



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN**

**GUÍA PARA REVISIÓN DE ROTONDAS Y DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PARA  
CALLES DE ACCESO**

**PRESENTADO POR:**

**11711235      ANA LIZETH FLORES GARACHE**

**11911051      SAID ORLANDO GUILLÉN TÁBORA**

**ASESORA TEMÁTICA: MSc. ING. LUZ MARINA FUNEZ**

**ASESORA METODOLÓGICA: MSc. ING. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVE**

**CAMPUS TEGUCIGALPA; JULIO, 2023.**

## DEDICATORIA

Yo Ana Flores dedicó este proyecto principalmente a Dios, por darnos las fuerzas y sabiduría en este proceso. Luego a mis padres Oscar Flores y Lizeth Garache que con su apoyo físico, moral y espiritual no permitían que me rindiera, quienes han sido parte de mi inspiración para seguir adelante y poder cumplir mis metas. A mis hermanos Oscar Flores y Gustavo Flores, quienes me hacían reír, por lo unidos que hemos sido para crecer como familia. A Doña Iris Espinal quien me abrió las puertas de su casa desde que empecé este recorrido, quien se ha convertido en familia en este proceso. Finalmente, a mis amigos o como les digo siempre mis hermanos, a Iris Reyes quien nunca se apartó en cada etapa de este recorrido, Jason Trochez y Carlos Zavala, quienes han compartido alegrías y tristezas, por no dejar de apoyarme.

Yo Said Guillén dedicó este proyecto principalmente a Dios, por iluminarnos y no dejarnos solos en ninguna etapa de este proceso. Luego a mis padres Héctor Guillén y Rubby Tábor por ser mi guía, sustento e inspiración para salir adelante y luchar hasta el final, que gracias a sus consejos estoy por llegar a cumplir una de mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente, agradecemos a nuestra asesora temática la Ing. Luz Marina Funes Matute por habernos guiado en el desarrollo de este estudio, por brindarnos su conocimiento y recomendaciones en cada una de las etapas. A nuestra asesora metodológica la Ing. Karla Uclés por haber compartido de su tiempo, experiencia, brindando las recomendaciones para poder desarrollarlo con excelente. Al Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga por su apoyo en los ensayos de suelo y mejoramiento del suelo para el estudio. Finalmente, al Ing. Alberto Urcina quien es especialista en soluciones viales, por haber compartido su conocimiento técnico, experiencia y recomendaciones para un desarrollo eficiente del estudio.

*El caballo se prepara para el día de la batalla, pero la victoria  
pertenece al Señor.*

***Proverbios 21:31 NTV***



## RESUMEN EJECUTIVO

El congestionamiento vehicular que caracteriza las intersecciones viales de las zonas urbanas ha generado la necesidad de resolver este problema con soluciones como pasos a desnivel, túneles y rotondas, entre otras, por lo que a partir de que se ha observado en las principales ciudades del país que las rotondas generalmente son un punto de congestión vehicular, se ha tomado la decisión de revisar si el diseño geométrico de una rotonda seleccionada para este fin, está de acuerdo con el Manual Centroamericano de Carreteras y las Normas de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA).

Para definir el tipo de una obra vial para puntos de convergencia vehicular se deben de tomar en consideración, variables como el tipo de terreno, construcciones permanentes, flujo vehicular, vías que convergen en las intersecciones, radios de entrada, ancho de la calzada circulatoria; ancho de las calzadas de acceso y salida; ancho de la salida y entrada a la rotonda, así como la velocidad de entrada y salida de los vehículos.

Para la revisión se ha llevado a cabo el análisis de una rotonda donde convergen seis vías en ambos sentidos, para lo que se han considerado variables como flujo vehicular y dimensiones de la estructura, para revisar si cumple con las especificaciones técnicas.

Como resultado, se encontró que el diámetro del círculo inscrito, que incluye la calzada circulatoria, debe medir de 45 a 60 metros, en comparación con la rotonda en estudio, que cuenta con un círculo inscrito de 26.12 metros, por lo que es importante considerar la revisión de las rotondas existentes para determinar si cumplen con especificaciones de diseño y si deben ser modificadas o sustituidas por una solución vial que resuelva el problema de congestionamiento vehicular en las intersecciones viales.

**PALABRAS CLAVE:** Ancho de entrecruzamiento, círculo inscrito, flujo vehicular, intersecciones viales, radio de giro.

## **ABSTRACT**

The vehicular congestion that characterizes the intersections in urban areas has generated the need to solve this problem with solutions such as overpasses, tunnels, and roundabouts, among others. Therefore, based on the observation that roundabouts are generally points of traffic congestion in the country's major cities, the decision has been made to review whether the geometric design of a selected roundabout is in accordance with the Central American Road Manual and the norms of the Secretariat for Central American Economic Integration (SIECA).

To determine the type of road infrastructure for points of vehicular convergence, variables such as terrain type, permanent structures, traffic flow, converging roads at intersections, entry radii, width of the circulating roadway, width of access and exit lanes, width of the entrance and exit to the roundabout, as well as the entry and exit speeds of vehicles, must be taken into consideration. For the review, an analysis of a roundabout where six roads converge in both directions has been carried out, considering variables such as traffic flow and structural dimensions to determine if it meets the technical specifications.

As a result, it was found that the diameter of the inscribed circle, including the circulating roadway, should measure between 45 and 60 meters, compared to the studied roundabout, which has an inscribed circle of 26.12 meters. Therefore, it is important to consider reviewing existing roundabouts to determine if they comply with design specifications and whether they need to be modified or replaced with a road solution that resolves the problem of vehicular congestion at intersections.

**Keywords:** Crossing width, inscribed circle, road intersections, traffic flow and radius of gyration

# ÍNDICE

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del problema.....	3
2.1.	Precedentes del problema.....	3
2.2.	Definición del problema.....	5
2.3.	Justificación.....	6
2.4.	Preguntas de investigación.....	7
2.4.	Objetivos.....	7
2.5.1	Objetivo general.....	7
2.5.2	Objetivos específicos.....	7
III.	Marco Teórico.....	9
3.1.	Rotondas.....	9
3.1.2.	Tipos de rotondas.....	9
3.1.3.	Elementos generales básicos de una rotonda.....	11
3.2.	Elementos generales para el diseño de rotondas.....	13
3.2.1.	Estudios de topografía para rotondas.....	13
3.2.2.	Análisis de tráfico vehicular para rotondas.....	16
3.2.3.	Estudios de suelo.....	19
3.3.	Principios de diseño geométrico para rotondas.....	23
3.3.1.	Velocidades de Diseño.....	24
3.3.2.	Vehículos de Diseño.....	24
3.3.3.	Diámetros de círculo inscrito.....	25
3.3.4.	Ancho de Calzada.....	27

3.4.	Normas de construcción de una rotonda .....	27
3.4.1.	Análisis de Viabilidad .....	28
3.4.2.	Estudio previo o anteproyecto .....	28
3.5.	Intersecciones.....	31
3.5.1.	Elección del tipo de intersección.....	31
3.5.2.	Proceso de selección del diseño.....	32
3.5.3.	Intersección semaforizada.....	35
3.6.	Obras complementarias.....	38
3.6.1.	Señalamiento vial.....	38
3.6.2.	Drenaje .....	38
3.6.3.	Iluminación.....	39
3.7.	Pavimentos.....	39
3.7.1.	Tipos de pavimentos.....	39
3.7.2.	Selección de Pavimento .....	42
3.7.3.	Método de diseño para pavimentos rígidos.....	42
IV.	Metodología.....	48
4.1.	Enfoque .....	48
4.2.	Herramientas, materiales y equipo utilizado.....	49
4.2.1.	Herramientas tecnológicas .....	49
4.2.2.	Equipo utilizado .....	53
4.2.3.	Materiales.....	54
4.3.	Metodología de estudio.....	55
4.3.1.	Reconocimiento del sitio .....	57

4.3.2.	Medición de la zona de estudio.....	58
4.3.3.	Plano.....	58
4.3.4.	Ensayos de laboratorio.....	59
4.4.	Guía de revisión de rotondas.....	87
4.4.1.	Paso #01 Análisis vehicular.....	87
4.4.1.	Paso #02 Valores de referencia de círculo inscrito.....	89
4.4.1.	Paso #03 Verificación de radio mínimo.....	89
4.4.1.	Paso #04 Anchos de giro.....	90
4.4.1.	Paso #05 Distancia de visibilidad.....	91
4.4.1.	Paso #06 Capacidad de entrecruzamiento y capacidad de entrada.....	93
4.4.2.	Paso #07 Verificación de isletas direccionales viales.....	97
4.4.3.	Paso #08 Seguridad vial.....	98
4.5.	Diseño de pavimento.....	99
V.	Resultados y Análisis.....	106
5.1.	Levantamiento topográfico.....	106
5.2.	Análisis de rotonda el soldado.....	106
5.2.1.	Resultado y análisis del cálculo de proyección a 20 años.....	108
5.2.2.	Rotonda el soldado vs. Rotonda de Cantarranas.....	115
5.3.	Selección de intersección como solución vial.....	115
5.4.	Análisis del suelo.....	117
5.4.1.	Clasificación del suelo.....	117
5.5.	Diseño de pavimento.....	118
VI.	Conclusiones.....	121

VII.	Recomendaciones .....	123
VIII.	Bibliografía.....	124
IX.	Anexos .....	134
9.1.1.	Granulometría relleno de balasto.....	141

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.	Características de una rotonda .....	1
Ilustración 2.	Mercado	
Ilustración 3.	Zona de conflicto .....	4
Ilustración 4.	Señalización inexistente.....	5
Ilustración 5.	Señalización en una mini-rotonda.....	10
Ilustración 6.	Rotonda normal o urbana.....	11
Ilustración 7.	Demostración del levantamiento topográfico para rotondas.....	14
Ilustración 8.	Curva circular y sus elementos.....	15
Ilustración 9.	Rasante.....	16
Ilustración 10.	Análisis TPD según AASHTO.....	17
Ilustración 11.	Límites de Atterberg .....	21
Ilustración 12.	Parámetros de diseño .....	26
Ilustración 13.	Intersecciones viales .....	31
Ilustración 14.	Radios de trayectorias.....	33
Ilustración 15.	Intersecciones semaforizadas .....	35
Ilustración 16.	Semáforos en cascada .....	37
Ilustración 17.	Corte transversal de pavimento rígido .....	40
Ilustración 18.	Corte transversal pavimento flexible.....	40

Ilustración 19. Corte transversal pavimento semirrígido .....	41
Ilustración 20. Corte transversal pavimento articulado .....	41
Ilustración 21. Teléfono inteligente .....	50
Ilustración 22. Ubicación del sitio .....	50
Ilustración 23. Pavement designer.....	51
Ilustración 24. Uso de zoom para reuniones .....	51
Ilustración 25. Uso de Microsoft Word .....	52
Ilustración 26. Uso de Microsoft Excel .....	52
Ilustración 27. Uso de PowerPoint .....	53
Ilustración 28. Instalación en sitio    Ilustración 29. Estabilizando en sitio.....	53
Ilustración 30. Medición de ancho de calles.....	54
Ilustración 31. Libreta utilizada para el conteo.....	54
Ilustración 32. Croquis de la entrada 1 con cada una de las salidas .....	55
Ilustración 33. Reconocimiento del sitio    Ilustración 34. Reconocimiento del sitio #2 .....	57
Ilustración 35. Levantamiento topográfico    Ilustración 36. Estabilización del equipo topográfico	58
Ilustración 37. Uso de Civil 3D.....	58
Ilustración 38. Extracción de la muestra del suelo    Ilustración 39. Medición de profundidad	59
Ilustración 40. Muestra de suelo secado en horno .....	60
Ilustración 41. Deformación de terrones.....	60
Ilustración 42. Peso de muestra significativa.....	61
Ilustración 43. Torre de tamices en máquina tamizadora.....	61
Ilustración 44. Muestra para límite plástico .....	66

