



UNIVERSIDAD CENTRAL

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta para el mejoramiento del sistema de desfogue de aguas pluviales y la recuperación de la vía socavada, mediante un nuevo diseño del sistema de tuberías y un nuevo muro de contención en la urbanización El Ensueño, en San Rafael de Heredia, para el primer semestre del 2023

MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE: RICARDO CARBALLO CASTRO

TUTOR: JOSE FRANCISCO MADRIGAL RODRÍGUEZ

SEDE CENTRAL

MARZO, 2023

Contenido

CAPÍTULO I	11
1. PROBLEMA	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo general	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificación del problema.....	14
1.4 Antecedentes	15
1.5 Proyecciones	19
CAPÍTULO II	23
2. MARCO TEÓRICO	24
2.1 Datos generales del cantón de San Rafael de Heredia	24
2.2 Categorización de calles y vías en Costa Rica.....	26
2.3 Levantamiento topográfico.....	29
2.4 Estudios de suelo.....	31
2.5 Hidrología y sistemas de drenajes pluviales	32
2.5.1 Análisis de caudales por medio del método racional	33
2.5.2 Intensidad de las lluvias y período de retorno.....	34
2.5.3 Recolección de datos de precipitaciones en estaciones pluviográficas en Costa Rica	35
2.5.4 Modelado Hidrológico de pérdidas SCS o del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos.....	37
2.5.5 Sistema de modelación Storm Water Management Model (SWMM)	42
2.5.6 Reglamentación para sistemas pluviales por parte de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA, del año 2017	42
2.5.6.1 Áreas tributarias.....	44
2.5.6.2 Tiempos de concentración	44
2.5.6.3 Período de retorno	45
2.5.6.4 Velocidad en tuberías a gravedad o canal abierto	45
2.5.6.5 Tirante hidráulico máximo en tuberías a gravedad o canal abierto	45
2.5.6.6 Cálculo hidráulico en tuberías a gravedad o canal abierto	45
2.5.6.7 Continuidad de las tuberías.....	47

2.5.6.8	Díámetro mínimo.....	47
2.5.6.9	Pendientes máximas y mínimas.....	47
2.5.6.10	Tubos y accesorios.....	48
2.5.6.11	Pozos de registro.....	49
2.5.6.12	Tragantes.....	51
2.5.6.13	Cordón y caño.....	53
2.5.6.14	Canales.....	53
2.5.6.15	Sistema de retardo pluvial.....	54
2.5.6.16	Colocación de las tuberías.....	54
2.6	Diseño y cálculo de muros de contención.....	56
2.6.1	Tipos de estructuras de contención según su funcionabilidad.....	57
2.6.2	Tipos de estructuras según la sección de carga.....	58
2.6.3	Diseño y cálculo de estructura de contención.....	59
2.6.4	Características de los muros de gaviones.....	63
2.6.5	<i>Software</i> para diseño de muros GAWAC 3.0.....	63
2.7	Diseño de pavimentos flexibles.....	65
2.7.1	Pavimentos rígidos.....	65
2.7.2	Pavimentos flexibles.....	65
2.7.3	Metodología de diseño para pavimentos flexibles AASHTO-93.....	65
2.7.3.1	Período de diseño.....	68
2.7.3.2	Módulo de confiabilidad / probabilidad R.....	68
2.7.3.3	Módulo de serviciabilidad / funcionabilidad (PSI).....	70
2.7.3.4	Estimación de cargas de tránsito en el diseño (W18 Weigth / 18 ton).....	71
2.7.3.5	Módulo de resiliencia efectivo de Materiales (MR).....	75
2.7.3.6	Numero estructural (SN).....	75
CAPÍTULO III.....		81
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	82

3.1	Enfoque de la investigación	82
3.2	Método de investigación	84
3.3	Fuentes de información	85
3.4	VARIABLES DE ANÁLISIS.....	87
3.5	Instrumentos.....	88
3.6	Proceso para la recolección y análisis de datos	90
CAPÍTULO IV.....		92
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	93
4.1	Análisis del trabajo de campo.....	93
4.1.1	Área de socavamiento y desfogue de aguas a cause tributario.....	94
4.1.2	Resultados obtenidos	94
4.1.3	Área de recolección de aguas pluviales y tuberías en urbanización El Ensueño.....	97
4.1.4	Resultados obtenidos	98
4.2	Hidrología y sistema de drenaje pluvial	101
4.2.1	Precipitaciones y lluvias en la zona	101
4.2.2	Diseño de sistema pluvial	106
4.2.2.1	Diseño de Pozos	107
4.2.2.2	Diseño de tuberías	108
4.2.3	Validación de resultados por medio de <i>software</i> EPA-SWMM.....	110
4.2.4	Presupuestación para la etapa	113
4.3	Solución de recuperación de vía y muro de contención en calle Paraíso.....	113
4.3.1	Diseño del muro de contención	114
4.3.1.1	Análisis y condiciones del terreno y materiales de construcción del muro.....	115
4.3.1.2	Diseño del muro de gaviones.....	116
4.3.1.3	Resultados de verificación y análisis de estabilidad para el muro	117
4.3.1.4	Verificación por volteo del muro.....	119
4.3.1.5	Verificación por deslizamiento del muro.....	119
4.3.1.6	Verificación por hundimiento y capacidad del terreno	119
4.3.1.7	Verificación global del muro	120

4.3.1.8	Validación de los resultados obtenidos por medio de la utilización del <i>software</i> GAWAC 3.0	121
4.3.1.9	Presupuestación de la etapa	122
4.4	Proceso de recarpeteo de vías.....	122
4.4.1	Diseño para los pavimentos flexibles del proyecto.....	125
4.4.1.1	Parámetro de confiabilidad (R) y valor estadístico asociado (ZR).....	126
4.4.1.2	Parámetro de índices de serviciabilidad inicial (P0) y serviciabilidad final (PT)	126
4.4.1.3	Período de diseño (y).....	126
4.4.1.4	Clasificación de capacidad de los drenajes y porcentajes de tiempos de saturación	127
4.4.1.5	Factor de tránsito y ejes equivalentes (ESAL'S) para el proyecto	127
4.4.1.6	Características del tipo de material de las capas del pavimento.....	130
4.4.1.7	Cálculo del número estructural SN para diseño con el uso de <i>software</i>	133
4.4.2	Diseño de perfil de área de rodamiento	137
4.4.3	Presupuestación para la etapa de recarpeteo	138
4.5	Presupuesto global del proyecto	138
CAPÍTULO V		139
CONCLUSIONES		140
RECOMENDACIONES		143
BIBLIOGRAFÍA		145
ANEXOS		149
	Anexo #1. Cálculo de Caudales Máximos para cada área Tributaria y distribución hacia pozos	150
	Anexo #2. Tabla de cálculo y diseño de tuberías para el sistema pluvial	151
	Anexo #3. Planos de nuevo sistema de desfogue pluvial en El Ensueño.....	152
	Anexo #4. Diseño de propuesta para salida de desfogue aplicado en proyecto calle los Lajas en Barva de Heredia	154
	Anexo #5. Planos para construcción de muro de gaviones, construcción de caños y aceras y proceso de recarpeteo	155
	Anexo #6. Presupuestos.....	156

Imágenes

Imagen # 1. Mapas del cantón de San Rafael de Heredia CR	25
Imagen # 2. Sección de vía nacional ruta 32 con impacto por la tormenta Julia, octubre 2022	27
Imagen # 3. Mapa de la Red Vial Nacional según su categorización	29
Imagen # 4. CRTM05	30
Imagen # 5. Tipos de suelo de Costa Rica	32
Imagen # 6. Registro anual de máximas precipitaciones diarias de 1982 y 210	36
Imagen # 7. Curva de distribución de valores extremos generalizados	36
Imagen # 8. Cuadro para cálculo de CN	39
Imagen # 9. Valores para CHA II para determinar CN	39
Imagen # 10. Trabajos de localización, excavación y sustitución de tubería Asada San Pedro de Barva	44
Imagen # 11. Sección típica de vía con parques perimetrales.	49
Imagen # 12. Ubicación de tuberías.	49
Imagen # 13. Especificaciones de pozo de registro	51
Imagen # 14. Especificaciones para ubicación de tragantes	52
Imagen # 15. Especificaciones frontales de tragantes.	52
Imagen # 16. Perfil de sección de caño.	53
Imagen # 17. Tanque de retardo pluvial	54
Imagen # 18. Perfil con especificación de colocación de tubería pluvial.	55
Imagen # 19. Visita a proyecto de intervención de calle Lajas en San Pedro de Barva	56
Imagen # 20. Estructuras de contención rígidos y flexibles.	57
Imagen # 21. Secciones utilizables para muros de contención	59
Imagen # 22. Diagrama de elementos de verificación de estabilidad de un muro.	60
Imagen # 23. Interfaz de GAWAC 3.0 MACCAFERRI	64
Imagen # 24. Visita de campo a proyecto en Santo Domingo construcción muro de Gaviones	64
Imagen # 25. Sistema multicapa para diseño de pavimentos.	66
Imagen # 26. Plantilla de referencia acerca del software para cálculo de SN	80
Imagen # 27. Monogramas y métodos gráficos en aplicación ASSTHO.	80
Imagen # 28. Etapas del proceso de investigación.	84
Imagen # 29. Ubicación de las áreas de estudio	94
Imagen # 30. Area de socavamiento y desfogue a cause tributario.	95
Imagen # 31. Daños de socavamiento con afectación a propiedades colindantes.	96
Imagen # 32. Daño en tuberías y características del socavamiento	96
Imagen # 33. Curvas de Nivel	97
Imagen # 34. Distancia de recorrido de tubería principal y perfil de elevación	98
Imagen # 35. Estado de Cajas Colectoras calle 15 A.	99
Imagen # 36. Daños en Avenida 29	100
Imagen # 37. Hietograma temporal de la precipitación en la estación 84111 Santa Lucía	104
Imagen # 38. Valores de intensidad de la precipitación en la estación 84111 Santa Lucía	104
Imagen # 39. áreas tributarias de drenaje para el sistema pluvial para proyecto	106
Imagen # 40. Vista en Perfil de tramo de tubería a intervenir	107
Imagen # 41. SWMM capacidad de tuberías y pozos en el Ensueño Pozo1 a Caja2	111
Imagen # 42. SWMM capacidad de tuberías y pozos en el Ensueño Caja2 a Desfogue.	111
Imagen # 43. SWMM medición de velocidades y profundidad del agua en tuberías el Ensueño	112
Imagen # 44. Diseño de segmento para muro de gaviones en calle Paraíso con detalle de fuerzas aplicadas	116
Imagen # 45. Dimensiones de área recuperada junto a muro de contención en calle Paraíso.	117
Imagen # 46. Diseño y análisis del muro para el Ensueño con GAWAC 3.0	122
Imagen # 47. Parcheo de asfalto en área de rodamiento Avenida 29	124
Imagen # 48. Cálculo de coeficiente estructural para la carpeta subbase granular a2	132
Imagen # 49. Cálculo de coeficiente estructural para la carpeta subbase granular a3	132
Imagen # 50. Cálculo de coeficiente estructural para la carpeta asfáltica a1	133
Imagen # 51. Cálculo de valor SN1 = 1.60 para capa asfáltica D1.	134
Imagen # 52. Cálculo de valor SN2 = 2.07 para capa base granular D2.	135
Imagen # 53. Cálculo de valor SN3 = 2.43 para capa Subbase granular D3.	136
Imagen # 54. Resultado final de diseño de espesores de pavimentos para el proyecto el Ensueño.	137
Imagen # 55. Perfil del área de rodamiento para la vía del proyecto del Ensueño.	137

Tablas

Tabla # 1. Coeficientes de escorrentía por tipo de área o desarrollo.	34
Tabla # 2. Ubicación de estación 84111 según CRTM05.	35
Tabla # 3. Volúmenes de precipitación en milímetros para los períodos de retorno.	37
Tabla # 4. Diámetros y detalles para pozos pluviales.	50
Tabla # 5. Rangos de diámetros para tuberías para diseños pluviales.	50
Tabla # 6. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.	69
Tabla # 7. Valores para definición de desviación estándar normal.	69
Tabla # 8. Valores para definición de desviación estándar normal.	71
Tabla # 9. Factores camión por ruta Costa Rica.	73
Tabla # 10. Valores de factor de distribución direccional (DS).	73
Tabla # 11. Valores de factor de distribución por carril (LDF).	74
Tabla # 12. Clasificación de capacidad de drenaje.	78
Tabla # 13. Porcentajes de tiempo a lo largo de 1 año en saturación.	78
Tabla # 14. Determinación de espesores mínimos en pulgadas.	79
Tabla # 15. Cálculo de precipitaciones acumuladas y efectivas.	105
Tabla # 16. Capacidad y dimensiones de los pozos del sistema.	108
Tabla # 17. Diseño, distribución y capacidad de tuberías para el sistema.	110
Tabla # 18. análisis por bloque y segmento para el cálculo del momento resistente del muro (Mr).	118
Tabla # 19. Verificación global de bloques del muro de gaviones.	120
Tabla # 20. Cálculo final de ESAL'S para recarpeteo del proyecto el Ensueño.	130
Tabla # 21. Datos y valores requeridos para el uso de software para el diseño del proyecto.	134

Dedicatoria y agradecimiento

La culminación de nuevas metas y logros no se alcanza sin el apoyo incondicional de nuestros seres más cercanos y queridos. Solos logramos grandes cosas y unidos llevamos el mundo en nuestros hombros, por ello quiero dedicar este logro a Dios y mi fe en él, a mis señores padres, que siempre me han apoyado y son quienes ven mis logros como propios, a mi hija Emma, que es ella quien me impulsa a seguir adelante y ser un mejor hombre y, finalmente, a mi pareja, Paola, quien desde el inicio, sin su apoyo, paciencia y tolerancia esto no sería una realidad.

Resumen

El presente trabajo de investigación expondrá la propuesta necesaria para solventar los problemas de socavamiento y retención del terreno que se presentan en calle Paraíso de la comunidad del Bajo de los Molinos, en la provincia de Heredia, exactamente en el cantón de San Rafael y el distrito de San Josecito.

Como parte de la metodología utilizada, se realizaron visitas programadas al sitio y a proyectos en ejecución, logrando constatar que la causa real del problema se basa en una inadecuada canalización de las aguas pluviales, provenientes de la urbanización El Ensueño, a raíz de una infraestructura obsoleta e ineficaz, por lo que, para lograr una solución integral se propuso, inicialmente, un nuevo diseño para el sistema de desfogue pluvial que logra la disminución de la velocidad de flujo y la disipación de la energía causante del daño por socavamiento; posteriormente, se trabajó en el diseño de una estructura de contención eficaz, que permite la recuperación del área socavada, la seguridad vial y peatonal para los vecinos y, como etapa final, la propuesta para la reconstrucción de las vías que se verían afectadas durante las obras.

Se contó con el visto bueno de la Municipalidad respecto al abordaje del problema, logrando así una propuesta eficiente con la utilización de herramientas tecnológicas y el cumplimiento de la normativa vigente, facilitando la memoria de cálculo y los planos con los detalles técnicos y constructivos de cada una de las etapas propuestas.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La Municipalidad de San Rafael de Heredia, al igual que muchos de los gobiernos locales en Costa Rica, se enfrenta al constante deterioro de la red vial cantonal y toda su infraestructura complementaria, a causa de diversos elementos como la gran cantidad de automóviles que transitan en ella y fenómenos naturales que, poco a poco, le restan vida útil por acción de la erosión; es así que, como miembro activo de la comunidad herediana, en busca de la mejora de la provincia, el presente documento se delimitó geográficamente en este cantón.

Exactamente en el distrito San Josecito, entre la ruta cantonal 113 y la calle Paraíso en el barrio conocido como Bajo de los Molinos, en el mes de septiembre del año 2022, mientras el autor de esta tesis se dirigía hacia su casa de habitación, estuvo a punto de accidentarse en motocicleta a raíz de que se ha formado, durante los últimos años, un gran socavamiento de aproximadamente 8 metros de largo por 3 metros de profundidad en la vía, que ha limitado la libre circulación y ha comprometido la seguridad de los peatones y automóviles, sumado a que esta situación se agrava de forma exponencial en la temporada de lluvias.

La ubicación de este socavamiento está situada al borde de un afluente del Río Burío, mencionado informalmente por los vecinos de la zona como “Quebrada Los Molinos”, donde finalizan las tuberías de canalización de las aguas pluviales provenientes de la urbanización El Ensueño, de las cuales, en un trabajo de campo inicial, se determina primeramente que

estas tuberías no tienen la capacidad de desfogue necesario para poder canalizar y encausar correctamente el caudal de aguas llovidas, sumado a que la ubicación de estas tuberías no cumple con la normativa vigente del AyA, referente a la ruta, inclinación y profundidad que requieren, dando como resultado desbordamientos e inundaciones descontrolados en la infraestructura existente cuando se presentan fuertes lluvias, lo que agrava el problema del socavamiento antes mencionado.

¿Cómo recuperar el área socavada en la vía pública, por efectos de aguas de lluvia, y cómo solventar la inadecuada canalización de estas aguas, provenientes de la urbanización El Ensueño?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Elaborar una propuesta remedial, para la Municipalidad de San Rafael de Heredia, con un diseño para la contención y recuperación de la calle El Paraíso en el Bajo de los Molinos y la sustitución del sistema de tuberías pluviales existente en la urbanización El Ensueño para lograr dar una solución integral al socavamiento existente y la inadecuada canalización de aguas pluviales que lo causó.

1.2.2 Objetivos específicos

- Revisar, mediante trabajo de campo, las condiciones actuales de la infraestructura pluvial en el último cuatrimestre del 2022, para lograr definir, de manera actualizada, los requerimientos en los diseños a proponer.
- Plantear el proceso de sustitución del sistema de tuberías de aguas pluviales, estableciendo datos actualizados con un estudio hidrológico que determine las características requeridas para un nuevo diseño eficiente, que cumpla con la normativa vigente y proponga un desfogue óptimo de las aguas.
- Diseñar la propuesta que permita una solución de contención y recuperación del terreno socavado en la salida de desfogue de las tuberías del sistema pluvial en la quebrada tributaria del río Burío, estableciendo un diseño adecuado, para así lograr recobrar el área funcional de la vía pública vehicular y peatonal.
- Proponer un diseño estructural de pavimentos flexibles, que permita realizar el recarpeteo de las vías dañadas durante el proceso de mejoramiento del sistema de desfogue pluvial y la recuperación del área socavada.

1.3 Justificación del problema

La problemática del presente documento basa su importancia en que busca dar una solución a un problema real y actual que está afectando no solo la infraestructura vial de la comunidad del Bajo de los Molinos, sino también la seguridad de los usuarios que transitan la vía, ya que deben esquivar un gran hueco a causa del socavamiento de la vía, definiendo

claramente el propósito de brindar una intervención definitiva a largo plazo, que proyecte una solución de calidad y, finalmente, que asegure un diseño de desfogue efectivo, que no afecte a los vecinos ni a su posibilidad de transitar por las vías sin importar las condiciones climáticas.

Podemos observar diariamente que la red vial nacional se encuentra en una crisis a razón del deterioro y la falta de un buen mantenimiento, de esto destacamos que lograr solucionar esta problemática da un aporte social muy importante ya que no solo se estaría solucionando la ineficacia del sistema de desfogue pluvial, sino que brindaría nueva infraestructura vial.

1.4 Antecedentes

- **Diseño de tramo de 3583 metros, como segunda etapa de ruta 616 en Quepos, Costa Rica**

Nuestra primera referencia local se basa en un proyecto de tesis que también solventó una necesidad social requerida por una municipalidad nacional, en donde Halder Muñoz Peña, en el 2021, trabajó en una solución para la segunda etapa de la vía 616, con el tema titulado “Recurso de diseño de infraestructura vial y manejo pluvial de tramo de carretera 616 entre los pueblos de Londres y Sábalo de Quepos”.

Se reconocieron las fallas estructurales del diseño original de la ruta y se optimizaron en cuanto al tema de seguridad vial; este trabajo se referencia ya que los estudiantes también

trabajaron de manera que entregaron sus resultados al Comité de Cambios de la Asociación de Desarrollo de Londres de Quepos y a la Municipalidad de Quepos.

- **Solución de rediseño de alcantarillado pluvial en San Joaquín de Heredia, Costa Rica**

Se encontró un segundo trabajo de investigación basado en solventar deficiencias en diseños de alcantarillado pluvial, en donde en el 2021, Claudia Mesa Aristizabal presenta el tema: “Propuesta de rediseño del alcantarillado pluvial y pavimento de la calle la Rusia” en San Joaquín de Flores.

Esta investigación logra brindar una solución con diseños y propuestas para la reconstrucción total del sistema de alcantarillado pluvial y de la reconstrucción de la carpeta asfáltica de una comunidad herediana, como parte de una solución para la municipalidad de San Joaquín de Heredia, siendo una excelente referencia para la problemática de la presente investigación.

- **Investigación de los efectos del agua en la socavación de carreteras en Guanacaste, Costa Rica**

En el año 2022, Leyvin Andrés Méndez Leal expone en el trabajo con la temática titulada: “Estudio hidrológico e hidráulico en un tramo del río Santa Bárbara para la prevención de la socavación de las carreteras de Santa Bárbara de Santa Cruz, Costa Rica” cómo, por medio de un estudio hidrológico, se pueden obtener datos relevantes en criterios

de dimensionamiento y diseño de infraestructura que evite la erosión de las vías en la comunidad de Santa Bárbara, en Santa Cruz de Guanacaste.

En esta investigación, Méndez utiliza los datos de la estación meteorológica Hacienda Pinilla, utilizando métodos como distribución Gumbel, para la precipitación máxima en 24 horas en la zona, el modelo de Dick Peschke, para la generación de Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia, y el método de bloques alternos, para la obtención de hietogramas de precipitación, dando una referencia efectiva de los efectos del agua en el proceso de erosión de las carreteras de Costa Rica.

- **Estudio de intensidades de lluvia en la cuenca del río Virilla**

En el año 1994, Rafael Murillo Muñoz realiza un estudio del comportamiento de las intensidades de las lluvias obtenidas de varias estaciones meteorológicas del país, en donde se determinaron los volúmenes de precipitación para diferentes períodos de retorno, con el fin de poder caracterizar la distribución de la tormenta de diseño para los eventos externos. De esta forma, se logra mostrar una distribución temporal de la precipitación en varias estaciones que miden las precipitaciones que son encausadas posteriormente al cauce del río Virilla.

- **Estabilización de talud con un diseño de muro de contención en Nueva Segovia, Nicaragua**

En el año 2019, como parte de trabajos de investigación internacionales, que brindan una referencia de importancia , se encuentra que se realizó un proyecto para la estabilización

de un talud en una comunidad nicaragüense, titulado: “ Estabilización de talud en el barrio José Santos Rodríguez de la ciudad de Ocotol, Nueva Segovia”, en donde Kilmer Uriel Bellorín Rivera, Roger Esaí Pérez y Cristian Darío Gómez analizan cómo solucionar un problema de un talud que se dieron mediante los factores de erosión y escurrimientos superficiales, provocados por las lluvias torrenciales, y proponen un diseño de muro de contención de gaviones que sirva para evitar una falla en el talud debido a su tamaño, esto referencia una opción en cuanto a una solución a los socavamientos por medio de muros de contención, utilizando gaviones.

- **Solución para sistema de alcantarillado sanitario, pluvial y pavimentación en Villa Nueva, Guatemala**

Para la segunda referencia internacional se nombra el trabajo realizado por Néstor Ferdinando Mérida Santizo, con la temática “Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, pluvial y pavimentación para el asentamiento Carmen del Monto, Zona 2, Bárcena, Villa Nueva” en Guatemala.

Mérida trabajó en el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial de 3 510 metros de tubería PVC, 104 pozos de visita y 172 tragantes de agua pluvial, donde proporcionó el presupuesto y evaluación ambiental para cada uno de los sistemas de drenaje y una segunda etapa para el diseño, planificación, presupuesto y evaluación ambiental de la pavimentación, situación que refleja una relación familiar con los objetivos que se plantearon anteriormente.

- **Plan para construcción del sistema de alcantarillado de la Universidad de San Carlos, Guatemala**

En la tercera referencia, valorada fuera de Costa Rica, se encuentra que Jenny Verónica Pérez Contreras desarrolla la descripción del proceso constructivo en el sistema de alcantarillado del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fase I, donde como parte del trabajo identifica los tipos de estudios que se realizaron durante el proceso y registra la metodología de construcción de los pozos y colectores realizados para el alcantarillado, siendo una referencia notable del orden correcto para un proceso de construcción de tuberías y proceso de alcantarillados.

1.5 Proyecciones

Alcances

- El presente documento se enfoca en brindar mejoras que tienen el propósito de evitar problemas de inundaciones y fallas en el sistema pluvial, que afecten la calidad de vida de los habitantes de la zona y prevengan posibles afectaciones a propiedades vecinas, para así brindar un aporte significativo a la comunidad de San Rafael de Heredia, en donde se busca entregar, al departamento de ingeniería de la Municipalidad, una propuesta con los elementos necesarios para que, posteriormente, por medio de una licitación pública, se proceda a realizar la correspondiente adjudicación para la ejecución del proyecto en el 2023, como lo estipula la Ley de

Contratación Pública de Costa Rica, siendo así que con el resultado de esta investigación el gobierno local cuente con un primer estudio y análisis de los problemas que están afectando y ocasionando los daños y riesgos en sus vías.

- Propuesta de diseño para la sustitución de tuberías en donde, por medio de un estudio hidrológico, se puedan definir todas las características necesarias de la nueva infraestructura.
- Suministro del diseño para un muro de contención y recuperación de vía, tomando en cuenta todas las regulaciones municipales, y que permita dar una solución definitiva al problema.
- Cálculo y diseño necesario para el recarpeteo con pavimentos flexibles para reparar las vías intervenidas en los alcances planteados.

Limitaciones

- Inicialmente, para lograr una estimación real a los resultados de este proyecto, se dependerá, en parte, de la información que brinde la Municipalidad, entendiéndose que no existen planos de la situación de la infraestructura actual del sistema de desfogues pluviales, dando como resultado que el inventario obtenido se basa meramente en la observación y supuestos, ya que tampoco se realizó ningún tipo de prueba o medición de escorrentía o dirección de las aguas.
- De igual forma, se establece que, por ser un trabajo de investigación académico, no se cuenta con acceso a la contratación formal de estudios de suelo, estudios hidrológicos, estudios de la calidad del agua y el levantamiento topográfico necesarios, por lo que

los conceptos se aplicarán con datos generales y herramientas académicas para modelar y analizar datos.

- El trabajo de investigación se limitó plenamente a la intervención de la infraestructura de la calle 15 A hasta la intersección con Avenida 29, siguiendo la Avenida 29 hacia el este hasta la intersección con calle el Paraíso y de ahí el tramo de vía hasta el área socavada, esto ya que es ahí donde se determina la ubicación de las tuberías principales del sistema.
- El patrón y los volúmenes de escorrentía superficial de las áreas tributarias de la urbanización El Ensueño se estimaron a partir del uso actual de la tierra, utilizando información y fotografías aéreas de Google Earth y del Instituto Geográfico Nacional. Por lo tanto, los volúmenes de escorrentía superficial estimados son válidos mientras no se presenten cambios en el uso de la tierra, que generen una alteración de éstos.
- El plan de recarpeteo no consiste en un nuevo diseño vial, ya que se basa en el proceso de reparación del tramo de vía impactado por la sustitución del sistema de desfogue y el relleno del socavamiento.
- No se pasará a etapa de ejecución debido a que esta correspondería a la Municipalidad de San Rafael, por medio de una licitación pública como lo exige la ley, sumado a que lo que se pretende, dentro de las limitaciones de la presente investigación, es brindar una propuesta basada en conocimientos y aplicaciones dentro del rango de la carrera de ingeniería civil.
- Los estimados de presupuestos de las etapas y objetivos del presente documento se basarán en datos de precios y servicios obtenidos por medio de consultas y solicitudes, no estará de por medio ningún proceso de licitación o negociación de

precios y no incluye la estimación de costos directos e indirectos, a razón de que estos se deben estimar los más cercano posible a la etapa real de ejecución, por su variabilidad.

- La propuesta definida para la solución de contención y recuperación de terreno se realizará tomando como mediciones de seguridad para el muro propuesto los factores de volcamiento y deslizamiento, ya que, a falta de estudios de suelo, se asume, a nivel académico, que los suelos y capacidad soportante de estos son los estipulados por parte del mapa de tipo de suelos del Código de Cimentaciones de Costa Rica.
- Los cálculos resultantes para la estructura de pavimentos flexibles utilizan la metodología AASTHO-93, la cual, a pesar de ser ampliamente usada en Costa Rica, cuenta con una serie de limitaciones documentadas que no aseguran un 100% de confiabilidad en los resultados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Para lograr enfocar todos los aspectos de relevancia en el desarrollo de ideas y tener una base sólida para respaldar los análisis que brindará esta investigación, se debe fundamentar el conocimiento en literatura formal.

Una manera muy particular de definir cómo un marco teórico es aplicado en una investigación, es mencionada por William Daros, el cual refiere que “encuadra una pintura, la ubica, la contiene, le da un centro, la hace relevante. Análogamente, un marco teórico es lo que encuadra, contiene, ubica y hace relevante el sentido del problema. Una teoría, en cuanto permite describir, comprender, explicar e interpretar los problemas, les da a los mismos un marco.”. (2002, p.80)

2.1 Datos generales del cantón de San Rafael de Heredia

Desde el año 1885, es catalogado oficialmente el cantón número 5 de la provincia de Heredia, y está ubicado exactamente en las coordenadas geográficas dadas por 10°03'45" latitud norte y 84°05'00" longitud oeste, con una extensión territorial de 48.39 km² y una altitud media de 1661 msnm.

Se encuentra dividido en 5 distritos: San Rafael, como su cabecera de cantón, San Josecito, Santiago, Los Ángeles y Concepción, siendo de especial interés para la presente investigación el distrito de San Josecito, como se muestra en la Imagen #1 a continuación.

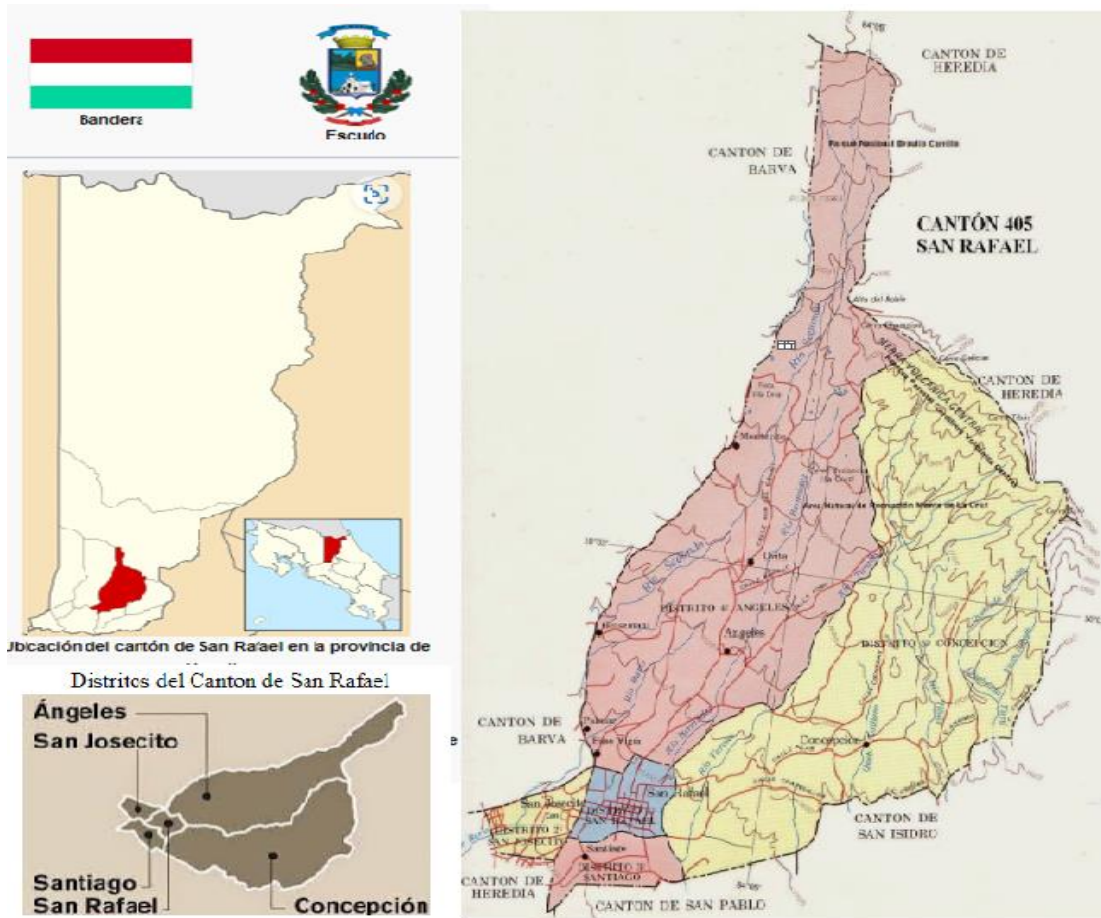


Imagen # 1. Mapas del cantón de San Rafael de Heredia CR
 Fuente: <https://mapasdecostarica.blogspot.com>

Este cantón cuenta con un gobierno local o Municipalidad, compuesto por una Alcaldía, la cual está liderada actualmente por el señor Verny Valerio Hernández.

