lo tanto, es necesario

limpiar la superficie de la probeta para evitar que esta película influya en los resultados de los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO CASTAÑEDA, Lizza María. *Mejoramiento del proceso de inducción de personal operativo para el área agrícola de un ingenio azucarero ubicado en el departamento de Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2012. 197 p.
2. ALVARADO RUIZ, Héctor Fabricio. *Aplicación de la combinación vinaza y nitrógeno en semilleros vegetativos de caña de azúcar (saccharum spp), como fertilizante foliar, diagnóstico del departamento de investigación agrícola, determinación de la germinación de 18 variedades de caña de azúcar y efecto de la vinaza en la reducción de la fertilización nitrogenada corporación Pantaleón/concepción S.A. Siquinalá, Escuintla*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2010. 111 p.
3. ANLEU HERNÁNDEZ, Erick Rolando. *Producción de mezclas asfálticas en caliente*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2002. 94 p.
4. ESCOBAR GARCÍA, Emerson Samuel. *Metodología para mantenimiento de carreteras pavimentadas y caminos rurales para la prevención*

de riesgos y seguridad vial en la República de Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013. 158 p.

5. FIGUEROA MOLINA, Mildred Xiomara. *Comparación de la reproducibilidad de dos métodos para la determinación de azúcares reductores en el jugo de caña de azúcar.* Trabajo de graduación de Licda. Farmacéutica. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2000. 43 p.
6. HUMBERT. Roger P. *El cultivo de la caña de azúcar.* Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía, México: Continental. 1974. 719 p.
7. KRAEMER, Carlos. *Ingeniería de carreteras.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, España: MCGRAW-HILL. 2009. 300 p.
8. LEÓN FAJARDO, José Luis. *Criterios para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 1996. 104 p.
9. MARTÍNEZ FUENTES, Julio Cesar. *Contribución a la eficiencia en la producción de caña de azúcar (saccharum spp.), en la zona seis del ingenio madre tierra.* Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2007. 122 p.

10. OLIVA TAMPAN, Shirleey Lucrecia. *Margen de utilidad de los actuales canales de distribución de azúcar en el mercado local de Guatemala*. Trabajo de graduación de Licda. Administración de Empresas. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Rafael Landívar. Guatemala. 2004. 121 p.
11. PÓCON CANEL, Obdulio Faustino. *Reconocimiento y determinación de especies arvenses en el cultivo de caña de azúcar (saccharum spp.) en estrato altitudinal litoral, diagnóstico y servicios realizados en corporación San Diego – ingenio Trinidad S.A., escuintla, Guatemala, C.A.* Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2014. 143 p.
12. QUEMÉ PEÑA, Mayra Maritza. *Evaluación de un método alterno a nivel laboratorio para el análisis del jugo de la caña de azúcar desfibrada mediante el método de desintegración húmeda utilizando el equipo “digestor de caña modelo te-0501” en un ingenio azucarero de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2012. 160 p.
13. RAMÍREZ VILLAMIZAR, Armando. *Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología Gap Graded para la ciudad de Bogotá*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Colombia. 2014. 91 p.
14. RAMOS GARCÍA, Bianka Lisbeth. *Propuesta de diseño de mezcla asfáltica en frío de graduación densa como alternativa para el*

mantenimiento de pavimentos flexibles. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Centroamericana. Nicaragua. 2013. 154 p.

15. RECUENCO AGUADO, Emilio. *Firmes y pavimentos de carreteras y otras infraestructuras*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, España: Garceta. 2014. 360 p.
16. ROLDAN OLIVA, Juan Luis Miguel. *Diseño de la investigación de la utilización de un sistema de posicionamiento global GPS para la optimización del proceso logístico de abastecimiento de materia prima (caña) en un ingenio azucarero*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 2013. 55 p.
17. ROMANA, Manuel. *Manual de capacidad de carreteras HCM 2010*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, España: Fund.Confemental. 2017. 150 p.
18. ROSALES CASTAÑEDA, Víctor Alejandro. *Rehabilitación de carreteras utilizando asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 2011. 112 p.
19. VV.AA. *Caña de azúcar. Producción Sustentable*, España: BBA. 2015. 530 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Machote de bitácora utilizada para realizar estudio de muestra de tránsito

CABEZALES CARGADOS CON CAÑA QUE INGRESAN AL INGENIO											
18/01/2018		DIRECCION DEL TRABAJO DE CAMPO, KILOMETRO 94.5 CA-02 OCCIDENTE									
HORARIO	CABEZALES CARGADOS CON DOBLE EQUIPO					HORARIO	CABEZALES CARGADOS CON TRES EQUIPOS				
8:00-9:00						8:00-9:00					
9:00-10:00						9:00-10:00					
10:00-11:00						10:00-11:00					
11:00-12:00						11:00-12:00					
12:00-13:00						12:00-13:00					
13:00-14:00						13:00-14:00					
14:00-15:00						14:00-15:00					
15:00-16:00						15:00-16:00					
16:00-17:00						16:00-17:00					
TOTAL						TOTAL					

VEHICULOS PESADOS QUE INGRESAN Y SALEN DEL INGENIO											
18/01/2018		DIRECCION DEL TRABAJO DE CAMPO, KILOMETRO 94.5 CA-02 OCCIDENTE									
HORARIO	ENTRADA					HORARIO	SALIDA				
8:00-9:00						8:00-9:00					
9:00-10:00						9:00-10:00					
10:00-11:00						10:00-11:00					
11:00-12:00						11:00-12:00					
12:00-13:00						12:00-13:00					
13:00-14:00						13:00-14:00					
14:00-15:00						14:00-15:00					
15:00-16:00						15:00-16:00					
16:00-17:00						16:00-17:00					
TOTAL						TOTAL					