Ilustración 45. Muestra de suelo arcilloso .....	72
Ilustración 46. Materiales para la solución .....	73
Ilustración 47. Muestra de hexametáfosfato .....	73
Ilustración 48. Preparación de solución.....	74
Ilustración 49. Mezcla de solución con muestra de suelo .....	74
Ilustración 50. Consistencia fluida de la muestra.....	75
Ilustración 51. Muestra de suelo y anti-floculante en envase.....	75
Ilustración 52. Muestra de suelo y anti-floculante en mezcladora .....	76
Ilustración 53. Probeta de 1000ml con agua destilada.....	76
Ilustración 54. Mezcla en probeta de 1000 ml.....	77
Ilustración 55. Mezcla de suspensión y agua destilada.....	77
Ilustración 56. Toma de temperatura.....	78
Ilustración 57. Suelo natural vs. 3% Cal .....	84
Ilustración 58. Rotulación de entradas en rotonda "Monumento El Soldado".....	87
Ilustración 59. Isleta direccional de entrada a rotonda .....	92
Ilustración 60. Cruce peatonal en rotondas .....	98
Ilustración 61. Categoría de tráfico .....	100
Ilustración 62. Proyección de camiones por día.....	101
Ilustración 63. Tasa de crecimiento del tráfico y distribución direccional .....	101
Ilustración 64. Distribución de carril de diseño .....	102
Ilustración 65. Elección de fiabilidad.....	102
Ilustración 66. % Agrietamiento por losa.....	103
Ilustración 67. Datos de la primera etapa, nivel de proyecto.....	103



Ilustración 68. Selección de %CBR.....	104
Ilustración 69. Datos para la estructura del pavimento.....	104
Ilustración 70. Juntas para el pavimento.....	105
Ilustración 71. Plano de definición geométrica .....	106
Ilustración 72. Capacidades de diseño en rotonda Monumento El Soldado.....	108
Ilustración 73. Mínima trayectoria para vehículo de diseño WB-15.....	109
Ilustración 74. Menor radio de giro de la rotonda "Monumento El Soldado".....	110
Ilustración 75. Representación de diámetro de 45 m en planta de espacio vial.....	110
Ilustración 76. Representación de diámetro de 60 m en planta de espacio vial.....	111
Ilustración 77. Señalización en Rotonda Mediana normal .....	112
Ilustración 78. Iluminación representativa en una rotonda mediana de 4 accesos.....	113
Ilustración 79. Intersección semaforizada tipo T.....	116
Ilustración 80. Sensibilidad del diseño de pavimento.....	118
Ilustración 81. Rangos de agrietamiento del diseño de pavimento.....	118
Ilustración 82. Erosión por diseño de pavimento realizado.....	119
Ilustración 83. Cargas transferidas por sección geométrica .....	119
Ilustración 84. Espaciamiento de las juntas.....	120
Ilustración 85. Resultado del diseño del pavimento rígido.....	120
Ilustración 86. Agregado de muestra en copa de casa grande para límite líquido.....	147
Ilustración 87. Características del camión C2 .....	153
Ilustración 88. Características del camión C2 R2.....	154
Ilustración 89. Características del camión C3 .....	154
Ilustración 90. Croquis como referencia para el conteo realizado.....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estadística parque vehicular de Honduras.....	3
Tabla 2. Clasificación de suelos material granular .....	22
Tabla 3. Clasificación de los suelos AASHTO material limo-arcilloso .....	23
Tabla 4. Radios mínimos de giro .....	25
Tabla 5. Anchos de entrada y calzada .....	26
Tabla 6. Efecto de la subbase granular sobre los valores de k.....	45
Tabla 7. Hoja de cálculo de espesores de pavimento .....	45
Tabla 8. Factor de distribución por dirección.....	46
Tabla 9. Factor de distribución por carril .....	46
Tabla 10. Datos granulometría gruesa .....	62
Tabla 11. Datos granulometría fina .....	63
Tabla 12. Datos granulometría combinada .....	64
Tabla 13. Límite plástico relleno balasto, resumen de sus datos .....	67
Tabla 14. Datos obtenidos del límite líquido relleno balasto .....	69
Tabla 15. Resultados de hidrometría.....	79
Tabla 16. Encontrar actividad (A).....	80
Tabla 17. Corrección por temperatura.....	81
Tabla 18. Corrección por gravedad específica.....	82
Tabla 19. Límite líquido 3% Cal .....	85
Tabla 20. Límite plástico 3% cal .....	85
Tabla 21. Límite líquido 5% cemento.....	86

Tabla 22. Límite plástico 5% cemento .....	87
Tabla 23. Entrada uno de 9:40 - 10:40.....	88
Tabla 24. Volumen veh/h de entrada 1 .....	88
Tabla 25. Total, de conteo vehicular (tránsito mixto) .....	89
Tabla 26. Diámetros típicos de círculos inscritos y volúmenes de tránsito diario .....	89
Tabla 27. Mínimos radios de giro para vehículos tipo .....	90
Tabla 28. Anchos de giro requeridos por la plataforma circulatoria de las RM .....	91
Tabla 29. Distancia de visibilidad en rotondas .....	92
Tabla 30. Elementos geométricos de Entrada No. 1 .....	93
Tabla 31. Elementos geométricos de Entrada No. 2 .....	93
Tabla 32. Elementos geométricos de Entrada No. 3 .....	94
Tabla 33. Capacidad de entrada por hora.....	95
Tabla 34. Capacidad de entrecruzamiento por hora.....	97
Tabla 35. CBR% y valor k para pavimentos.....	100
Tabla 36. Comparación entre capacidades rotonda "Monumento El Soldado" .....	107
Tabla 37. Comparación de entrecruzamiento y proyección a 20 años .....	109
Tabla 38. Rotonda "Monumento El Soldado" vs. Rotonda de Cantarranas.....	115
Tabla 39. Datos granulometría gruesa .....	141
Tabla 40. Datos granulometría fina .....	144
Tabla 41. Datos granulometría combinada .....	145
Tabla 42. Datos límite líquido s. natural.....	148
Tabla 43. Entrada 2 hora 9:40-10:40.....	150
Tabla 44. Entrada 2 hora 11:07-12:30 .....	151

Tabla 45. Entrada 3 hora 9:40-10:40.....	151
Tabla 46. Entrada 3 hora 11:07-12:30 .....	152
Tabla 47. Volumen veh/h entrada 2.....	152
Tabla 48. Volumen veh/h entrada 3.....	152
Tabla 49. Vehículo de diseño por eje tándem .....	153

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Capacidad de entrecruzamiento por hora.....	12
Ecuación 2. Capacidad por entrada.....	12
Ecuación 3. Porcentaje retenido acumulado.....	19
Ecuación 4. Porcentaje de pase.....	20
Ecuación 5. Porcentaje de error .....	20
Ecuación 6. Contenido de humedad.....	21
Ecuación 7. Índice de plasticidad .....	22
Ecuación 8. Módulo de reacción .....	43
Ecuación 9. Factor de proyección de vida útil.....	46
Ecuación 10. Masa del agua.....	67
Ecuación 11. Masa del suelo seco.....	68
Ecuación 12. Contenido de humedad .....	68
Ecuación 13. Limite plástico .....	69
Ecuación 14. Índice de plasticidad.....	71
Ecuación 15. Masa de suelo seco para hidrometría.....	78
Ecuación 16. Corrección por longitud efectiva .....	79

Ecuación 17. Longitud efectiva .....	79
Ecuación 18. Diámetro de la partícula del suelo .....	80
Ecuación 19. Lectura corregida del hidrómetro .....	81
Ecuación 20. %Porcentaje de pase .....	82
Ecuación 21. Porcentaje de error.....	142
Ecuación 22. Porcentaje de suelo retenido .....	142
Ecuación 23. Porcentaje retenido acumulado .....	143
Ecuación 24. Porcentaje de pase .....	143
Ecuación 25. Coeficiente de curvatura .....	146
Ecuación 26. Coeficiente de uniformidad .....	147

## **ÍNDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1 Crecimiento vehicular 2017 – 2021.....	6
Diagrama 2. Ejemplo relación hora pico y volumen TPDA.....	18
Diagrama 3. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos .....	44
Diagrama 4. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos .....	44
Diagrama 5. Variables para el diseño de rotondas.....	48
Diagrama 6. Variables para la guía de revisión de diseño de rotondas y diseño de pavimento...	49
Diagrama 7 %Pase vs. Diámetro.....	83
Diagrama 8. Hidrometría combinada con granulometría combinada.....	83

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Asesorías temáticas .....	134
Anexo 2. Ensayo granulometría relleno de balasto.....	141
Anexo 3. Resultados de conteo vehicular.....	150
Anexo 4. Peso por eje tándem .....	153
Anexo 5. Camión C2.....	153
Anexo 6. Camión C2 R2 .....	154
Anexo 7. Camión C3.....	154
Anexo 8. Croquis como guía para el conteo manual .....	155
Anexo 9. Cronograma semanas 1 y 2.....	156
Anexo 10. Cronograma semanas 3 y 4 .....	157
Anexo 11. Cronograma semanas 5 y 6 .....	158
Anexo 12. Cronograma semanas 7 y 8 .....	159
Anexo 13. Cronograma semanas 9 y 10.....	160

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICA 1. Tipo de intersección basado en flujos de tránsito .....	34
GRÁFICA 2. Curva granulométrica .....	65
GRÁFICA 3. Límite líquido de relleno de balasto .....	71
GRÁFICA 4. N° golpes vs. contenido de humedad.....	85
GRÁFICA 5. Límite líquido 29.5% .....	86
GRÁFICA 6. Gráfico de tráfico vehicular según su tipo.....	113
GRÁFICA 7. Gráfico de tráfico vehicular según su tipo.....	114

GRÁFICA 8. Porcentaje de tránsito vehicular de transporte público vs. vehículo particular .....	114
GRÁFICA 9. Tipos de intersecciones para diferentes volúmenes de tránsito.....	116
GRÁFICA 10. Límite líquido s. natural.....	150

## LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association Standards Highway Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
IP	Instituto de la Propiedad
PCA	Portland Cement Association
PIA	Palmerola International Airport
SOPTRAVI	Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual
THP	Tránsito Hora Pico



## GLOSARIO

**Ancho de entrecruzamiento:** "Son cierto tipo de intersección que se presenta cuando en uno de los extremos de una calzada unidireccional convergen dos o más calzadas" (Delgado, 2021).

**Calzada:** "Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos en circunstancias ordinarias" (Carreteros, 2016).

**Círculo inscrito:** "Círculo que pasa por los tres vértices de un triángulo dado, o por los vértices de un polígono cíclico dado. Se dice que la figura dentro del círculo está inscrita" (Math Dictionary, 2019).

**Drenaje:** "Es un sistema de tuberías, colectores e instalaciones complementarias que recolectan agua de escorrentía de precipitaciones pluviales que permite su recolección para su vertido y así, evitar daños materiales y humanos" (UNAM, 2017).

**Flujo vehicular:** "Es el número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía por unidad de tiempo" (Gibson, 2020).

**Geotecnia:** "Se ocupa del comportamiento de los materiales terrestres y la aplicación de la mecánica de suelos y rocas" (Markovich, 2014).

**Intersección:** "Una intersección vial, en este marco, se crea cuando dos o más calles o caminos se cruzan. Gracias a esta infraestructura, los conductores tienen la posibilidad de cambiar de vía o de mantener la dirección" (Merino, 2020).

**Radio de giro:** “Es un sistema giratorio, la longitud que representa la distancia entre el punto sobre el cual se produce la rotación de un cuerpo y el punto en el que se distribuye la masa del cuerpo y tiene el máximo efecto” (biodic, 2020).

**Rotonda:** “Una rotonda es una intersección de tipo circular con control de acceso del tránsito que ingresa a ella, con islas en las aproximaciones y curvaturas apropiadas en la vía para reducir la velocidad de los vehículos” (FHWA, 2006).

**Subrasante:** “Es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera, que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura de pavimento” (Gálvez, 2015).

## I. INTRODUCCIÓN

“Una rotonda es una intersección de tipo circular con control de acceso de tránsito que ingresa a ella, con islas en las aproximaciones y coberturas apropiadas en la vía para reducir la velocidad de los vehículos” (FHWA, 2006, pág. 2).

Según (FHWA, 2006) las rotondas modernas son diferentes de las glorietas y otras intersecciones rotatorias de tránsito. Por ejemplo, las rotondas son normalmente más pequeñas que las glorietas grandes y de alta velocidad, que todavía se utilizan en algunas partes del país. Además, usualmente, las rotondas son más grandes que las intersecciones rotatorias de tránsito usadas en los vecindarios para disminuir el tránsito. (pág. 2)



**Ilustración 1. Características de una rotonda**

Fuente: (FHWA, 2006)

En el presente informe de investigación se describirá el estudio para la guía de análisis de una rotonda urbana moderna multicarril y el diseño de pavimento rígido para calles de acceso, el cual

será bajo el funcionamiento de una serie de normas y revisión de cumplimiento de las mismas, normas SIECA, Manual Centroamericano de Carreteras y Manual de Carreteras de Honduras. Estas revisiones se regirán por parámetros requeridos para las maniobras de los vehículos tipo de diseño obtenidos mediante un conteo vehicular manual.