Al mismo tiempo, existe un consejo municipal compuesto por el alcalde, 2 vicealcaldes y 14 regidores municipales, de los cuales 7 son miembros propietarios y los otros 7 regidores suplentes.

Igualmente, existe un consejo de distrito compuesto por 10 miembros, todos bajo la figura de síndicos, de los cuales 5 son propietarios y los otros 5 rigen como suplentes.

Recuperado (<https://www.munisrh.go.cr>).

2.2 Categorización de calles y vías en Costa Rica

La infraestructura vial de Costa Rica está compuesta por una serie de elementos de los cuales pueden mencionarse carreteras constituidas por una capa de rodamiento en pavimentos, laste, tierra o incluso arena en algunas áreas costeras del país, puentes, aceras y todos los elementos que constituyen los sistemas de desfogue de las aguas de lluvia que desaguan en las vías.

Toda esta infraestructura constituye para el país una gigantesca inversión que mantiene la economía en movimiento, al ser la responsable de brindar una forma de comunicación territorial entre todas las zonas y provincias del país. Es entonces que, si por alguna razón las vías y su estado se ven deterioradas o incluso interrumpidas, el impacto económico y social a nivel país es catastrófico.

Incluso en años anteriores, cuando se han presentado eventos naturales como tormentas tropicales o huracanes y terremotos, los gobiernos de turno se han visto en la necesidad de declarar emergencia nacional al verse incomunicadas comunidades dentro del territorio nacional.

Es entonces que la categorización de vías define cuáles vías tienen prioridad sobre otras para ser intervenidas.

“Las categorías asignadas a las vías obedecen a algún sistema de clasificación basado en un propósito (propósito diseño en este caso, pero también podría ser mantenimiento, administración del sistema vial, financiamiento, etc.)”. (Dobles, 2006, p.122)

Sin embargo, dentro de la legislación costarricense, las vías han sido divididas de tal forma que sean distintas instituciones las encargadas de darles mantenimiento, hacer reparaciones o incluso crear nuevas rutas.

Las rutas con mayor prioridad son definidas como rutas nacionales o de travesía, estas rutas contemplan las principales vías del país, que son las que soportan la mayor carga de tránsito, como autopistas, vías provinciales y las denominadas “calles principales” en los poblados.

Estas carreteras están a cargo del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) y del Consejo Nacional de Viabilidad (CONAVI), quienes son los responsables directos de su mantenimiento.

El resto de las vías se consideran vías cantonales, por ser vías de menor flujo vehicular, y su intervención está a cargo de las municipalidades o gobiernos locales.



Imagen # 2. Sección de vía nacional ruta 32, con impacto por la tormenta Julia, octubre 2022
Fuente: <https://conavi.go.cr>

En muchas ocasiones no se ha tenido claro si una vía es catalogada como nacional o cantonal, lo cual provoca problemas entre estas instituciones y deja sin el mantenimiento requerido a la vía y, como resultado, se encuentran carreteras en muy malas condiciones.

Con el fin de que los usuarios tengan una opción sencilla y de fácil acceso para consultar la categorización de las carreteras que conforman la red vial costarricense, el Ministerio de Obras Públicas y Transportes habilitó en su sitio web un mapa interactivo donde los interesados pueden visualizar dicha información.

El mapa destaca en color rojo las rutas nacionales y en negro las rutas de travesía. Ambos tipos de vía son atendidos por el MOPT o por el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Si la ruta no se destaca con algún color es porque pertenece a la red vial cantonal, por lo que su atención les corresponde a las municipalidades. Esto puede ser observado en la Imagen #3 a continuación. Recuperado (<http://www.mopt.go.cr>)

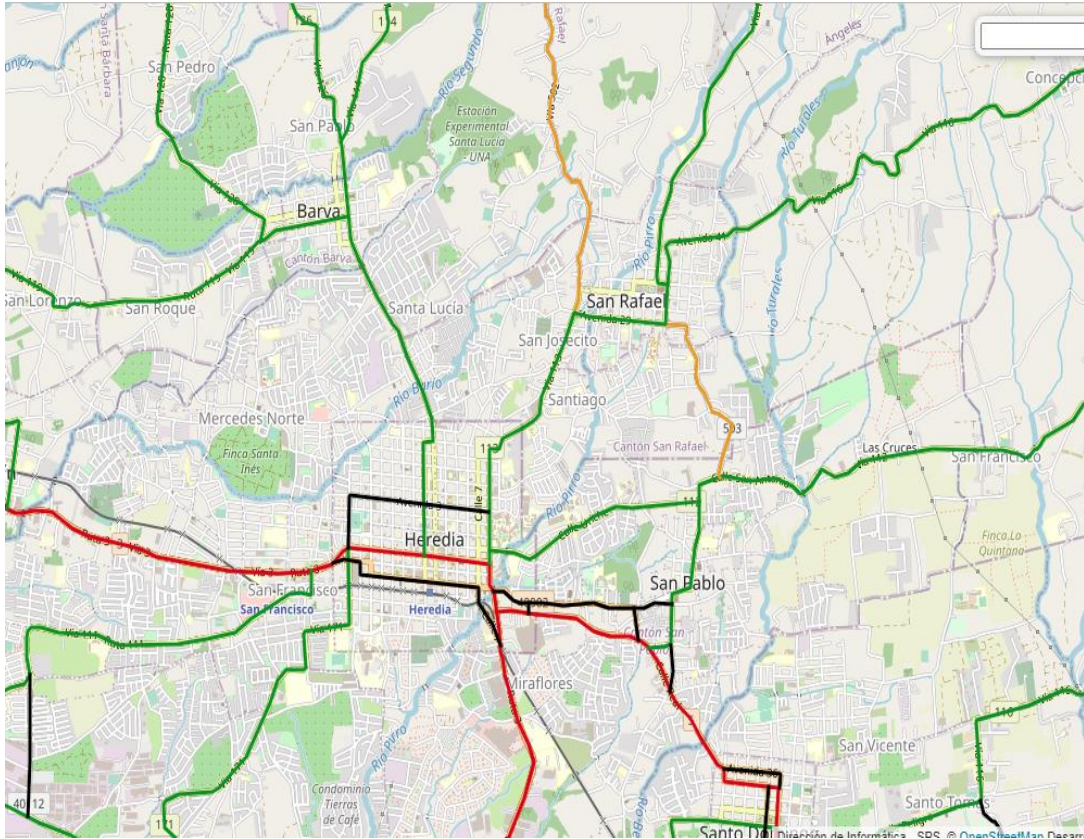


Imagen # 3. Mapa de la Red Vial Nacional según su categorización

Fuente: www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/informacionrelevante/planificacion/consultaRVN

2.3 Levantamiento topográfico

El primer aspecto que se debe tener en cuenta para la elaboración de un proyecto se basa en conocer con precisión las características de la zona o el terreno en donde se desea trabajar, es entonces que por medio de un proceso realizado, preferiblemente, por un ingeniero topógrafo, se hace un informe o levantamiento que brinda una representación gráfica exacta de las características físicas del terreno, se generan curvas de nivel y se muestran todos aquellos elementos que intervienen y modifican la topografía, como depresiones, montañas, ríos, entre otros.

En Costa Rica se utiliza el sistema de coordenadas horizontales llamado Costa Rica Transversa Mercator 05 (CRTM05), el cual es el marco de referencia para todos los trabajos topográficos, cartográficos, geodésicos y catastrales que tengan carácter oficial en el país.

“El sistema de coordenadas de cuadrícula para Costa Rica se basa en la proyección del elipsoide de referencia WGS84 a un plano cartográfico tipo Gauss-Krüger, denominado CRTM05 y se constituye en el sistema oficial para todo el país. Se define el meridiano 84° longitud Oeste como meridiano central de la proyección conforme Transversal Mercator. Se debe introducir un falso este al origen, cuyo valor es 500 000,000 m, para tener siempre coordenadas positivas. El origen de la coordenada Norte es el paralelo de latitud 0° (el Ecuador), medido de forma positiva hacia el Norte y con un falso norte de 0,000 m. Para equilibrar la distorsión lineal se aplica un factor de escala general de 0,9999, con lo cual, la longitud del meridiano central se proyecta reducido en el plano con dicho Factor.”. Recuperado de (Captura, Gestión y Difusión de Datos Geoespaciales: El Caso de Costa Rica)

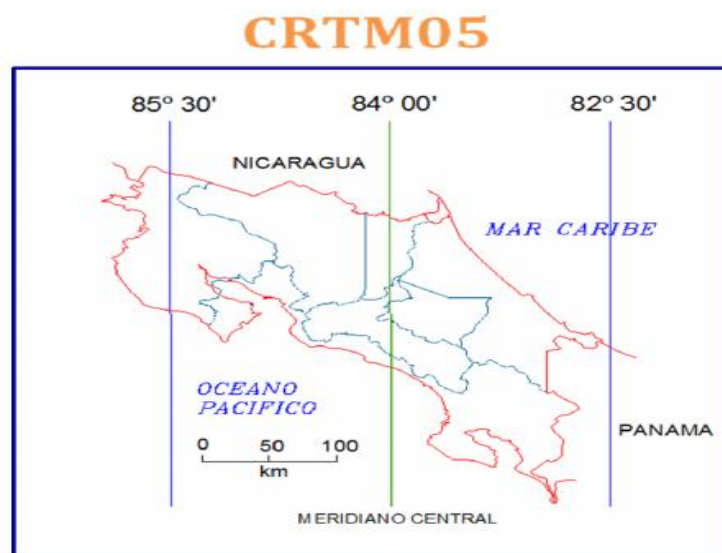


Imagen # 4. CRTM05

Fuente: Captura, Gestión y Difusión de Datos Geoespaciales: El Caso de Costa Rica del Instituto Geográfico Nacional.

2.4 Estudios de suelo

Al igual que un levantamiento topográfico, se suma la importancia de conocer, además de las características del terreno, sus cualidades geotécnicas.

El lograr comprender y conocer de antemano estas cualidades de tipos de suelo permite que el diseño que se proponga tenga ya en cuenta cuál será el posible comportamiento de los suelos. Lo que se busca es evitar que se presenten casos como asentamientos o movimientos del terreno y, por ende, daños en la infraestructura.

Entre los tipos de suelos en Costa Rica, pueden mencionarse los siguientes:

- Arcillas de alta expansividad: las cuales poseen las características de que al tener cambios en su humedad pueden generar presiones de hasta 700 kPa por hinchamiento.
- Limos de baja resistencia: que poseen la característica de que, ante saturación de aguas, fallan y provocan movimientos.
- Rellenos artificiales: los cuales suelen ser inadecuados al análisis de estabilidad, pueden tener una preparación deficiente del terreno y un escaso o nulo control de calidad.
- Suelos granulares finos de baja densidad: suelen presentar problemas de licuefacción y tienden a asentarse durante eventos sísmicos, debido a la vibración.
- Suelos tixotrópicos: son suelos muy susceptibles a las vibraciones.

Recuperado de (Código de Cimentaciones de Costa Rica Geográfico Nacional)

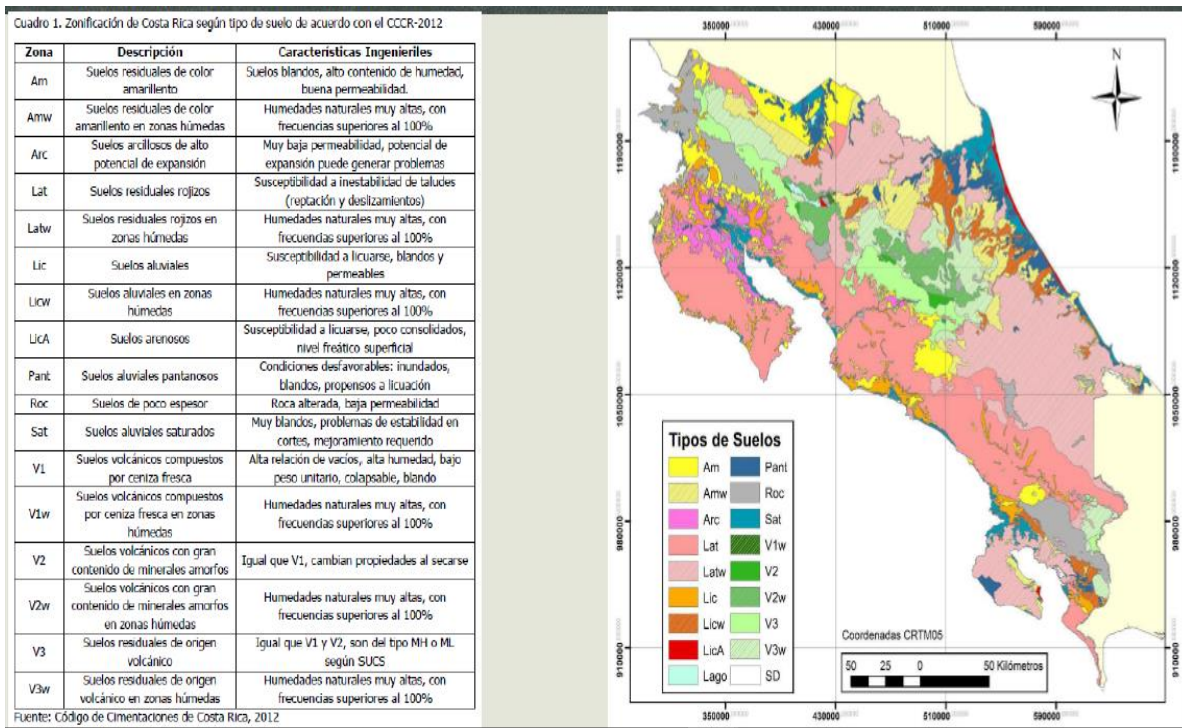


Imagen # 5. Tipos de suelo de Costa Rica.
Fuente: Código de Cimentaciones de Costa Rica Geográfico Nacional

2.5 Hidrología y sistemas de drenajes pluviales

En cualquier desarrollo urbano, en donde se realizan proyectos destinados al uso de las personas para vivienda o comercio, deben existir datos claros de cómo es que se impactan las cuencas hidrológicas en dicha zona.

Según se menciona en el Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en Centroamérica (SIECA): “El análisis hidrológico de la cuenca constituye un importante paso previo al diseño de las estructuras de drenaje en carreteras, ya que estas se diseñan para drenar determinados caudales que evitan posibles afectaciones a las infraestructuras o al entorno”.

“La hidrología es la ciencia que estudia las características y la distribución del agua en la atmosfera, en la superficie de la tierra y en el terreno, el ciclo hidrológico puede considerarse uno de sus principales conceptos básicos; en este, las precipitaciones son la causa del flujo en los ríos”.

Entonces puede definirse que la modificación de las redes de drenaje pluvial que recolectan y distribuyen el proceso de encausamiento de las lluvias no debe afectar la capacidad de desagüe hacia los ríos y evitar inundaciones.

2.5.1 Análisis de caudales por medio del método racional

El método racional simplificado es el recomendado en por parte del CFIA para calcular los caudales máximos que se encausarán en los drenajes y tuberías, siempre y cuando el área de estudio sea menor a 100 hectáreas, utilizando la siguiente ecuación.

Ecuación #1

$$Q = (C * I * A) / 360$$

Q: Caudal de escorrentía (m³/s)
I: Intensidad de la lluvia de diseño (mm/hora) A: Área a drenar (hectáreas)
C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

El coeficiente de escorrentía (C) es un valor que indica cuánta agua, del total que cae, escurre hacia los sistemas que se quieren diseñar, y puede darse con la utilización de la siguiente tabla:

Tabla # 1. Coeficientes de escorrentía por tipo de área o desarrollo

TIPO DE ÁREA C	
Techos de edificios	0.80-0.95
Pavimentos de asfalto o concreto	0.70-0.95
Pavimentos de ladrillo	0.70-0.80
Suelos cubiertos de pasto:	
Pendientes de 2% o menos	0.05-0.10
Pendientes de 2 a 8%	0.10-0.16
Pendientes de 8% o más	0.16-0.20
Suelos arcillosos cubiertos de pasto	
Pendientes de 2% o menor	0.10-0.16
Pendientes de 2 a 8%	0.17-0.25
Pendientes de 8% o más	0.26-0.36
TIPO DE DESARROLLO C	
Comercios urbanos	0.70-0.95
Oficinas comerciales	0.50-0.70
Casas unifamiliares	0.30-0.50
Condominios	0.40-0.60
Apartamentos	0.60-0.80
Residencias suburbanas (parcelas agrícolas)	0.25-0.40
Parques y cementerios	0.10-0.30

Fuente: Norma técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. AyA, 2017

2.5.2 Intensidad de las lluvias y período de retorno

La intensidad de las lluvias se refiere al dato que determina la cantidad de precipitación calculada en función del período de retorno de la red de diseño.

El período de retorno se refiere al tiempo promedio que define a cuánto tiempo se especifica un diseño determinado.

Según menciona la Norma Técnica para Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (AyA, 2017), la intensidad de las lluvias se calcula con un período de retorno mínimo de 10 años.

Igualmente, se cita que “utilizar gráficas o curvas cuya información aplique para la zona de influencia del proyecto y esté sustentada por un ente competente a nivel nacional. En el caso de los cálculos del proyecto a trabajar, se utilizarán las Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas, de Nazaret Rojas Morales”. (MINAET, IMN, 2011)

2.5.3 Recolección de datos de precipitaciones en estaciones pluviográficas en Costa Rica

Para lograr aplicar la teoría en sistemas de desfogue pluviales, es necesario tener los datos de las precipitaciones en la zona del proyecto.

En Costa Rica existe una serie de estaciones pluviográficas que miden las precipitaciones que afectan las distintas cuencas hidrográficas del país.

Para la zona de estudio, la más cercana es la estación medidora de precipitación 84111, ubicada en Santa Lucía de Heredia, la cual se encuentra en las instalaciones de la Universidad Nacional (UNA), exactamente a 1.5 km de la zona de desfogue del sistema pluvial de la urbanización, de la cual se logra obtener los siguientes datos.

Tabla # 2. Ubicación de estación 84111 según CRTM05

Estación	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
84111 Santa Lucía (UNA)	487182.302	1107566.629

Fuente: CRTM05.

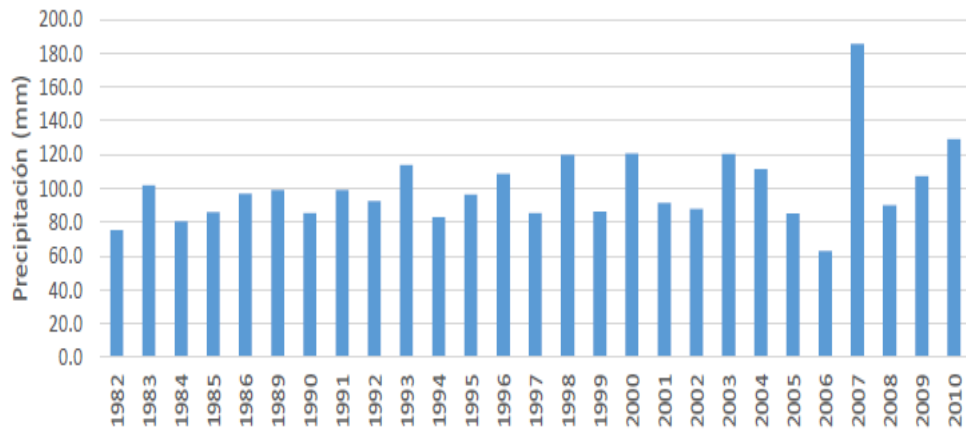


Imagen # 6. Registro anual de máximas precipitaciones diarias de 1982 y 210
 Fuente: Estación 8411 Santa Lucía, Instituto Meteorológico Nacional

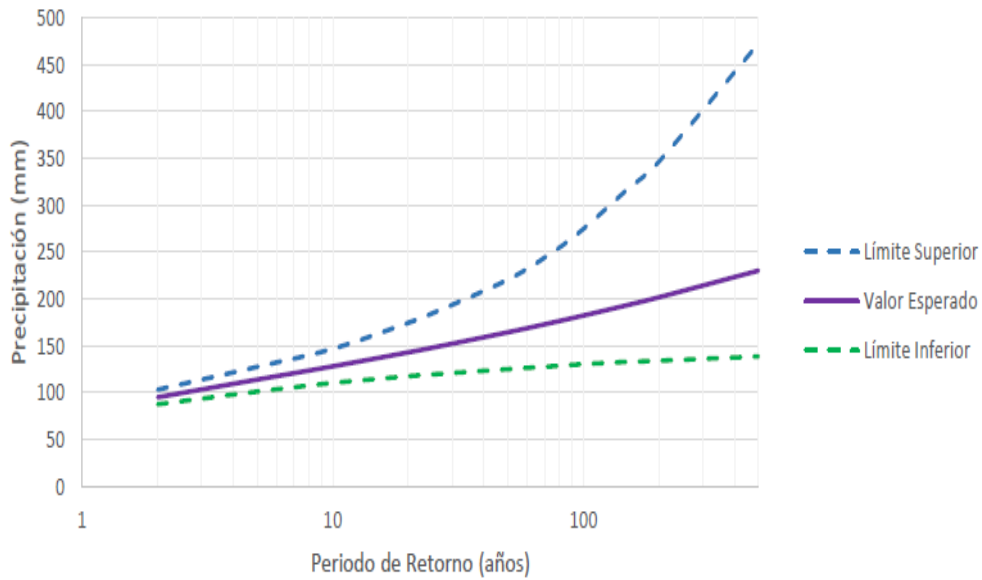


Imagen # 7. Curva de distribución de valores extremos generalizados
 Fuente: Estación 8411 Santa Lucía, Instituto Meteorológico Nacional

Tabla # 3. Volúmenes de precipitación en milímetros para los períodos de retorno

Período de Retorno (años)	Límite inferior $\alpha=95\%$	Valor Estimado	Límite inferior $\alpha=95\%$
2	87.8	94.9	103.2
25	119.4	147.9	184.8
50	124.9	164.4	220.7
100	130.3	182.3	274.8

Fuente: Estación 84111 Santa Lucía

2.5.4 Modelado Hidrológico de pérdidas SCS o del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de los Estados Unidos

Como parte de los datos necesarios para poder definir los diseños del sistema de desfogue pluvial, es muy importante conocer la cantidad real de agua que llueve, cuánta de esa agua se pierde en el terreno, ya sea por infiltración, evaporación, empozamiento, entre otros, y finalmente, obtener lo que se llama precipitación efectiva o precipitación neta, que sería el agua que llegará al sistema de desfogue.

“El U.S. Soil Conservation Service (USSCS) desarrolló hietogramas sintéticos empleando la información presentada por Hershfield en 1961 y Miller et al en 1973. Estos hietogramas son para precipitación de 24 horas y propone 4 distribuciones: Tipo I, IA, II, y III. Las distribuciones son propuestas en base al patrón de precipitación para 4 zonas de EE.UU., motivo por el cual es el método más usado en EEUU”. (García, 2006, p.25)

Características del modelo

Este modelo, principalmente, relaciona el valor acumulado de la precipitación efectiva con el valor acumulado de la precipitación total, esto lo hace tomando en cuenta un valor empírico llamado número de curva (CN).

El número de curva trabaja y se calcula en función de los siguientes elementos:

- Uso de la tierra (pastizal, cultivo, bosque y urbano, entre otros).
- Tipo de cobertura.
- Tipo de suelo.
- La condición hidrológica del terreno.

A: Muy permeable (arenas con poco limo y arcilla).

B: Permeable (arenas finas y limos).

C: Impermeable (arenas muy finas, limos, suelos con alto contenido de arcillas).

D: Muy impermeable (arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes de roca sana: suelos muy impermeables).

Recuperado de (Código de Cimentaciones de Costa Rica Geográfico Nacional).

- La condición de humedad antecedente (CHA):

CHA I: Suelos secos.

CHA II: Estado intermedio.

CHA III: Suelos húmedos.

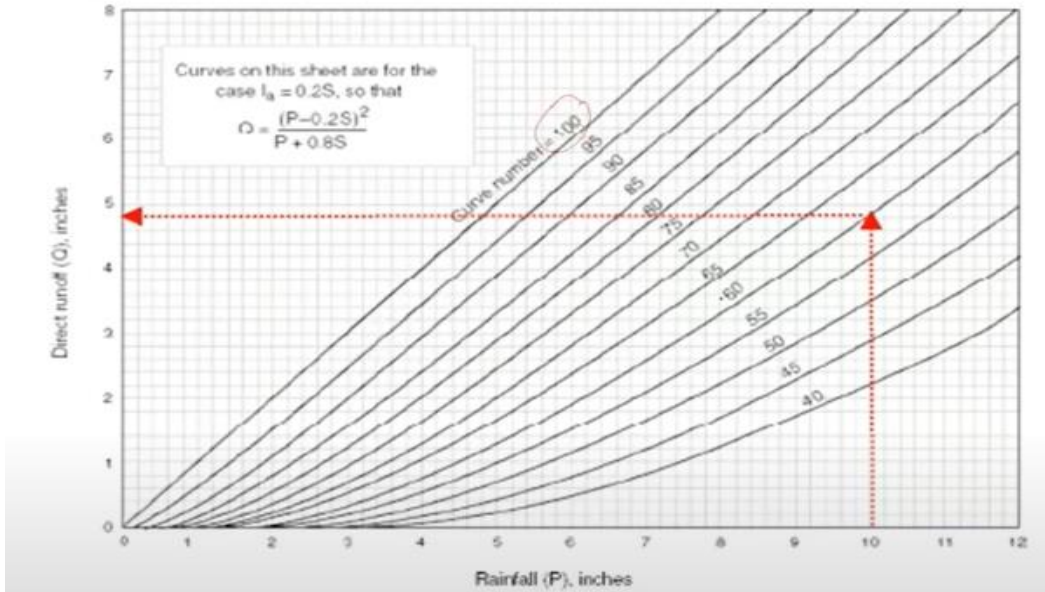


Imagen # 8. Cuadro para cálculo de CN
 Fuente: <https://www.nrcs.usda.go>

Uso del Suelo		Grupo Hidrológico del Suelo				
		A	B	C	D	
Tierras cultivadas	con tratamiento de conservación	72	81	88	91	
	sin tratamiento de conservación	62	71	78	81	
Pastizales	Condición pobre	68	79	86	89	
	Condición buena	39	61	74	80	
Praderas		30	58	71	78	
Bosques	Cubierta pobre	45	66	77	83	
	Cubierta buena	25	55	70	77	
Espacios abiertos: con césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Buena condición: cubierta de pastos sobre más del 75% del área	39	61	74	80	
	Condición aceptable: cubierta de pastos sobre el 50 a 75% del área	49	69	79	84	
Áreas comerciales y de tiendas (85% impermeable)		89	92	94	95	
Zonas industriales (75% impermeable)		81	88	91	93	
Zonas Residenciales	Tamaño medio de la parcela (m ²)	Promedio de % impermeable				
	500	65	77	85	90	92
	1000	38	61	75	83	87
	1350	30	57	72	81	86
	2000	25	54	70	80	85
Tejados, parkings, superficies impermeables en general	4000	20	51	68	79	84
	Pavimentadas, con bordillos y bocas de tormenta		98	98	98	98
	Calles y carreteras	De grava	76	85	89	91
		De tierra	72	82	87	89

Imagen # 9. Valores para CHA II para determinar CN
 Fuente: <https://www.nrcs.usda.go>

Para el modelo SCS, la precipitación efectiva se calcula en base primaria con la siguiente formula:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

- P_e : precipitación efectiva acumulada
- I_a : pérdida inicial por intercepción y encharcamiento
- P : precipitación acumulada de la tormenta
- S : valor potencial máximo de retención de humedad en el área de drenaje

El valor potencial máximo de retención de humedad en el área de drenaje se calcula por medio de la siguiente formula:

Ecuación #2

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

- S : valor potencial máximo de retención de humedad del área de drenaje
- CN : número de curva

Cuando se hace el cálculo del valor de S , es muy importante entonces saber que el valor que se le asigne al número de curva (CN) tendrá impacto directo sobre el comportamiento de los suelos.

Caso extremo 1: si se utiliza un número de curva de 100, el valor potencial máximo de retención de humedad tomaría un valor de 0, implicando así que el volumen total de precipitación efectiva es igual al volumen total de precipitación, lo que da como conclusión que la cuenca no tiene capacidad de retención de humedad y, por lo tanto, todo lo que precipita escurre.

Caso extremo 2: si se utiliza un número de curva 0, hace que el valor potencial máximo de retención de humedad sea infinito, por lo que entonces la capacidad de retención de humedad de la cuenca es infinita y no se presenta escorrentía superficial, es decir, no llega

agua a los sistemas porque las pérdidas significan el 100% de lo precipitado, por efectos de interceptación, infiltración y encharcamiento; por lo tanto, el volumen de escorrentía se puede calcular en general para cualquier área de drenaje utilizando un número de curva que se encuentre entre 0 y 100.

Es muy importante aclarar que esta fórmula únicamente es válida mientras el valor de la precipitación total (P) sea mayor a las pérdidas (Ia).

Para este modelo se toman en cuenta las pérdidas iniciales que se dan por encharcamiento y se calculan de la siguiente manera:

Ecuación #3

$$I_a = cte \times S$$

- I_a : pérdida inicial por interceptación y encharcamiento
- cte: constante que tiene un rango entre 0,18 y 0,35 (usualmente se utiliza 0,2)
- S: valor potencial máximo de retención de humedad del área de drenaje

Esto resulta entonces en que la fórmula original de P_e se determine así:

Ecuación #4

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

- P_e : precipitación efectiva acumulada
- P: precipitación acumulada de la tormenta
- S: valor potencial máximo de retención de humedad en el área de drenaje

“Los hietogramas a emplear en un modelo hidrológico distribuido pueden ser hietogramas reales o hietogramas hipotéticos. Los hietogramas reales se obtienen a partir de información registrada directamente en campo por las estaciones meteorológicas, mientras que los hietogramas hipotéticos o sintéticos son elaborados en base a tormentas de diseño. Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación para ser usado en el diseño de un

sistema hidrológico. Generalmente se emplean como dato de entrada en el análisis de modelos hidrológicos distribuidos.”. (García, 2006, p.55)

2.5.5 Sistema de modelación Storm Water Management Model (SWMM)

El Storm Water Management Model (SWMM), de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de Norte América (EPA), fue desarrollado inicialmente en 1971 y es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones que simula escorrentía, transporte y calidad de agua evacuada en drenajes urbanos.

2.5.6 Reglamentación para sistemas pluviales por parte de la Norma Técnica para Diseño y Construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA, del año 2017

En Costa Rica, todas las obras relacionadas con infraestructura de uso civil deben tener una institución que las fiscalice y que sea la encargada de atenderlas para mantenimientos e intervenciones que aseguren su correcto funcionamiento.

En el caso del tema de tratamiento de aguas, es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) el que posee la delicada tarea de velar por la distribución de agua potable de forma segura y constante a la población, el que define las normas de cómo se deben tratar las aguas de los acueductos sanitarios y, finalmente, quien define qué es lo que se debe cumplir en cuanto al manejo de las aguas de lluvia y su canalización.

“Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país.”. Recuperado (<http://www.aya.go.cr>).

Es entonces que debe entenderse que esta institución tiene en sus manos una de las tareas más importantes para efectos de salud pública del país, y que es la que determina cuál es la normativa gubernamental que se debe cumplir en los diseños de los sistemas de distribución y canalización de aguas; sin embargo, en Costa Rica se pueden encontrar casos donde la normativa no fue aplicada debido a que las obras preceden a su publicación y legislación o a la falta de fiscalización de obras por contrato, esto ocasiona que, para saber el estado de la infraestructura, deberá hacerse un proceso de testeo.

En ocasiones, cuando se han planeado correctamente proyectos de obras para tuberías de aguas, se detectan inconsistencias y tuberías mal ubicadas o instaladas, las cuales se deben corregir antes de continuar con el proyecto, lo que ocasiona el encarecimiento y provoca atrasos en los tiempos de ejecución.



Imagen # 10. Trabajos de localización, excavación y sustitución de tubería Asada San Pedro de Barva
Fuente: Propia, 2022

2.5.6.1 Áreas tributarias

Este apartado se realiza con el uso de hojas cartográficas, levantamientos topográficos y curvas de nivel; además de visitas al sitio y uso de *software*.