VEHICULOS PESADOS Y LIVIANOS											
18/01/2018		DIRECCION DEL TRABAJO DE CAMPO, KILOMETRO 94.5 CA-02 OCCIDENTE									
HORARIO	EN AMBAS DIRECCIONES										
8:00-9:00											
9:00-10:00											
10:00-11:00											
11:00-12:00											
12:00-13:00											
13:00-14:00											
14:00-15:00											
15:00-16:00											
16:00-17:00											
TOTAL											

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Estabilidad y flujo Marshall

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

No. 12073

INFORME NUMERO: 080 L.B.A. ORDEN DE TRABAJO: 37094

INTERESADO: PABLO JOAQUÍN TELLO URIZAR, CARNÉ 201021418

PROYECTO: EFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFALTICA

DIRECCION: CII/FIUSAC

ENSAYO: ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D 1559

FECHA: 12 DE OCTUBRE DEL 2017

MUESTRA: MUESTRA ASFALTICA

PROBETAS DISEÑO	ESTABILIDAD LBF	FLUJO 0,01"
1 AC 30 4%	2149,13	12
2 AC 30 4%	1897,73	8
1 AC 30 4,5%	2266,87	10
2 AC 30 4,5%	2140,07	9
1 AC 30 5%	2221,58	11
2 AC 30 5%	2121,96	10
1 AC 30 5,5%	2314,15	10
2 AC 30 5,5%	2167,25	12
1 AC 30 6%	2529,51	13
2 AC 30 6%	2380,19	10

Atentamente,

Vo. Bo. : 
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

 
Ing. Darío Escobar
Jefe Laboratorio de Asfaltos



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 2. Estabilidad y flujo Marshall



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 12074

INFORME NUMERO: 081 L.B.A. ORDEN DE TRABAJO: 37094

INTERESADO: PABLO JOAQUÍN TELLO URIZAR, CARNÉ 201021418

PROYECTO: EFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFALTICA

DIRECCION: CII/FIUSAC

ENSAYO: ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL ASTM D 1559

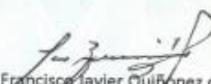
FECHA: 12 DE OCTUBRE DEL 2017

MUESTRA: MUESTRA ASFALTICA

PROBETAS ANALISIS	ESTABILIDAD LBF	FLUJO 0,01"
3 DIAS # 1 50/50	1848,31	18
3 DIAS #2 50/50	1724,99	20
7 DIAS # 1 50/50	2266,02	28
7 DIAS #2 50/50	222,63	24
14 DIAS # 1 50/50	1775,12	27
14 DIAS #2 50/50	2944,15	24
21 DIAS # 1 50/50	1615,37	32
21 DIAS #2 50/50	1787,34	28
3 DIAS # 1 80/20	1645,22	18
3 DIAS #2 80/20	2026,32	16

Atentamente,

Vo. Bo. :



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC





Ing. Darío Francisco Escobar Hernández
Jefe Laboratorio de Asfaltos



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 3. Densidad específica de Bulk



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME NUMERO: 082 L.B.A

ORDEN DE TRABAJO: 37094

No. 12075

INTERESADO: PABLO JOAQUÍN TELLO URIZAR, CARNÉ 201021418

PROYECTO: EFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA MEZCLA ASFALTICA

DIRECCION: CII/FIUSAC

ENSAYO: DENSIDAD ESPECÍFICA DE BULK ASTM 2726-05a

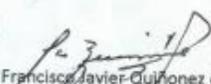
FECHA: 12 DE OCTUBRE DEL 2017

MUESTRA: MUESTRA ASFALTICA

PRÓBETA DISEÑO	GRAVEDAD ESPECIFICA
1 AC 30 4 %	2,317
2 AC 30 4 %	2,295
1 AC 30 4,5 %	2,361
2 AC 30 4,5 %	2,362
1 AC 30 5 %	2,348
2 AC 30 5 %	2,351
1 AC 30 5,5%	2,383
2 AC 30 5,5 %	2,387
1 AC 30 6 %	2,414
2 AC 30 6 %	2,455

PROBETA ANALISIS	GRAVEDAD ESPECIFICA
3 DIAS # 1 50/50	2,193
3 DIAS # 1 50/50	2,287
7 DIAS # 1 50/50	2,330
7 DIAS # 1 50/50	2,318
14 DIAS # 1 50/50	2,252
14 DIAS # 1 50/50	2,281
21 DIAS # 1 50/50	2,286
21 DIAS # 1 50/20	2,309
3 DIAS # 1 80/20	2,217
3 DIAS # 1 80/20	2,317

Atentamente,

Vo. Bo. : 

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC




Ing. Darío Francisco Lucas Quiñonez
Jefe Laboratorio de Asfaltos

FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.

Anexo 4. Densidad específica teórica máxima "RICE".

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

INFORME NUMERO: 083 L.B.A. ORDEN DE TRABAJO: 37094 No. **12072**

INTERESADO: PABLO JOAQUÍN TELLO URIZAR, CARNÉ 201021418

PROYECTO: EFECTOS QUE PRODUCE EL JUGO DE CAÑA EN LA DURABILIDAD Y PROPIEDADES DE UNA CARPETA ASFALTICA

DIRECCION: CII/FIUSAC

ENSAYO: DENSIDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA "RICE" ASTM 2041

FECHA: 12 DE OCTUBRE DEL 2017

MUESTRA: MEZCLA ASFALTICA

PROBETA	GMM
AC 30 4%	2,5900
AC 30 4,5%	2,5660
AC 30 5%	2,5500
AC 30 5,5%	2,5330
AC 30 6%	2,4990

Atentamente,

Vo. Bo. : 
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

 
Ing. Darío Francisco Rojas
Jefe Laboratorio de Asfaltos

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.