Se seleccionó una rotonda de estudio, se encuentra ubicada en la ciudad de La Paz, departamento de La Paz, denominada "Monumento El Soldado". Se presentará la propuesta y diseño de pavimento junto a los estudios de suelos pertinentes, bajo en funcionamiento de las normas AASHTO. En esta intersección se realizó el estudio de eficiencia, utilizando los manuales de construcción vigentes en función de la demanda de volumen vehicular actual. Finalmente, se presentará el análisis del proyecto con base en el procedimiento de diseño y descripciones técnicas.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A continuación, se desglosa la situación actual del problema, la importancia de la evaluación de la rotonda actual para el diseño de una rotonda actualizada con la demanda vehicular o bien proponer una intersección como solución vial, se identifican los puntos desconocidos mediante preguntas las cuales se responderán conforme avance el proceso de investigación y diseño.

### 2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El aumento del tráfico es un problema común en las ciudades y puede ser causado por varios factores, como el crecimiento de la población, el aumento del número de vehículos en las calles, la falta de alternativas al transporte público y el aumento de la actividad comercial y económica. La ciudad de La Paz, donde se llevó a cabo la revisión de una rotonda, al igual que otras ciudades del país, han sufrido un acelerado crecimiento vehicular, como consecuencia de la concentración poblacional en las zonas urbanas.

**Tabla 1. Estadística parque vehicular de Honduras**

Departamento	2017	2018	2019	2020	2021
FRANCISCO MORAZÁN	488,373	531,934	568,329	597,857	627,288
CORTÉS	423,402	462,986	498,081	526,599	566,045
ATLÁNTIDA	112,597	125,337	140,571	151,284	165,387
YORO	100,748	113,052	123,492	132,651	149,622
COMAYAGUA	93,558	103,111	111,665	119,397	135,376
OLANCHO	83,788	94,687	104,952	113,543	128,872
CHOLUTECA	65,313	73,150	80,578	86,826	97,744
EL PARAÍSO	61,823	67,667	73,409	79,012	90,961
COLÓN	52,944	60,329	68,750	76,624	90,762
COPÁN	54,551	61,116	66,358	71,544	80,272
SANTA BÁRBARA	50,398	55,841	61,002	66,018	76,676
LEMPIRA	27,588	31,034	34,414	37,945	44,748
VALLE	24,990	28,274	30,924	32,948	37,509
OCOTEPEQUE	23,104	25,027	27,076	29,573	33,649
INTIBUCÁ	21,543	24,266	27,105	29,370	34,357
LA PAZ	19,929	22,283	24,474	26,388	30,638
ISLAS DE LA BAHÍA	14,970	16,872	18,644	19,528	21,559
GRACIAS A DIOS	2,021	2,266	2,650	2,930	3,727

Fuente: (INE, 2021)

Según INE (2021) el parque vehicular al cierre de 2021 ascendió a 2,415,192 unidades, se registró un incremento de 10% (215,155 unidades), mientras que el crecimiento promedio del

parque vehicular en los cuatro años previos, al (2017-2020) fue de 9%, tal como puede observarse en la Tabla 1.

De acuerdo con *Instituto de la Propiedad* (2022) La Paz en los últimos 5 años ha tenido un incremento promedio de vehículos de 11.40%, siendo el año 2021 con el mayor porcentaje de crecimiento, siendo un 16.11%.

Para el desarrollo del trabajo de investigación se consideró la rotonda denominada “Monumento El Soldado” de la ciudad de La Paz, construida a principios los ochenta, cuya situación actual se origina del problema mencionado, lo que genera la necesidad de revisar el diseño para demostrar si cumple o no con las especificaciones técnicas en función del flujo vehicular actual, de manera que sirva de punto de partida para destacar la importancia de revisar este tipo de soluciones viales que ya cumplieron el periodo de diseño.



**Ilustración 2. Mercado**



**Ilustración 3. Zona de conflicto**

Como consecuencia del crecimiento urbano, es imperativo que este tipo de soluciones viales cuenten con la debida señalización, tanto para los vehículos automotores como para los peatones, de manera que sean utilizadas para solventar el congestionamiento vial y a la vez preservar la seguridad de los usuarios.

Entre los parámetros revisados se identificó que la rotonda objeto del estudio no cumple con la distancia de detención, distancia de visibilidad de decisión, sobreelevamientos de los accesos, entre otros.



**Ilustración 4. Señalización inexistente**

Un factor influyente en la revisión de rotondas es realizar el diseño de pavimento de las vías de acceso a ellas, una vez el periodo de vida de este termina, el diseño de pavimento se convierte una base de la revisión en función del manual de la SIECA y normas AASHTO.

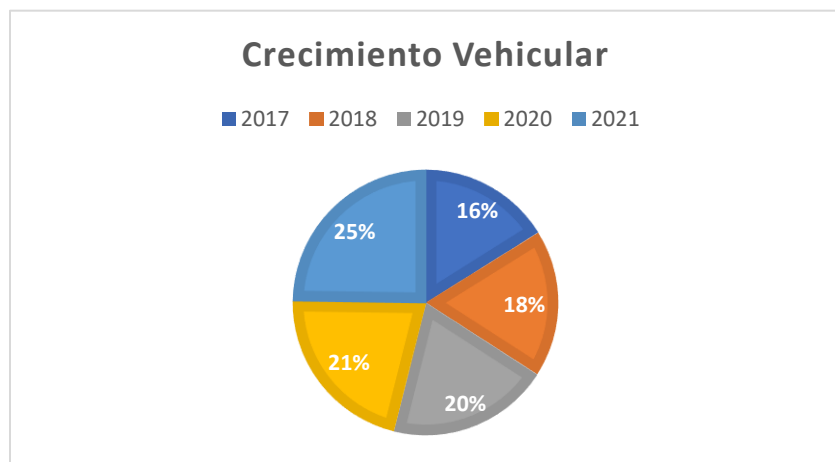
Otra consideración no menos importante es ubicar las bahías para el transporte público en función de especificaciones técnicas, de manera se provea de un espacio que brinde seguridad a los usuarios, tal como lo establece el Manual de Carreteras de SOPTRAVI.

## **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El crecimiento urbano está ligado al crecimiento vehicular, tal como lo evidencia el Diagrama 1 ha provocado que las soluciones viales como las rotondas, que ya han cumplido la vida útil de diseño, han dejado de solventar el tráfico vehicular, tal es el caso de la rotonda denominada "Monumento El Soldado", donde se intercepta el bulevar "Guardia de Honor Presidencial" y el Barrio La Trinidad, la cual se ha tomado como punto de partida para revisar tanto el diseño geométrico como para diseñar una estructura de pavimento rígido considerando que, además de haber cumplido el periodo de diseño, se encuentra en mal estado.

Adicionalmente, a la necesidad de revisión de rotonda y diseño del pavimento, en una de las intersecciones se encuentra ubicado el mercado municipal de la ciudad de La Paz, el cual ocupa 3.86 metros de la vía que comunica con la zona sur de la población, donde circulan vehículos C2 y C3 (vehículos de diseño de dos y tres ejes), que también hacen uso de la rotonda, situación que se vuelve crítica en las horas de mayor congestión vial.

Según INE (2021), La Paz cuenta con una población de 54,579 habitantes, los cuales forman parte del aumento del crecimiento vehicular del 25%.



**Diagrama 1 Crecimiento vehicular 2017 – 2021**

Elaboración propia. Fuente: (INE, 2021)

### **2.3. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad, la zona de estudio cuenta con una tasa de crecimiento vehicular de 25%, lo que ha generado una mayor incidencia en el congestiónamiento vial, generado por el crecimiento poblacional, por lo que las obras viales como las rotondas y pavimento de zonas urbanas que ya cumplieron con la vida útil requieren de una revisión del diseño geométrico y un diseño de pavimento que se adapte a las características del tráfico vehicular y peatonal actual, lo que involucra la correspondiente señalización vial, de manera que los usuarios circulen bajo las condiciones de seguridad vial que establece la norma SIECA 2004 y 2001; el Manual de Carreteras de Honduras y normas AASHTO.



## **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Qué consideraciones de diseño deben cumplir las rotondas?
2. ¿Qué consideraciones de diseño deben cumplir las vías de acceso a las rotondas?
3. ¿Cuáles son los tipos de rotondas para zonas urbanas?
4. ¿Cuáles son las características geométricas de la rotonda “Monumento El Soldado” y vías de acceso?
5. ¿Qué características posee el tráfico vehicular de la zona de estudio?
6. ¿Qué tipo de suelo caracteriza la zona de estudio?
7. ¿Qué diseño de pavimento de concreto hidráulico se adecua a las características de la zona de estudio?

## **2.4. OBJETIVOS**

En este apartado se desglosan los objetivos en los cuales está enfocado el diseño, se divide en objetivo general y los objetivos específicos que detallan paso a paso el desarrollo de la investigación-diseño.

### **2.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una guía para la revisión del diseño geométrico de las rotondas y diseñar la estructura de pavimento rígido para las calles que convergen en la rotonda denominada “Monumento El Soldado” de la ciudad de La Paz, departamento de La Paz que será utilizada para la investigación, con el uso de los manuales de la SIECA, de Carreteras de Honduras y normas AASHTO, con la aplicación de los conocimientos adquiridos en Suelos I, Vías de Comunicación (I y II) y laboratorios de Suelos y Topografía II.

### **2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Investigar cuáles son las consideraciones de diseño para rotondas de zonas urbanas, con el uso del Manual Centroamericano de Carreteras y Manual de Intersecciones de la SIECA.
2. Investigar cuáles son las consideraciones de diseño para las vías de acceso a las rotondas, con uso de Manual Centroamericano de Carreteras y Manual de Intersecciones de la SIECA.

3. Investigar cuáles son los tipos de rotondas que pueden ser utilizados en zonas urbanas, con uso del Manual Centroamericano de Carreteras de la SIECA y el Manual de Carreteras de Honduras.
4. Realizar el levantamiento topográfico para determinar las dimensiones de la rotonda "Monumento El Soldado" y vías de acceso, con el uso de la Estación Total.
5. Realizar el conteo del tránsito vehicular que accede a la rotonda "Monumento El Soldado" en dos días alternos durante cuatro horas continuas cada día, con uso de dispositivos electrónicos, croquis y libreta de campo.
6. Realizar estudios del suelo de la zona de estudio, con uso del equipo de laboratorio de Ingeniería Civil y la aplicación de los conocimientos adquiridos en el Laboratorio de Suelos.
7. Diseñar la estructura de pavimento rígido con el uso del Pavement Designer, análisis de laboratorio y conocimiento adquiridos en Vías de Comunicación I y II.

### III. MARCO TEÓRICO

En esta sección se abordan diferentes temas de interés, los cuales van de la mano para los parámetros de diseño de las rotondas e intersecciones y lo que esto conlleva.

#### 3.1. ROTONDAS

Las rotondas son una solución vial para evitar las demoras en los flujos de tráfico y la rotonda "Monumento El Soldado" no es la excepción, ya que esta zona es de las principales zonas de conflicto debido al gran congestionamiento vial que se ocasiona en lugar, considerando la ausencia del señalamiento vial y el conocer a profundidad los tipos de rotondas que se pueden aplicar en zonas urbanas brindará un amplio panorama de opciones para la verificación y análisis de la misma, las rotondas causan pocas demoras en los flujos de tráfico bajos a medio (Toolkit, 2022).

##### 3.1.2. TIPOS DE ROTONDAS

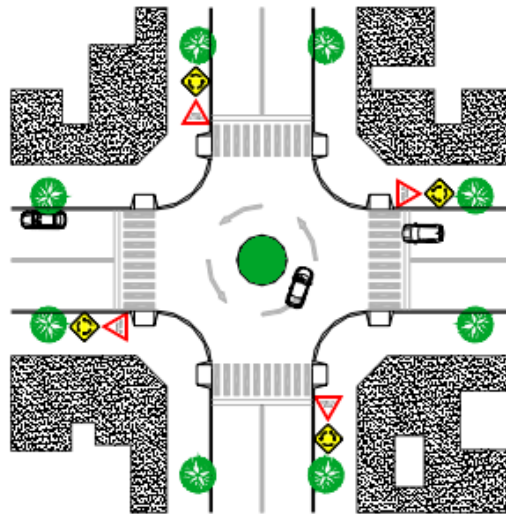
Existe una gran variedad de diferentes tipos de rotondas, pero en este caso nos interesa conocer acerca de las rotondas aplicables en zonas urbanas y son:

###### 3.1.2.1. *Minirotondas*

Las minirotondas son elementos que abren caminos de flujo vehicular, instaladas en intersecciones basado en un flujo vehicular por una calzada anular, esta se extiende en torno a una isla central y que funciona con prioridad a los vehículos que circulan por la calzada anular, es una solución vial para la seguridad y de bajo costo (Neves, 2010).