“se debe presentar el detalle de las áreas tributarias y correspondiente distribución espacial considerando aportes externos al proyecto”. (AyA, 2017)

2.5.6.2 Tiempos de concentración

Es referido como el tiempo necesario para que las diversas subcuencas aporten agua de escorrentía al punto de desfogue.

Ecuación #5

$$T_c = 56.77 * (L^{1.155} / h^{0.385})$$

tc: tiempo de concentración (min).

L: longitud de cauce principal (km).

h: diferencia de elevación entre puntos extremos de cauce principal (m)

2.5.6.3 Período de retorno

Es referido como el tiempo promedio en el que un evento específico puede ser igualado o superado, determinado para este diseño. Por lo general, se toman 5, 10, 25 o 50 años.

2.5.6.4 Velocidad en tuberías a gravedad o canal abierto

“Se establece una velocidad mínima entre pozos de registro pluvial de 0.60 m/s, con una fuerza tractiva mínima de 0.10 Kg/cm² (1 Pa) con capacidad del 85% de la tubería.

La velocidad máxima será de 5.0 m/s entre pozos, con una excepción de velocidades hasta 7.0 m/s en el tramo final hacia cabezal de desfogue.”. (AyA, 2017)

2.5.6.5 Tirante hidráulico máximo en tuberías a gravedad o canal abierto

Se indica como máximo un valor del 0.85 del diámetro interno de la tubería.

2.5.6.6 Cálculo hidráulico en tuberías a gravedad o canal abierto

Todas las tuberías se deben diseñar como conductos circulares de escurrimiento libre, por gravedad, con las fórmulas de canal abierto, estableciendo las dimensiones óptimas de las tuberías en una red de evacuación de aguas pluviales.

Ecuación #6

$$V = (R^{2/3} * S^{1/2}) / n$$

V: Velocidad (m/s)
R= Radio hidráulico (m)
S= Pendiente del fondo de la estructura (m/m)
n= Coeficiente de rugosidad de Manning

Ecuación #7

Tiempo de recorrido.

Tr: tiempo de recorrido, en s. D: distancia del tramo, en m.

$$Tr = D / (60 * V_{tll})$$

V_{tll}: velocidad a tubo lleno; m/s.

Ecuación #8 y #9

Caudal máximo en una tubería abierta y fuerza tractiva.

$$Q(h) = \frac{1}{n} A(R(h))^{2/3} \sqrt{S}$$

Q: Caudal máximo

A: Área mojada del tubo

R: Radio hidráulico

V: Velocidad media del agua

S: Pendiente

$$\tau = \gamma * R_h * S$$

τ : Fuerza tractiva del agua

γ : Peso específico del agua

Rh: Radio hidráulico

S: Pendiente

2.5.6.7 Continuidad de las tuberías

“No se acepta la reducción de diámetros en la dirección del flujo, igualmente en pozos de registro la tubería de salida no debe ser igual o mayor a la de entrada de mayor diámetro”.

(AyA, 2017)

2.5.6.8 Diámetro mínimo

“El diámetro nominal mínimo para tuberías plásticas con “n” de Manning inferior al del PVC, deben ser de 375 mm con tuberías de PEAD o concreto, el diámetro nominal mínimo asciende a 400 mm; siendo los diámetros internos los indicados en fichas técnicas de fabricantes. En la unión entre tragantes y pozos se deben instalar tuberías de diámetro nominal de 300 mm en tragantes de una parrilla y de 400 mm en tragantes dobles y triples”.

(AyA, 2017)

2.5.6.9 Pendientes máximas y mínimas

Las pendientes están relacionadas directamente con el diámetro obtenido de la tubería.

Ecuación #10

$$V = 1/n * (D/4)^{2/3} * S^{1/2}$$

V: velocidad a tubo lleno en m/s.

n: “n” de Manning, según el material a emplear.

D: diámetro nominal de tubería en m.

S: pendiente del tramo en m/m.

2.5.6.10 Tubos y accesorios

Para los tubos y accesorios, se especifica dentro de la norma que se deben utilizar conductos cilíndricos para el trasiego del caudal de escorrentía que conecta pozos, tragantes y desfogues de materiales como concreto, plástico, polietileno o hierro dúctil.

“Diámetro mínimo: debe tener un mínimo de 0.40 m, o bien, lo dispuesto según Plan Regulador del cantón en desarrollo.

Uniones en conductos circulares: En tubería plástica se aceptan juntas elastoméricas, electro fusionadas o termo fusionadas de acuerdo con normas técnicas del producto a utilizar. En tuberías de concreto sólo se aceptarán uniones con mortero de cemento. Sus normas de fabricación deben cumplir con lo expuesto en dicha norma.

Ubicación de tuberías: Deben colocarse a 0.20 m por debajo de las tuberías correspondientes al sistema de saneamiento. No se permiten conexiones entre ambos sistemas.

Instalación de tuberías: deben resistir las cargas impuestas al terreno, contar con un encamado compactado al 95% del Proctor Modificado, colocado con capas máximas de 30 cm. El ancho debe estar entre los 0.50 y 0.40 m.

Color de tubería: puede utilizarse cualquier color, exceptuando verde y anaranjado.”.

(AyA, 2017)

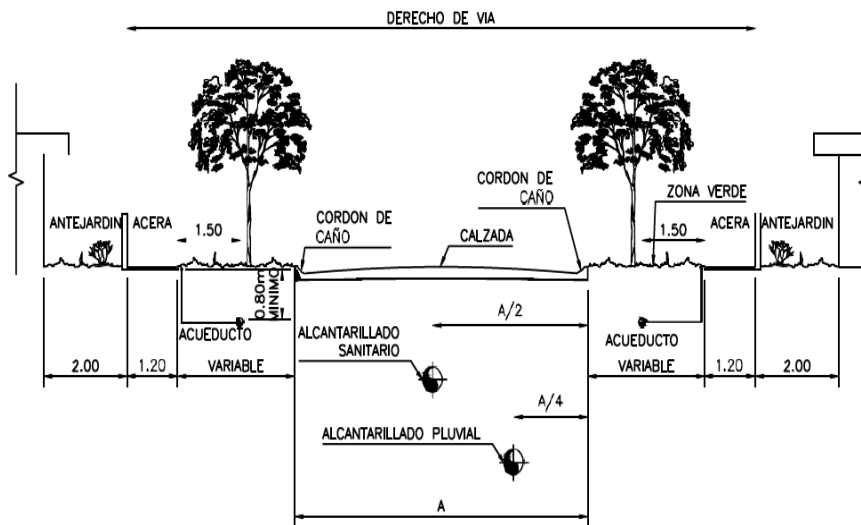


Imagen # 11. Sección típica de vía con parques perimetrales
 Fuente: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA

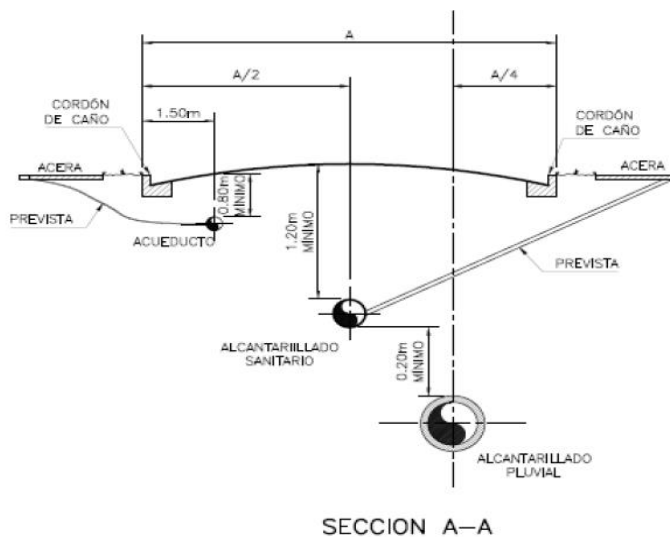


Imagen # 12. Ubicación de tuberías
 Fuente: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA

2.5.6.11 Pozos de registro

Son elementos cilíndricos utilizados para facilitar el mantenimiento de las redes. Se deben colocar pozos de registro circulares de concreto en cada inicio e intersección de tuberías, cambio de dirección horizontal o vertical, diámetro, pendiente y material de tubería. No

deben exceder los 120 m entre sí. Su diámetro se define en función de la profundidad de la tubería y del número de conexiones. Pueden poseer varias entradas, pero se restringen las salidas a una sola. La Norma vigente permite dimensiones máximas de 2.0 m de diámetro y 5.0 m de profundidad; para dimensiones mayores se deberá presentar la memoria de cálculo estructural. (AyA, 2017)

Tabla # 4. Diámetros y detalles para pozos pluviales

Diámetro interno del Pozo (m)	Profundidad del pozo (m)	Espesor de la pared del pozo (m)	Resistencia del concreto (kg/cm ²)
1.2	5	0.12	210
1.6	> 5 o < 8	0.12	280
1.8	> 8 o < 10	0.2	280
2	>10 o < 15	0.2	280

Fuente: Norma técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial

Tabla # 5. Rangos de diámetros para tuberías para diseños pluviales

Diámetro interno del Pozo (m)	Cantidad de tubos interconectados al pozo	Rangos de diámetros de las tuberías (mm)
1.2	5	400 hasta 800 (inclusive)
1.6	5	. +800 hasta 1200 (inclusive)
2	5	. +1200 hasta 1800 (inclusive)

Fuente: Norma técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial

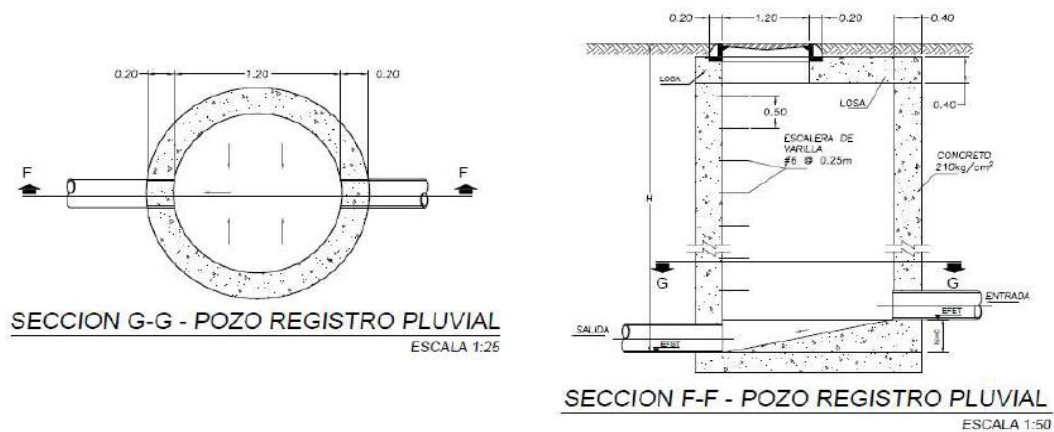


Imagen # 13. Especificaciones de pozo de registro

Fuente: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA

2.5.6.12 Tragantes

“... utilizadas para la recolección de escorrentía superficial, directamente conectadas a los pozos de registro; ubicados estratégicamente según la necesidad. La distancia entre tragantes no debe ser mayor a 120 m, con un máximo de 2 tragantes por serie. En esquinas de convergencia de puntos bajos se deben colocar dos tragantes. En esquinas con puntos altos se permite la instalación de uno solo. Su profundidad mínima a fondo será de 0.90 m y la longitud de la tubería de unión entre pozo de registro y tragante no debe exceder la dimensión de ancho de la calle que los contiene. Cuando se utilice la calzada como cuneta con bombeo invertido, se deben colocar pozos - tragantes en el centro de la vía. Se permiten un máximo de dos tragantes en serie, posterior a esto se debe realizar una conexión directa a pozo”. (AyA, 2017)

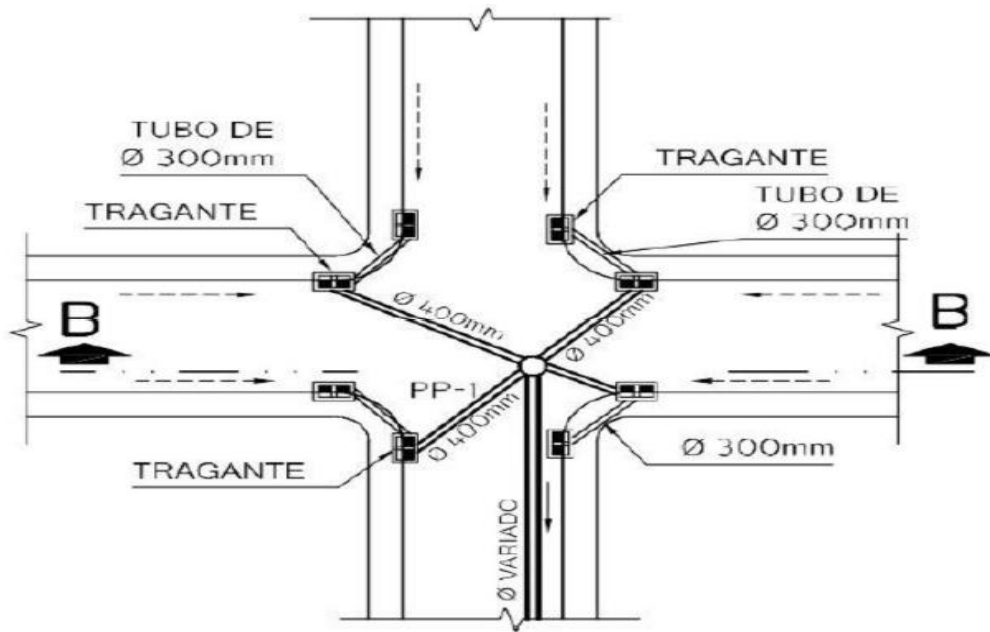


Imagen # 14. Especificaciones para ubicación de tragantes
 Fuente: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA

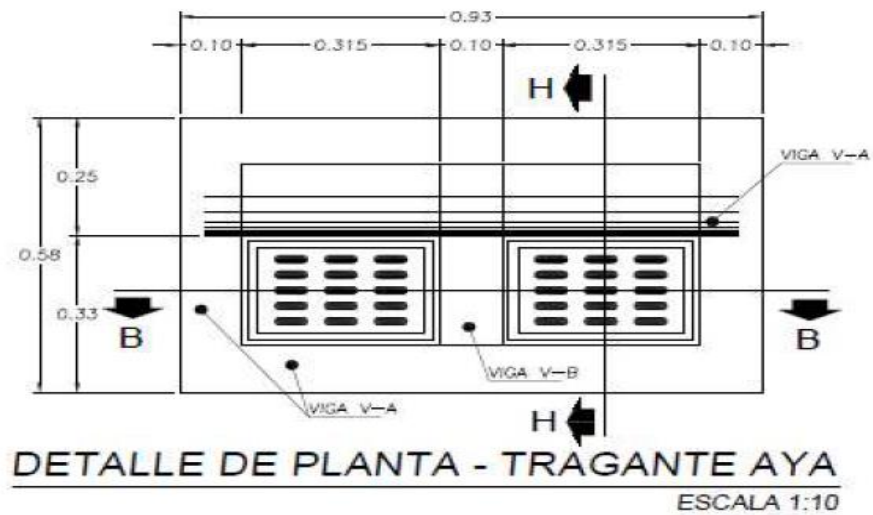


Imagen # 15. Especificaciones frontales de tragantes
 Fuente: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA

2.5.6.13 Cordón y caño

“Son elementos que reciben de forma directa la descarga pluvial proveniente de viviendas y edificaciones similares de dimensiones pequeñas. Para instrucciones de mayor amplitud se debe proveer de un sistema de recolección interconectando al pozo pluvial más cercano. Además, captar la escorrentía proveniente de las calzadas gracias al bombeo en las calles”.
(AyA, 2017)

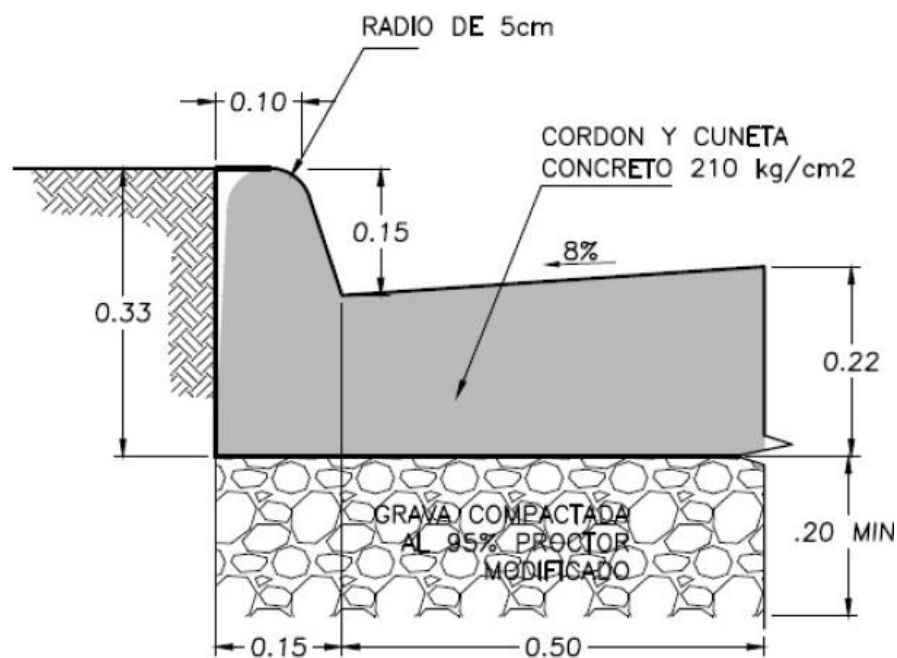


Imagen # 16. Perfil de sección de caño
Fuente: secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011

2.5.6.14 Canales

“Deben cumplir, de acuerdo con su geometría, con una lámina de agua de 0.20m máximo, con una velocidad mayor a los 0.6 m/s y no mayor a los 1.5 m/s. Si la altura de lámina supera los 0.20 m debe tener una protección de tipo parrilla, con una capacidad de soporte de al menos 10 ton. No puede en ninguna circunstancia superar una altura de lámina de 0.60 m”.
(AyA, 2017)

2.5.6.15 Sistema de retardo pluvial

Es un elemento del sistema que se utiliza para controlar la liberación del agua de escorrentía canalizada en una red pluvial y disminuir velocidades y energías. Debe calcularse con un período de retorno de 10 años como mínimo; con estructura de entrada, salida, área de amortiguamiento y dissipador de energía. La descarga debe darse por una tubería diseñada para tal efecto y debe conectarse con un pozo de registro o al cabezal de desfogue.

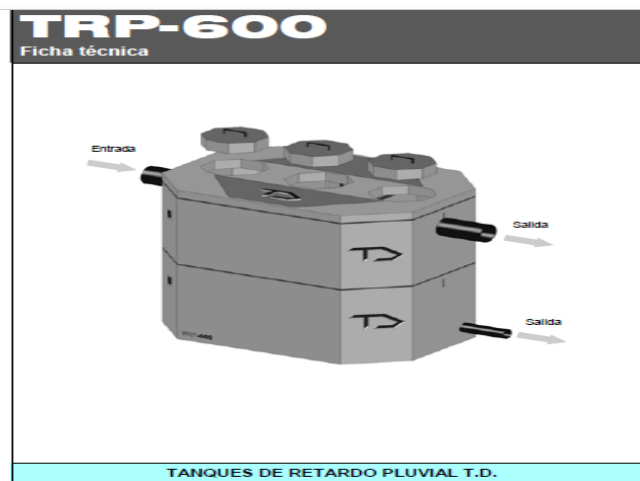


Imagen # 17. Tanque de retardo pluvial
Fuente: infotec@tanquediez.com

2.5.6.16 Colocación de las tuberías

Al igual que los procesos de cálculo y determinación de un diseño pluvial, es de suma importancia cumplir con la normativa vigente para la colocación de las tuberías, esto asegura que la nueva infraestructura no sufra daños y se asegure su vida útil estipulada.

“Toda zanja para colocación de tubería debe contar con encamado compactado al 95% del Proctor Modificado (PM); relleno lateral compactado al 95% del PM, utilizando material

tipo lastre. El relleno (encamado) debe ser colocado en capas máximas de 30 cm, compactadas al 95% del PM.

El ancho de la zanja no debe ser mayor que el diámetro de la tubería más 0,50 m, ni menor que el diámetro de la tubería más 0,40 m y las paredes deben ser verticales”. (AyA, 2017)

En la Imagen #19 se muestra la aplicación de una instalación correcta de tuberías vista durante la visita de campo al proyecto de Calle Lajas en San Pedro de Barva.

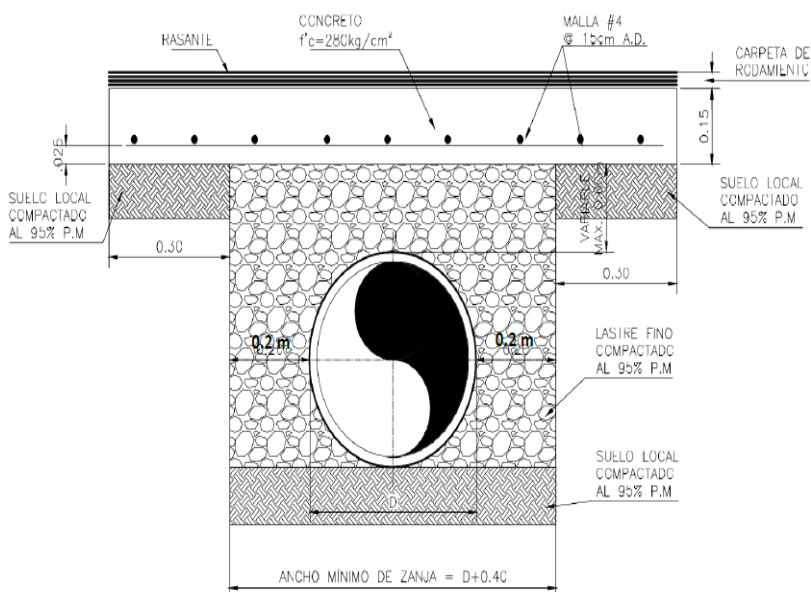


Imagen # 18. Perfil con especificación de colocación de tubería pluvial
Fuente: Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial del AyA



Imagen # 19. Visita a proyecto de intervención de calle Lajas en San Pedro de Barva
Fuente: propia, 2022

2.6 Diseño y cálculo de muros de contención

Para poder entender la funcionalidad de un elemento de contención puede definirse este elemento como una construcción estructural de ingeniería, cuyo fin es contener los empujes de tierras que pueden afectar a una determinada obra.

Las estructuras de contención son estructuras geotécnicas que se realizan para ejecutar excavaciones verticales y que deben soportar los empujes del terreno que sostiene, las posibles fuerzas exteriores (sobrecargas) y su propio peso, por lo que esta estructura deberá ser diseñada para soportar dichos esfuerzos. Recuperado ([https:// www.cimenter.es](https://www.cimenter.es))

Las estructuras de contención son consideradas en las intervenciones de taludes inestables o potencialmente inestables.

2.6.1 Tipos de estructuras de contención según su funcionalidad

Los muros pueden ser utilizados en distintos tipos de soluciones según la problemática que se presenta, de ahí es que podemos definir este tipo de estructura en 2 tipos.

- **Rígidas:** cumplen su función sin que aparezcan deformaciones apreciables de flexión o acortamiento, debido a su geometría y sus materiales. Algunas estructuras rígidas tradicionales son muros: de gravedad, en voladizo, de escollera o tierra armada.
- **Flexibles:** cumplen su función experimentando apreciables deformaciones de flexión.

Algunas estructuras rígidas tradicionales son muros: pantalla, pantallas de pilotes y pantallas de micropilotes.

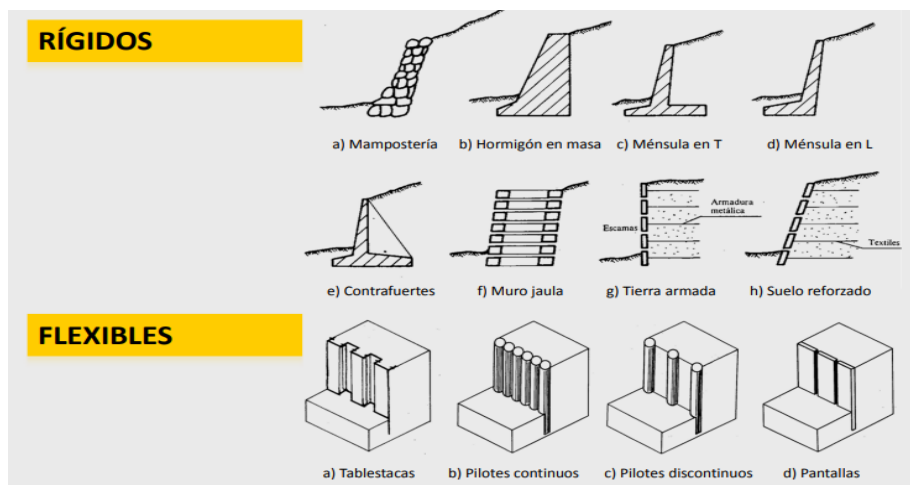


Imagen # 20. Estructuras de contención rígidas y flexibles
Fuente: <https://www.cimenter.es>

2.6.2 Tipos de estructuras según la sección de carga

Los muros también son clasificados dependiendo del tipo de fuerzas que requieren contener, para ello existen 4 tipos diferentes de configuraciones de las secciones utilizables contra las cargas aplicadas.

- **Secciones por gravedad:** el muro de gravedad se caracteriza porque utiliza su propio peso para evitar el deslizamiento o el vuelco. Son muros que carecen de armadura y se construyen habitualmente de hormigón en masa u otros materiales, como la fábrica de ladrillo o bloques.
- **Secciones en ménsula:** es un muro de sostenimiento construido de hormigón armado resistente al vuelco y al deslizamiento gracias a la zapata en voladizo sobre la que se apoya.
- **Secciones de contrafuertes:** son los que están constituidos por placas verticales espaciadas que se apoyan sobre grandes voladizos. La construcción de estos muros requiere encofrados más complicados y un hormigonado más difícil y costoso, al tener que reducir espesores.
- **Secciones de bandeja:** son muros que buscan contrarrestar parte del momento flector que se ha de resistir mediante la colocación de bandejas a distinta altura, en las que se producen momentos de sentido contrario, debidos a la carga del propio relleno sobre las bandejas.

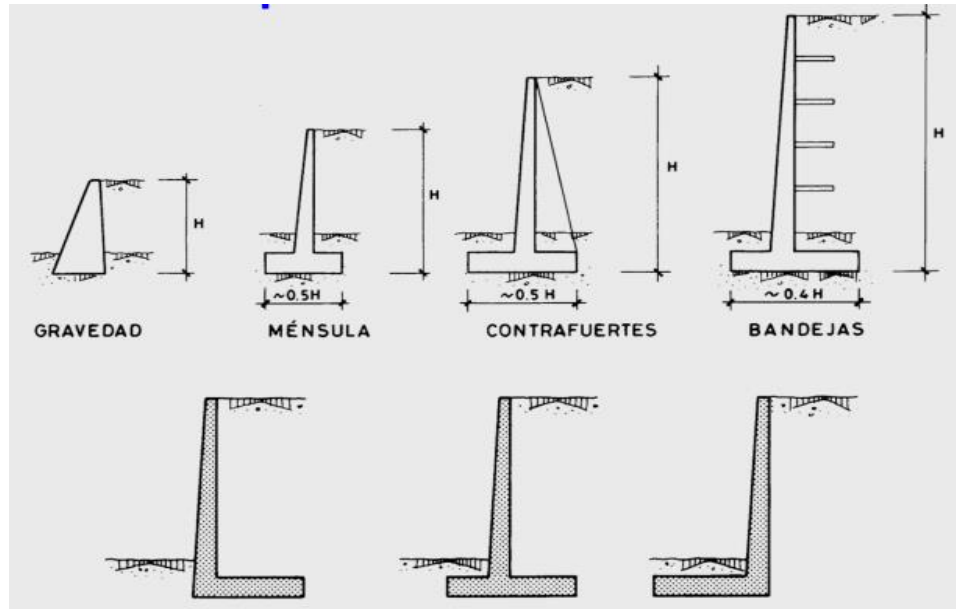


Imagen # 21. Secciones utilizables para muros de contención
Fuente: <https://www.cimenter.es>

2.6.3 Diseño y cálculo de estructura de contención

Una estructura de contención debe tener claros los aspectos necesarios para definir el tipo de muro y su real función.

- ¿El muro es temporal o permanente?
- Factores mínimos de seguridad para volcamiento, deslizamiento y estabilidad.
- Un análisis de estabilidad global del talud es imprescindible.
- Capacidad portante admisible de cimentación, empotramiento mínimo de la base de la estructura y asentamientos máximos y admisibles.
- Magnitud, ubicación y dirección de cargas externas debido a otras estructuras, sobrecargas y bajada rápida de agua subterránea.
- Límites y requisitos para las características de drenaje debajo, detrás o a través de la estructura de retención.
- Requisitos de relleno, tanto dentro como detrás de la estructura de retención.

El diseño y cálculo, una vez conocidas las propiedades geotécnicas del terreno, la existencia o no de nivel freático y las sobrecargas de estructuras próximas determinarán los empujes que actúan.

En los muros se ha de comprobar la seguridad geotécnica por 4 estados límites:

1. Estabilidad frente al deslizamiento.
2. Estabilidad al vuelco.
3. Seguridad frente al hundimiento del terreno bajo el apoyo del muro.
4. Estabilidad global.

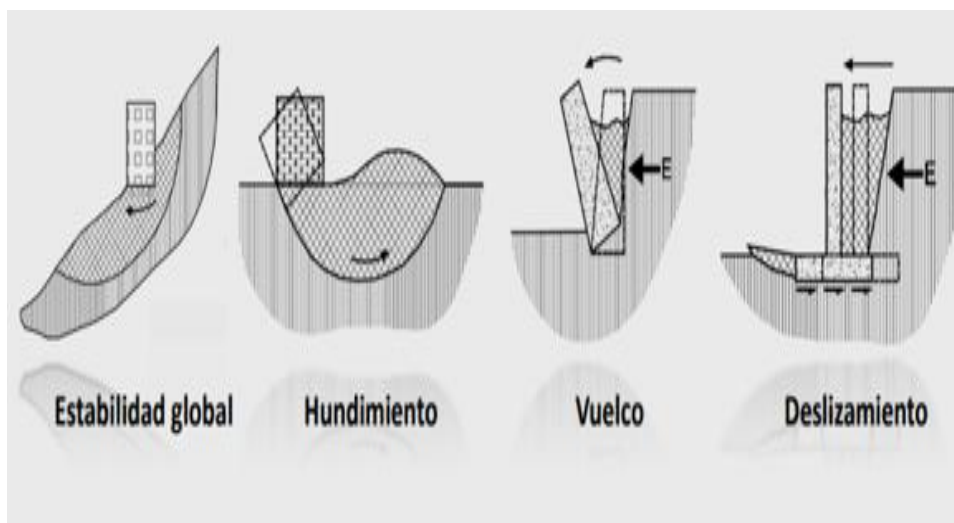


Imagen # 22. Diagrama de elementos de verificación de estabilidad de un muro
Fuente: <https://www.cimenter.es>

Para las correspondientes verificaciones, es entonces que se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

Ecuación #11

$$B = \frac{1}{2} * (1+H)$$

B = Base de muro.

H = Altura total del muro.

Ecuación #12

$$K_a = \tan^2(45 - \Phi/2)$$

K_a = Coeficiente de empuje activo.

Φ = Angulo de fricción.

Ecuación #13

$$EA = \frac{1}{2} \gamma * H^2 * K_a$$

EA= Empuje activo.

H = Altura total del muro.

K_A = Coeficiente de empuje activo.

Ecuación #14

$$M_r/M_a \geq FSV$$

FSV = Factor de seguridad por volteo = 2.

M_r = Momento resistente del muro.

M_a = Momento por volcamiento del muro.

Ecuación #15

$$\text{Tan}(\Phi) * P / EA \geq \text{FSD}$$

FSD = Factor de Seguridad por Deslizamiento = 1.5.

Φ = Angulo de fricción interna muro.

P = Peso de segmento muro.

Ecuación #16

$$X * P = M_r - M_a \quad / \quad X = M_r - M_a / P$$

X = Factor de seguridad por deslizamiento = 1.5.

M_r = Momento resistente del muro.

M_a = Momento por volcamiento del muro.

P = Peso de segmento muro.

Ecuación #17

$$e = B/2 - X < B/6$$

e = Excentricidad del muro.

B = Base de muro.