La reducción de la velocidad que consiguen las glorietas en la circulación se produce, en gran medida, por la percepción que tienen los conductores de la existencia del islote central, que les obliga a frenar, para desviar su trayectoria y rodearlo (Neves, 2010).

Una mini-rotonda es útil por diferentes razones, en especial en las zonas urbanas para intersecciones las cuales llegan tres y más brazos, existen conflictos de giro a la izquierda y sus velocidades no superan los 50 Km/h, son ideales como reductores de velocidad, estas requieren señales informativas y preventivas, esto es por la seguridad vial de tránsito para la reducción de velocidad en los accesos tal como se puede observar en Ilustración 5.



**Ilustración 5. Señalización en una mini-rotonda**

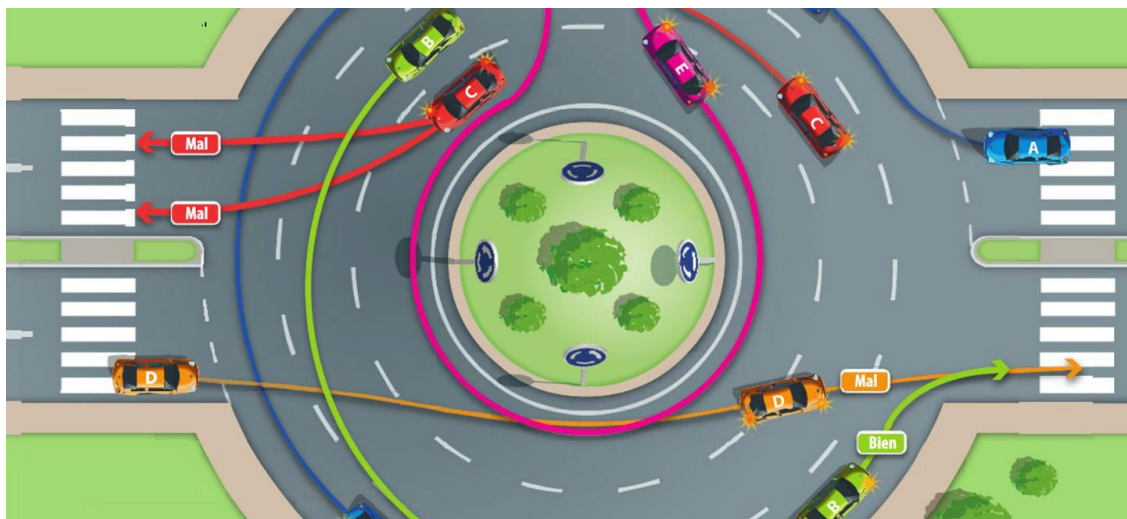
Fuente: (IVIA, 2008)

### 3.1.2.2. Rotondas Normales

Una rotonda normal o rotonda urbana, es toda aquella intersección dotada de un obstáculo central, materialmente infranqueable y rodeado por una calzada anular con sentido de circulación giratorio a derechas, donde se unen varias calles, que está regida por una regla de prioridad donde los vehículos puedan entrar en la calzada anular deben ceder el paso a los que ya están en ella (UPC, 2019).

“En las rotondas urbanas, su isla central varía entre 20 y 40 metros de diámetro, si el diámetro fuera mayor a los 40 m, se consideraría rotonda grande y si este fuera menos de 20 m se consideraría una mini-rotonda” (SOPTRAVI, 1996).

UPC (2019) menciona que existen diferentes métodos para encontrar la capacidad de una rotonda urbana o normal y son: El método CETUR-86 (Francia), este consiste en mejorar la entrada de una rotonda que funcione correctamente, la suma de los tráficos entrante e inferior a 1500 vehículos ligeros por hora y el Método Suizo (VSS 3/89), este propone factores de equivalencia para los diferentes tipos de vehículos y permite calcular una primera aproximación sobre los tiempos de espera medios en la entrada.



**Ilustración 6. Rotonda normal o urbana**

Fuente: (Villareal, 2020)

### 3.1.3. ELEMENTOS GENERALES BÁSICOS DE UNA ROTONDA

El diseño de una rotonda está conformado por una variedad de variables las cuales ayudan al uso correcto de una rotonda, ya que las rotondas son agentes que brindan un alto nivel de seguridad a los usuarios y es de suma importancia conocer el proceso de verificación de diseño de una rotonda y así tener resultados óptimos.

El proceso de verificación de diseño de una rotonda, más que otras formas de intersecciones requiere una considerable cantidad de iteración entre el trazado geométrico,

análisis operacional y evaluación de seguridad. Los ajustes menores en la geometría pueden resultar cambios significativos en el comportamiento seguridad/operacional (FHWA, 2000).

### 3.1.3.1. Capacidad de rotondas

La SIECA (2011) afirma

Si la suma del flujo de entrada y el flujo de circulación es menor a 1000 vehículos por hora, la rotonda puede funcionar con un solo carril de manera eficiente. El cálculo de la capacidad de para rotondas se divide en dos partes: La capacidad de carga por entrecruzamiento y la capacidad de las entradas (p, 219).

$$Qp = 282 * W * \left(1 + \frac{E}{W}\right) * \frac{\left(1 - \frac{P}{3}\right)}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)}$$

#### **Ecuación 1. Capacidad de entrecruzamiento por hora**

Fuente: (SIECA, 2011)

Donde:

W=Ancho de la calzada circular de rodadura.

E=Promedio de ancho del acceso de entrada y el ancho de la calzada circular.

P=Proporción de las corrientes de tránsito que se entrecruzan con relación al volumen del total que se mueve en esa sección.

L=Longitud de la sección de entrecruzamiento.

$$Qe = K(F - fc * Qc)$$

#### **Ecuación 2. Capacidad por entrada**

Fuente: (SIECA, 2011)

Donde:

Qc=Volumen de tránsito que circula enfrente de la entrada.

$$F = 303 * X$$

$$fc = 0.21 * tp (1 + 0.2 * X)$$

$$K = (1 - 0.00347(\Phi - 30)) - \left(0.978 \left(\frac{1}{r} - 0.05\right)\right)$$

$\Phi$  = Ángulo de entrada.

r= Radio de entrada

Donde sus factores

$$X = V + \frac{(e - V)}{(1 + 2 * S)}$$

e = Ancho del acceso ensanchado.

V=Ancho de la calzada de la carretera.

$$S = 1.6 * \frac{e - V}{l}$$

$$tp = 1 + \left(1 + \left(\frac{0.5}{1 + M}\right)\right)$$

$$M = e \left(\frac{D - 60}{10}\right)$$

e= Base de logaritmo.

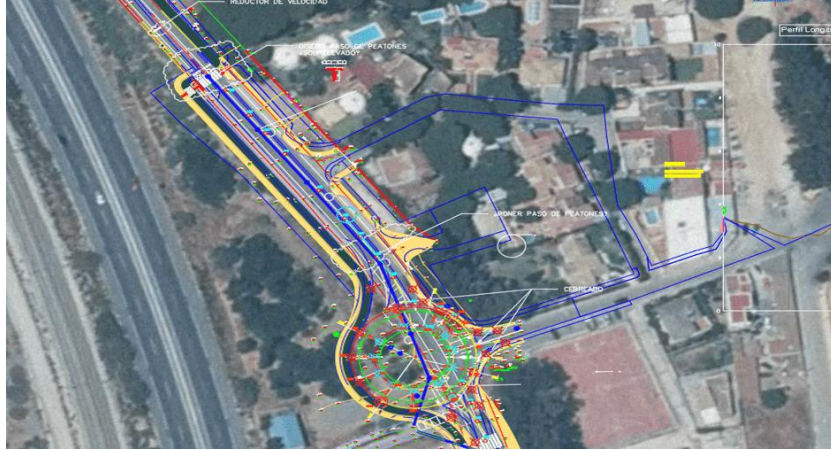
D= Diámetro inscrito de rotonda.

### 3.2. ELEMENTOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE ROTONDAS

Para la verificación de diseño óptimo de una rotonda, es clave saber el proceso que este conlleva y saber los elementos que lo componen, en esta sección se detallan cada uno de ellos.

#### 3.2.1. ESTUDIOS DE TOPOGRAFÍA PARA ROTONDAS

“La topografía es la ciencia que determina las dimensiones y el contorno de la superficie de la tierra a través de la medición de distancias, direcciones y elevaciones. Además de estas mediciones en campo, la topografía incluye el cálculo de áreas, volúmenes y otras cuantificaciones, así como la elaboración de los diagramas y planos necesarios” (Cormac, 2006).



**Ilustración 7. Demostración del levantamiento topográfico para rotondas**

Fuente: (Carreteros, 2016)

Un buen diseño debe respetar la topografía existente y en consideración a la preservación del medio ambiente, mantener desmontes y rellenos al mínimo y seguir la conformación del terreno para poder minimizar la erosión y problemas de sedimentación (Calo, 2012), tal como se ve en la Ilustración 7

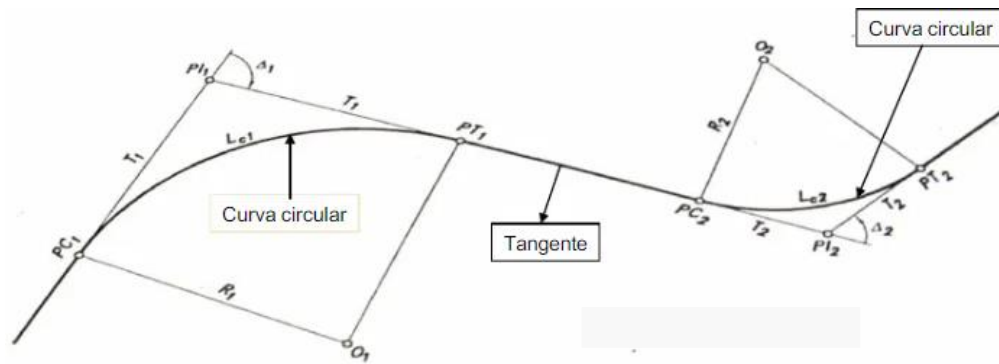
### 3.2.1.1. *Alineamiento horizontal*

El Manual Centroamericano Carreteras indica que las principales consideraciones que controlan el diseño son: Categoría de la carretera, topografía del área, velocidad del proyecto, distancias de visibilidad, coordinación con el perfil, costos de construcción, operación y mantenimiento.

Dichos elementos se deben combinar de modo que el resultado del diseño sea el más seguro y económico, en armonía con el contorno natural y al mismo tiempo adecuado a su categoría, basado en la clasificación funcional del diseño.

Existen diferentes tipos de curvas horizontales las cuales se pueden apreciar en la Ilustración 8 y son:





**Ilustración 8. Curva circular y sus elementos**

Fuente: (Céspedes, 2015)

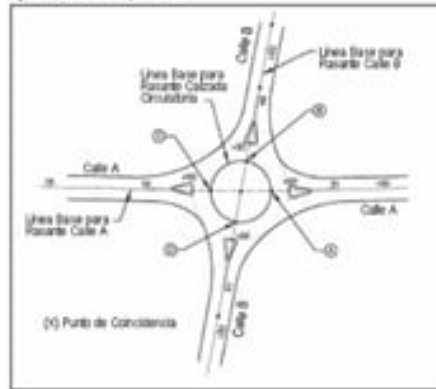
- Curva simple: "Son arcos de circunferencia de un solo radio que constituyen la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales empleadas para unir dos tangentes o elementos rectos del alineamiento horizontal" (UMNG, 2013).
- Curva compuesta: "Es una curva circular constituida con una o más curvas simples dispuestas una después de la otra, las cuales tienen arcos de circunferencias distintos" (Navarro, 2008).
- Curva inversa: "Se coloca una curva después de la otra en sentido contrario con la tangente común" (Navarro, 2008).
- Curva espiral: "Esta no es circular, pero sirve de transición o unión entre la tangente y la curva circular" (Navarro, 2008).