Ecuación #18

$$\sigma_1 \sigma_2 = P/AB (1 \pm 6e/B)$$

$\sigma_1 \sigma_2$ = Esfuerzos para determinación de tracciones.

AB = Área de la base del muro.

e = Excentricidad del muro.

B = Base de muro.

2.6.4 Características de los muros de gaviones

Los gaviones son cajas a base de malla metálica, dentro de las cuales se coloca piedra de tamaño uniforme, ordenadamente, hasta confirmar estructuras fuertes y suficientemente capaces de soportar cargas desde diferentes direcciones.

Esta característica permite construir muros de contención que cumplen con los requisitos geotécnicos y mecánicos para soportar grandes cantidades de volúmenes de terreno de distintos materiales.

Su colocación permite la compactación de roca en la maya, en donde se calcula un volumen del 80% del total del gavión que corresponde a roca y 20% de espacios vacíos, lo cual le brinda una característica de porosidad muy buena ante los efectos del agua.

A través de los años se ha establecido un parámetro de diseño que permite determinar las condiciones óptimas del muro llamado GSC (*Gabion Serviceability Coefficient*).

Este es un parámetro mecánico obtenido a través de pruebas de punzonamiento, las cuales representan el comportamiento mecánico del gavión, ya cuando está armado en sitio.

2.6.5 Software para diseño de muros GAWAC 3.0

El *software* GAWAC 3.0 (*Gabiión Wall Desing*) fue lanzado en el año 2021 y es utilizado para el diseño y verificación del estado de muros de contención construidos en gaviones, este

software permite realizar las verificaciones de estabilidad de muros y verificar los factores de seguridad, según sean las cargas o fuerzas aplicadas a los muros.

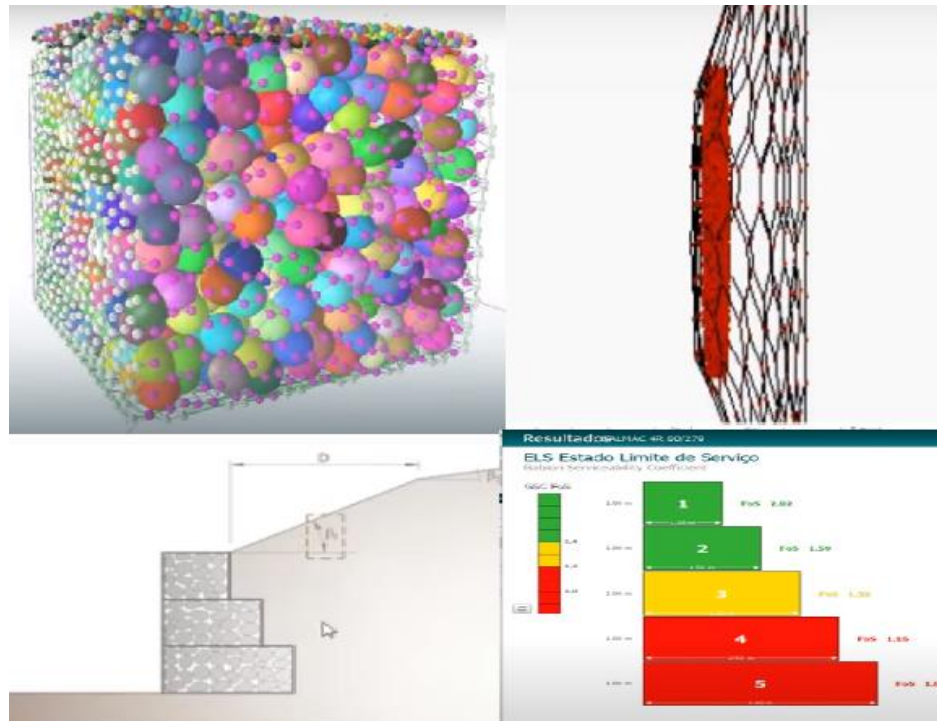


Imagen # 23. Interfaz de GAWAC 3.0 MACCAFERRI
Fuente: <https://www.maccaferri.com/latam>



Imagen # 24. Visita de campo a proyecto en Santo Domingo construcción muro de gaviones
Fuente: propia, 2022

2.7 Diseño de pavimentos flexibles

Un pavimento puede definirse como una estructura de capas superpuestas de materiales procesados, por encima del terreno natural, con la finalidad de distribuir las cargas aplicadas a la primera capa de subrasante.

Sin embargo, cuando se mencionan proyectos con el uso de pavimentos se debe hacer la correcta clasificación, la cual influirá directamente en el método de diseño que se desee aplicar más adelante.

2.7.1 Pavimentos rígidos

Es un pavimento autoportante constituido por una losa de hormigón de cemento *portland* que se apoya sobre la base o una capa de subbase. Transmite directamente los esfuerzos al suelo de forma minimizada.

2.7.2 Pavimentos flexibles

Es un pavimento elaborado por una capa asfáltica a base de una mezcla bituminosa en caliente, aplicada sobre una capa de base y una capa de subbase.

2.7.3 Metodología de diseño para pavimentos flexibles AASHTO-93

La metodología de diseño AASTHO-93 es la utilizada para definir un sistema estructural de pavimentos multicapa, en donde busca definir el diseño de los espesores de las capas que conforman la estructura del pavimento, como se muestra en la Imagen #25.

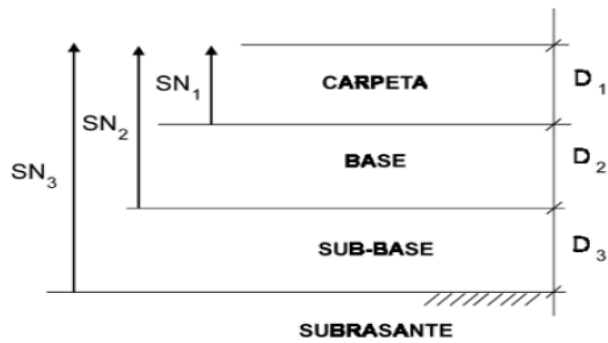


Imagen # 25. Sistema multicapa para diseño de pavimentos
Fuente: AASTHO-93

Ecuación #19

$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1}$$

$$SN_1^* = a_1 * D_1 \geq SN_1$$

$$D_2^* \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2}$$

$$SN_1^* + SN_2^* \geq SN_2$$

$$SN_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 * m_3}$$

Donde:

- Los valores de a_i , D_i , m_i y SN_i corresponden a los valores mínimos requeridos.
- Los valores de D_i^* y SN_i^* corresponden a los valores finales de diseño.

Este sistema multicapa está conformado por una capa de carpeta asfáltica, la cual tiene la característica de sellar e impermeabiliza la estructura, la segunda capa base, la tercera capa

subbase, y finalmente una subrasante, lo cual lo que busca es proveer de suficiente capacidad de soporte.

Es importante detallar que la metodología busca el dato del espesor de las primeras 3 capas (carpeta, base y subbase), ya que la capa subrasante ya tiene definidas 3 características teóricas que hacen que se tome en cuenta en la presente metodología:

1. Posee un espesor infinito.
2. Posee un material siempre homogéneo.
3. Posee un material isotrópico, el cual posee la misma respuesta mecánica ante la acción de las cargas, según aplicadas o, mejor dicho, en cualquier dirección que se les aplique.

Entre los aspectos a tomar en cuenta para la aplicación de la metodología AASHTO-93, se menciona que debe ser aplicada en vías con tránsito de más de 50 000 ejes equivalentes (ESAL) durante el período de diseño, y que dependerá de un número o parámetro estructural (SN) que se debe aplicar a cada capa. Estas definiciones se detallarán más adelante.

Ecuación #20

$$\log_{10} \left[\frac{W}{18} \right] = z_R * S_o \left[9.36 * \log_{10} (SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} \left[\frac{M_R}{1} \right] - 8.07 \right]$$

TRÁNSITO: EJES EQUIVALENTES (indicated by a red arrow pointing up to the W term)
 CONFIABILIDAD / PROBABILIDAD (indicated by a blue arrow pointing down from the z_R term)
 SERVICIABILIDAD / FUNCIONALIDAD (indicated by a green arrow pointing up to the ΔPSI term)
 MÓDULO DE RESILIENCIA / CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES (indicated by an orange arrow pointing up to the M_R term)

La ecuación para la aplicación de la metodología ASSHTO está dividida en los siguientes módulos y parámetros.

2.7.3.1 Período de diseño

El período de tiempo o de diseño se establece como el período en el cual se calcularán todas aquellas cargas que pasarán por la vía y que soportará la estructura vial, sin embargo, se establece que para períodos de diseño en pavimentos flexibles deben encontrarse entre 10 y 15 años, esto ya que este tipo de pavimento tiene un período de vida útil similar, por sufrir el fenómeno de oxidación, lo cual le da una menor vida útil que los pavimentos rígidos.

2.7.3.2 Módulo de confiabilidad / probabilidad R

R: confiabilidad del diseño. Establecida por el diseñador para intentar garantizar que su estructura no falle en el período de diseño, sin embargo, no se puede tener dicha certeza de ese fallo, ya que sí existe la posibilidad de que suceda.

Para esto debe tenerse clara la clasificación de las carreteras, de la siguiente manera:

- Autopista regional: que conecta dos o más centros importantes de población.
- Carreteras troncales: que se refiere a una carretera que conecta una autopista regional con un centro importante de población.
- Carretera colectora: conecta comunidad donde llegan carreteras troncales con alguna comunidad más pequeña.

Tabla # 6. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera

Niveles de confiabilidad R en función al tipo de carretera		
Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	50-80

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

ZR: estadística de distribución normal, promedio o desviación estándar, la cual se calcula en función del nivel de confiabilidad R.

Tabla # 7. Valores para definición de desviación estándar normal

Confiabilidad R	Desviación estándar normal Z
50%	0.000
60%	-0.253
70%	-0.524
75%	-0.674
80%	-0.842
85%	-1.036
90%	-1.282
91%	-1.341
92%	-1.405
93%	-1.476
94%	-1.555
95%	-1.645
96%	-1.751
97%	-1.881
98%	-2.054
99%	-2.326
99.90%	-3.090
99.99%	-3.719

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

S0: desviación estándar del sistema asociado al error en las proyecciones de tránsito futuras.

La metodología ASSHTO ya posee valores predeterminados para las siguientes posibilidades:

- 0.49 cuando el diseñador considere que la variación en el tránsito futuro es considerable, sin tener certeza de cómo será.
- 0.44 cuando el diseñador considere que la variación en el tránsito futuro no es considerable, teniendo una buena certeza de cómo será en el futuro.

2.7.3.3 Módulo de serviciabilidad / funcionabilidad (PSI)

Δ **PSI:** da una medida que indica si es funcional.

Recordando que para que un camino se considere funcional debe cumplir las siguientes características:

- Seguro.
- Confortable.
- Calidad.

La serviciabilidad hace una medición de la condición inicial y de una condición final de la carretera.

El índice inicial de serviciabilidad (P0) se mide entre 0 y 5, siendo 0 la más mala y 5 la ideal, haciendo un recorrido en el camino, chequeando si se cumplen las características antes mencionadas, estableciéndose para la actual metodología un valor máximo en pavimentos flexibles nuevos de 4.2, posteriormente el índice empieza a disminuir, ya que la capa de

rodamiento empieza a desgastarse, teniéndose que definir por parte del diseñador un índice de serviciabilidad final (PT) que será el valor más bajo que pueden soportar los usuarios de la vía antes de que se deba rehabilitar, recarpetear o reconstruir.

Tabla # 8. Valores para definición de desviación estándar normal

Tipo de vías	Valores recomendados de PT
Vías con características de autopistas urbanas y rutas troncales con mucho tránsito	2.5-3.0
Vías con características de autopistas urbanas y rutas troncales de intensidad de tránsito normal, así como autopistas interurbanas	2.0-2.5
Vías locales, ramales, rutas secundarias y caminos agrícolas	1.8-2.0

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

2.7.3.4 Estimación de cargas de tránsito en el diseño (W18 Weigth / 18 ton)

Para lograr estimar cuál será la carga transmitida al diseño de la vía, se define en la metodología ASSTHO 93 el parámetro de ejes equivalente de diseño (ESAL), la cual se calcula para un período de diseño y se establece en ejes sencillos de 18 toneladas.

Todos los vehículos son diferentes, a razón de pesos y dimensiones, sin embargo, la metodología convierte a todos los vehículos en ESAL, como un solo parámetro medible y aplicable, es decir, tomando como un supuesto que todos fueran iguales a un peso de 18 toneladas.

Los ejes equivalentes son calculados tomando en cuenta el período de diseño.

Estimación de los ejes equivalentes de diseño.

Ecuación #21

$$ESAL \text{ diseño} = (TPD)^0(T)(Tf)(DS)(LDF) (365) (G)(Y) (EC).$$

Donde:

- TPD: tránsito promedio diario al inicio del período de diseño.
- T: % correspondiente a cada tipo de vehículo.
- Tf: factor camión correspondiente a cada tipo de camión.
- DS: factor de distribución direccional % de camiones viajando en una dirección.
- LDF: factor de distribución.
- 365 = cantidad de días al año.
- G: factor de crecimiento cantidad de vehículos.
- Y: período de retorno.

Factor camión (TF)

Es un parámetro empírico que lo que busca es convertir tránsito real, sin importar el tipo o peso del automóvil en aplicaciones de ejes equivalentes correspondientes a 18 toneladas de peso.

En el año 2007, un grupo de ingenieros realizó una importante investigación, donde se presentaron los resultados de la determinación de los Factores Camión en 8 importantes rutas de Costa Rica.

La investigación se basó en el análisis de los datos de carga de vehículos y clasificaciones vehiculares, concluyendo que los Factores Camión Típicos utilizados en

Costa Rica subestiman las cargas reales de los vehículos. Además, confirma la necesidad de controlar el peso de los vehículos, lo cual se muestra en la Tabla # 9.

Tabla # 9. Factores camión por ruta Costa Rica

RUTA	Pick up	C2+	C2	Bus C2	C3	T3-S2
Ruta 1 - General Cañas (peaje)	0,011	0,019	0,448	1,705	1,182	1,509
Ruta 1 - Bernardo Soto Naranjo (peaje)	0,011	0,016	0,625	2,288	0,995	2,214
Ruta 1 - Bernardo Soto Esparza (peaje)	0,011	0,074	0,568	1,905	1,275	2,379
Ruta 2 - Florencio del Castillo (peaje)	0,015	0,031	0,562	1,253	1,271	1,748
Ruta 2 - Pérez Zeledón (tránsito)	0,012	0,014	0,283	1,276	1,041	1,629
Ruta 27 - Próspero Fernández (peaje)	0,011	0,016	0,584	1,595	1,254	1,542
Ruta 32 - Braulio Carrillo (peaje)	0,011	0,022	0,387	2,199	0,989	1,907
Ruta 140 - San Carlos (Ciudad Quesada - Florencia)	0,012	0,014	0,260	1,430	0,773	0,707
PROMEDIO	0,0117	0,0258	0,465	1,706	1,098	1,705
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,001	0,020	0,142	0,396	0,179	0,510

Fuente: Investigación en infraestructura Vial, Determinación de factores camión en pavimentos de Costa Rica, 2007

Factor de distribución direccional (DS)

El factor de distribución direccional hace referencia a un porcentaje de ejes viajando en una dirección, ya para la metodología se aplican los parámetros de la Tabla #10.

Tabla # 10. Valores de factor de distribución direccional (DS)

Carriles en dos direcciones	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35-48)
6 o más	40 (25-48)

Fuente: AASTHO-93

Factor de distribución por carril (LDF)

El factor de distribución por carril se refiere al porcentaje de ejes equivalentes que estarán estimados según el número de carriles que tendrá la vía en cada dirección, igualmente ya la metodología posee valores definidos según la Tabla #11.

Tabla # 11. Valores de factor de distribución por carril (LDF)

Número de carriles en cada dirección	Porcentaje de ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: AASTHO-93

Factor de crecimiento de tránsito a futuro (G)

El factor de crecimiento hace referencia en años a un número porcentual de crecimiento anual en el tránsito que se espera utilice la vía durante el período de diseño, este valor lo determina la metodología con el uso de la ecuación 22, en donde el valor de “r” es la razón de crecimiento y el valor “y” los años estimados de crecimiento.

Ecuación #22

$$G = \frac{1}{2} [1 + (1 + r)^y]$$

Donde:

- r: razón de crecimiento anual de tránsito.
- y: años.

2.7.3.5 Módulo de resiliencia efectivo de Materiales (MR)

MR: permite caracterizar el tipo de material de las capas que componen la estructura del pavimento, estos datos son obtenidos por pruebas de laboratorio de las capas y una serie de estudios de suelo que simulen cuáles serán las condiciones a las que estarán expuestos los materiales durante su período de diseño.

La metodología ASSHTO 93 condiciona 4 pruebas, obtenidas durante los 12 meses del año, las estaciones climáticas; sin embargo, un proyecto no puede esperar todo un año para tener los datos requeridos en cuanto a cuáles son los materiales más idóneos, por lo que las empresas de venta de materiales granulares para bases y subbases ya han realizado las pruebas respectivas y dan estos datos cuando ofrecen los materiales, siendo datos certificados y regulados.

2.7.3.6 Numero estructural (SN)

SN: variable respuesta del modelo de ASSHTO o número estructural para el cálculo de espesores de la metodología.

Este número estructural lo que busca es garantizar que la estructura de diseño de cada capa tenga la capacidad soportante para las cargas que se le van a aplicar durante el período de diseño.

Para obtener este número estructural se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación #23

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Donde:

- a_1 , a_2 y a_3 : coeficientes de capa representativos de la carpeta (1), la base (2) y la subbase (3).
- D_1 , D_2 y D_3 : espesor en pulgadas de la carpeta (1), la base (2) y la subbase (3).
- m_2 y m_3 : coeficientes de drenaje para la base (2) y la subbase (3).

Es entonces que, para poder determinar las características típicas del suelo en donde se estará trabajando, se utiliza el ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) el cual es un indicador de la calidad del suelo basado en su resistencia, este identifica un parámetro del suelo que cuantifica su capacidad resistente como, subrasante, subbase y base en el diseño del pavimento.

Cuando se tiene una carretera, es necesario entender que, en cada tramo de esta, los CBR son diferentes a razón de que son distritos tipos de suelo, por eso es que se debe definir cada cierta distancia pruebas de penetración por medio de calicatas y estaciones, en donde cada uno de estos elementos brinda un porcentaje de CBR, al final se debe sacar de todos los resultados un CBR promedio, con el cual se trabajará el diseño.

Para determinar y analizar los resultados debe entenderse que valores muy bajos en este porcentaje significan que el suelo es de una calidad muy pobre como para tomarla en cuenta en el soporte para un pavimento y, por el contrario, valores altos determinan que el suelo tiene una buena calidad de soporte.

Para los cálculos correspondientes al módulo de resiliente, según se obtengan los resultados del CBR promedio en las pruebas de campo, se establece en el Manual

Centroamericano para el Diseño de Pavimentos que en la aplicación de la metodología AASHTO-93 en los rangos menores al 10% se deberá utilizar un valor de B en la ecuación 24 de 1500 y para rangos mayores un valor de 2500.

Ecuación #24

$$MR = B * CBR$$

Donde:

- MR es Módulo Resiliente con un resultado en PSI.
- CBR es el ensayo de Relación de Soporte de California.

Como se mencionó anteriormente, una de las ventajas que posee la metodología de AASHTO-93 es que cuenta con las herramientas necesarias para el cálculo de sus diseños, por lo que se encuentra que, para la determinación de los coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica la metodología ya posee una tabla de diseño específica.

Igualmente, para la determinación de los coeficientes estructurales de la capa de la base granular a2 y subbase a3, la metodología también posee tablas de diseño específicas.

Para determinar los coeficientes de drenaje de los materiales, se hace la siguiente clasificación, según la capacidad de drenaje que tenga el material en cuanto a la duración en que el agua es removida, descritas en la Tabla #12.

Tabla # 12. Clasificación de capacidad de drenaje

Calidad del Drenaje	Agua removida en
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drena

Fuente: AASHTO-93

Es entonces que a partir de la clasificación mostrada en la Tabla #12, se entiende que un suelo saturado es cuando el nivel freático sobrepasa la estructura, por lo que para determinar el porcentaje de saturación puede utilizarse la siguiente tabla.

Tabla # 13. Porcentajes de tiempo a lo largo de 1 año en saturación

Porcentaje de tiempo al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próximas a saturación				
Calidad del drenaje	Menor del 1% en el año	1-5% en el año	5-25% en el año	Mayor al 25% en el año
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: AASHTO-93

Además, AASTHO-93 define y aconseja una serie de valores mínimos de espesores en cuanto a las capas del sistema, esto ya que si los cálculos dan valores inferiores se deberán tomar en cuenta los siguientes datos como parte de un proceso de verificación del diseño.

Tabla # 14. Determinación de espesores mínimos en pulgadas

ESAL's	Carpeta de concreto asfáltico	Bases granulares
Menor a 50000	1.0 o T.S	4.0
50001-150000	2.0	4.0
150001-500000	2.5	4.0
500001-2000000	3.0	6.0
2000001-7000000	3.5	6.0
Mayor a 7000000	4.0	6.0
2000001-7000000	3.5	6.0
Mayor a 7000000	4.0	6.0

Fuente: AASHTO-93

Ya habiendo logrado definir todos los parámetros establecidos en los apartados anteriores, la metodología AASHTO-93 permite utilizar herramientas tecnológicas para, finalmente, calcular el número estructural (SN) que se desea aplicar al diseño del pavimento.

Para efectos de la presente investigación y basándose en los objetivos del curso de Vías de Comunicación II del plan de estudio cursado, se hará referencia a la herramienta computacional elaborada por el ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela en octubre del año 2000.

Con esta herramienta se pueden encontrar, conforme a los valores de resistencia, los números estructurales para cada una de las capas del diseño, por lo cual se deben revisar muy bien los datos que se ingresan para no alterar los resultados de los cálculos en cada capa.

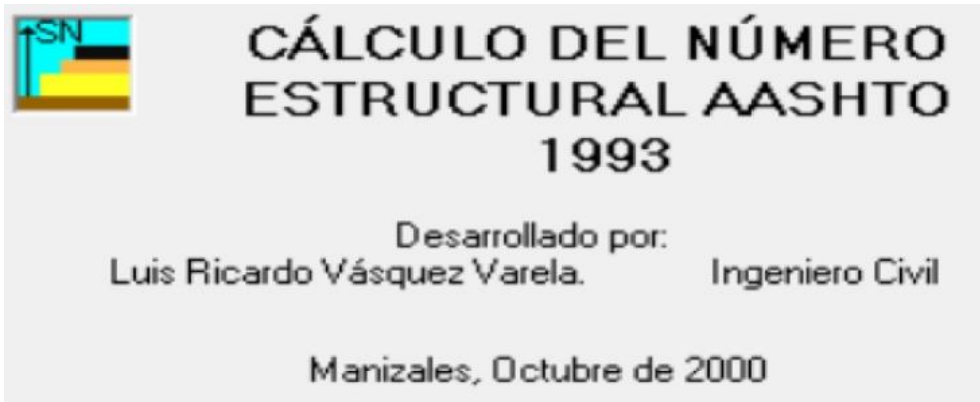


Imagen # 26. Plantilla de referencia acerca del software para cálculo de SN
Fuente: AASTHO-93

Otro dato importante que se debe mencionar es que hace varios años no existían tantas herramientas tecnológicas que ayudan hoy en día a calcular los valores en la aplicación del método ASSHTO, sin embargo, con la ayuda de monogramas se lograba solventar de una forma gráfica.

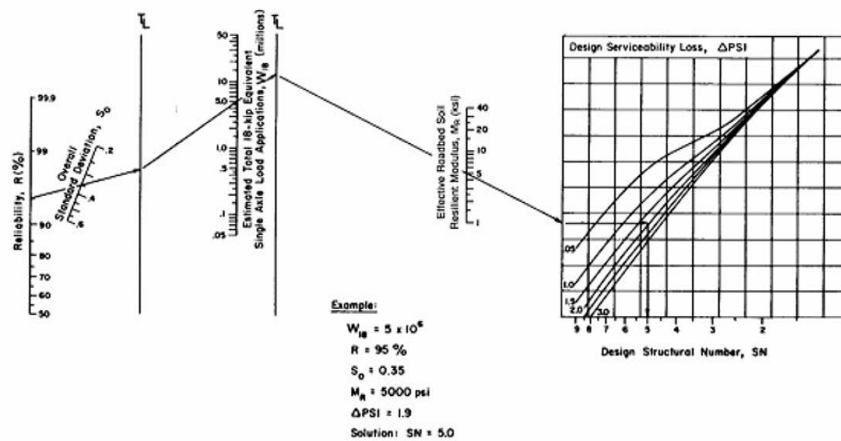


Imagen # 27. Monogramas y métodos gráficos en aplicación ASSTHO
Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA, 2001

*

CAPÍTULO III

*

3. MARCO MÉTODOLÓGICO

Todos los elementos que forman parte del tema en esta investigación determinan un orden lógico para poder exponer detalladamente los resultados de una manera clara, es entonces que se definirá el siguiente marco metodológico.

“El marco metodológico de investigación es una elaboración compleja que integra las decisiones y acciones teórico-metodológicas del proceso investigativo”. Mata, S (2019, 26 de noviembre)

3.1 Enfoque de la investigación

Para esta sección de la metodología se trabajó con un enfoque mixto en el proceso de solventar el problema de socavamiento y la ineficacia del sistema de desagüe pluvial definidos en los objetivos específicos.

La utilización de este tipo de enfoque permitió aprovechar en la realización de las actividades datos cualitativos, especialmente en donde a partir de un proceso de revisión de normativas y de regulaciones municipales se aseguró que cualquier intervención o diseño cumpliera con todos los trámites legales de manera puntual, respecto a las especificaciones solicitadas para el cumplimiento de las normas regulatorias para los diseños.

El levantamiento de estos datos se realizó por medio de un trabajo de recolección de información brindada inicialmente por parte del departamento de ingeniería de la Municipalidad de San Rafael de Heredia, este departamento está a cargo del ingeniero Erick Camacho, quien fue la persona que se contactó para validar si en efecto la problemática en

la urbanización El Ensueño aun no tenía un plan remedial definido, con la ejecución de reuniones se definió una serie de requerimientos y necesidades de la Municipalidad, con el fin de solventar la problemática de aguas pluviales en la zona y así dar un primer paso para plantear las metodologías y diseños. Igualmente, como parte del enfoque cualitativo, debe tomarse en cuenta todos los datos regulatorios y normativos que definen los límites y capacidades que se deben cumplir en los diseños de las tuberías y el muro de contención, previamente estipulados en los códigos constructivos y normativos vigentes en Costa Rica y así enfocarse de manera cuantitativa en la aplicación directa de estas normas, en donde mediante las visitas de campo se realizó el levantamiento del inventario actual de la infraestructura, estado actual de su funcionamiento y efectividad y la situación del terreno en las áreas socavadas.

Seguidamente, se realizaron análisis y cálculos de datos referentes a la cantidad y regularidad de las aguas de lluvia en la zona, los cuales permitieron determinar las características idóneas del sistema de desagüe. Los datos correspondientes a la situación de los suelos y la capacidad soportantes que se obtuvieron por medio de información geológica local brindaron las bases necesarias para conocer las características y necesidades para el diseño del muro de contención y las características del material para el correspondiente relleno del área socavada.

Por último, se realizaron cálculos y planteamientos necesarios para lograr la reparación de las vías impactadas por las obras y asegurar así a la comunidad que no solo se estará mejorando el sistema de desagüe pluvial y se estará recuperando área socavada, sino también que las vías quedarían en perfectas condiciones, una vez ejecutadas las obras.

3.2 Método de investigación

Como estrategia para la obtención de la información, esta investigación se define en cinco etapas que se cumplen de manera ordenada, mostradas en la Imagen # 28:



Imagen # 28. Etapas del proceso de investigación
Fuente: propia, 2023

La primera etapa preparatoria se basó en revisar y definir la mejor manera de plantear ante la Municipalidad de San Rafael de Heredia cómo esta investigación podría proponer una solución a la problemática que se presenta en el cantón herediano, ante la falta de un plan remedial.

La segunda etapa corresponde al trabajo de campo, que se centró en realizar una serie de visitas a la urbanización El Ensueño y el barrio Bajo de los Molinos, para recolectar datos y determinar cuál es la condición real de la infraestructura vial que se desea intervenir.

La tercera etapa corresponde al análisis, en donde se determinaron los resultados de los datos obtenidos en las visitas de campo. Se procedió a ordenarlos, a filtrar los más relevantes y prepararlos para ser utilizados en los correspondientes diseños y propuestas.

En la etapa de diseño se realizaron los correspondientes cálculos, se aplicaron las metodologías más idóneas y se aplicaron a los diseños utilizando los datos ya validados y filtrados.

Finalmente, la etapa de resultados da la oportunidad de exponer la propuesta deseada a la Municipalidad, donde se expone toda la información y planteamiento para la puesta en práctica, en un futuro, de una etapa de ejecución.

3.3 Fuentes de información

“Una investigación es científicamente válida al estar sustentada en información verificable, que responda lo que se pretende demostrar con la hipótesis formulada”. (Torres, M., Salazar, F. G., & Paz, K, 2019, p 7)

La primera fuente de información fue la cooperación directa con el departamento de Ingeniería de la Municipalidad de San Rafael de Heredia, en donde se validó y se buscó su consentimiento para visitar el lugar y abordar el análisis del problema, donde posteriormente

brindaron parte de los datos necesarios para dimensionar de manera cualitativa la problemática presentada en esta investigación.

La segunda fuente de información fue obtenida con base en el trabajo de campo realizado en el sitio del proyecto y, posteriormente, en la visita a proyectos de intervención y sustitución de tuberías de agua potable de la Asada de Puente Piedra de Barva, el proyecto de reconstrucción de vía y de sistema pluvial de calle Lajas en San Pedro de Barva y el proyecto de construcción del muro de contención sobre calle Cruces en el cantón de San Pablo de Heredia.

En estas visitas se logró obtener información por medio de entrevistas aplicadas al personal sobre datos y estadísticas de interés para la presente investigación.

Estas fuentes se catalogan como secundarias, ya que la información suministrada se basó en los datos existentes en las regulaciones y manuales vigentes, las cuales establecieron previamente los parámetros y condiciones de ejecución de los proyectos.

En las etapas de análisis y diseño, las fuentes que se utilizaron se basaron en documentación existente (se mencionan algunas de las tesis de referencia expuestas anteriormente en el Capítulo I), manuales técnicos especializados en disposiciones constructivas de vías y carreteras, tuberías, estudio de los suelos y resistencia de muros de las instituciones nacionales y centroamericanas, fichas técnicas de proveedores de servicios y venta de materiales de construcción y, finalmente, datos oficiales publicados en instituciones gubernamentales y regulaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

3.4 Variables de análisis

Tomando como referencia las fuentes de información expuestas anteriormente, se define que las variables con que se explican son las siguientes:

Variables independientes:

- La línea de comunicación con el departamento de Ingeniería de la Municipalidad para lograr definir la propuesta deseada, para este caso se busca tramitar un proceso formal con las autoridades de la Municipalidad para tener el consentimiento de analizar datos y validar que no existiera ya un plan remedial en proceso
- El manejo del tiempo en las etapas del proceso de investigación.
- Los materiales de construcción disponibles en el mercado para la construcción del muro y la sustitución de las tuberías.
- El trabajo de campo independiente.
- Información pública gubernamental.

Variables dependientes:

- La información brindada por el personal de la Municipalidad será indispensable, ya que es la que define los lineamientos específicos de la propuesta, siendo que ellos son el “cliente”.
- Según se plantea el tiempo de desarrollo del presente documento, la investigación logrará cumplir con la entrega de la propuesta deseada.
- Con base en los diseños propuestos se definirán los materiales más idóneos para aplicar en una etapa de ejecución.

- Datos estipulados en normativas y manuales de construcción que se deben cumplir rigurosamente ayudarán a validar el trabajo de campo.
- Con el acceso a la información pública, se definirá una propuesta que cumplirá con toda la normativa vigente.

Variables intervinientes:

- Disposición de tiempo para la asesoría necesaria por parte del departamento de Ingeniería de la Municipalidad.
- Información de trabajo de campo que no puede ser validada en laboratorios.
- Afectaciones climáticas que no permitan realizar trabajos de campo.
- Afectaciones de salud del personal de la Municipalidad y del investigador.
- Cambios en las normativas y leyes vigentes
- Acceso a *software* para la validación de los datos de la investigación.