### 3.2.1.2. Alineamiento vertical

El alineamiento vertical incluye perfiles, peralte, pendiente de aproximación y drenaje y para saber el desarrollo de cada uno de sus elementos se detallan así:

#### 1. Rasante

Cada rasante se desarrolla mediante un proceso iterativo donde se unen las cotas de las rasantes de calzada de aproximación en una rasante suave alrededor de la isla central. Las rasantes se diseñan donde se conecta la línea base de aproximación con la isla central donde pasa a través de cuatro puntos, se reajustan las rasantes de la calzada de modo que concuerde con el perfil de la isla central, generalmente las rasantes tienen forma sinusoidal (SIECA, 2011).



**Ilustración 9. Rasante**

Fuente: (Roberto, 2007)

## 2. Peralte

Para la calzada es necesario realizar una pendiente transversal de 2% hacia fuera desde la isla central, el peraltado tiene beneficios como ser:

- Promueve la seguridad al elevar la cota de la isleta central y mejorar su visibilidad.
- Promueve velocidades más bajas.
- Minimiza los quiebres en las pendientes transversales de los carriles de entrada y salida.
- Ayuda a drenar el agua superficial hacia el exterior de la rotonda.

## 3. Drenaje

Las embocaduras de los sumideros pueden ser necesario a lo largo de la isla central sobre una pendiente constante a través de la intersección, se debe tener un sumo cuidado que de ubicar los puntos bajos y embocaduras donde son cruces peatonales. (SC, 2012)

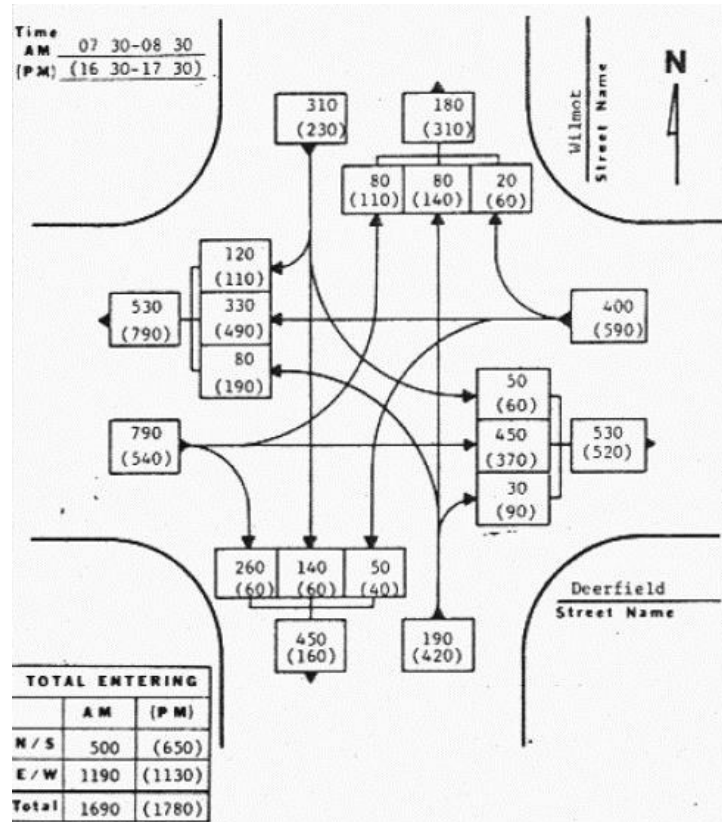
### 3.2.2. ANÁLISIS DE TRÁFICO VEHICULAR PARA ROTONDAS

En cuanto a los volúmenes de tránsito nos indica la necesidad de mejorar las características geométricas del diseño como los números de carriles, ancho, alineamiento y pendiente, el análisis del tráfico nos lleva a establecer cargas para el diseño geométrico de la carretera. Los datos de

tránsito se pueden obtener de manera manual o electrónica, los datos incluyen volúmenes de tránsito por día del año y hora del día, así como los diferentes tipos de vehículos y pesos (SIECA, 2011)

### 3.2.2.1. Tránsito promedio diario anual

El TPDA es el volumen total durante un periodo determinado de tiempo, puede ser mayor que un día y menor o igual que un año, donde se dividen por el número de días comprendido en ese periodo de tiempo. El TPDA tiene muchos propósitos y son la utilización anual como justificación para los gastos propuestos o bien para el diseño de los elementos estructurales, como lo es en este caso (SOPTRAVI, 1996).



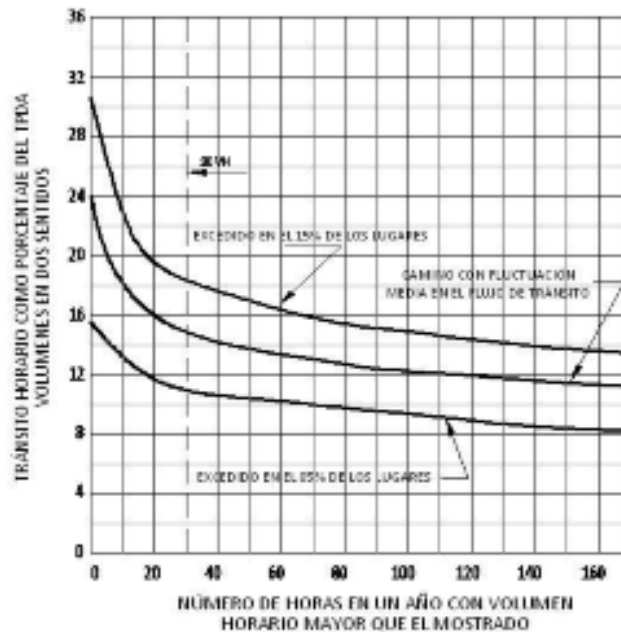
**Ilustración 10. Análisis TPD según AASHTO**

Fuente: (AASHTO, 1993)

### 3.2.2.2. Tránsito hora pico

El TPDA es una medida genérica de la intensidad del tránsito a lo largo de un día, por lo que se vuelve de rigurosa necesidad seleccionar las horas de máxima demanda a lo largo de las veinticuatro horas, esto como base apropiada para el diseño geométrico de las carreteras. Entre tanto tránsito en hora pico recoge la necesidad de referir el diseño no a la hora máxima que se registra en un año ni a la hora promedio, sino a una hora intermedia que admita cierto grado de tolerancia para las demandas en horas extremas. La guía para determinar el tránsito horario adecuado es usar una curva que muestre la variación de volúmenes de tránsito horario (AASHTO, 1993).

“El Diagrama 2 fue diseñado a partir del análisis de datos de conteo de tránsito que cubre un amplio rango de volúmenes y condiciones geográficas” (AASHTO, 1993).



**Diagrama 2. Ejemplo relación hora pico y volumen TPDA**

Fuente: (AASHTO, 1993)

### 3.2.3. ESTUDIOS DE SUELO

“El suelo es el producto final de la influencia del tiempo combinado con el clima, topografía, organismos, y materiales parentales. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica y agua” (FAO, 2023).

La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica. Las propiedades geotécnicas de un suelo, como la forma en la que están distribuidas sus partículas, su plasticidad, que tanto se puede comprimir, se puede evaluar mediante pruebas de laboratorio adecuadas (Dass, 2014).

#### 3.2.3.1. *Granulometría*

El análisis del tamaño de las partículas determina las constantes del suelo, la norma ASTM D-421-85 indica que se debe obtener una muestra de suelo y secar en el horno, para lo que se prepara el material con ayuda de martillo de goma. Los tamices por utilizar son: 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 3/4", 3/8" y 4" (ASTM , 2015).

De acuerdo con la norma ASTM D-421-85 su análisis es:

$$\%Ra = \frac{W_r}{W_t} \times 100$$

#### **Ecuación 3. Porcentaje retenido acumulado**

Fuente: (INACAP, 2007)

Donde:

%Ra= Porcentaje retenido acumulado.

Wr= Peso retenido acumulado.

Wt= Peso total de la muestra.

$$\%P = 100 - \%Ra$$

#### **Ecuación 4. Porcentaje de pase**

Fuente: (INACAP, 2007)

Donde:

%P= Porcentaje de pase.

%Ra= Porcentaje retenido acumulado.

$$\%E = 100 - \left( \frac{W_t}{W_i} \times 100 \right)$$

#### **Ecuación 5. Porcentaje de error**

Fuente: (INACAP, 2007)

Donde:

%E= Porcentaje de error.

Wt= Peso total de la muestra.

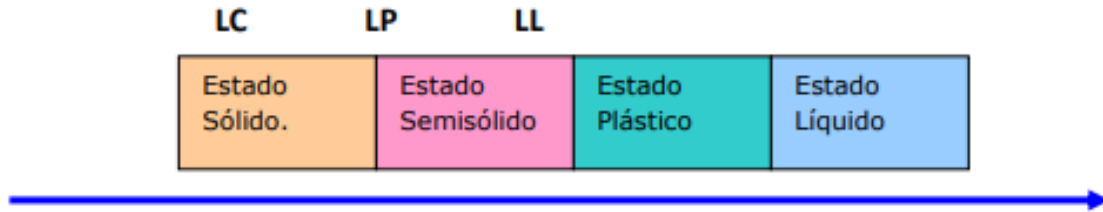
Wi= Peso retenido.

#### **3.2.3.2. Límites de Atterberg**

Para conocer el comportamiento de un suelo se utilizan índices que definen la consistencia del suelo en función de su humedad.

La magnitud de la plasticidad que presenta una arcilla en estado natural depende de la composición mineralógica y de su contenido de humedad. Así, la consistencia varía desde un estado sólido, pasando por un estado semisólido donde el suelo se desmorona y no hay

plasticidad siguiendo por el estado plástico para contenidos altos de humedad y llegando a un estado líquido (INACAP, 2007).



**Ilustración 11. Límites de Atterberg**

Fuente: (INACAP, 2007)

La norma ASTM N°40 es la que nos indica el proceso de los límites de Atterberg donde se realiza con tamiz #40. El límite líquido se determina mediante la realización de ensayos donde se lleva una parte de la muestra a la copa de Casagrande, el contenido de humedad se define cuando la ranura cierra en 12.7mm después de 25 golpes (ASTM , 2015).

$$W\% = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \times 100$$

**Ecuación 6. Contenido de humedad**

Fuente: (INACAP, 2007)

Donde:

%W=Porcentaje de contenido de humedad.

Ww=Peso de suelo húmedo.

Ws=Peso de suelo seco.

En cuanto al límite plástico, se determina presionando alternativamente juntos y rodar en un cilindro de 3.2 mm de diámetro y con una pequeña porción de suelo plástico hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el que el hilo se desmorona.

$$IP = LL - LP$$

### Ecuación 7. Índice de plasticidad

Fuente: (INACAP, 2007)

Donde:

IP= Índice de plasticidad.

LL= Límite líquido.

LP= Límite plástico.

#### 3.2.3.3. Clasificación de suelos

La clasificación del suelo proporciona un lenguaje para expresar en forma concisa las características generales de los suelos. Existen dos métodos: métodos AASHTO y método USCS, en este caso se aplicó el método AASHTO.

**Tabla 2. Clasificación de suelos material granular**

Clasificación general	Material Granular ( 35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Límite líquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

Fuente: (Dass, 2014)



“Los suelos pueden clasificarse en ocho grupos principales, A-1 a A-8, con base en su distribución granulométrica, límite líquido e índice de plasticidad. Los suelos de los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales de grano grueso, mientras que los incluidos en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son de grano fino. El grupo A-8 incluye suelos como la turba, compostas orgánicas y otros suelos con alto contenido de materia orgánica y otros suelos con alto contenido de materia orgánica, los cuales se identifican mediante inspección visual” (Boiero, 2020).

**Tabla 3. Clasificación de los suelos AASHTO material limo-arcilloso**

Clasificación general	Material limo- arcilloso ( más del 35% del total pasa No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 (a) A-7-6 (b)
Grupo de clasificación				
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción que pasa No. 40				
Límite líquido	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Índice de plasticidad	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Valoración general del subgrupo	Regular a pobre			
(a) Para A-7-5, $IP < LL - 30$				
(b) Para A-7-6, $IP > LL - 30$				

Fuente: (Dass, 2014)

### 3.3. PRINCIPIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA ROTONDAS

Para el diseño geométrico se debe determinar el vehículo representativo para cada clasificación, que debe ser el que físicamente tiene las mayores dimensiones y el que tiene el mayor radio

mínimo de giro. Generalmente se considera tres tipos de vehículos motorizados para el diseño geométrico:

- Automóviles, que incluyen también todos los vehículos livianos de dimensiones similares.
- Camiones, que tienen una masa bruta de 4.0 toneladas, o mayor peso, los vehículos que tienen doble rueda en los ejes traseros.
- Buses.