3.5 Instrumentos

Según detalla Juárez-Hernández, L. G., & Tobón, S. (2018), “El proceso de determinación de validez de contenido de un instrumento de investigación articula elementos inherentes como son la connotación de expertos, su selección, y el tipo de evaluación que estos realizan al instrumento”, determinando así que los instrumentos que se utilicen en una investigación serán vitales para lograr acceso a la información más relevante y que la manera que se seleccione y evalúe brindará los resultados esperados. Se define entonces que para la presente investigación se utilizaron los siguientes:

- El trabajo de campo es en sí uno de los más importantes instrumentos a nivel de la rama de la ingeniería, debido a que es por este medio que se realizó la verificación del estado de la infraestructura pluvial, se validaron las condiciones climáticas y el comportamiento de las aguas de lluvia de manera visual y, finalmente, se realizó la visita a proyectos en ejecución cerca del área de la provincia de Heredia, los cuales brindaron más datos de utilidad para ser aplicados en la presente investigación.
- Como se ha mencionado anteriormente, este proceso de investigación está formulado para tener la cooperación en sus primeras etapas del gobierno local de San Rafael de Heredia, es entonces que se realizaron reuniones, tanto de forma presencial como virtuales, por medio de la plataforma Zoom o Microsoft Teams.
- Para realizar los diseños se ejecutó la revisión y análisis de bibliografía normativa, técnica y gubernamental, descrita en el apartado Bibliografía, para asegurar su correcta aplicación en los diseños.
- Por medio de Microsoft Excel, se generó una memoria de cálculo para el procesamiento de datos y cálculos numéricos.
- La aplicación de ArcGIS ayudó a obtener, leer y exportar los levantamientos topográficos necesarios para el dimensionamiento de la zona del proyecto.
- Se hizo uso de Google Maps y Google Earth Pro para la obtención de datos, medidas y verificaciones en la zona.
- Posteriormente, se procedió a utilizar *software* para diseño Autodesk AutoCAD 2018 y AutoCAD Civil 3D para los diseños y planos finales.

- Con la utilización del programa EPA-SWMM se validaron los resultados obtenidos en la memoria de cálculo y la efectividad del diseño del nuevo sistema de desfogue pluvial.
- La aplicación GAWAC 3.0 se utilizó para el diseño y validación de los datos obtenidos en la memoria de cálculo, para muro de contención necesario para la recuperación de la vía socavada.
- Finalmente, por medio de la normativa vigente, las especificaciones técnicas analizadas previamente y el *software* para el cálculo de número estructural AASHTO-93, se definió la estructura de pavimento necesaria para realizar el correspondiente recarpeteo de la vía.

3.6 Proceso para la recolección y análisis de datos

El proceso de recolección de los datos se basó inicialmente en una serie de encuentros con las autoridades locales, en donde se requería validar que la temática de la presente investigación fuera real, que diera un aporte significativo a la comunidad herediana y, primordialmente, que no existiera algún proyecto desarrollándose en busca de solventarla; si bien ya se habían hecho observaciones en el lugar, las reuniones certificaron que en efecto aun no existían propuestas.

A continuación, con la información recolectada en los trabajos de campo se logró realizar la medición exacta del área que debía ser intervenida y, posteriormente, aplicarlos en los diseños.

Seguidamente, se verificó el estado de la infraestructura que existía y que no estaba funcionando, lo que genera la problemática, esto se validó con la toma de fotografías, mediciones de profundidades, y principalmente con una visita al lugar cuando estaba lloviendo, para así lograr ver la falla del sistema cuando este se desbordaba.

Posteriormente, para los diseños se recopiló información tanto de proyectos ya ejecutados con la toma de fotografías y con el uso de bibliografía que, como normativa vigente, define aspectos como profundidad de las tuberías, diámetros necesarios para encausar el caudal, inclinación, velocidad del agua, volumen de excavación, colocación de las tuberías y definición de posibles tiempos de duración de la obra.

Por último, la solución de contención tomó en cuenta la capacidad y fuerza de los materiales con que se construirían y, sobre todo, cuál es la opción más económica para la propuesta municipal, al igual que el posterior relleno del área socavada junto al nuevo muro.

*

CAPÍTULO IV

*

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el proceso de análisis de los resultados se definió una estrategia de trabajo basada en priorizar y ordenar las tareas que se debían atender, por lo que se procedió a revisar y actualizar las condiciones, requerimientos y detalles existentes en la vía de la comunidad, tanto en el área socavada como en la infraestructura pluvial del residencial El Ensueño, esto ya que el problema se determinó como antiguo, incluso conforme se recopiló información de los habitantes de la zona, el problema se fue agravando a través de los años.

Según información brindada por la Municipalidad de San Rafael, las primeras alertas de problemas se dieron en el año 2018, directamente por parte de la comunidad, en donde por medio de cartas y comunicados daban avisos sobre la afectación de las vías y una serie de inundaciones, primordialmente en calle 15 A, que se estaban dando cuando se presentaban fuertes precipitaciones; es así entonces que se realizan visitas de campo, en una ocasión con participación del personal de la Municipalidad el día 11/11/2022, los días 29/11/2022 y 01/12/2022 se realizaron las visitas de forma independiente.

4.1 Análisis del trabajo de campo

Para analizar los datos obtenidos en el trabajo de campo realizado, se definieron 2 áreas de estudio y se obtuvieron los siguientes resultados:

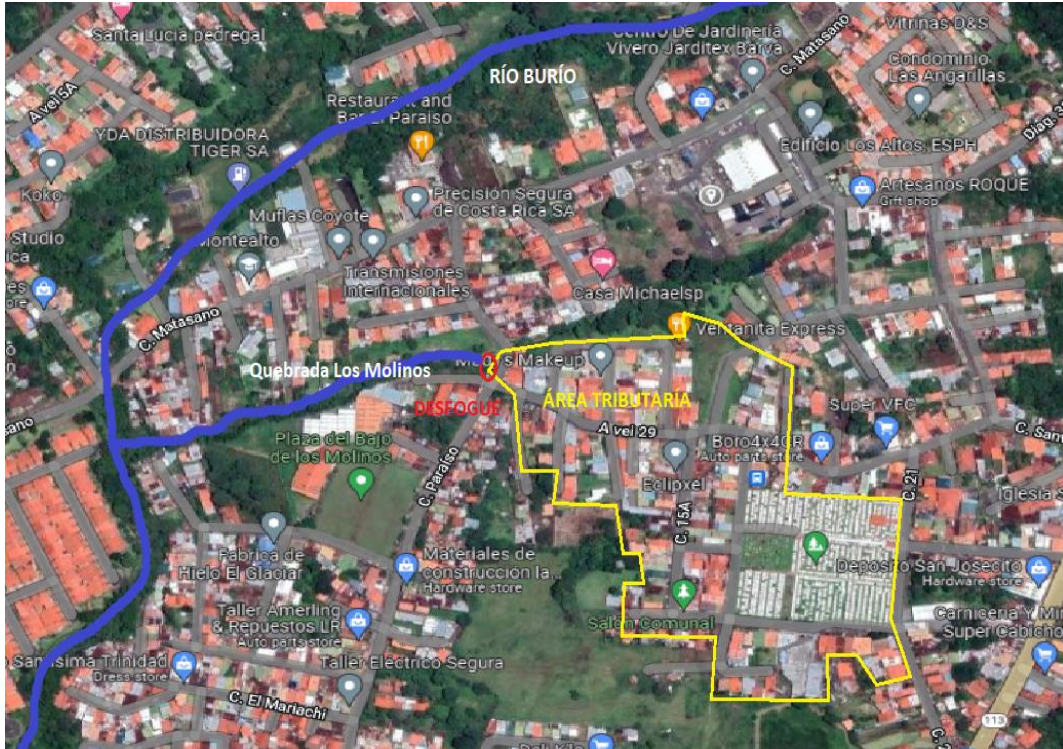


Imagen # 29. Ubicación de las áreas de estudio
Fuente: Google Maps, 2022

4.1.1 Área de socavamiento y desfogue de aguas a cause tributario

Esta área se delimita por el terreno que se ha socavado o perdido en la calle El Paraíso y la intersección con la Avenida 29.

4.1.2 Resultados obtenidos

- Este problema afecta directamente la utilización de la vía pública, siendo así que pone en riesgo no solo la estabilidad del terreno sino también la seguridad de los peatones, ya que el área correspondiente a la acera ya no existe y ya está afectando la calzada de rodamiento de los vehículos.

- El área afectada por recuperar al 1° de diciembre del 2022 posee las siguientes dimensiones:

Ancho: 2.8 metros

Altura: 3 metros

Largo: 10 metros

- Resulta en un volumen de 84 m³ de material variado, determinado más adelante en los diseños, como se muestra en la Imagen # 30.



Imagen # 30. Area de socavamiento y desfogue a cause tributario
Fuente: propia, 2022

- Se detecta que el socavamiento no solo ha afectado la vía pública sino también ya ha socavado parte de ambas propiedades colindantes a la zona de desfogue, en donde los propietarios han tomado medidas correctivas improvisadas, como lo muestra la Imagen # 31.



Imagen # 31. Daños de socavamiento con afectación de propiedades colindantes
Fuente: propia, 2022

- Por las características que presenta el socavamiento, en donde se logra ver que el daño se está presentando de forma ascendente hacia la calzada, es decir, de abajo hacia arriba, por lo que se puede determinar que el daño es causado por las altas velocidades y la elevada energía del flujo de agua que existe en la salida de la tubería. A raíz de la erosión del agua ya la base del socavamiento se encuentra a nivel del lecho rocoso de la quebrada, como lo muestra la Imagen # 32.



Imagen # 32. Daño en tuberías y características del socavamiento
Fuente: propia, 2022

4.1.3 Área de recolección de aguas pluviales y tuberías en urbanización El Ensueño

Esta área se delimitada por todas las zonas y terrenos de donde proviene el caudal de aguas pluviales que, dentro de la infraestructura existente, hace que su recorrido finalice en la primer área analizada de desfogue, siendo esto parte de las especificaciones brindadas por parte del departamento de Ingeniería de la Municipalidad de San Rafael, ya que fueron ellos quienes analizaron y facilitaron las curvas del nivel de terreno y en su correspondiente análisis igualmente definieron la distribución de las áreas tributarias que aportan escorrentía al sistema.

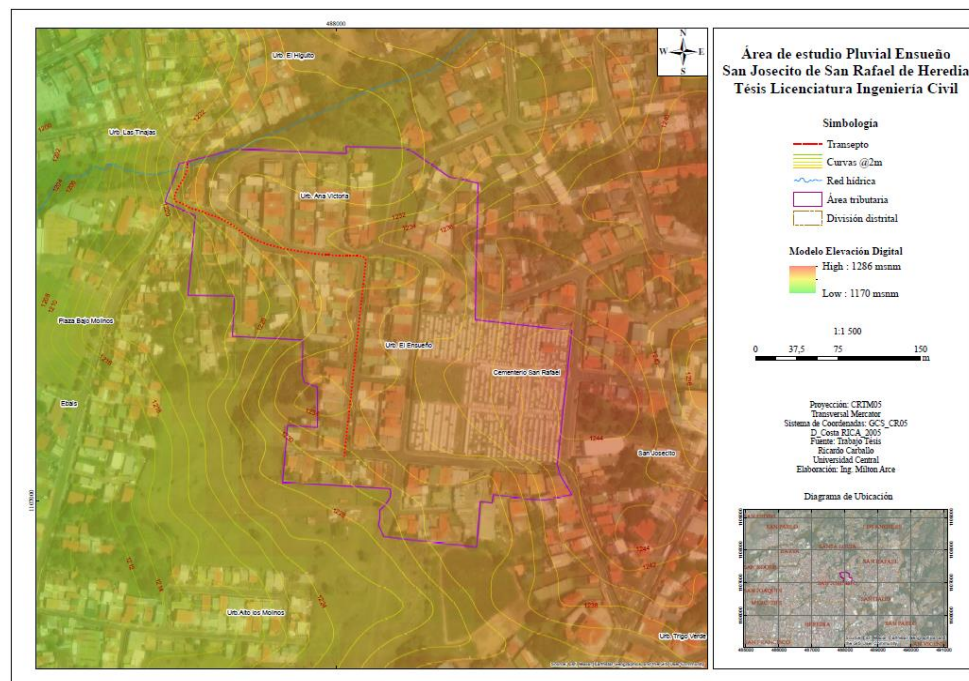


Imagen # 33. Curvas de Nivel
Fuente: Municipalidad de San Rafael de Heredia

4.1.4 Resultados obtenidos

- Se determina que la tubería principal que recolecta los principales caudales del área tributaria inicia en calle 15 A, se conecta en la Avenida 29 y finaliza en el área de desfogue en la quebrada con el socavamiento, la cual tiene una distancia de 396 metros y un perfil de elevación irregular, como se muestra en la Imagen # 34.

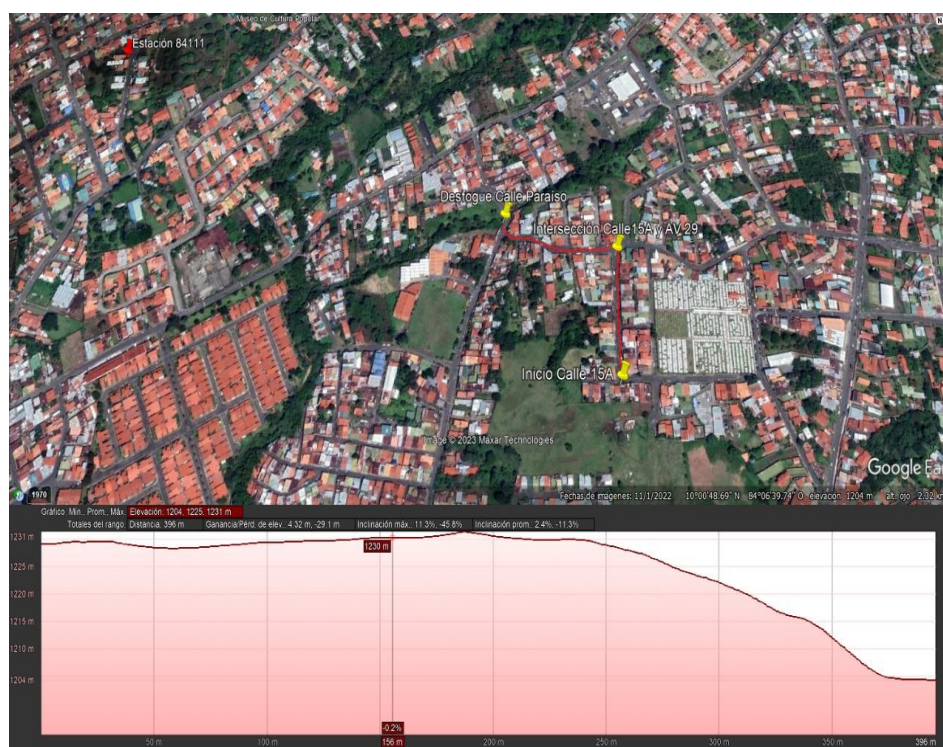


Imagen # 34. Distancia de recorrido de tubería principal y perfil de elevación
Fuente: Google Earth Pro

- Dentro del área tributaria se determina que la infraestructura actual no contempla un punto definido para evacuar las aguas que provienen del área del cementerio de San Rafael, siendo así que todas estas aguas escurren hacia el sistema pluvial de la urbanización, principalmente a la calle 15 A, de forma descontrolada y sin

un encausamiento apropiado, provocando desbordamientos en toda la calle, a razón de la carga extra de volumen de escorrentía que le suma al sistema pluvial.

- Se encuentran las cajas colectoras ubicadas en la calle 15 A con una serie de daños e irregularidades que afectan directamente su función, entre ellos se detecta que fueron cubiertas parcialmente por una capa asfáltica, de tal forma que no se puede tener acceso a ellas para labores de mantenimiento, limpieza o revisión, se puede observar que poseen fracturas y partes internas que han colapsado en el fondo, provocando obstrucciones y, por ende, desbordamientos, como lo muestra la Imagen # 35.



Imagen # 35. Estado de cajas colectoras calle 15 A.
Fuente: propia, 2022

- La infraestructura del sistema pluvial en la Avenida 29 posee un deterioro significativo y evidencias de intervenciones sobre ella, se ubican únicamente 5 pozos en función de sistema de retardo pluvial, los cuales son ineficientes en su tarea de disminución de la velocidad de flujo y la disipación de la energía, no

cumpliendo así con la normativa vigente, ocasionando serios daños en la ruta de la tubería y dañando la capa de rodamiento, como se muestra en la Imagen # 36.



Imagen # 36. Daños en Avenida 29
Fuente: propia, 2022

- El resultado final del trabajo de campo determina que la infraestructura que debe ser intervenida de manera urgente es la que corresponde a la tubería principal de captación de aguas pluviales ubicada en calle 15 A, de seguido Avenida 29 y se ha de finalizar en el área de desfogue, esto ya que la infraestructura en las vías aledañas, a excepción del área del cementerio, sí posee la capacidad de captación y redireccionamiento adecuadas en los cordones de caño y la existencia de tragantes de doble rejilla.

4.2 Hidrología y sistema de drenaje pluvial

Uno de los aspectos más relevantes que se notaron durante la revisión del sitio del proyecto se basó en que ya se han realizado reparaciones temporales para huecos, tuberías colapsadas u obstruidas, daños por intervención de vecinos y por el robo de tapas y rejillas metálicas de los pozos y colectores.

Igualmente, debe recordarse que dentro de las limitaciones en el Capítulo I, cuando se realizó la consulta respectiva en la Municipalidad de San Rafael, se dio con que no existen planos de la infraestructura actual del sistema de desfogues pluviales, siendo esto que el inventario obtenido se basa meramente en la observación y suposiciones, ya que tampoco se realizó ningún tipo de prueba o mediciones.

Es por estos motivos que se recomienda la renovación completa de toda la infraestructura de desfogue, tal como lo determinó el enunciado 4.1 del presente documento, que comprende las tuberías, pozos y colectores a doble rejilla en calle 15 A, Avenida 29 y calle Paraíso en el área de desfogue hacia la quebrada, para así asegurar que su funcionamiento no se vea afectado por elementos antiguos, dañados o con dimensiones y materiales desconocidos y que el diseño cumpla con el tiempo de diseño establecido.

4.2.1 Precipitaciones y lluvias en la zona

El primer dato que debía ser encontrado es el de las precipitaciones que afectan el área, no solo en cuanto a la cantidad de lluvia que cae en la zona sino también en cuanto a cuánta de esa agua es realmente la que está llegando al sistema de desfogue.

Se determina utilizar la modelo de pérdidas del servicio de conservación de los recursos naturales de los Estados Unidos de Norte América (SCS), para la estimación de las pérdidas por interceptión, filtración y encharcamiento, en donde el principal dato que se requiere es el número de curva (CN), para entonces así lograr calcular la escorrentía en las áreas que drenan hacia el proyecto.

- Uso de suelo: **Urbano o zona residencial.**
- Como tipo de cobertura en clasificación hidrológica: **C.**
- Condición hidrológica del terreno: **Impermeable.**
- Condiciones de humedad ascendente (CHA) = **CHA II: Estado intermedio.**

Según las clasificaciones expuestas, se estable un valor de curva **CN = 90**, basado en la clasificación expuesta en la Imagen # 9 del segundo capítulo.

Con este dato definido se procede a encontrar la información del valor potencial máximo de retención de humedad en el área de drenaje (S), con la utilización de la ecuación #2, y se obtiene un resultado de **S = 28.2**.

De inmediato se aplica la Ecuación #3 para la obtener el dato de la pérdida inicial por interceptión y encharcamiento (Ia), donde se obtiene un resultado de **Ia= 5.64 mm.**

Como se mencionó anteriormente, en el Capítulo II, para aplicar esta metodología se requiere conocer el volumen total de precipitación, el histograma de los incrementos de precipitación en el tiempo, el uso de la tierra en el área de drenaje, la condición hidrológica del terreno y la condición antecedente de humedad.

Parte de esta información se logró de la estación pluvió-métrica 84111 en Santa Lucía de Barva de Heredia, del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y expuesta en la Tabla #3, la cual muestra los volúmenes de precipitación, igualmente en la Imagen # 6 se muestra la información del registro anual de máximas precipitaciones diarias de 1982 a 2010 y como resultado, en la Imagen # 7, la curva de distribución de valores extremos.

Sin embargo, los datos de los histogramas de incrementos de precipitación en el tiempo y la medición de las máximas precipitaciones necesarios para ser tomados en cuenta en los cálculos de la presente investigación no fueron medidos en sitio, a razón de las limitantes académicas en cuanto al acceso a pruebas de laboratorio y equipo necesario. Sin embargo, dentro de una de las tesis de referencia analizadas en el Capítulo I, titulada “Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla” del ingeniero Rafael Murillo Muñoz, se expone dentro de sus resultados estas mediciones para la estación 84111, una intensidad máxima de precipitación a los 20 minutos y los valores resultantes, como se muestra en las Imágenes # 37 y # 38.

SANTA LUCIA Histograma Característico

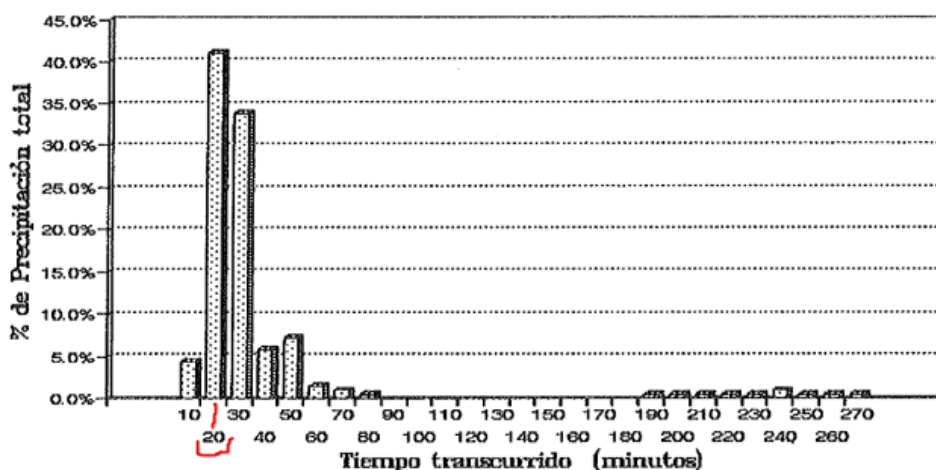


Imagen # 37. Histograma temporal de la precipitación en la estación 84111 Santa Lucía
 Fuente: (Murillo, Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla, 1994)

Valores de intensidad en la estación: **SANTA LUCIA**

Tiempo (minutos)	Período de Retorno (años)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	184.5	214.9	241.2	258.0	270.7	280.9	315.3	353.8
10	146.0	170.1	190.8	204.2	214.2	222.3	249.4	279.9
15	125.8	146.6	164.5	176.0	184.6	191.6	215.0	241.3
20	112.8	131.4	147.5	157.8	165.5	171.8	192.7	216.3
25	103.5	120.5	135.3	144.7	151.8	157.5	176.8	198.4
30	96.4	112.2	125.9	134.7	141.3	146.7	164.6	184.7
60	73.1	85.1	95.5	102.2	107.2	111.2	124.8	140.1
120	47.4	53.0	57.8	60.7	62.9	64.6	70.4	76.6
360	17.2	19.2	21.0	22.0	22.8	23.4	25.5	27.8
720	9.1	10.1	11.0	11.6	12.0	12.4	13.5	14.7
1440	4.8	5.4	5.8	6.1	6.3	6.5	7.1	7.7

Valores en mm/hr.

Imagen # 38. Valores de intensidad de la precipitación en la estación 84111 Santa Lucía
 Fuente: (Murillo, Estudio de Intensidades de Lluvia en la Cuenca del Río Virilla, 1994)

Resultado del análisis de los datos obtenidos:

- Período de retorno para diseño: **25 años.**
- Intensidad máxima esperada = **171.800 mm/h.**

Cumpliendo con los requisitos para la aplicación de la metodología escogida, se aplica la Ecuación # 4 en distintas mediciones en tiempo, donde se obtiene un resultado de precipitación acumulada total en la zona de **Po=120 mm** y una precipitación efectiva acumulada que llega finalmente al sistema de desfogue de **Pe = 91.72 mm**, es importante también que se define que el agua se manejará como **flujo no uniforme y no permanente**, los cálculos correspondientes a estas precipitaciones se muestran a continuación en la Tabla #15.

Tabla # 15. Cálculo de precipitaciones acumuladas y efectivas

T (min)	D (años)	Intensidad Th25 (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)
5	25	280.900	99.500	72.158
10	25	222.300	110.500	82.619
15	25	191.300	110.000	82.141
20	25	171.800	120.000	91.720
25	25	157.500	184.800	154.774
50	25	146.700	220.700	190.107
100	25	111.200	274.800	243.612

Fuente: propia, 2022

Esta información permite calcular los caudales máximos a los cuales es expuesta la zona de la urbanización El Ensueño, con el uso del método racional y la Ecuación #1.

Según se estipula para el tipo de cobertura en clasificación hidrológica tipo C, el coeficiente de escorrentía escogido para el proyecto es de $C_e = 0.85$, según detalla la clasificación de la Tabla #1 del Capítulo II, haciendo referencia a pavimentos de asfalto o concreto.

La información de las áreas tributarias fue facilitada por parte de la Municipalidad de San Rafael de Heredia, según se muestra en la Imagen # 39.

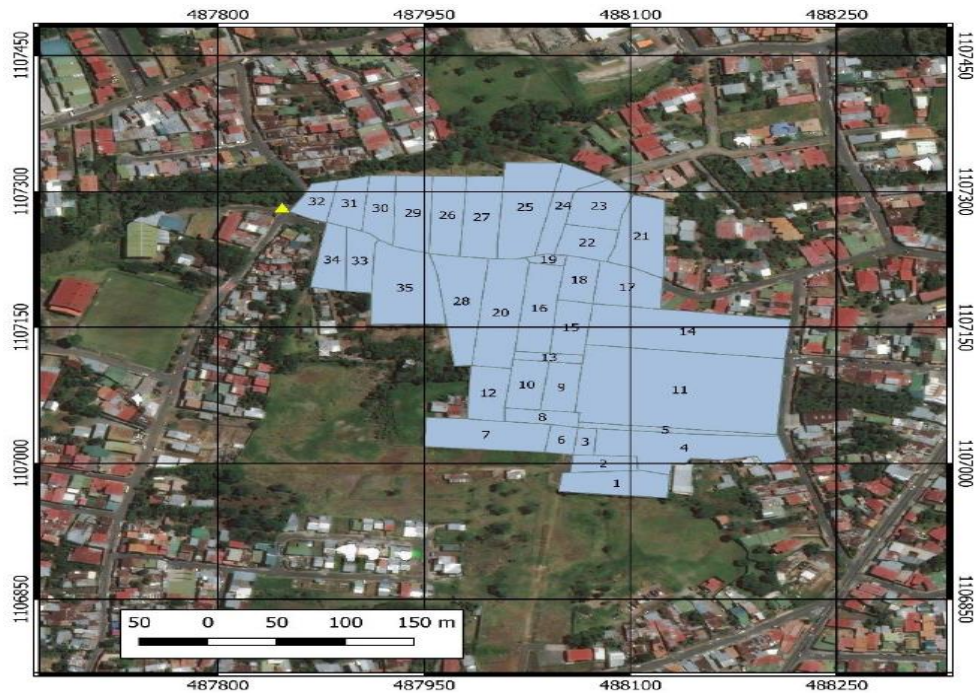


Imagen # 39. áreas tributarias de drenaje para el sistema pluvial para proyecto
Fuente: Municipalidad de San Rafael de Heredia

El resultado de los cálculos correspondientes a los caudales máximos para cada área Tributaria se detalla en el Anexo # 1.

4.2.2 Diseño de sistema pluvial

Uno de los elementos más complejos que dificultó obtener un diseño funcional fue la gran pendiente existente en la avenida 29, no obstante, para tener datos precisos en cuanto a las rasantes del terreno se obtuvo, por parte de la Municipalidad, las curvas de nivel correspondientes, según se muestran en las imágenes # 33 y # 40.

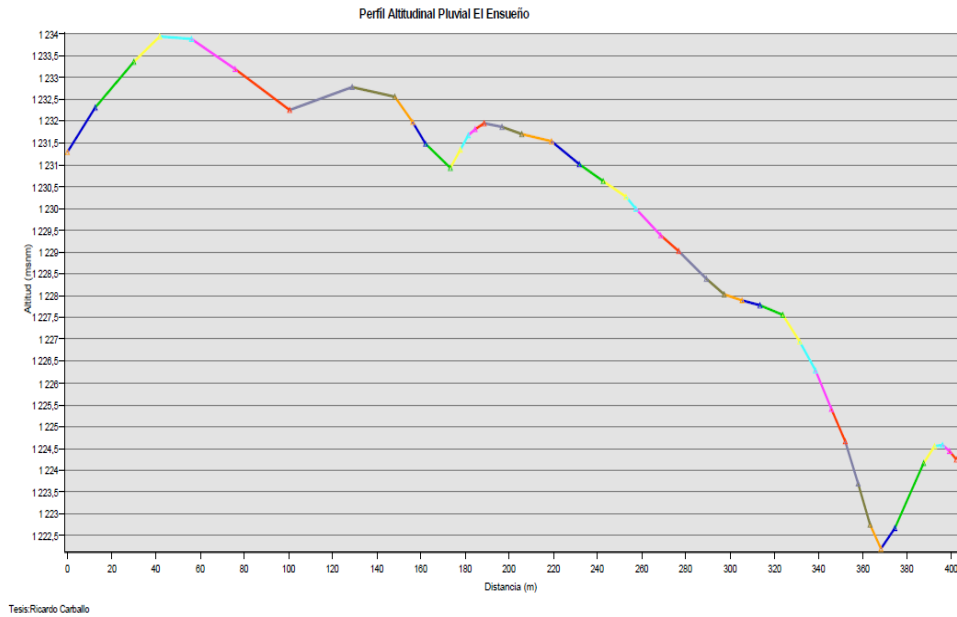


Imagen # 40. Vista en Perfil de tramo de tubería a intervenir
Fuente: Municipalidad de San Rafael de Heredia

4.2.2.1 Diseño de Pozos

Para el diseño del nuevo sistema de desfogue, se determina que la cantidad de pozos en la Avenida 29 debe aumentar de 5 a 10, esto ya que por la pendiente del terreno se producen altas velocidades de flujo y para la calle 15 A se debe agregar 2 pozos más, para aumentar la capacidad de captación y disminuir la energía y las velocidades del agua que posteriormente llegarán a los 10 pozos de la Avenida 29, dando como resultado la siguiente distribución de pozos y elementos disipadores de energía, mostrados en la Tabla #16.

Igualmente, se añadieron 3 cajas colectoras que tienen la función de disipar la energía del agua, captando y retrasando el tiempo de paso de las aguas.

Tabla # 16. Capacidad y dimensiones de los pozos del sistema

Pozo	Elevación de rasante (m,s,n,m)	Elevación de Fondo (m,s,n,m)	Altura (m)	Diámetro interno (m) mínimo 1.20	Caudal Máximo de entrada (m3/s)
1	94.9	93.2	1.70	1.2	0.72
Caja 1	94.1	92.1	2.00	3 x 3	1.30
2	94	91.5	2.50	1.6	1.40
3	96.2	91	5.20	1.6	1.71
Caja 2	96.2	90	6.20	2 x 2	2.07
4	95.8	89	6.80	1.6	2.26
5	92	87	5.00	1.6	2.55
6	90	85	5.00	1.6	2.55
7	87.7	83	4.70	1.6	2.55
8	85	80	5.00	1.6	2.84
9	82	77	5.00	1.6	2.99
10	78	73	5.00	1.6	2.99
11	75	70	5.00	1.6	3.05
12	72	67	5.00	1.6	3.05
13	70	66.5	3.50	1.6	3.15
Caja 3	68	66	2.00	2 x 2	3.17

Fuente: propia, 2022

4.2.2.2 Diseño de tuberías

Una vez definida la cantidad de elementos disipadores de energía para el sistema, se procedió a dimensionar las longitudes, materiales y capacidades de las tuberías que los comunican.

Se elige trabajar con tuberías de concretos prefabricados y utilizar la ecuación de Mannig para el cálculo de sus capacidades, por lo que para las tuberías seleccionadas se determina trabajar con un coeficiente de rugosidad $n = 0.013$.

Se utiliza la Ecuación # 6 para el cálculo de las velocidades, la Ecuación # 7 para el cálculo de los caudales máximos y la Ecuación # 8 para la fuerza tractiva.

Se diseña una distribución de 36 tuberías, las cuales interconectan los 13 pozos y cajas colectoras y se aumentó la cantidad de tragantes de doble rejilla a 20 de los 15 existentes.

Entre los resultados obtenidos en la memoria de cálculo resultante se determina que, con esta distribución de tuberías, se logra cumplir con la normativa vigente, la cual establece velocidades no mayores a 5 m/s, fuerzas tractivas mínimas de 0.10 kg / cm², capacidades de las tuberías de no más del 85% y cumpliendo los diámetros nominales en las tuberías.