### 3.3.1. VELOCIDADES DE DISEÑO

Tener en cuenta las velocidades de diseño de una rotonda es importante ya que esto es para garantizar la seguridad y fluidez del tráfico vehicular, y reducir el riesgo de accidentes viales en la zona. Es esencial considerar cuidadosamente las velocidades de diseño, tanto en el diseño como en la planificación de una rotonda como solución vial.

### 3.3.2. VEHÍCULOS DE DISEÑO

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase para su uso en el diseño geométrico (Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004). Así, cada vehículo de diseño tiene dimensiones físicas mayores y radios de giro mínimos mayores que la mayoría de los de su clase y al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación, se le brindan al diseñador los controles y elementos, a los que debe ajustar el diseño para facilitar su circulación sin restricciones.

Los radios mínimos de giro en una rotonda pueden variar dependiendo de diversos factores, como el tamaño de la rotonda, la velocidad de diseño de la vía y el tipo de vehículos que se espera que la utilicen. Estos radios mínimos se establecen con el objetivo de garantizar que los vehículos puedan circular sin dificultad dentro de la rotonda y evitar maniobras bruscas o peligrosas. Por lo

general, se encuentran en las zonas de entrada y salida, así como en las transiciones entre carriles dentro de la rotonda.

**Tabla 4. Radios mínimos de giro**

<b>Vehículo de Diseño</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)</b>	<b>Radio en la Línea Central RMG (m)</b>	<b>Radio Interior Mínimo (m)</b>
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: (Policy on Geometric Desing of Highways and Streets, 2004)

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo. Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestran en la tabla (Policy on Geometric Desing of Highways and Streets, 2004).

### 3.3.3. DIÁMETROS DE CÍRCULO INSCRITO

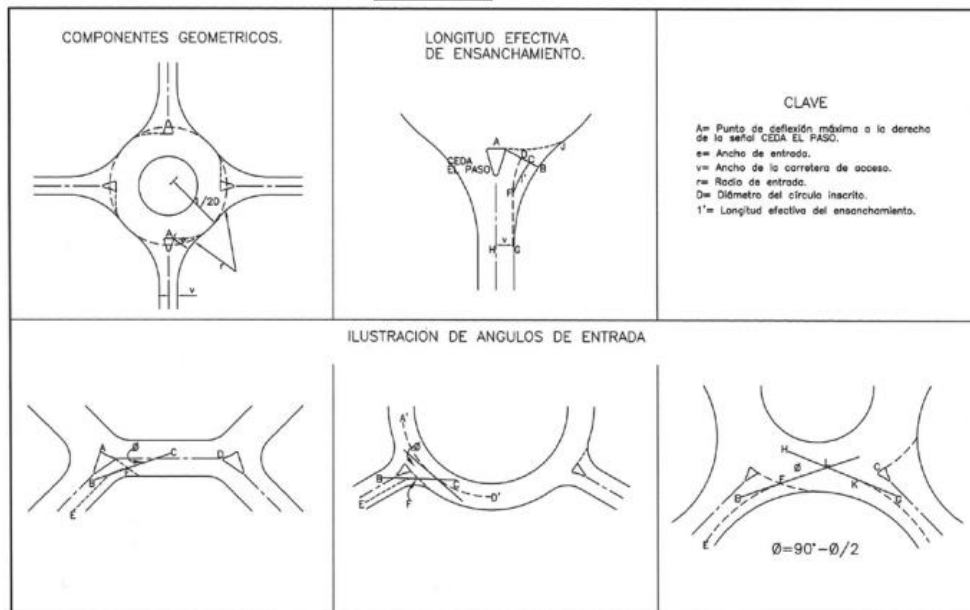
El diámetro del círculo inscrito en una rotonda es la medida del diámetro del círculo más grande que puede encajar perfectamente dentro de la rotonda sin tocar los bordes o los elementos internos de la misma. Es decir, es el diámetro del círculo máximo que puede ser trazado

dentro de la rotonda sin interceptar las isletas, los carriles interiores o cualquier otro elemento presente en su diseño. El diámetro del círculo inscrito se determina atendiendo a una serie de objetivos, incluido el acomodamiento del vehículo de diseño y el control de velocidad (Policy on Geometric Desing of Highways and Streets, 2004).

**Tabla 5. Anchos de entrada y calzada**

Descripción	Valores prácticos
e Ancho de entrada	4 - 15 m
v Mitad del ancho del acceso	2 - 7.3 m
l' Promedio de longitud efectiva del ensanchamiento	1 - 100 m
S Amplitud del ensanchamiento	0 - 2.9 m*
r Radio de entrada	6 - 100 m
∅ Angulo de entrada	10 - 60°
D Diámetro del círculo inscrito	15 - 100 m

Fuente: (SIECA, 2011)



**Ilustración 12. Parámetros de diseño**

Fuente: (SIECA, 2011)

El ancho total de la entrada debe ser menor de 10.5 metros en carreteras de 2 carriles, uno por sentido de circulación y no debe ser mayor de 15 metros para carreteras de carriles dobles por sentido. El ancho de cada carril debe ser mayor de 3 metros. El ancho de la entrada de los accesos y la longitud de ensanchamiento, son elementos de diseño que tienen influencia relevante en la capacidad de la rotonda y en la seguridad de los movimientos vehiculares, observar la Tabla 5. Se recomienda que el ancho de las entradas tenga como mínimo dos carriles y no ser mayor al equivalente de cuatro carriles. (SIECA, 2011, pág. 219)

#### 3.3.4. ANCHO DE CALZADA

MCNDGC (2011) afirma:

Es el ancho de la superficie sobre la cual circula un cierto tránsito vehicular, permitiendo el desplazamiento cómodo y seguro del mismo. Divididas o no, las carreteras pueden estar formadas por dos o más carriles de circulación por sentido. Excepcionalmente, pueden ser de un solo carril para la circulación en ambos sentidos, con bahías o refugios estratégicamente ubicados a lo largo de la carretera, para permitir las operaciones de adelantamiento o el encuentro seguro de dos vehículos en sentidos opuestos.

### **3.4. NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA ROTONDA**

CETUR (98) afirma:

La enorme diversidad de situaciones en las zonas urbanas y la enorme variedad de características dimensionales y funcionales hacen que cada rotonda de un proyecto específico para dar respuesta a sus necesidades.

### 3.4.1. ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Un estudio de viabilidad consiste en atender una serie de datos acerca de la posibilidad física de verificar mediante una guía, si una rotonda o alguna solución es viable. Los datos que se requieren son: topografía, configuración del espacio, geometría y capacidad de la intersección.

El objetivo al desarrollar un análisis de viabilidad es la verificación de eficiencia de la rotonda urbana multicarril de dos vías en cada uno en sus accesos o ramales.

### 3.4.2. ESTUDIO PREVIO O ANTEPROYECTO

Es fundamental garantizar la eficiencia y seguridad en el tráfico vehicular, los estudios previos deben de ser interactivos, tomando todos los agentes posibles, ingenieros de tráfico, urbanistas y todos los servicios técnicos locales, de igual manera la identificación de problemas y la búsqueda de soluciones deben de ser iterativos. En la etapa de los estudios previos se necesita información que detalle las condiciones como tal, como ser información del tráfico, proyectando la situación actual y la futura, de igual manera tomar en cuenta las condicionantes del lugar. (UPC).

Los criterios de anteproyecto generalmente suelen agruparse de la siguiente manera:

#### 3.4.2.1. *Criterios de circulación*

- Análisis de capacidad: "Tasa máxima de flujo de vehículos que se puede esperar que atraviesen una sección en un carril durante un período determinado en condiciones prevalecientes" (UNC, 2013).
- Fluidez: La fluidez del tráfico se refiere a la capacidad de los vehículos para moverse de manera continua y sin interrupciones en una vía o una red de carreteras. Se caracteriza por un flujo constante y uniforme de vehículos, sin congestión ni demoras significativas. (UPTC, 2007)

- Adaptación al transporte público: "Se refiere a las medidas y ajustes realizados para garantizar un flujo eficiente y seguro de los vehículos de transporte público en una intersección de rotonda" (SIECA, 2011).
- Regulación del tráfico: Son las normas y señalización utilizadas para gestionar y controlar el flujo de vehículos en una intersección circular. Estas regulaciones se implementan con el objetivo de garantizar la seguridad vial y mantener un flujo eficiente de tráfico dentro de la rotonda (SCT, 2019).
- Tiempos de espera: Se refiere al período de tiempo que los conductores deben esperar antes de poder ingresar o circular por la rotonda. Estos tiempos de espera pueden ser causados por varios factores, como el flujo de tráfico, la densidad de vehículos en la rotonda, la prioridad de paso y la configuración de carriles (RACE, 2022).

#### 3.4.2.2. *Criterios de seguridad*

- Seguridad general o específica de los peatones o ciclistas: Medidas y condiciones que se establecen para garantizar su protección y bienestar al interactuar con el tráfico vehicular en una intersección circular. Es fundamental implementar estas medidas para garantizar la seguridad de los peatones y ciclistas en una rotonda, ya que su vulnerabilidad frente al tráfico vehicular requiere una atención especial (ITVC, 2016).
- Itinerarios para peatones: Son las rutas específicas diseñadas y señalizadas para que los peatones puedan cruzar de manera segura la rotonda y acceder a las diferentes salidas o destinos deseados. Estos itinerarios están diseñados para separar el flujo de peatones del tráfico vehicular y minimizar el riesgo de accidentes. (Correa, 2021)

- **Bandas ciclistas:** Son áreas designadas y marcadas en el pavimento que están destinadas exclusivamente para el uso de ciclistas que circulan dentro de la rotonda. Estas bandas ciclistas se establecen con el objetivo de proporcionar un espacio seguro y separado para que los ciclistas puedan circular dentro de la rotonda, minimizando el riesgo de conflictos con el tráfico vehicular. (Calles, 2019)
- **Velocidades de acceso:** Velocidades a las que los vehículos deben ingresar a la rotonda desde los accesos o vías de entrada. Estas velocidades de acceso están diseñadas para garantizar la seguridad y fluidez del tráfico dentro de la rotonda, minimizando el riesgo de colisiones y conflictos entre vehículos. (TOOLKIT, 2021)
- **Visibilidad:** Capacidad de los conductores y demás usuarios de la vía para tener una visión clara y adecuada de las condiciones de tráfico dentro y alrededor de la rotonda. Una buena visibilidad es fundamental para tomar decisiones informadas, anticipar y reaccionar ante situaciones de tráfico, y evitar colisiones o conflictos. Existe la visibilidad de entrada, la visibilidad dentro de la rotonda y la visibilidad de salida. (TOOLKIT, 2021)

#### 3.4.2.3. *Criterios urbanísticos*

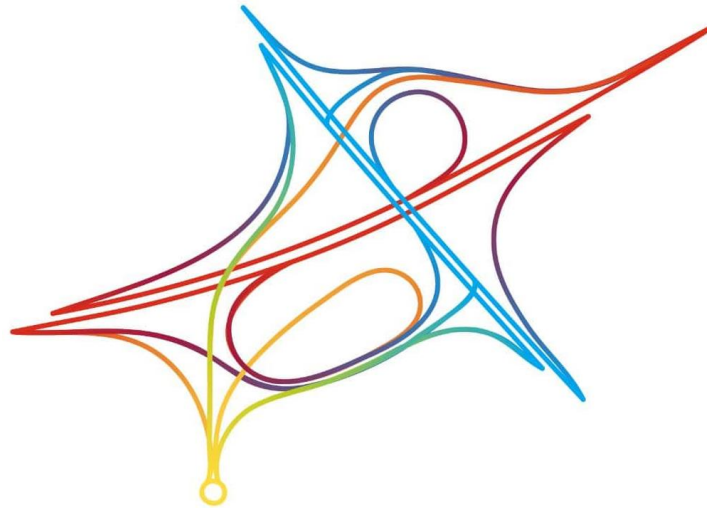
- **Contexto de la intersección:** Es la consideración y adaptación del funcionamiento de la rotonda al entorno urbano en el que se encuentra. Este criterio busca asegurar que la rotonda se integre de manera armoniosa y coherente con el entorno urbano circundante, teniendo en cuenta aspectos como el paisaje, el carácter urbanístico, las características de la zona y las necesidades de los usuarios. (ITVC, 2016)
- **Organización:** Principios y normas utilizados para planificar y diseñar el desarrollo urbano de una determinada área o proyecto. En el contexto de las rotondas, el criterio



urbanístico se refiere a la consideración de modelos de crecimiento urbano al diseñar y ubicar una rotonda en un entorno determinado. (Correa, 2021)

### 3.5. INTERSECCIONES

Existen diferentes tipos de intersecciones las cuales funcionan como soluciones viales, en esta sección se desglosará la intersección como solución vial para la zona del estudio.



**Ilustración 13. Intersecciones viales**

Fuente: (Segui, 2021)

“Se denomina intersección el área donde dos o más carreteras se interceptan, ya sea uniéndose o simplemente cruzándose. A cada vía que sale o llega a una intersección se le puede identificar como ramal o acceso de la intersección” (SIECA, 2011).

#### 3.5.1. ELECCIÓN DEL TIPO DE INTERSECCIÓN

La elección del tipo de intersección es clave en el diseño de las carreteras, ya que éstas condicionan ampliamente la capacidad de la red, la seguridad de su funcionamiento y la integración de la carretera en el medio en que se localiza. La elección del tipo de intersección depende de varios factores, entre los que se mencionan:

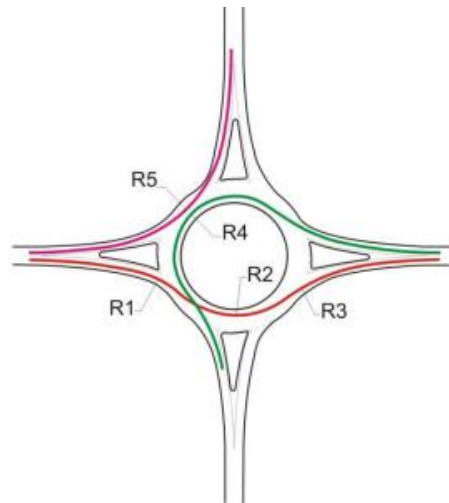
- Características geométricas de las vías que se interceptan y del tránsito que las utiliza, así como el número e importancia jerárquica de las carreteras que convergen en el sitio. Los volúmenes y la clasificación del tránsito, las proporciones de giros a la izquierda, a la derecha y cruces directos. También se dará importancia al movimiento peatonal, de ciclistas y otros. La regulación del tránsito y la cantidad y tipo de accidentes registrados por intersección, tendrá especial relevancia para la elección del tipo de diseño.
- Condiciones del sitio: la topografía, la disponibilidad y costo del terreno, las condiciones de visibilidad, las características y exigencias del ambiente y la posibilidad de usar materiales especiales en el pavimento, que sean visibles día y noche para delimitar el espacio del cruce.

### 3.5.2. PROCESO DE SELECCIÓN DEL DISEÑO

(Ourston, 1995) afirma:

Las principales diferencias en las técnicas de diseño y niveles de habilidad se sitúan entre rotondas de un solo carril y rotondas multicarriles, donde se aplican principios diferentes. El diseño de la rotonda es fundamentalmente holístico. El todo es más importante que las partes: cómo funciona el cruce como un único dispositivo de control de tránsito es más importante que los valores reales de los componentes de diseño específicos (p. ej., un radio). Sin embargo, cómo las partes interactúan unas con otras, es de importancia crucial. Asimismo, aunque los valores individuales geométricos no son tan importantes como la operación de cruce como un todo, los valores deben estar entre los límites que probaron ser adecuados. (p. 84)

El diseño es un equilibrio entre eficiencia operacional, reducción de demoras, y los aspectos de seguridad vs. restricciones, particularmente en zonas urbanas. En otras palabras, es un arte ingenieril. Por las altas velocidades de tránsito en las áreas rurales y en algunos de los caminos arteriales urbanas, importa obtener los criterios para controlar con un diseño coherente la velocidad del tránsito que entra, circula y sale de una RM (Ourston, 1995).

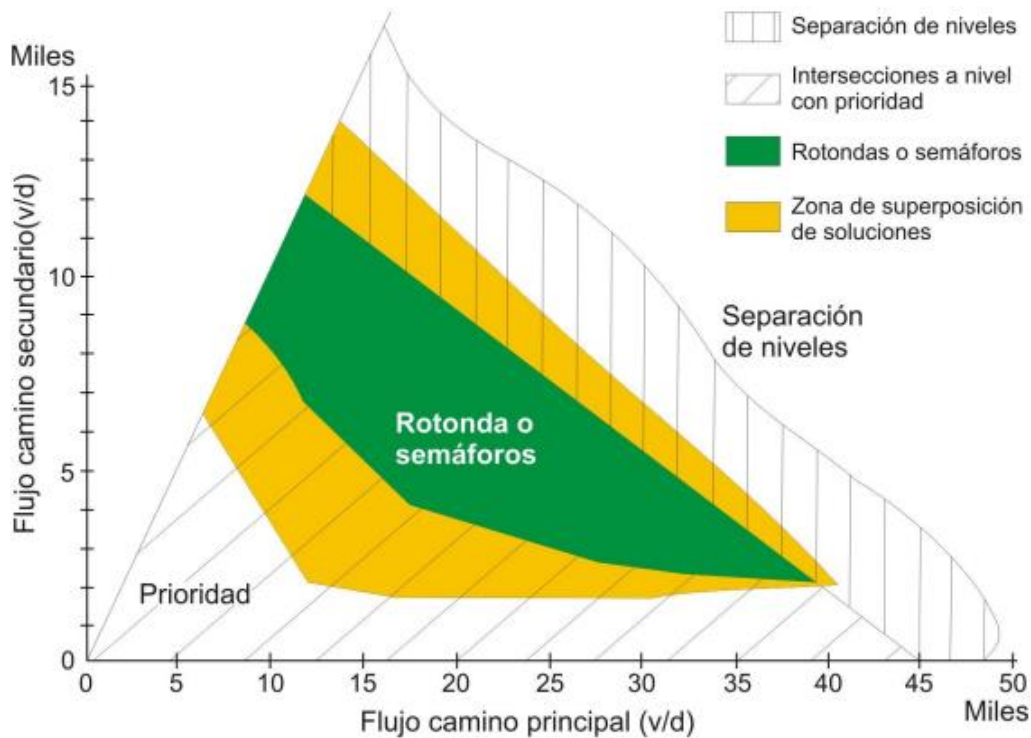


**Ilustración 14. Radios de trayectorias**

Fuente: (Ourston, 1995)

Los criterios utilizados para la verificación de la rotonda actual serán bajo los parámetros de la SIECA 2004 y 2011, utilizando diámetros provistos, los cuales son para guía general de cara a cara de cordones exteriores, a su vez las capacidades de entrada y entrecruzamiento varían sustancialmente según los volúmenes de tránsito que entran y los movimientos de giro, más específicamente basado en el flujo que circula en la rotonda.

“Una buena percepción de la rotonda moderna significa conseguir niveles mínimos de visibilidad de los conductores en la aproximación a la intersección; lo cual requiere un área despejada de obstáculos” (SIECA, 2011).



**GRÁFICA 1. Tipo de intersección basado en flujos de tránsito**

Fuente: (Policy on Geometric Desing of Highways and Streets, 2004)

Se recomienda mantener despejada un área con vértice en un punto del ramal situado a 2 metros de su borde derecho y a una distancia de la línea de CEDA EL PASO igual a la de detención, y limitada por la izquierda por una tangente desde ese punto a la plataforma circulatoria, a 2 m de su borde exterior. Esta visibilidad "lejana" debe ir acompañada de una buena visibilidad en la propia entrada, donde se sitúa la señal de "CEDA EL PASO". La recomendación es que desde la entrada a una rotonda moderna se garantice la visibilidad de los conductores hasta la entrada anterior, o una distancia mínima de 50 metros hacia la izquierda si dicha entrada está a más distancia. Igual visibilidad se recomienda hacia la derecha. (Intersecciones)

Se determina que la entrada o los ramales 1 y 2 de la rotonda "Monumento El Soldado" son caminos principales, ya que la entrada 1 es la intersección de la carretera de salida hacia

Comayagua o hacia la CA-5, mientras que la entrada 2 es la intersección del centro de la paz, quedando el ramal 3 como secundaria, ya que es la intersección hacia el barrio la trinidad. La sumatoria del flujo vehicular de la entrada 1 y 2 da como resultado 12,808 vehículos por día, obteniendo una cantidad de 4,134 vehículos por día en la entrada 3; estos valores obtenidos por camino principal y camino secundario, como se proyecta en gráfica anterior.

### 3.5.3. INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA

“Este tipo de intersecciones se ha convertido en la forma de regulación más común de las intersecciones urbanas en todo el mundo, a partir de ciertos volúmenes de tránsito” (SIECA, 2011).



**Ilustración 15. Intersecciones semaforizadas**

Fuente: (Yepez, 2015)

Las intersecciones semaforizadas presentan las siguientes ventajas:

Proporcionan unas reglas simples y universales para el paso de vehículos.

Pueden adaptarse a través de modificaciones del ciclo y fases de los semáforos a distintas condiciones de tránsito.

Facilitan el paso de peatones, otorgándoles tiempo propio dentro del ciclo usual de los semáforos.

Su ocupación de superficie es mínima, donde usualmente el valor del terreno es alto y grandes las limitaciones para su adquisición.

Permiten la coordinación de los recorridos principales mediante la coordinación de los semáforos en cascada, para mayor efectividad de la circulación del tránsito.

Se integran bien en la textura urbana.

Sus desventajas más claras son:

Aumentan los tiempos inútiles de espera donde se presentan condiciones de escasa o nula circulación durante prolongados períodos.

Requieren un mantenimiento continuo y complejo si forman parte de una red centralmente operada por computadoras, como sucede en el entramado de las vías de ciertas áreas urbanas.

Su complejidad aumenta notablemente si se trata de asegurar todos los movimientos en la intersección y, en concreto, los giros a la izquierda. Estos últimos entran en conflictos con los pasos de peatones.

No permiten el cambio de sentido.

Existen diferentes parámetros para poder aplicar las intersecciones operadas con semáforos y esto es cuando la visibilidad es insuficiente o se plantean problemas de peligro para los peatones, por dificultades de comprensión de la intersección. También existe una afluencia

peatonal importante superior a los 100 peatones por hora para un tránsito rodado de 100 vehículos por hora o de 250 peatones por hora para un tránsito de 600 vehículos por hora (SIECA, 2011).

A partir de ciertos umbrales de tránsito en las vías confluyentes, que pueden establecerse en mínimos en torno a los 350 vehículos por hora en cada una. Cuando se pretenda regular el régimen y la velocidad de la circulación, con el objeto de reducir su impacto en el entorno. En esos casos, la instalación de una onda verde semaforizada o sea semáforos operados en cascada, en intersecciones sucesivas, es probablemente el método más eficaz (SIECA, 2011).



**Ilustración 16. Semáforos en cascada**

Fuente: (E. M., 2015)

Es importante destacar que existen consideraciones para el establecimiento de intersecciones semaforizadas coordinadas o la semaforización de existentes y estas son.

Para que un semáforo sea respetado por los automovilistas, debe responder a una verdadera necesidad que sea claramente perceptible. La tendencia a no respetar los semáforos se agudiza cuando los conductores observan que son escasas las personas que atraviesan la intersección.

Deben ser plenamente visibles desde las aproximaciones, debiendo despejarse de obstáculos el campo de visión del conductor o situarse sobre los carriles colgados de estructuras en forma de pértiga o cables cruzados de lado a lado. El accidente típico de un semáforo de carretera es el choque por detrás y es por la mala visibilidad de las luces.

Deben situarse en un medio verdaderamente urbano para ser congruentes con el entorno y ser respetados. Los conductores no están acostumbrados a semáforos en medios rurales y por tanto reaccionarán con sorpresa ante su presencia.

Deben evitarse velocidades elevadas de sincronización más de 60 km/h y fases verdes demasiado largas. La duración del ámbar debe adaptarse a la velocidad de aproximación.

Debe estudiarse la supresión de algunos movimientos en algunas de ellas, en particular los giros a la izquierda para simplificar su funcionamiento

### **3.6. OBRAS COMPLEMENTARIAS**

Las obras complementarias, aunque no estén contempladas en la rotonda como tal, pertenecen al dominio de la propiedad y su objetivo es aportar en la funcionalidad y ornamentación en el mejoramiento de la obra en conjunto con los usuarios, tales como el señalamiento vial, drenaje e iluminación (DNVT, 2005).