Sin embargo, en los 2 últimos tramos de tubería que dan hacia el desfogue se encontraron velocidades que rebasan la normativa, como se muestra en la Tabla #17, no obstante, la normativa menciona “Se permiten velocidades de hasta 7,0 m/s en el tramo final (último pozo de registro pluvial-cabecal de desfogue).” (AyA, 2017)

Tabla # 17. Diseño, distribución y capacidad de tuberías para el sistema

TABLA DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE LAS TUBERÍAS DEL SISTEMA										
Tubería	Nodo Entrada	Nodo Salida	Longitud (m)	Diametro Interno (m)	Pendiente (%)	Altura en m de Salida Fondo de Pozo de Llegada, a fondo de tubería	Caudal Máximo (m3/s) $Q = \frac{AR^{2.33}S^{0.94}}{n}$	Velocidad (m/s) $V = \frac{1.49R^{0.48}S^{0.047}}{n}$	Fuerza Tensión (Kg/cm2) $T = \gamma Rh^3 S$	(Y) Profundidad del agua (m)
1	Tragante 1	Pozo 1	3.20	0.40	0.030	0.20	0.18	2.87	3.00	0.20
2	Tragante 2	Pozo 1	8.10	0.40	0.012	0.40	0.11	1.82	1.20	0.20
3	Pozo 1	Caja 1	69.10	1.00	0.014	0.20	1.42	3.61	3.50	0.40
4	Tragante 03	Caja 1	7.90	0.40	0.013	0.80	0.12	1.89	1.30	0.30
5	Tragante 04	Caja 1	6.80	0.40	0.015	0.70	0.13	2.03	1.50	0.20
6	Tragante 05	Caja 1	6.80	0.40	0.021	1.10	0.15	2.40	2.10	0.10
7	Caja 1	Pozo 02	8.30	1.20	0.024	0.30	3.02	3.34	5.20	0.60
8	Tragante 06	Pozo 02	4.00	0.50	0.063	1.40	0.47	4.83	7.88	0.30
9	Tragante 07	Pozo 02	5.00	0.50	0.040	1.40	0.38	3.85	5.00	0.20
10	Pozo 02	Pozo 03	98.30	1.20	0.005	0.00	1.38	2.44	1.50	0.80
11	Tragante 08	Pozo 03	8.50	0.40	0.195	4.00	0.46	4.32	14.50	0.10
12	Pozo 03	Caja 2	11.20	1.20	0.036	0.60	3.70	4.54	8.80	0.60
13	Caja 2	Pozo 04	12.50	1.20	0.036	0.00	3.70	3.54	5.80	0.60
14	Tragante 09	Pozo 04	8.00	0.40	0.076	4.80	0.29	4.57	7.60	0.20
15	Tragante 10	Pozo 04	7.89	0.40	0.060	4.50	0.26	4.06	6.00	0.20
16	Pozo 04	Pozo 05	48.00	1.20	0.010	1.20	1.95	3.45	3.00	0.60
17	Tragante 13	Pozo 05	6.00	0.40	0.051	4.20	0.24	3.74	5.10	0.20
18	Tragante 12	Pozo 05	7.20	0.40	0.056	3.80	0.25	3.92	5.60	0.20
19	Tragante 11	Pozo 05	5.00	0.40	0.099	3.00	0.33	3.21	7.90	0.30
20	Pozo 05	Pozo 06	14.40	1.20	0.021	1.70	2.82	4.00	5.30	0.70
21	Pozo 06	Pozo 07	13.40	1.20	0.023	1.70	2.96	3.73	5.40	0.70
22	Pozo 07	Pozo 08	13.20	1.20	0.030	2.60	3.38	4.47	7.50	0.60
23	Tragante 14	Pozo 08	8.50	0.40	0.059	4.00	0.25	4.03	5.90	0.20
24	Tragante 15	Pozo 08	5.50	0.40	0.018	3.10	0.14	2.22	1.80	0.20
25	Pozo 08	Pozo 09	13.90	1.20	0.022	2.70	2.89	3.61	5.10	0.70
26	Tragante 16	Pozo 09	4.40	0.40	0.023	3.50	0.16	2.51	2.30	0.20
27	Tragante 17	Pozo 09	7.70	0.40	0.013	2.50	0.12	1.89	1.30	0.20
28	Pozo 09	Pozo 10	17.80	1.20	0.028	3.50	3.26	4.77	7.40	0.70
29	Pozo 10	Pozo 11	11.70	1.20	0.017	2.80	2.54	4.49	5.10	0.60
30	Tragante 18	Pozo 11	8.80	0.40	0.108	4.20	0.34	3.95	10.80	0.10
31	Pozo 11	Pozo 12	11.20	1.20	0.027	2.70	3.20	4.16	7.10	0.60
32	Pozo 12	Pozo 13	6.00	1.20	0.017	0.40	2.54	4.49	4.10	0.60
33	Tragante 19	Pozo 13	5.00	0.40	0.040	1.00	0.21	3.31	4.00	0.10
34	Tragante 20	Pozo 13	5.00	0.40	0.030	0.50	0.18	2.87	3.00	0.20
35	Pozo 13	Caja 3	14.60	1.50	0.163	0.00	14.25	5.13	50.94	0.60
36	Caja 3	Desfogue	2.17	1.50	0.163	0.00	14.25	6.13	49.94	0.40

Fuente: propia, 2022

Todos los elementos y especificaciones técnicas pueden detallar en los planos del nuevo sistema en el Anexo #2.

4.2.3 Validación de resultados por medio de software EPA-SWMM

Para certificar los resultados obtenidos en la memoria de cálculo, se procedió entonces a realizar una simulación de precipitaciones utilizando el software SWMM, estableciendo un tiempo de 1 hora y 20 minutos de simulación de precipitación, esto ya que la medida de las precipitaciones máximas viene en mm/h, y se le agregan 20 minutos para así asegurar se llegue al máximo período en minutos en nivel máximo de precipitación.

Los caudales se estiman, según los datos obtenidos de precipitación efectiva acumulada que llega finalmente al sistema de desfogue, de **Pe = 91.72 mm**, obteniendo los siguientes resultados.

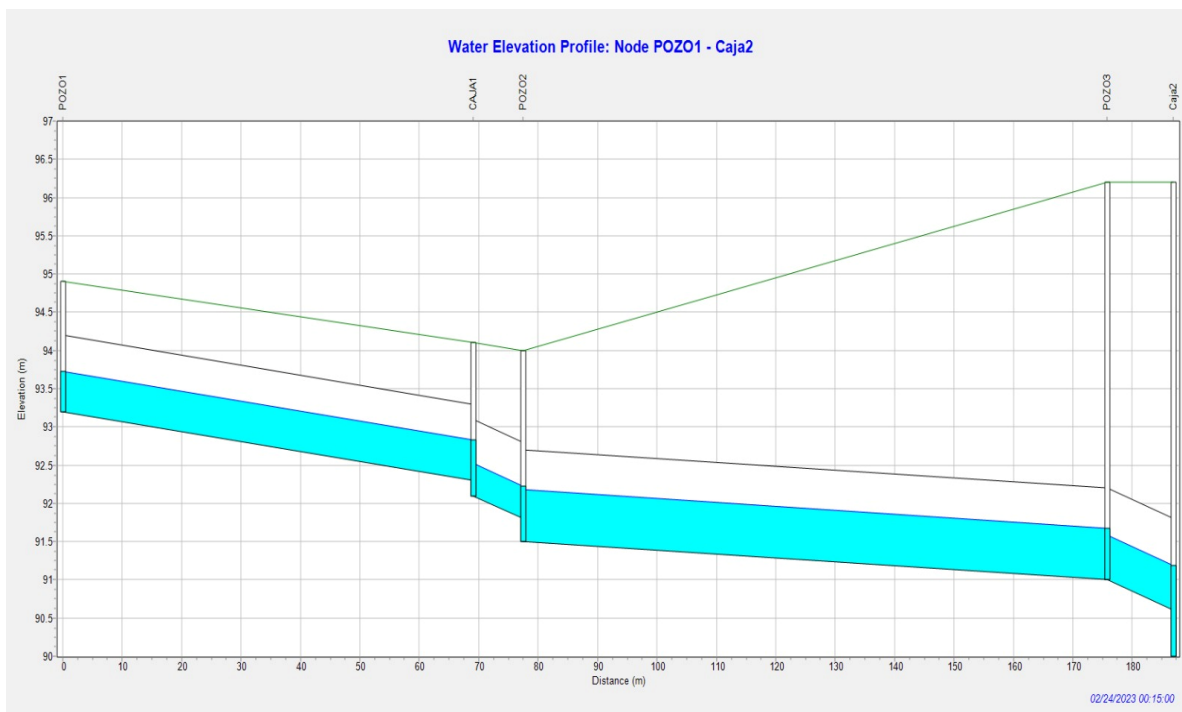


Imagen # 41. SWMM capacidad de tuberías y pozos en El Ensueño Pozo 1 a Caja 2
Fuente: EPA-SWMM

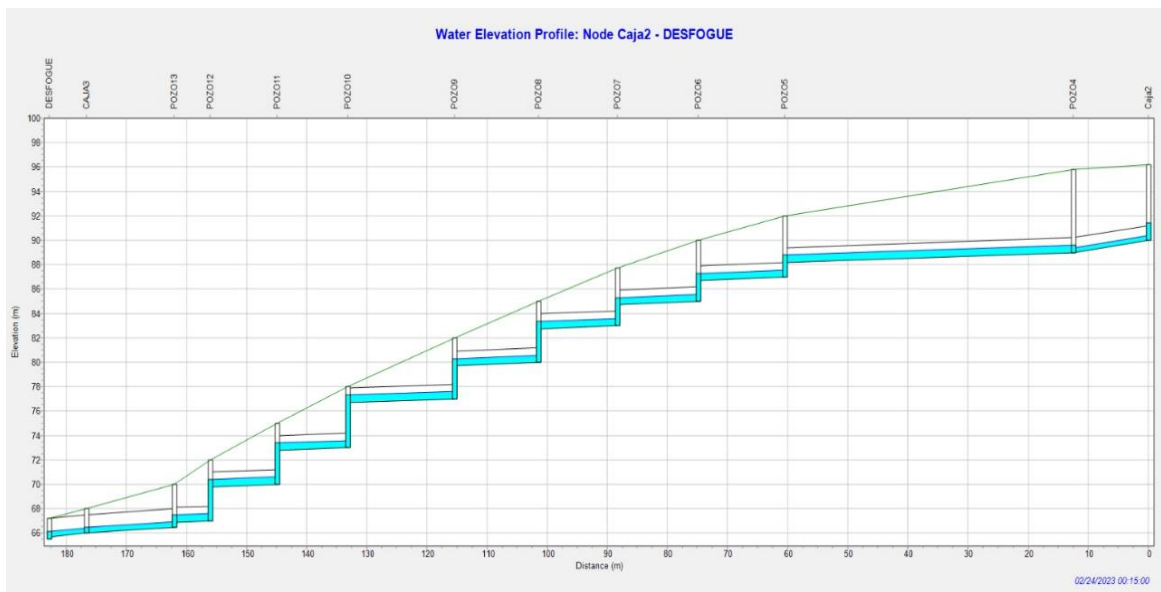


Imagen # 42. SWMM capacidad de tuberías y pozos en El Ensueño Caja 2 a Desfogue.
Fuente: EPA-SWMM.

Las imágenes # 41 y # 42 detallan el resultado de la simulación, aplicando caudales en las tuberías y pozos, donde muestra que efectivamente el sistema funciona adecuadamente y soporta las precipitaciones en el tiempo estimado, igualmente no se superan las capacidades máximas del 85% dentro de las tuberías.

Como última validación, se miden las velocidades que presentan las tuberías durante la ejecución del programa, para así estimar la escorrentía, y se logra certificar los resultados de la memoria de cálculo, donde todas las tuberías, a excepción del último tramo hacia el desfogue, no superan los 5 m/s, como se muestra en la Imagen # 43.

Link	Maximum [Velocity] m/sec	Max / Full Flow	Max / Full Depth
3	2.65	0.18	0.29
7	4.20	0.15	0.26
10	2.19	0.23	0.33
12	4.60	0.50	0.50
13	4.49	0.52	0.51
16	4.12	0.58	0.55
20	4.88	0.46	0.48
21	4.88	0.46	0.48
22	4.71	0.48	0.49
25	4.94	0.45	0.47
28	4.50	0.51	0.51
29	4.53	0.51	0.51
31	4.60	0.50	0.50
32	4.49	0.52	0.51
35	<u>5.77</u>	0.20	0.30
36	<u>6.55</u>	0.17	0.28

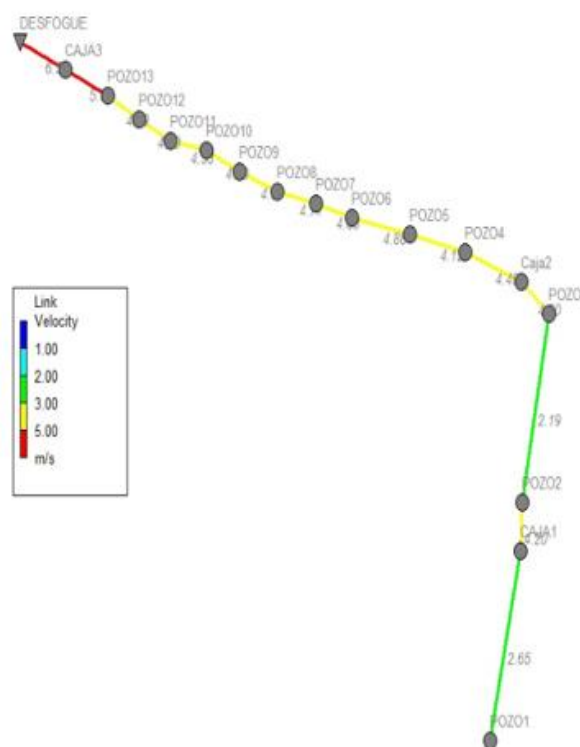


Imagen # 43. SWMM medición de velocidades y profundidad del agua en tuberías El Ensueño
Fuente: EPA-SWMM

Sin embargo, se toma como referencia un plan remedial aplicado en unos de los proyectos visitados durante el trabajo de campo, específicamente el mostrado en la Imagen #19, en donde se construye una loza de concreto zampeado, con la finalidad de disminuir la energía y la velocidad en la salida del agua; sin embargo, este elemento será meramente una recomendación, por lo que no se incluirá en el presupuesto. Los elementos del diseño para la salida del desfogue están detallados en el Anexo #4.

4.2.4 Presupuestación para la etapa

Como actividad final del presente enunciado, se realizó una proyección del posible costo de la obra, tomando en cuenta un sondeo de precios en el mercado local, dando como resultado un costo aproximado de $\text{¢}278,057,761.28$. Los detalles del presupuesto de esta etapa se podrán ver en el Anexo #6.

4.3 Solución de recuperación de vía y muro de contención en calle Paraíso

Los resultados de esta etapa corresponden al siguiente paso a proponer para lograr el objetivo de recuperar el área perdida en la comunidad a razón del socavamiento de terreno, que como se ha detallado, era resultado de un sistema de desfogue inadecuado.

Según se detalló en la Imagen # 30, se tiene un área socavada medida desde el nivel de calle, conforme a la línea de seguimiento de las propiedades colindantes y la altura sobre la base de este, correspondiente a un área de 84 m^3 .

Esto da como resultado que, para la construcción del muro, colocación de la tubería correspondiente al tramo final del sistema de desfogue y el relleno necesario para recuperar el área restante, se requerirá una excavación con las siguientes dimensiones:

- Ancho: 4 m a razón de extender 1.20 m más del punto de fallo del terreno y asegurar una compactación adecuada.
- Altura: 3 m para así poder asignar suficiente espacio al área de cimientos del muro que se requiere construir.
- Largo: 14 m que constituye los 10 m de área sobre el límite de la quebrada y el área afectada a las propiedades colindantes.

Estas especificaciones se logran detallar en la Imagen # 45.

Como tercer dato se pasa a definir el diseño de la estructura de contención, para así posteriormente realizar el relleno necesario.

4.3.1 Diseño del muro de contención

Se analizaron varias opciones para aplicar en la construcción de la estructura de contención necesaria y, de todas ellas, la más adecuada para el presente proyecto se determinó en un muro rígido con una aplicación de secciones por gravedad, específicamente un muro de gaviones.

4.3.1.1 Análisis y condiciones del terreno y materiales de construcción del muro.

Los primeros datos necesarios para realizar un diseño funcional son las características del terreno a contener; ante la falta de estudios de suelo reales en sitio, estos datos fueron obtenidos del proyecto visitado en Santo Domingo de Heredia, mostrado en la Imagen # 24, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tipo de suelo: **Limo.**
- Angulo de fricción interna: **18 grados.**
- Peso específico del terreno: **1.75 ton/m³ o 1750 Kg/m³.**
- Cohesión: **0 KN/m².**

Al tener entonces definido el tipo muro, se deben determinar las condiciones del terreno donde se construirá el muro.

- Inclinación: **0%** en la base y sobre el terraplén.
- Propiedades del terreno: **roca**, se estima que al haberse lavado el terreno por mucho tiempo y conforme con las observaciones dadas, se construirá sobre lecho rocoso siendo este tipo de terreno de muy buena capacidad soportante.
- Capacidad soportante admisible: **10 ton * m² o 1.02 kg/cm²**

Y posteriormente, tener los datos correspondientes a los materiales de construcción del muro.

- Pero específico de la piedra del gavión: **29 KN/m³ o 2957.18 kg/m³.**
- Porosidad del gavión: **20%**, se estima que, del volumen total de cada gavión, solo el 80% corresponde a roca y el resto a espacios de porosidad.

- Disminución de fricción: **5%**, este porcentaje corresponde a la fricción que existe entre el muro y la base donde está construido, también del muro hacia el terreno, no obstante, se utilizará un material Geotextil que disminuye la fricción.
- Malla de cajas para gaviones en **2.7 mm**.

4.3.1.2 Diseño del muro de gaviones

Según se requiere en el área, el muro deberá tener las siguientes dimensiones:

- Altura: **3 m**, esto soluciona el terreno socavado por 2.8 m más 0.30 de base de cimiento para que el muro se apoye.
- Largo: **14 m**, como se estipuló en las dimensiones de excavación.

Para definir las dimensiones de la base del muro, se aplica entonces la Ecuación #11 y se obtiene como resultado una base del muro de **B = 2 m**.

Se establece que, para lograr abarcar los 14 m de largo del muro, las dimensiones de cada bloque tendrán una longitud de 2 m, lo cual requerirá 7 secciones con la configuración detallada en la Imagen # 44.

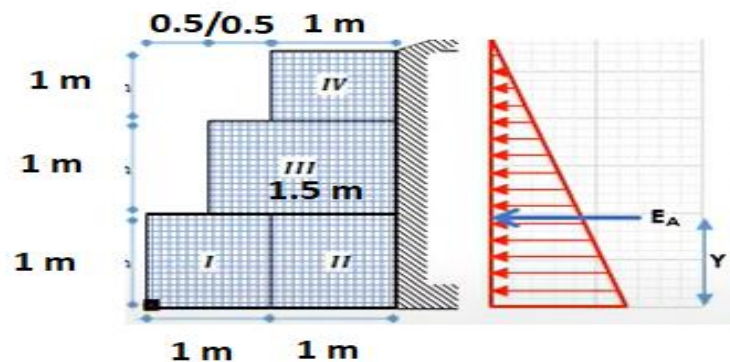


Imagen # 44. Diseño de segmento para muro de gaviones en calle Paraíso, con detalle de fuerzas aplicadas
Fuente: propia, 2023

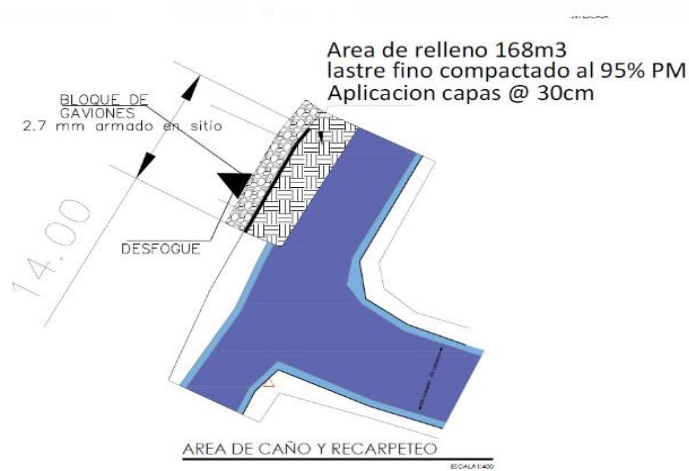


Imagen # 45. Dimensiones de área recuperada junto a muro de contención en calle Paraíso
Fuente: propia, 2023

4.3.1.3 Resultados de verificación y análisis de estabilidad para el muro

Para asegurar que la propuesta brinda un muro seguro y estable, deben realizarse las correspondientes verificaciones de estabilidad que exige la norma vigente, basadas en verificaciones seguras de deslizamiento, vuelco o volteo, hundimiento o estabilidad del terreno y análisis global de los segmentos del muro.

Conforme lo establecen las mediciones de seguridad, se mencionan los parámetros para los factores de seguridad por deslizamiento, factores de seguridad por volteo, factor de seguridad de capacidad del terreno, que serán los siguientes:

Factor de seguridad por volteo (FSV): **2**

Factor de seguridad por deslizamiento (FSD): **1.5**

Factor de seguridad de capacidad del terreno (FSCT): **1.02**

El primer dato necesario para realizar verificaciones se obtuvo de las Ecuaciones # 12 y # 13, donde con ellas se logró encontrar fuerzas de empuje activo (EA) que afectan al muro, primeramente, con un resultado para coeficiente de empuje de **Ka = 0.33 ton** y posteriormente un empuje activo de **EA = 2624.74 kg**.

Estos datos brindan entonces que, al aplicar un empuje activo a un tercio de la altura del muro (**yc = 1m**), se logra calcular el momento por volcamiento (MA) con un valor de **MA = 2624.74 kg*m**.

Como siguiente actividad, se analizó cada uno de los bloques que componen el muro y se aplicó una multiplicación del peso unitario de las rocas que se utilizarán en el gavión, y el volumen de cada bloque, sumado a su peso en kilogramos, adicionando el peso total de cada segmento del muro, con lo que se obtiene un valor de **P = 21291.67 kg**. También se obtiene un área para la base del muro de **BM = 4 m²**, un volumen de **VM=9 m³** para cada segmento del muro y, finalmente, así se estimó en cada uno de los bloques la distancia entre el centro de ellos hacia el punto exterior de momento creado por las fuerzas externas que lo afectarán, se logró obtener el momento resistente (Mr) con un valor de **Mr = 25431.72 kg * m**, estos cálculos se detallan a continuación, en la Tabla # 18.

Tabla # 18. Análisis por bloque y segmento para el cálculo del momento resistente del muro (Mr)

Calculo de peso total y Momento resistente						
Bloque	Area (m2)	Volumen de cada bloque (m3)	Peso Unitario Roca (kg/m3)	Peso x Bloque (Kg)	Brazo X (m)	Momento (Kg*m)
I	1.00	2.00	2957.18	4731.48	0.50	2365.74
II	1.00	2.00	2957.18	4731.48	1.50	7097.22
III	1.50	3.00	2957.18	7097.22	1.25	8871.53
IV	1.00	2.00	2957.18	4731.48	1.50	7097.22
Area de la base del muro (AB)	4.00	9.00	Peso x segmento de muro (P)	21291.67	Momento resistente (Mr)	25431.72

Fuente: propia, 2022

4.3.1.4 Verificación por volteo del muro

Se valida entonces utilizando la Ecuación #14 que:

$$9.69 \geq FSV \quad / \quad 9.69 \geq 2$$

Por lo tanto, **Sí cumple con la verificación de volteo.**

4.3.1.5 Verificación por deslizamiento del muro

Se valida con la utilización de la Ecuación # 15 que:

$$4.68 \geq FSV \quad / \quad 4.68 \geq 1.5$$

Por lo tanto, **Sí cumple con la verificación de deslizamiento.**

4.3.1.6 Verificación por hundimiento y capacidad del terreno

Para la validación de las capacidades del terreno donde se instalará el muro, se procedió a calcular primeramente el punto de aplicación normal del muro (X) en el terreno, este se realiza con la utilización de la Ecuación #16 y se obtiene un resultado de **X = 1.07 m.**

Posteriormente, utilizando el valor de X se busca el punto de excentricidad del muro (e), aplicando entonces la Ecuación #17 y se obtiene un resultado de **e = -0.07**, sin embargo, este valor debe validarse, ya que este no puede ser mayor al valor de las dimensiones de una sexta parte base del muro (B/6), por lo que con base en los resultados **-0.07 < 0.33**, por lo que la validación **Sí cumple.**

Con estos datos se procede a analizar si existen efectos de tracciones sobre el muro ocasionados por el empuje activo (EA), utilizando la Ecuación #18, para encontrar esfuerzos

de tracciones positivos y negativos ($\sigma 1$ y $\sigma 2$), y se obtiene como resultados que el esfuerzo positivo es de $\sigma 1 = 0.42 \text{ kg/cm}^2$ y el esfuerzo negativo es de $\sigma 2 = 0.65 \text{ kg/cm}^2$.

Estos valores se validaron contra el factor de seguridad de capacidad del terreno, siendo que:

$$\sigma 1 = 0.42 < \text{FSCT} \quad / \quad \sigma 1 = 0.42 < 1.02$$

$$\sigma 2 = 0.65 < \text{FSCT} \quad / \quad \sigma 2 = 0.65 < 1.02$$

Por lo tanto, **Sí cumple con la verificación de capacidad** y se determina que no existen tracciones, por lo que el empuje activo (EA) no vuelca el muro.

4.3.1.7 Verificación global del muro

La última verificación procede a validar, de forma independiente, cada uno de los bloques que componen el muro. Para el caso del diseño propuesto, este análisis se aplicaría en 3 secciones, la primera sería la sección superior, compuesta por el bloque IV, una segunda sería la sección intermedia, compuesta por el bloque III y la última sería la sección de la base, compuesta por los bloques I y II.

Se recalculó para cada una de las secciones mencionadas nuevamente el Empuje Activo (EA), el momento por volcamiento (MA), los pesos de cada sección un momento resistente (Mr), los cuales se vuelven a comparar de manera independiente con los factores de seguridad de volcamiento y de deslizamiento.

Los cálculos correspondientes a esta verificación se detallan entonces en la Tabla #19.

Tabla # 19. Verificación global de bloques del muro de gaviones

Bloque IV				
Calculo de empuje activo Bloque IV (EAIV)	492.813	kg		
Momento por volcamiento Bloque IV(MAIV)	164.271	kg * m		
Peso de bloque IV	4731.482	kg		
Momento resistente Bloque IV(MrIV)	2365.741	kg * m		
Factor de Seguridad por volcamiento (FSV)	14.401	>	2.00	Si cumple
Factor de Seguridad por volcamiento (FSV)	5.540	>	1.50	Si cumple
Bloque III				
Calculo de empuje activo Bloque III (EAI)	1971.254	kg		
Momento por volcamiento Bloque III(MAIII)	1314.169	kg * m		
Peso en bloque III	9462.964	kg		
Momento resistente Bloque III(MrIII)	14194.447	kg * m		
Factor de Seguridad por volcamiento (FSV)	10.801	>	2.00	Si cumple
Factor de Seguridad por volcamiento (FSV)	2.771	>	1.50	Si cumple
Bloque I y II				
Calculo de empuje activo Bloque II (EAI)	4435.321	kg		
Momento por volcamiento Bloque II(MAII)	4435.321	kg * m		
Peso de bloque II	18925.929	kg		
Momento resistente Bloque II(MrII)	18925.929	kg * m		
Factor de Seguridad por volcamiento (FSV)	4.267	>	2.00	Si cumple
Factor de Seguridad por volcamiento (FSV)	2.460	>	1.50	Si cumple

Fuente: propia, 2022

Por lo tanto, **Sí cumple con la verificación de volteo y deslizamiento para cada una de las secciones del muro**, y se determina que la verificación global de estabilidad del muro es aceptable.

4.3.1.8 Validación de los resultados obtenidos por medio de la utilización del *software GAWAC 3.0*

Para certificar los resultados obtenidos en la memoria de cálculo, se procedió a realizar un diseño con el *software GAWAC 3.0*, basándose en los cálculos obtenidos, las dimensiones establecidas y aplicando las especificaciones técnicas brindadas por la empresa Maccaferri de Costa Rica. A este diseño se le aplicó una carga sobre el terraplén de 120 KN/m^2 , la cual es una carga aceptable para las pruebas, y se asignó una profundidad de cimentaciones de 0.30 m sobre el lecho rocoso para asegurar su estabilidad. Los resultados de dicha simulación muestran que, en efecto, el muro cumple con un análisis global satisfactorio, lo cual certifica la eficacia de los cálculos obtenidos en la memoria de cálculo, que se muestran en la Imagen # 46.

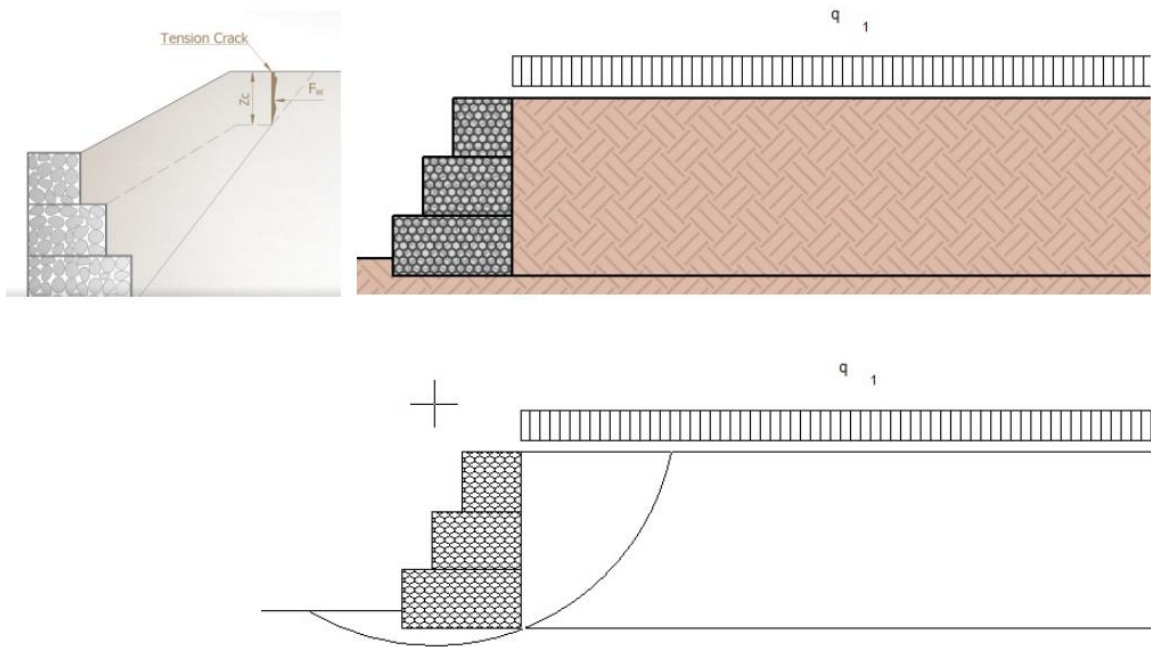


Imagen # 46. Diseño y análisis del muro para el Ensueño con GAWAC 3.0
Fuente: propia, 2023

4.3.1.9 Presupuestación de la etapa

Como activad final del presente enunciado, se realizó una proyección del posible costo, tomando en cuenta cotizaciones de al menos un proveedor local y un sondeo de precios en el mercado local, dando como resultado un costo aproximado de $\text{¢}14,819,450.00$, los detalles del presupuesto de esta etapa se podrán ver en el Anexo #6.

4.4 Proceso de recarpeteo de vías

Para el inicio de la presentación de los resultados del siguiente enunciado, se definieron los requerimientos y aspectos puntuales que determinaron la ruta de trabajo a seguir en una posible etapa final.

El trabajo de sustitución de la tubería principal del sistema pluvial expuesto anteriormente dejaría daños significativos en el área de rodamiento desde la calle 15 A hasta la Avenida 29 y desde la intersección con la calle 15 A hasta el área socavada en la calle Paraíso, según se mostró en la Imagen # 34 del presente capítulo.

Previamente, en el enunciado 4.2, se obtuvo los resultados correspondientes a la cantidad de precipitaciones que afectan la zona de San Josecito de San Rafael de Heredia. Igualmente, se definió el tipo de suelo y uso de suelo con que se calcularon las correspondientes precipitaciones. Es entonces que se determina en el presente proyecto que los trabajos se deben limitar exclusivamente a la reconstrucción de la carpeta asfáltica de la vía, esto ya que no se está exponiendo un diseño completamente nuevo de la carretera.

Se encontró que ya existe un trazado a seguir, al igual que las curvas del diseño, los estacionamientos, la distribución de calles, junto con las pendientes e inclinaciones de las vías que ya se encuentran plenamente identificadas y definidas, mostrando que el área que más se impactaría en los trabajos de mejoramiento corresponderían mayormente al área de excavación, donde se colocarían las nuevas tuberías, la construcción de los pozos y las cajas pluviales, definidos en el enunciado 4.2 y, finalmente, la zona de relleno del muro de contención expuesta en el enunciado 4.3.



Imagen # 47. Parcheo de asfalto en área de rodamiento, Avenida 29
Fuente: propia, 2022

En Costa Rica es muy común ver casos como los expuestos en la Imagen # 47, en donde una vez que se realizan los trabajos de mejoramiento de infraestructura los gobiernos locales proceden únicamente a “parchar” con nuevo pavimento la línea de excavación; sin embargo esta práctica es sumamente inadecuada, debido a que agrega distintos tipos de asfalto a la misma área de rodamiento, provocando deformaciones, disminuyendo la vida útil de esta, dañando la demarcación horizontal y, finalmente, dando un aspecto inadecuado a la vía.

Es entonces que el presente proyecto define una propuesta de trabajo para el recarpeteo completo de las vías, y no aplicar un “parcheo”, por lo que entonces serán recarpeteadas la calle 15 A en su totalidad, la sección de la Avenida 29, que inicia desde el área de desfogue en calle Paraíso hasta la interacción con la calle 15 A y, finalmente, la sección de vía de la calle Paraíso, que contempla la intersección con la Avenida 29, y

aproximadamente 9 metros de la vía donde se recuperó el área socavada, dando un total de **3,927.5 m²** de área de rodamiento a recarpetear, detallado en el Anexo #5.

En el trabajo de campo se determinó que se debe proceder con la reconstrucción de los caños en las vías trabajadas, para que se conecten a los nuevos colectores pluviales de doble rejilla del nuevo diseño de desfogue de aguas. Según se especificó en el enunciado 4.2, serían 20 rejillas dobles de 0.93 m de ancho, por lo que esto resultaría en 622.9 m lineales de caños, esto para asegurar su correcto funcionamiento, en conjunto con la nueva carpeta asfáltica.

Por lo tanto, como resultado, pueden definirse las condiciones necesarias que se deben cumplir para el inicio del proceso de recarpeteo.

1. Debe estar finalizado el proceso de cambio de tubería, expuesto en el apartado 4.2.
2. Debe estar construido el muro de contención en el área de socavamiento y listo el relleno de material en el área socavada, expuesto en el apartado 4.3.
3. Deben estar construidos los 200 m de cordón de caño recomendados.

4.4.1 Diseño para los pavimentos flexibles del proyecto

Se define utilizar la metodología de ASSHTO-93 para realizar el diseño de los pavimentos flexibles requeridos para el recarpeteo de las vías, por ser una metodología sencilla de aplicar, que es ampliamente utilizada en Costa Rica, no requiere del pago de equipo especializado y, principalmente, porque aún no existe una metodología obligatoria en el país en la aplicación de proyectos de esta naturaleza.

4.4.1.1 Parámetro de confiabilidad (R) y valor estadístico asociado (ZR)

El proyecto para la urbanización El Ensueño se clasifica como una carretera **colectora-suburbana**, resultando, según la clasificación presentada en la Tabla # 06 del Capítulo II, un valor de **R = 90% (0.90)**, es decir, durante el período de 10 años existe un 10% de probabilidad de fallo sobre la estructura de la vía, resultando, según la clasificación presentada en la Tabla # 07 del Capítulo II, un valor estadístico asociado **ZR = -1.282**.

Para el valor de la desviación estándar global se determina en **S0 = 0.49**, descrita como considerable o poco conocida para el futuro la cantidad de automóviles que pasarán por esa vía.

4.4.1.2 Parámetro de índices de serviciabilidad inicial (P0) y serviciabilidad final (PT)

Para los índices de serviciabilidad se asigna el valor máximo de índice inicial (P0) de 4.2, y de Serviciabilidad final (PT) de 2.0, según la clasificación presentada en la Tabla # 08 del segundo capítulo, donde se obtiene un valor final de **Δ PSI = 2.2**.

4.4.1.3 Período de diseño (y)

Conforme se realiza un pequeño sondeo en varios proyectos visitados en la zona, se establece un período de diseño de **y=10 años**, esta decisión también se refuerza con una de las características de los pavimentos flexibles que sufren el fenómeno de oxidación, lo cual hace que sea más pronto el proceso de mantenimiento de dichos pavimentos.

4.4.1.4 Clasificación de capacidad de los drenajes y porcentajes de tiempos de saturación

A razón de los resultados obtenidos en el enunciado 4.2 del presente documento, se puede entonces clasificar la calidad del drenaje como **bueno**.

Según los datos climatológicos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), la zona de San Rafael de Heredia es afectada por lluvias durante más de 9 meses al año, superando entonces un 25% el porcentaje de tiempo del año al cual está expuesta la estructura del pavimento a niveles de humedad próximas a saturación, asignándole un valor de saturación al año de $m^2 = 1 \text{ m}^3 = 1$.

Para el valor del m_1 de la carpeta asfáltica, se asigna un valor de $m_1 = 1$ asumiendo que esta última capa será impermeable.

4.4.1.5 Factor de tránsito y ejes equivalentes (ESAL'S) para el proyecto

Para el cálculo de los ejes equivalentes (ESAL's) a tomar en cuenta en el actual diseño, se procedió a realizar un estudio preliminar del tránsito promedio diario (TPD).

La metodología utilizada se basó en realizar un muestreo en un mismo punto o estación de conteo de los vehículos que utilizan la vía.

Se realiza una clasificación según lo estipula la metodología AASTHO-93, que divide los automóviles de la siguiente manera:

1. Vehículos Livianos.
2. Carga Liviana.
3. Autobuses.
4. Vehículos de 2 Ejes.
5. Vehículos de 3 Ejes.
6. Vehículos de más de 4 Ejes.

El muestreo se realizó tomando en cuenta tres tiempos distintos del día, en donde el tránsito cambia según la llamada “hora pico”, con las siguientes características:

- El primer lapso se realizó de las 7:00 a.m. a las 8:00 a.m., teniendo en cuenta que es la hora de ingreso a clases y donde las personas están en tránsito hacia sus trabajos.
- El segundo lapso se realizó de las 12:00 a las 13:00, siendo este un período considerado de bajo tránsito.
- El tercer lapso se realizó de las 17:00 a las 18:00, considerado también una “hora pico” del alto tránsito y el inicio del retorno de las personas hacia sus hogares.
- La primera estación de conteo se ubicó en la intersección de calle 15A con la Avenida 29, la razón de la escogencia de esta estación se basa en que en esa intersección está la entrada a la urbanización El Ensueño, la cual conecta a la calle Paraíso a través de la Avenida 29. Fue el pasado 14 de noviembre del 2022 que se realizó el muestreo en sitio en los tres lapsos de tiempo anteriormente mencionados.
- La segunda estación de conteo se ubicó en la intersección de la avenida 29 y la calle Paraíso, exactamente en el área del socavamiento. La razón de la escogencia de esta

estación se basa en que esta es una ruta alterna que conecta las comunidades de Barva y el Bajo de los Molinos, siendo que por ella el tránsito es mucho más denso que en la estación 1. Fue el pasado 17 de noviembre del 2022 que se realizó el muestreo en sitio en los tres lapsos de tiempo anteriormente mencionados.

El resultado final del conteo obtenido brindó una muestra de 474 automóviles en la estación 1 y de 1027 en la estación 2, resultando en un **TPD = 1501** vehículos.

Para obtener los resultados de los ejes equivalentes con base en el resultado del muestreo, se determinan los valores del factor camión, según se mostró en la Tabla # 09 del Capítulo II.

El factor de distribución direccional se establece con un valor de **DS = 0.50**, tomando como variable una vía de 2 carriles.

El factor de distribución por carril determina un valor basado en que se trata de una vía que posee un carril por sentido, asignándole al diseño un valor de **LDF = 100**.

En el año 2015 se estableció en el anuario del tránsito del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) un valor de **r = 0.048** para la razón de crecimiento anual de tránsito, siendo entonces que aplicando la Ecuación # 22 para la determinación del factor de crecimiento de la cantidad de vehículos, a razón de un período de diseño y estipulado anteriormente en 10 años estimados, se obtiene como resultado un valor de factor de crecimiento **G = 1.30**, y un resultado final de **ESAL's = 206890.60** ejes equivalentes, como se detalla a continuación en la Tabla # 20.

Tabla # 20. Cálculo final de ESAL'S para recarpeteo del proyecto El Ensueño

Resultado de conteo de muestreo DIARIO para cálculo AASHTO-93 TPD0, considerado transido en ambas direcciones en búsqueda de los ESALS de diseño									
Fecha	Hora	Estacion	TPD	Vehículo Liviano	Carga Liviana	Autobuses	2 Ejes	3 Ejes	5 Ejes
14/11/2022	07:00-08:00	Intersección Calle 15A Av 29	189.00	175	10	3	0	1	0
	12:00-13:00	Intersección Calle 15A Av 29	125.00	94	23	0	5	3	0
	17:00-18:00	Intersección Calle 15A Av 29	160.00	123	32	2	1	2	0
Total Vehículos en estación			474.00	392.00	65.00	5.00	6.00	6.00	0.00
17/11/2022	07:00-08:00	Intersección Av 29 y Calle Paraiso	457.00	405	25	12	8	6	1
	12:00-13:00	Intersección Av 29 y Calle Paraiso	210.00	170	15	5	14	6	0
	17:00-18:00	Intersección Av 29 y Calle Paraiso	360.00	312	26	8	4	10	0
Total Vehículos en estación			1027.00	887.00	66.00	25.00	26.00	22.00	1.00
TPD final de conteo			1501.00	Liv	C Liv	Buses	2 Ejes	3 Ejes	5 Ejes
				85.21	8.73	2.00	2.13	1.87	0.07
				1279.00	131.00	30.00	32.00	28.00	1.00
Factor Camión según tabla XX				0.001	0.0117	1.706	0.0258	1.098	1.705
ESALS DIARIOS				1.279	1.5327	51.18	0.8256	30.744	1.705
				Sumatoria	87.2663				
				DS (2 carriles)	0.5				
				LDF	1	Valores recomendados a carril en casa dirección			
				Dias x año	365				
				Factor de crecimiento G	1.30	Tasa % de crecimiento (r)	0.048	Periodo de diseño en años (y)	10
				ESAL DISEÑO FINAL	206890.60	Si cumple condicion de + de 50000 ESAL			

Fuente: propia, 2022

4.4.1.6 Características del tipo de material de las capas del pavimento

Para las propiedades de los materiales y definir para el presente proyecto el módulo de resiliencia (MR), se debe aclarar que los datos para este documento se basan en información estadística y no exacta, debido al faltante de pruebas de campo reales y por tratarse este documento de una propuesta con fines académicos; no obstante, se aplicó una estrategia investigativa de obtención de datos basada en la visita de campo a otros proyectos en ejecución, es así que se realizó la visita a 2.5 kilómetros de la urbanización El Ensueño, del proyecto con número de licitación PRVC-II.130-CP-O2020, descrito como “Mejoramiento de la superficie de ruedo y desalojo pluvial de los caminos conocidos como

calle Lajas y calle Barrantes”, planteados por la Municipalidad de Barva de Heredia y la Municipalidad del cantón de Flores, ejecutado por la empresa MECO y financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo.

Se tomará como referencia el valor promedio de **CBR = 6.5%** para la capa de subrasante utilizado en el proyecto mencionado, para entonces trabajar con fines académicos y obtener una base real en el diseño del presente proyecto.

Por lo tanto, con la utilización de la Ecuación # 24 se establece un valor de B en 1500, conforme a lo establecido en la metodología con valores menores de CBR al 10% y obteniendo el siguiente resultado para el módulo de resiliencia de la **subrasante**:

$$MR = 6.5\% * 1500 = \mathbf{9750 \text{ PSI}}$$

Para las capas de la **subbase** y la **base** se asignaron las características mínimas de materiales definidas en el manual de especificaciones técnicas para la construcción de caminos y puentes de Costa Rica, definiendo para la subbase un **CBR = 30** y para la base un **CBR = 80**.

En las Imágenes # 48 y # 49 se marca en azul los valores resultantes para el presente proyecto de los coeficientes estructurales de la subbase granular **a3 = 0.11** y un **Mr = 15000 PSI** y la de la base granulada **a2 = 0.13** y un **MR = 29000 PSI** tomando en cuenta los CBR's antes definidos.

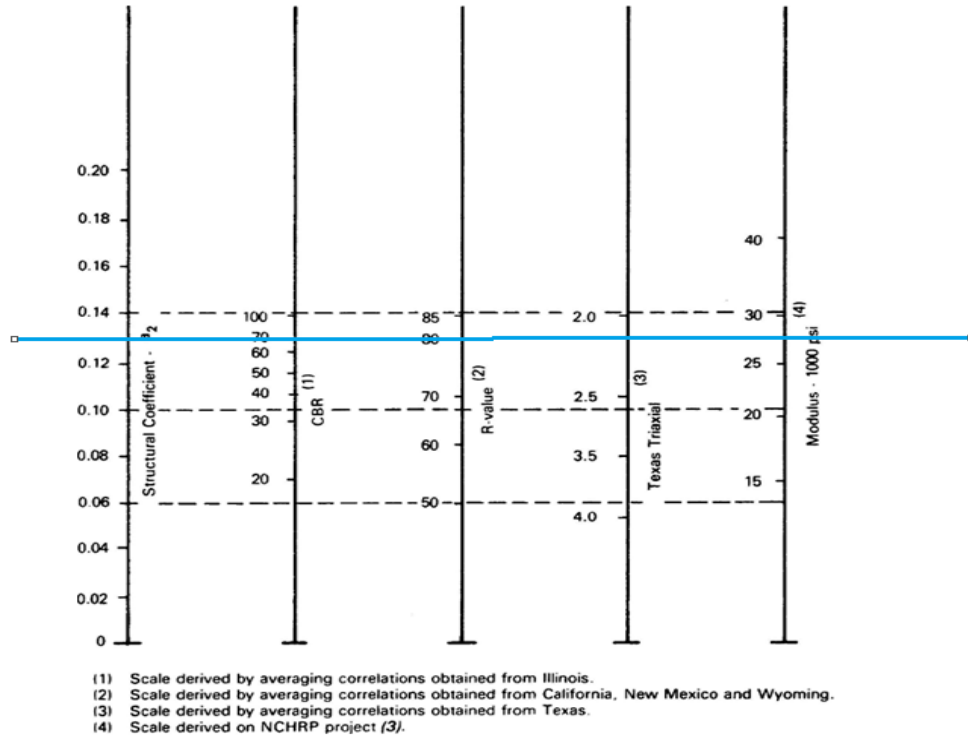


Imagen # 48. Cálculo de coeficiente estructural para la carpeta subbase granular a2
 Fuente: AASTHO-93

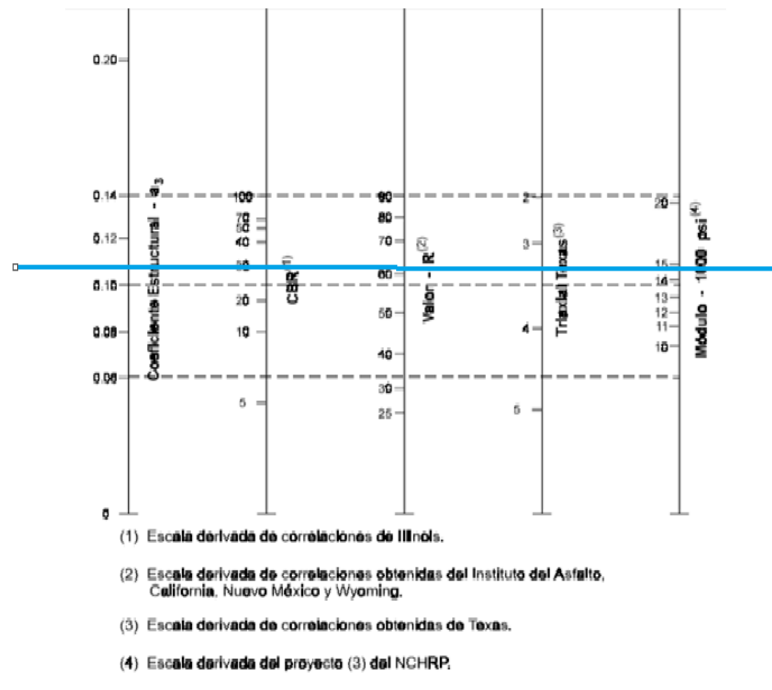


Imagen # 49. Cálculo de coeficiente estructural para la carpeta subbase granular a3
 Fuente: AASTHO-93

Finalmente, para la capa asfáltica, se determina un módulo de elasticidad de **MR = 450000 PSI**, basando esta decisión en que para la capa asfáltica valores por encima de 350000 y 450000 psi pueden presentar fallas térmicas o por fatiga, siendo que con este dato se logra determinar con las herramientas predeterminadas por la metodología y se muestra un resultado de **a1 = 0.45**, como se indica en la Imagen # 50.

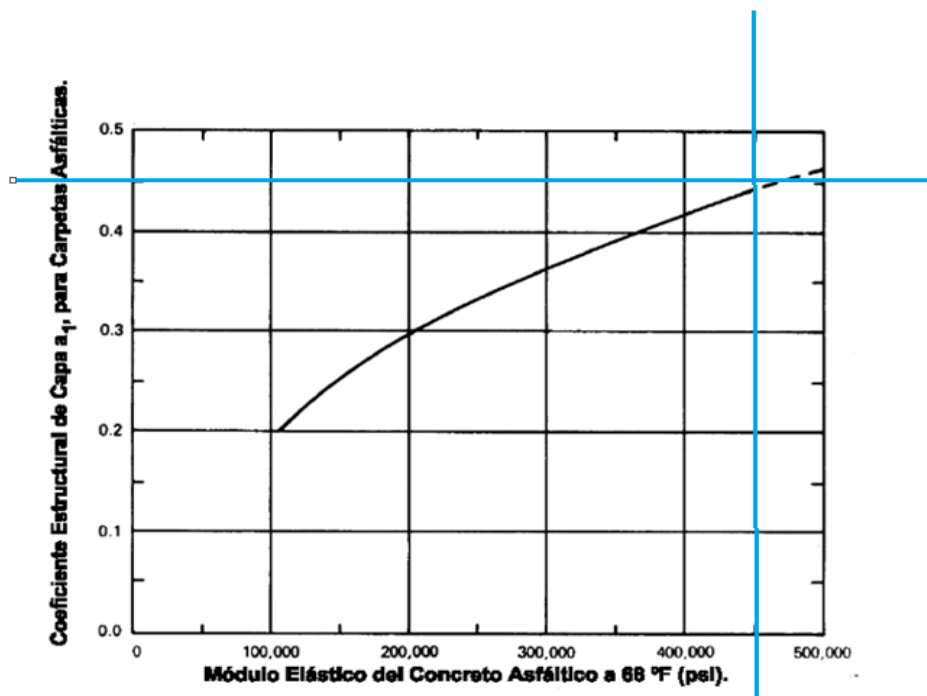


Imagen # 50. Cálculo de coeficiente estructural para la carpeta asfáltica a1
Fuente: AASTHO-93

4.4.1.7 Cálculo del número estructural SN para diseño con el uso de *software*

Una vez teniendo los datos ya definidos de los distintos parámetros y valores requeridos por la metodología AASHTO-93, se procedió a realizar los cálculos correspondientes utilizando la herramienta desarrollada por el Ingeniero Luis Ricardo Vásquez Varela, en

donde en la Tabla # 21 se hace un resumen de los resultados obtenidos hasta ese momento para el cálculo del número estructural de cada capa.

Tabla # 21. Datos y valores requeridos para el uso de *software* para el diseño del proyecto

Datos Problema		
Vía	Suburbana	
Confiabilidad %	0.9	Colectora suburbana = entre 80% y 95%
ESALS	206890.60	
Servicialidad Inicial (P0)	4.2	
Servicialidad final (PT)	2	
Variación transito	Considerable	So = 0,49
Drenaje	Bueno	
Saturación año (m2 y m3)	1	Mayor al 25% en el año
Características de Material		
CBR Promedio	6.5	Dato suministrado por Meco en proyecto calle Lajas
Material de diseño CBR Subase	30	Condiciones mínimas
Material de diseño CBR Base	80	Condiciones mínimas
Material	Módulo Mr (psi)	Coefficiente estructural
Carpeta Asfáltica (a1)	450000	0.45
Base Granula (a2)	29000	0.13
Sub-Base Granular (a3)	15000	0.11
Subrasante	9750.00	-

Fuente: propia, 2022

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. The 'Tipo de Pavimento' is set to 'Pavimento flexible'. The 'Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)' section shows '90 % Zr=-1.282' and 'So = 0.49'. The 'Serviciabilidad inicial y final' section shows 'PSI inicial = 4.2' and 'PSI final = 2'. The 'Módulo resiliente de la subrasante' section shows 'Mr = 29000 psi'. The 'Tipo de Análisis' section shows 'Calcular SN' selected, with 'W18 = 206890.60' and 'Número Estructural SN = 1.60' displayed. The 'Calcular' button is highlighted.

Imagen # 51. Cálculo de valor SN1 = 1.60 para capa asfáltica D1
Fuente: *software* para cálculo de SN AASHTO-93

Como lo muestra la Imagen # 51, el resultado obtenido de **SN1 = 1.60** brinda entonces una base para aplicar la Ecuación # 23 en la obtención de un valor inicial de **D1 = 3.5** pulgadas, siendo este valor un aceptable. Posteriormente, se realiza la revisión de control detallada en la Tabla # 14 del Capítulo II, sobre los espesores mínimos en pulgadas para las capas del diseño, este valor cumple satisfactoriamente, por lo que entonces se procede a recalcular el valor del número estructural **SN1 = 1.57**.

Imagen # 52. Cálculo de valor **SN2 = 2.07** para capa base granular D2
Fuente: *software* para cálculo de SN2 AASHTO-93

Como se muestra en la Imagen # 52, el resultado obtenido de **SN2 = 2.07** da un valor inicial de **D2 = 2.0769** pulgadas, siendo este valor redondeado a **D2 = 3** pulgadas, igualmente haciendo la revisión de control sobre los espesores mínimos en pulgadas para las capas del diseño, este valor **No cumple con el espesor mínimo recomendado**, por lo que entonces se procede redondear el resultado al valor mínimo de **D2 = 4**, seguidamente se procede a recalcular el valor del número estructural **SN2 = 0.52**.

Imagen # 53. Cálculo de valor $SN_3 = 2.43$ para capa Subbase granular D3
Fuente: *software* para cálculo de SN_2 AASHTO-93

La Imagen # 53 muestra el resultado obtenido de $SN_3 = 2.43$, brinda entonces un valor inicial de $D_3 = 1$ pulgadas, haciendo la revisión de control detallada sobre los espesores mínimos en pulgadas para las capas del diseño, este valor **No cumple con el espesor mínimo recomendado**, por lo que entonces se procede redondear el resultado al valor mínimos de $D_3 = 4$, seguidamente se procede a recalcular el valor del número estructural $SN_3 = 0.44$.

El resultado del diseño final del sistema estructural de pavimentos multicapa es el siguiente y es detallado en la Imagen # 54:

- Mezcla asfáltica: **3.5 pulgadas (8.4 cm)**.
- Base granular: **4.0 pulgadas (10.16 cm)**.
- Subbase granular: **4.0 pulgadas (10.16 cm)**.

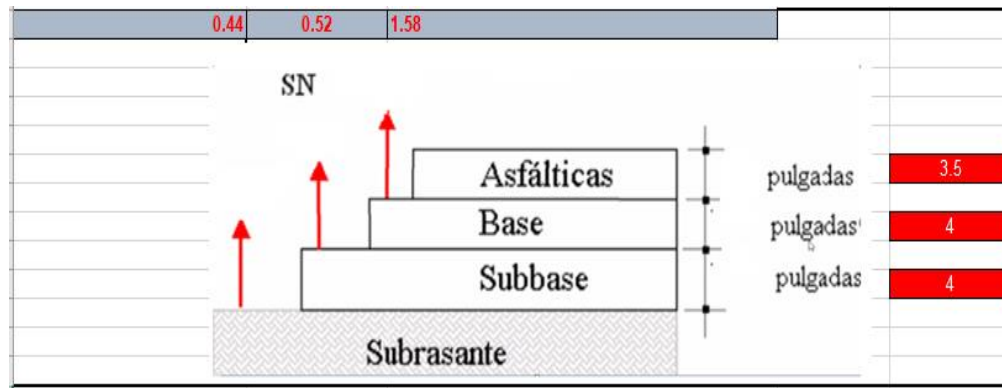


Imagen # 54. Resultado final de diseño de espesores de pavimentos para el proyecto El Ensueño
Fuente: propia, 2023

4.4.2 Diseño de perfil de área de rodamiento

El elemento final para lograr una canalización efectiva de las aguas de lluvia que escurren en el área de rodamiento de las vías dependerá de que durante la aplicación de la capa asfáltica se cumpla con las especificaciones técnicas de la Imagen # 55, la cual estipula una pendiente de al menos 2% del punto central de la vía.



Imagen # 55. Perfil del área de rodamiento para la vía del proyecto de El Ensueño
Fuente: AutoCAD

4.4.3 Presupuestación para la etapa de recarpeteo

Como actividad final se realizó una proyección del posible costo, tomando en cuenta cotizaciones de al menos un proveedor local y un sondeo de precios en el mercado local, dando como resultado un costo aproximado de ₡146,662,951.00. Los detalles del presupuesto de esta etapa se podrán ver en el Anexo # 6.

4.5 Presupuesto global del proyecto

Según se estableció en las limitaciones del Capítulo I, la presupuestación en la presente investigación se basó en datos de precios y servicios obtenidos por medio de consultas de precios de mercado y solicitudes a diferentes proveedores, sin incluir las estimaciones de costos directos e indirectos, resultando que la sumatoria de los presupuestos previamente expuestos en el enunciado 4.2, 4.3 y 4.4 brindan un **presupuesto global del proyecto de ₡444,540,162.28.**

*

CAPÍTULO V

*

CONCLUSIONES

- Para la presente investigación, el trabajo de campo fue vital debido a que permitió entender y analizar muchas de las aristas que como estudiantes aún no se dominan regularmente, el conversar con personas de la comunidad, profesionales en los proyectos visitados y trabajadores de la Municipalidad de San Rafael de Heredia determinó que fue un elemento que marcó la diferencia para poder llegar a conclusiones propias y a los resultados conseguidos.
- A razón del análisis y validación de información por medio de la utilización de una memoria de cálculo, se pudieron conseguir los primeros datos de comprobación para obtener los diseños, tanto en el nuevo sistema de desfogue con certificación de velocidades menores a 5 m/s y capacidades menores al 85% en sus tuberías, el muro de contención con factores de seguridad de volcamiento del 9.69% y de deslizamiento del 4.68%, muy superior al 2% y 1.5% permitido, según las normas vigentes, y resultados para el proceso de recarpeteo que definen espesores de capas asfálticas de 3.5 pulgadas y 4 pulgadas en las capas inferiores, suficientes para lograr soportar un desgaste para más de 206 890.60 ejes equivalentes, que afectarán la vía en un período de 10 años estimados para el diseño propuesto; no obstante, la utilización de herramientas tecnológicas provee a todos los profesionales de la rama de las ingenierías la capacidad de validar y certificar todos aquellos cálculos realizados previamente. Esto asegura una comprobación de los datos y da certeza de que, si el diseño es correctamente construido, el mismo operará adecuadamente, como se logró con el uso del EPA-SWMM y GAVAC 3.0.

- El diseño de tuberías y de redireccionamiento de las aguas planteado cumple con la normativa nacional estipulada por acueductos y alcantarillados, en cuanto a disipación de energía, diámetros y materiales que conforman sus elementos, validados en más de 120 m lineales de tuberías de concreto de 0.40 m de diámetro, 9 m lineales para tuberías de 0.50 m de diámetro, 279.9 m lineales para tuberías de 1.20 m de diámetro y 16.8 m lineales de tuberías de 1.50 m de diámetro, por lo que considera adecuado para las condiciones de diseño de 25 años e inclusive es capaz de transportar los volúmenes de escorrentía de la tormenta con 50 años de período de retorno de manera segura, sin experimentar desbordamientos en pozos ni tragantes.
- Para las aguas provenientes del cementerio y sus calles aledañas, se calcula que las precipitaciones de la zona aportan caudales máximos de 1.30 m³/s hacia la caja colectora 1 en la calle 15 A y 2.07 m³/s hacia la caja colectora 2 en la Avenida 29. Si bien estos caudales se calcularon para que fueran colectadas y redireccionadas por los tragantes 1, 2, 4, 6 y 8, se concluye que se debería agregar más infraestructura ante la posibilidad de crecimiento urbano en la zona, no obstante para la presente investigación esas calles y avenidas aledañas no estaban dentro de los límites de estudio.
- Se determina que utilizar gaviones en lugar de un muro de contención de hormigón reforzado es la solución más rápida en cuanto a tiempo de construcción y mucho más económica, sumado a que como posee roca como material primordial soportante, con un alto peso específico de 2.96 toneladas por m², brinda una estabilidad por gravedad ideal, una porosidad del 20% al conformarse cada bloque únicamente de 80% de roca y hace que la afectación por el agua no sea tan directa en su estructura por su

capacidad de escurrimiento; finalmente, su metodología de construcción facilita el poder pasar por medio del muro la sección del tubo de desfogue del sistema pluvial sin que se afecte su capacidad de retención y estabilidad del terreno.

- Se concluye que, dentro del proceso de recarpeteo, es de suma importancia no solo reconstruir la capa de rodamiento, sino también la infraestructura de los cordones de caño que constituyen 622.9 m lineales (sin contar los 20 tragantes de rejilla doble de 0,93 m), esto para dar una solución integral que asegure un adecuado redireccionamiento de las aguas de lluvia que escurran de ellas.
- Es también de suma importancia tener en cuenta que en Costa Rica se ha criticado ampliamente la calidad de los asfaltos que se aplican en la calle, por esto se debe constatar que se cumplan las especificaciones en la calidad de los materiales del sistema multicapa con 450000 psi para la carpeta asfáltica, 29000 psi para la base granular y de 15000 psi en la subbase granular.

RECOMENDACIONES

- Se debe cumplir con el cambio completo de la infraestructura de desfogue, tal como lo determinó el enunciado 4.1 del presente documento, que comprende las tuberías, pozos y colectores en calle 15 A, Avenida 29 y calle Paraíso, en el área de desfogue hacia la quebrada, para así asegurar que su funcionamiento no se vea afectado por elementos antiguos, dañados o con dimensiones y materiales desconocidos.
- Con los resultados obtenidos en la distribución de caudales máximos captados en las cajas 1 y 2, se recomienda en una posible segunda etapa complementaria para el proyecto propuesto, construir y agregar al menos 3 pozos más y 5 tragantes de rejilla doble a lo largo de la calle que se encuentra al costado oeste del Cementerio Municipal de San Rafael de Heredia, de tal manera que estos nuevos pozos distribuyan de forma más controlada los caudales uniformemente, entre Avenida 29 y calle 15A, por ello se recomienda construir dichas cajas colectoras con previstas de acceso de tuberías de 1.20 m de diámetro hacia la segunda posible etapa en dirección al oeste, o más detalladamente hacia la dirección donde se encuentra el Cementerio.
- Aplicar la propuesta de diseño de disipación de velocidad del agua en el desfogue del sistema, expuesto en el Anexo # 4, que, aunque la normativa permite velocidades de hasta 7 m/s en el último tramo de tubería, el investigador se vio en la obligación de dar una posible solución al problema como parte de la aplicación de la ingeniería responsable.
- No se debe construir ningún elemento por encima del muro de contención propuesto, esto ya que el diseño está dimensionado para tener una función de contención de

terreno sobre el terraplén, la carpeta asfáltica y la carga vehicular que por ahí pasará. Al construir la acera o incluirle algún otro elemento podría afectar su estabilidad, de aquí que la línea de la acera deberá iniciar al costado interno del muro, como se detalla en el plano de la etapa en el Anexo #5.

- El proceso de recarpeteo debe realizarse en la totalidad de la vía, y no aplicar un proceso de “parqueo”, como se mostró anteriormente en la Imagen # 47, ya que esta práctica es incorrecta, disminuye la vida útil de la vía, ya que combina distintos tipos de asfaltos y no aplica correctamente la metodología AASTHO-93, por lo que no se podría asegurar la efectividad de la estructura de pavimento flexible propuesta.

*

BIBLIOGRAFÍA

*

Bellorín K., Palma R., Gómez C. (2019) Estabilización de talud en el Barrio José Santos Rodríguez de la ciudad de Ocotol, Nueva Segovia.

Código de Cimentaciones de Costa Rica, Asociación Costarricense de Geotecnia, 2da edición, Asociación Costarricense de Geotécnica, 2009.

Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, Edición 2017, CFIA.

Daros, W. R. (2002). ¿Qué es un marco teórico? Enfoques.

Dobles M, (2006) Trazado y diseño geométrico de vías, 2 edición, Editorial UCR.

García R. (2004) Modelo de pérdidas para determinar precipitación efectiva usando sistema de información geográfica.

<https://www.munisrh.go.cr>

<https://munibarva.go.cr>

<https://mapasdecostarica.blogspot.com>

<https://www.inec.cr>

<https://www.nrcs.usda.gov>

<http://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/informacionrelevante/planificacion/consultaRVN/>

<https://conavi.go.cr>

<https://www.aya.go.cr/SitePages/Principal.aspx>

https://unstats.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/rcca10/E%20Conf_103_30_Costa%20Rica_Ponencia_UNRCCA_Max%20A%20Lobo-Hernandez.pdf

<https://investigaliacr.com/investigacion/marco-metodologico-de-investigacion>

<https://www.revistaespacios.com/cited2017/cited2017-23.html>

<https://www.cimenter.es>

<https://www.maccaferri.com/latam>

Juárez-Hernández, L. G., & Tobón, S. (2018). Análisis de los elementos implícitos en la validación de contenido de un instrumento de investigación. *Revista espacios*.

Lobo-Hernández M, (2006) *Captura, Gestión y Difusión de Datos Geoespaciales: El Caso de Costa Rica*.

Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras regionales, SIECA, 2001.

Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, 2016.

Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura vial en Centro América, 1era edición, SIECA, 2016.

Manual de especificaciones técnicas para la construcción de caminos y puentes de Costa Rica, 2010.

Mesa Claudia (2021) *Propuesta de rediseño del alcantarillado pluvial y pavimento en la calle La Rusia*.

Méndez Leyvin (2022) *Estudio hidrológico e hidráulico en un tramo del río Santa Bárbara para la prevención de la socavación de las carreteras de Santa Bárbara de Santa Cruz, Costa Rica*”

Mérida Néstor (2019) *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, pluvia y pavimentación para el asentamiento Carmen del Monte, Zona 2, Bárcena, Villa Nueva*.

Muñoz Halder (2021) Recurso de diseño de infraestructura vial y manejo pluvial de tramo de carretera 616 entre los pueblos de Londres y Sabalo de Quepos.

Murillo Muñoz (1994) Estudio de intensidades de lluvia en la cuenta del Rio Virilla”

Norma técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. AyA, 2017.

Pérez Jenny (2022) Proceso constructivo del sistema de alcantarillado, Universidad de San Carlos de Guatemala Zona 12, Fase I

Torres, M., Salazar, F. G., & Paz, K. (2019). Métodos de recolección de datos para una investigación.

Ulloa A., Allen J., Badilla G., Sibaha D. (2015) Investigación en infraestructura vial, Determinación de factures camión en pavimentos de Costa Rica.

*

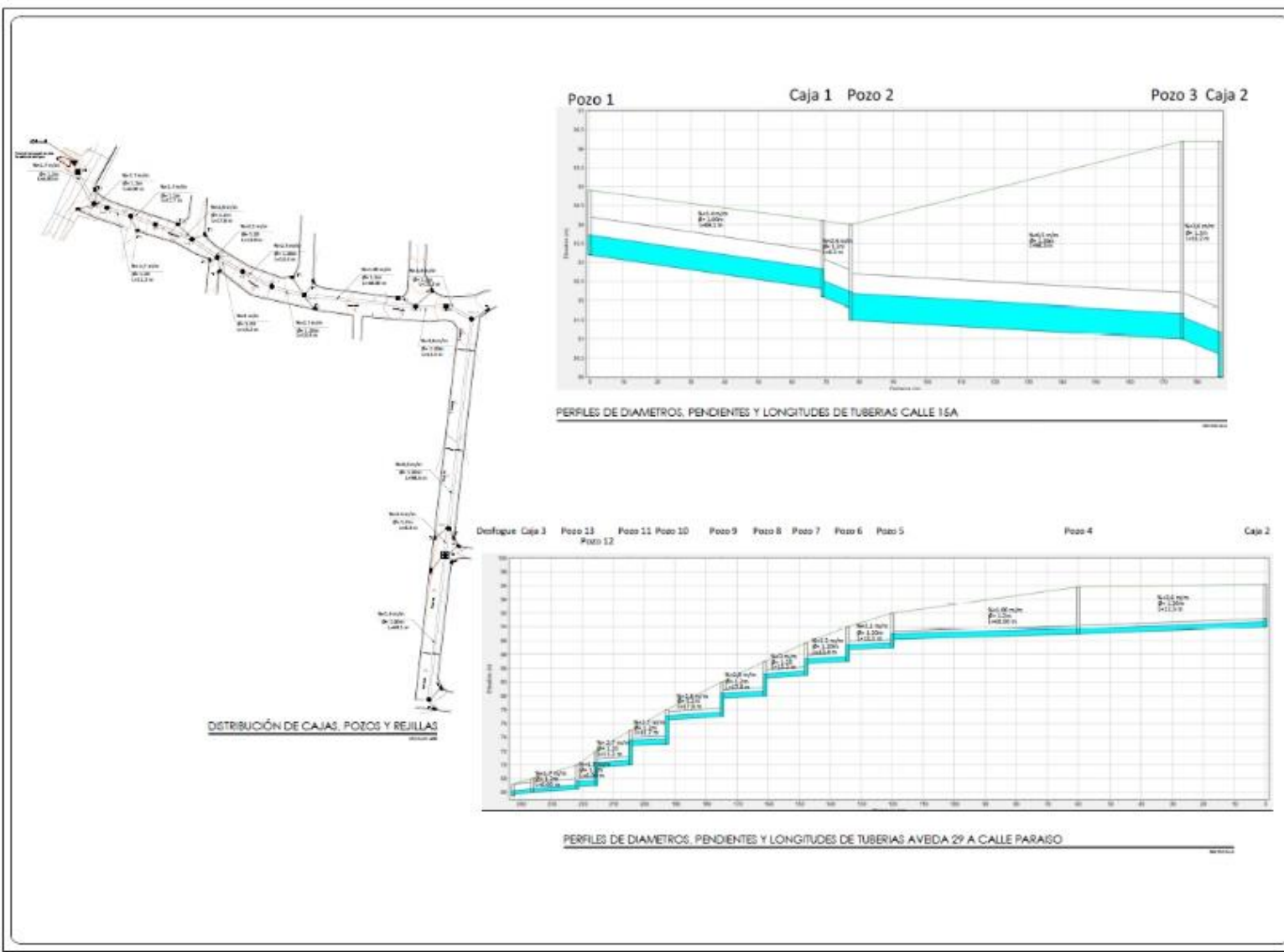
ANEXOS

Anexo #1. Cálculo de Caudales Máximos para cada área Tributaria y distribución hacia pozos

Intensidad TR25 (mm/h)	171.80	mm/h			
Coefficiente de escorrentia (Ce)	0.85				
Cálculo de valores de Precipitaciones para Areas tributareas y caudales maximos con metodo racional (CIA/360)					
# Área tributaria	Área (m2)	Caudal Max (m3/s)	Pozo que recibira Caudal	Pozo que afecta cada Área	Caudal Max hacia pozos (m3/s)
1	1980.55	0.08	P1	P1	0.72
2	842.95	0.03	P1		
3	433.6	0.02	P1		
4	4221.76	0.17	P1		
5	702.61	0.03	P1		
6	622.1	0.03	P1		
7	1204.23	0.05	P1/ CAJA 1	Caja 1	1.30
8	824.35	0.03	P1		
9	1328.68	0.05	P1 / CAJA 1		
10	1402.11	0.06	P1 / CAJA 1		
11	12420.36	0.50	P1 / CAJA 1		
12	1645.83	0.07	CAJA1		
13	469.43	0.02	CAJA 1		
14	6454.65	0.26	CAJA 1 /P3		
15	1483.67	0.06	CAJA1/ P3		
16	2460.12	0.10	P2/ P 3		
17	1165	0.05	P3	P3	1.71
18	1243.4	0.05	P3	Caja 2	2.07
19	274.52	0.01	P3 / P 4 / CAJA 2		
20	3548.85	0.14	P2 /CAJA 2		
21	2553.13	0.10	CAJA 2		
22	1387.65	0.06	CAJA 2		
23	1875.31	0.08	CAJA 2		
24	1704.89	0.07	CAJA 2		
25	3648.44	0.15	P4	P4	2.26
26	2066.44	0.08	P5	P5	2.55
27	2066.84	0.08	P4 / P 5	P6	2.55
28	3988.61	0.16	P8	P7	2.55
29	2184.77	0.09	P9	P8	2.84
30	1486.47	0.06	P9	P9	2.99
31	1297.16	0.05	P 13	P10	2.99
32	934.42	0.04	P 13 / CAJA 3	P11	3.05
33	1365.1	0.06	P8 / P 11	P12	3.05
34	1451.85	0.06	P11/ P 13	P13	3.15
35	2606.6	0.11	P8	Caja3	3.17

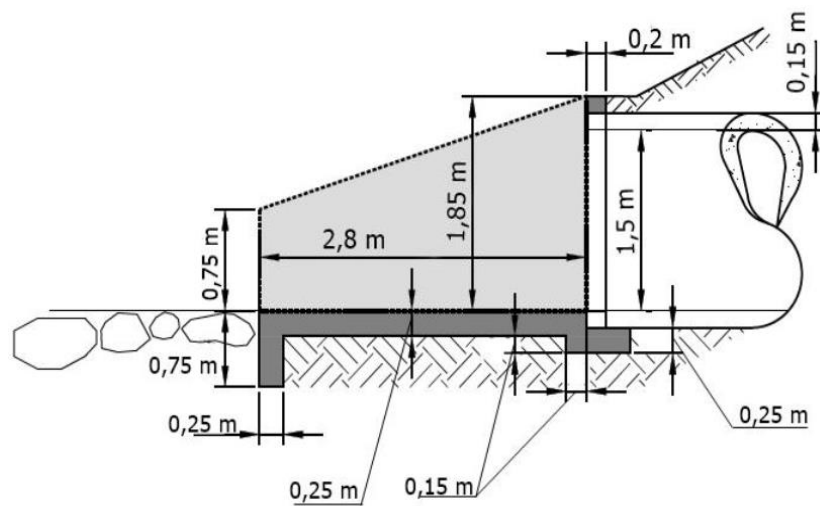
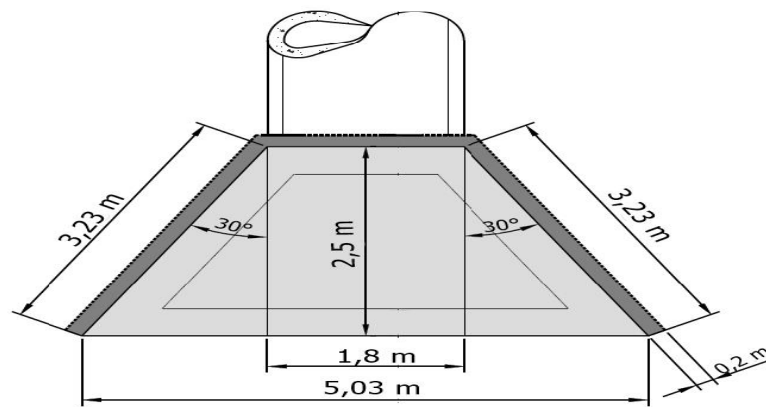
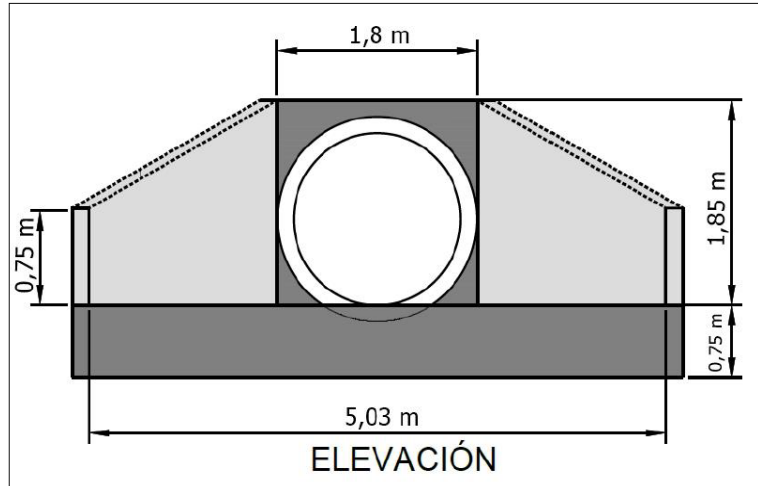
Anexo #2. Tabla de cálculo y diseño de tuberías para el sistema pluvial

TABLA DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE LAS TUBERÍAS DEL SISTEMA															
Nodo Entrada	Nodo Salida	Longitud (m)	Diametro Interno (m)	Pendiente (%)	Altura en m de Salida Fondo de Pozo de llegada, a fondo de tubería	Altura Pozo	Altura fondo pozo (msnm)	Valor para altura llegada a siguiente pozo	Area Mojada ($\pi \cdot D^2 / 8$) (m ²)	Perimetro Mojado (m)	Radio Hidráulico (m)	Caudal Máximo (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Fuerza Tractiva (Kg/cm ²)	(Y)Profundidad del agua (m)
												$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$	$V = \frac{Q}{A}$	$\tau = \gamma \cdot R \cdot S$	
Tragante 1	Pozo 1	3.20	0.40	0.030	0.20	1.70	93.20	93.40	0.06	0.63	0.10	0.18	2.87	3.00	0.20
Tragante 2	Pozo 1	8.10	0.40	0.012	0.40	1.70	93.20	93.60	0.06	0.63	0.10	0.11	1.82	1.20	0.20
Pozo 1	Caja 1	69.10	1.00	0.014	0.20	2.00	92.10	92.30	0.39	1.57	0.25	1.42	3.61	3.50	0.40
Tragante 03	Caja 1	7.90	0.40	0.013	0.80	2.00	92.10	92.90	0.06	0.63	0.10	0.12	1.89	1.30	0.30
Tragante 04	Caja 1	6.80	0.40	0.015	0.70	2.00	92.10	92.80	0.06	0.63	0.10	0.13	2.03	1.50	0.20
Tragante 05	Caja 1	6.80	0.40	0.021	1.10	2.00	92.10	93.20	0.06	0.63	0.10	0.15	2.40	2.10	0.10
Caja 1	Pozo 02	8.30	1.20	0.024	0.30	2.50	91.50	91.80	0.57	1.88	0.30	3.02	3.34	5.20	0.60
Tragante 06	Pozo 02	4.00	0.50	0.063	1.40	2.50	91.50	92.90	0.10	0.79	0.13	0.47	4.83	7.88	0.30
Tragante 07	Pozo 02	5.00	0.50	0.040	1.40	2.50	91.50	92.90	0.10	0.79	0.13	0.38	3.85	5.00	0.20
Pozo 02	Pozo 03	98.30	1.20	0.005	0.00	5.20	91.00	91.00	0.57	1.88	0.30	1.38	2.44	1.50	0.80
Tragante 08	Pozo 03	8.50	0.40	0.195	4.00	5.20	91.00	95.00	0.06	0.63	0.10	0.46	4.32	14.50	0.10
Pozo 03	Caja 2	11.20	1.20	0.036	0.60	6.20	90.00	90.60	0.57	1.88	0.30	3.70	4.54	8.80	0.60
Caja 2	Pozo 04	12.50	1.20	0.036	0.00	6.80	89.00	89.00	0.57	1.88	0.30	3.70	3.54	5.80	0.60
Tragante 09	Pozo 04	8.00	0.40	0.076	4.80	6.80	89.00	93.80	0.06	0.63	0.10	0.29	4.57	7.60	0.20
Tragante 10	Pozo 04	7.89	0.40	0.060	4.50	6.80	89.00	93.50	0.06	0.63	0.10	0.26	4.06	6.00	0.20
Pozo 04	Pozo 05	48.00	1.20	0.010	1.20	5.00	87.00	88.20	0.57	1.88	0.30	1.95	3.45	3.00	0.60
Tragante 13	Pozo 05	6.00	0.40	0.051	4.20	5.00	87.00	91.20	0.06	0.63	0.10	0.24	3.74	5.10	0.20
Tragante 12	Pozo 05	7.20	0.40	0.056	3.80	5.00	87.00	90.80	0.06	0.63	0.10	0.25	3.92	5.60	0.20
Tragante 11	Pozo 05	5.00	0.40	0.099	3.00	5.00	87.00	90.00	0.06	0.63	0.10	0.33	3.21	7.90	0.30
Pozo 05	Pozo 06	14.40	1.20	0.021	1.70	5.00	85.00	86.70	0.57	1.88	0.30	2.82	4.00	5.30	0.70
Pozo 06	Pozo 07	13.40	1.20	0.023	1.70	4.70	83.00	84.70	0.57	1.88	0.30	2.96	3.73	5.40	0.70
Pozo 07	Pozo 08	13.20	1.20	0.030	2.60	5.00	80.00	82.60	0.57	1.88	0.30	3.38	4.47	7.50	0.60
Tragante 14	Pozo 08	8.50	0.40	0.059	4.00	5.00	80.00	84.00	0.06	0.63	0.10	0.25	4.03	5.90	0.20
Tragante 15	Pozo 08	5.50	0.40	0.018	3.10	5.00	80.00	83.10	0.06	0.63	0.10	0.14	2.22	1.80	0.20
Pozo 08	Pozo 09	13.90	1.20	0.022	2.70	5.00	77.00	79.70	0.57	1.88	0.30	2.89	3.61	5.10	0.70
Tragante 16	Pozo 09	4.40	0.40	0.023	3.50	5.00	77.00	80.50	0.06	0.63	0.10	0.16	2.51	2.30	0.20
Tragante 17	Pozo 09	7.70	0.40	0.013	2.50	5.00	77.00	79.50	0.06	0.63	0.10	0.12	1.89	1.30	0.20
Pozo 09	Pozo 10	17.80	1.20	0.028	3.50	5.00	73.00	76.50	0.57	1.88	0.30	3.26	4.77	7.40	0.70
Pozo 10	Pozo 11	11.70	1.20	0.017	2.80	5.00	70.00	72.80	0.57	1.88	0.30	2.54	4.49	5.10	0.60
Tragante 18	Pozo 11	8.80	0.40	0.108	4.20	5.00	70.00	74.20	0.06	0.63	0.10	0.34	3.95	10.80	0.10
Pozo 11	Pozo 12	11.20	1.20	0.027	2.70	5.00	67.00	69.70	0.57	1.88	0.30	3.20	4.16	7.10	0.60
Pozo 12	Pozo 13	6.00	1.20	0.017	0.40	3.50	66.50	66.90	0.57	1.88	0.30	2.54	4.49	4.10	0.60
Tragante 19	Pozo 13	5.00	0.40	0.040	1.00	3.50	66.50	67.50	0.06	0.63	0.10	0.21	3.31	4.00	0.10
Tragante 20	Pozo 13	5.00	0.40	0.030	0.50	3.50	66.50	67.00	0.06	0.63	0.10	0.18	2.87	3.00	0.20
Pozo 13	Caja 3	14.60	1.50	0.163	0.00	2.00	66.00	66.00	0.88	2.36	0.38	14.25	5.13	50.94	0.60
Caja 3	Desfogue	2.17	1.50	0.163	0.00	1.85	65.70	65.70	0.88	2.36	0.38	14.25	6.13	49.94	0.40

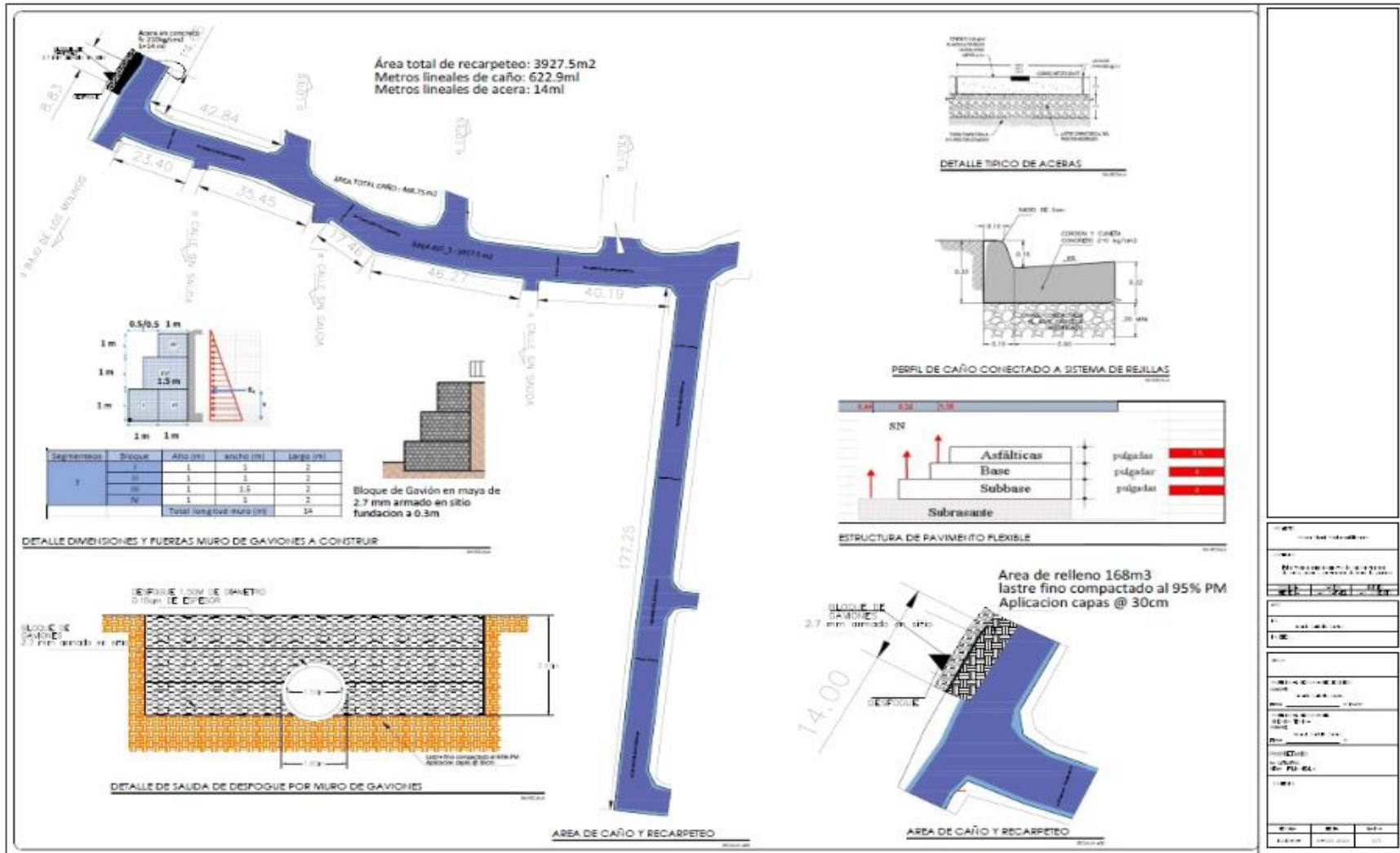


PROYECTO: Plan de Mejoramiento Urbano		
OBJETO: Mejoramiento urbano de la zona de Av. 29 y Calle Paraiso a Calle 15A		
FECHA:	PROYECTADO:	REVISADO:
NO:	NO:	NO:
FECHA:	PROYECTADO:	REVISADO:
NO:	NO:	NO:
PROYECTADO: L. MORALES		
REVISADO: F. J. GARCIA		
NO:	NO:	NO:
FECHA:	PROYECTADO:	REVISADO:
NO:	NO:	NO:

Anexo #4. Diseño de propuesta para salida de desfogue aplicado en proyecto calle los Lajas en Barva de Heredia



Anexo #5. Planos para construcción de muro de gaviones, construcción de caños y aceras y proceso de recarpeteo



Anexo #6. Presupuestos

PRESUPUESTO PARA SUSTITUCIÓN DE SISTEMA PLUVIAL					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Excavación (incluye acarreo)	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Excavación	3931.71	m3	€8,000.00	€31,453,661.28	€31,463,661.28
Retiro y demolición de infraestructura vieja	1	gb	€10,000.00	€10,000.00	
Aplicación de Pavimentos con Maquina repartidora y emulsión en caliente	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Pozos de concreto (1,7 altura y 1.2 diametro)	1	un	€1,050,000.00	€1,050,000.00	€122,439,100.00
Pozos de concreto (2.5 altura y 1.6 diametro)	1	un	€1,200,000.00	€1,200,000.00	
Pozos de concreto (3.5 altura y 1.6 diametro)	1	un	€1,350,000.00	€1,350,000.00	
Pozos de concreto (4.7 altura y 1.6 diametro)	1	un	€1,525,000.00	€1,525,000.00	
Pozos de concreto (5 altura y 1.6 diametro)	7	un	€1,800,000.00	€12,600,000.00	
Pozos de concreto (5.2 altura y 1.6 diametro)	1	un	€1,875,000.00	€1,875,000.00	
Pozos de concreto (6.8 altura y 1.6 diametro)	1	un	€1,950,000.00	€1,950,000.00	
Caja colectora de 3X3X3	1	un	€1,450,000.00	€1,450,000.00	
Caja colectora de 2X2X5	1	un	€1,850,000.00	€1,850,000.00	
Caja colectora de 2X2X2	1	un	€1,235,000.00	€1,235,000.00	
Tuberia de 0.40 m de diametro	120.29	ml	€140,000.00	€16,840,600.00	
Tuberia de 0.50 m de diametro	9	ml	€150,000.00	€1,350,000.00	
Tuberia de 1.00m de diametro	69.1	ml	€175,000.00	€12,092,500.00	
Tuberia de 1.20 de diametro	279.9	ml	€215,000.00	€60,178,500.00	
Tuberia de 1.50 de diametro	16.77	ml	€250,000.00	€4,192,500.00	
Tragantes de doble rejilla	20	un	€85,000.00	€1,700,000.00	
Relleno y compactación	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Relleno	2759.00	m3	€45,000.00	€124,155,000.00	€124,155,000.00
				TOTAL PROCESO RECARPETEO	€278,057,761.28

PRESUPUESTO PARA CONSTRUCCIÓN DE MURO DE GAVIONES Y RELLENO DE ÁREA SOCAVADA						
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
Obra preliminares						
Demarcación de seguridad y cierre de vía	1.00	GB	¢2,000,000.00	¢2,000,000.00	¢3,344,000.00	
Excavacion de area socavada y base de moro	168.00	m3	¢8,000.00	¢1,344,000.00		
Aplicación de Pavimentos con Maquina						
Construcción de un Muro en Gaviones Triple Zing Malla 2,4	63.00	M3	¢62,150.00	¢3,915,450.00	¢3,915,450.00	
Obras complementarias						
Relleno y compactacion de área socavada	168	m3	¢45,000.00	¢7,560,000.00	¢7,560,000.00	
				TOTAL PROCESO RECARPETEO	¢14,819,450.00	

- DESARROLLOS GAVIONES UNIVERSALES SRL
Jose Luis Cascaente Jarquin
 Tel: 88189855



SEÑORES: Ricardo Carballo Castro
 Atención:
 Cédula:
 Empresa: Privado
 Proyecto: Gaviones
 Ubicación: Heredia

TEL:
 Fax:
 Celular: 88189855
 E-mail:

Desarrollos Universales, se ha dedicado a la instalación de Gaviones y a la Construcción de casas y bodegas por mas de 18 años a nivel nacional y Nos es muy grato poder cotizar el siguiente proyecto:

Cantidad	Descripción	Precio	Total
84.0 m3	Construcción de un Muro en Gaviones Triple Zing Malla 2.4	€ 55 000,00	€ 4 620 000,00
	Sub Total:	€ 4 620 000,00	
		IVA 13%	€ 600 600,00
	TOTAL:		€ 5 220 600,00

Nota:
 Se Cotiza la Construcción de un Muro de 14 M y en 4 de alto.
 Con Desplante de 0,50 en toda la Longitud.
 Las secciones del Muro serán 2-1,5-1,5-1
 Movimiento de Tierra con Maquinaria Black Hoe, puesta por el Cliente.
 Relleno a Espalda de Muro y Compacatacion con SAPO a convenir
 Mallas a utilizar en 2.4 Galvanizadas, refuerzos en los postes.
 Piedra tipo quebrada de río.

Alcance de la cotización:

- 1 Mano de obra con basta experiencia en el llenado de gaviones.
- 2 Equipo de seguridad.
- 3 Mallas Galvanizadas en 2.4
- 5 Gedexel en la espalda del muro.
- 6 Supervisión especializada.
- 7 Garantía por construcción de 5 Años.
- 8 Piedra tipo Quebrada de río

NO Incluye:

- 1 Planos
- 2 Permisos Generales
- 3 Visitas Profesionales

Especificaciones técnicas de la malla:

La fabricación de los gaviones y el alambre utilizado alcanza una calidad que satisface normas y especificaciones internacionales, como lo son: ASTM A 975-97 y ASTM A641.
 Recubrimiento de los alambres de 3 Zinc y 5% de aluminio (Vecinal).
 Peso específico del recubrimiento 260 gr.-Zn/m2
 Malla hexagonal a triple torsión (dos vueltas)
 Resistencia a la tracción: 50 Kg./mm2 máximo.
 Abertura del hexágono o cocada: tipo 8 x 10 (tolerancias bajo la norma BS 443-82).
 Se incluye el alambre de amarre necesario para armar y colocar los gaviones que corresponde al 8% del peso del gavión.

Validez de la oferta: 15 días

Forma de pago: Adelanto del un 50% el resto según pagos para Materiales.

Tiempo de entrega: 12 días Hábiles

Desarrollos Gaviones Universales SRL
 Jose Luis Cascaente Jarquin

PRESUPUESTO PARA PROCESO DE RECARPETEO CALLE 15A, AVENIDA 29 Y CALLE PARAISO					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Obra preliminares	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Perfilado con fresadora (- area zanjas y pozos)	2924.94	m2	€9,000.00	€26,324,451.00	€26,824,451.00
Lavado de vía	1	gb	€500,000.00	€500,000.00	
Aplicación de Pavimentos con	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Asfalto (3.5 plg)	3927.5	m2	€10,000.00	€39,275,000.00	€86,405,000.00
Base (4 plg) (area escavada en tubos, pozos soca)	3927.5	m2	€6,000.00	€23,565,000.00	
Base (1 plg) (area escavada en tubos, pozos y soca)	3927.5	m2	€6,000.00	€23,565,000.00	
Obras complementarias	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Acera Concreto F'C 210 kg/Cm	14	ml	€145,000.00	€2,030,000.00	€30,060,500.00
Cordon de caño F'C 210 kg/Cm	622.9	ml	€45,000.00	€28,030,500.00	
Obras de señalización	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total
Señalización Vertical					€3,373,000.00
"Precaucion"	2	un	€6,500.00	€13,000.00	
Señalización horizontal					
Linea Amarilla	325	ml	€3,000.00	€975,000.00	
Linea blanca	640	ml	€3,000.00	€1,920,000.00	
Señal "Alto" en linea blanca	7	un	€45,000.00	€315,000.00	
Senal "Flechas de direccionamiento linea blanca	6	un	€25,000.00	€150,000.00	
TOTAL PROCESO RECARPETEO					€146,662,951.00

PRESUPUESTO GLOBAL DEL PROYECTO "EL ENSUEÑO"						
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
Obra preliminares	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
Obras temporales (bodegas y talleres)	1	gb	¢4,500,000.00	¢4,500,000.00	¢4,500,000.00	
SISTEMA PLUVIAL	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
Obras de sustitucion de infraestructura de sistema pluvial	1	gb	¢278,057,761.28	¢278,057,761.28	¢278,057,761.28	
MURO DE CONTENCIÓN Y RELLENO DE AREA SOCAVADA	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
	1	GB	¢14,819,450.00	¢14,819,450.00	¢14,819,450.00	
OBRAS DE RECARPETEO	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
Obras de recarpeto, construccion de caños, aceras y señalización	1	gb	¢146,662,951.00	¢146,662,951.00	¢146,662,951.00	
LIMPIEZA Y ENTREGA DE OBRA	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Sub total	Total	
Limpieza general y desarme	1	gb	¢500,000.00	¢500,000.00	¢500,000.00	
Acto de entrega	1	gb	¢0.00	¢0.00	¢500,000.00	
				COSTO TOTAL DE PROYECTO	¢444,540,162.28	