#### **3.6.1. SEÑALAMIENTO VIAL**

DNVT (2005) De acuerdo con la ley del tránsito esta indica que el señalamiento vial de estricto cumplimiento consiste en las señales de advertencia o peligro, señales reglamentarias, señales de ruta o destino, demarcaciones sobre la calzada y señales de cruce.

#### **3.6.2. DRENAJE**

El drenaje es un aspecto fundamental que considerar, permite asegurar la seguridad y la funcionalidad de la viabilidad en condiciones climáticas adversas. Una buena planificación del



drenaje de las rotondas garantiza que el agua de lluvia sea evacuada adecuadamente, evitando la acumulación de agua en la superficie de la rotonda, lo que puede generar problemas de visibilidad y estabilidad del vehículo (DNVT, 2005).

### 3.6.3. ILUMINACIÓN

El notorio crecimiento del tránsito nocturno hace que los accidentes también se incrementen y en proporciones alarmantes si no se cuenta con una instalación de alumbrado adecuado. Estadísticamente se ha comprobado que, al dotar de buen alumbrado a una arteria, se reduce la cantidad y la gravedad de estos sucesos con el consiguiente beneficio en vidas humanas, disminuyendo el vandalismo y asegurando el orden y la ley, justificando económicamente la inversión (SOPTRAVI, 1996).

## 3.7. PAVIMENTOS

El diseño de un pavimento tiene como objetivo la determinación de los espesores de cada sección estructural del pavimento, la cual permite soportar las cargas en un periodo de tiempo determinado, es por eso que el diseño del pavimento es necesario para poder brindar un diseño con base a un periodo de vida de 20 años.

### 3.7.1. TIPOS DE PAVIMENTOS

Los pavimentos que se usan para las carreteras no son iguales y esto depende de los factores como la exposición a la intemperie, cantidad de tráfico que vaya a rodar por su superficie, peso y velocidad que lleven los vehículos, existe una variedad de pavimentos los cuales se desglosaran en este apartado.

#### 3.7.1.1. *Pavimento rígido*

Las capas por las que está compuesto el pavimento rígido es por una capa de losa de concreto, la cual se apoya en una capa de base constituida por grava y esta segunda capa

descansa en una capa de suelo compactado llamada subrasante, cabe destacar que la resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto (Giordani & Diego, UTN.EDU, 2014).



**Ilustración 17. Corte transversal de pavimento rígido**

Fuente: (Giordani & Leone, Pavimentos, 2010)

### 3.7.1.1. *Pavimento flexible*

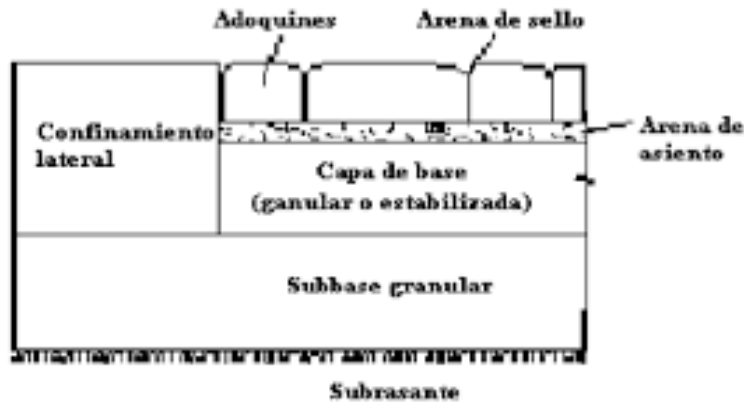
Las capas por las que está compuesto el pavimento flexible es una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de subbase las cuales generalmente son de material granular y todas estas capas en conjunto descansan sobre suelo compactado o la subrasante (Giordani & Diego, UTN.EDU, 2014).



**Ilustración 18. Corte transversal pavimento flexible**

Fuente: (Giordani & Diego, UTN.EDU, 2014)

### 3.7.1.2. Pavimento semirrígido



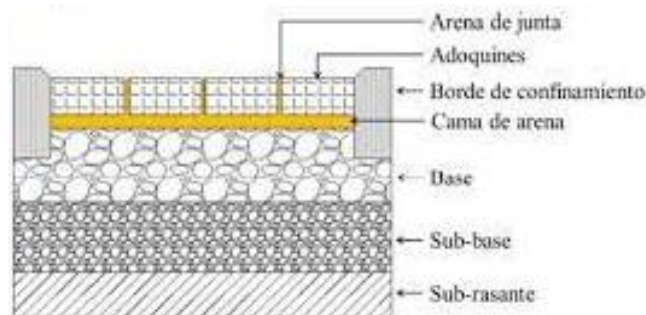
**Ilustración 19. Corte transversal pavimento semirrígido**

Fuente: (Mocondino, 2020)

“En los pavimentos semirrígidos son los que están compuestos por diferentes tipos de pavimento es decir la unión de pavimento flexible y pavimento rígido. Este compuesto por una capa de concreto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico” (Mocondino, 2020) ver Ilustración 19.

### 3.7.1.3. Pavimento articulado

“Este pavimento está compuesto por una capa de rodadura de adoquines de concreto, capa de base, subbase y para un mejoramiento de capa de la subrasante” (Sergio, 2012).



**Ilustración 20. Corte transversal pavimento articulado**

Fuente: (Sergio, 2012)

### 3.7.2. SELECCIÓN DE PAVIMENTO

Existe una variedad de pavimentos, cada uno de ellos se debe de diseñar para adaptarse a las diferentes condiciones de uso y sus requerimientos específicos. La selección adecuada del tipo de pavimento se reduce a la evaluación de factores como el tipo de tráfico, la clasificación de la carretera dentro de la red vial, el análisis de suelo que se emplea en la zona, las evaluaciones de costo-durabilidad (Portland Cement Association, s.f.).

La rotonda de estudio cuenta con una carretera pavimentada de cuatro vías y carpeta de concreto hidráulico.

Tener el mejor rendimiento de los pavimentos por largos periodos de tiempo y la previa construcción de concreto hidráulico en la zona donde se ubica el proyecto, son criterios que determina si la construcción de una solución vial a la zona de estudio requiere un pavimento rígido por las siguientes consideraciones:

- Al utilizar pavimento rígido, se obtiene una mayor durabilidad y larga vida útil, una vida útil más larga en comparación con los pavimentos flexibles.
- Se brinda una continuidad del mismo tipo de pavimento a la calzada de todas las intersecciones de la rotonda.
- Al ser una carretera secundaria es conveniente tener un menor mantenimiento, el pavimento rígido es menos propenso a desarrollar deformaciones, baches y grietas.

### 3.7.3. MÉTODO DE DISEÑO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

El método utilizado para el diseño de pavimentos rígidos es de la Asociación de Cemento Portland.

(CDPR, 2003) Afirma:

El procedimiento de diseño de pavimentos rígidos de la Portland Cement Association (PCA) es aplicable cuando se dispone del espectro de carga por eje que se prevé va a hacer uso de la vía durante el periodo de diseño. Cuando existe desconocimiento de las cargas es posible usar el método de diseño simplificado de la PCA.

Para la obtención del CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante se utiliza el método de la Asociación de Empleados Estatales de Tránsito y Carreteras (AASHTO, 1993). El CBR se emplea para evaluar la capacidad portante de terrenos y se rige por la norma técnica ASTM 1883.

El módulo de reacción es el cociente entre la presión aplicada por medio de una placa rígida y la reacción producida.

$$k = \frac{\sigma}{\delta}$$

#### **Ecuación 8. Módulo de reacción**

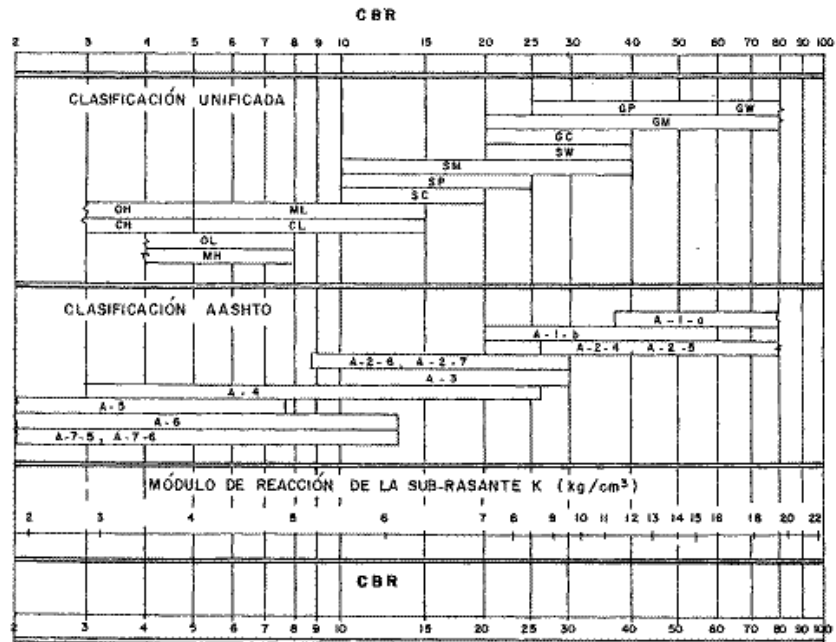
Fuente: (BOWLES, 1988)

Donde:

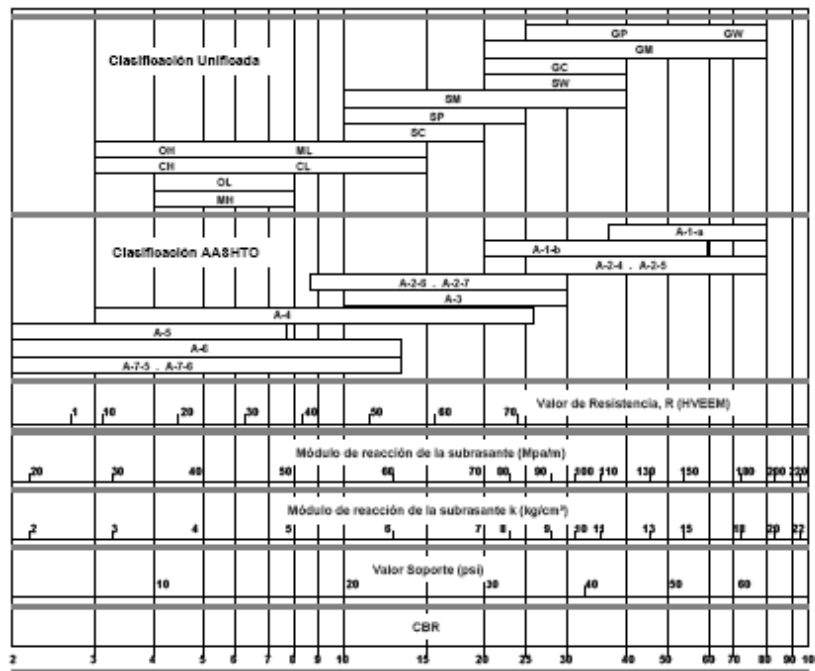
$\sigma$  = Esfuerzo normal.

$\delta$  = Deformación en el esfuerzo de  $\sigma$ .

Para la obtención del módulo de reacción, será mediante Diagrama 3, utilizando el CBR de la subrasante.



**Diagrama 3. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos**



**Diagrama 4. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos**

Fuente: (PCA, 1984)



Carga por FSC: Carga por eje \* Factor de Seguridad

Repeticiones Esperadas:  $\#Carros/dia * 365 * fd * fc * C$

Donde:

Fd = Factor de distribución por dirección.

Fc = Factor de distribución por carril.

C = Factor de proyección de vida útil.

**Tabla 8. Factor de distribución por dirección**

Número de carriles en ambas direcciones	f <sub>D</sub> en %
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: (AASHTO, 1993)

**Tabla 9. Factor de distribución por carril**

Número de carriles en una sola dirección	f <sub>C</sub>
1	1.00
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: (AASHTO, 1993)

$$C = \frac{\left[ \left( 1 + \frac{TC}{100} \right)^{\text{años vida util}} - 1 \right]}{\frac{TC}{100}}$$

**Ecuación 9. Factor de proyección de vida útil**

Análisis por fatiga: es una evaluación para estimar la vida útil del pavimento bajo cargas repetitivas a lo largo del tiempo.



“El análisis por erosión: se elabora para estimar la resistencia del pavimento a la erosión causada por el contacto repetido con partículas sólidas transportadas por el agua, casos como lluvia intensa o alto flujo de agua” (AASHTO, 1993).

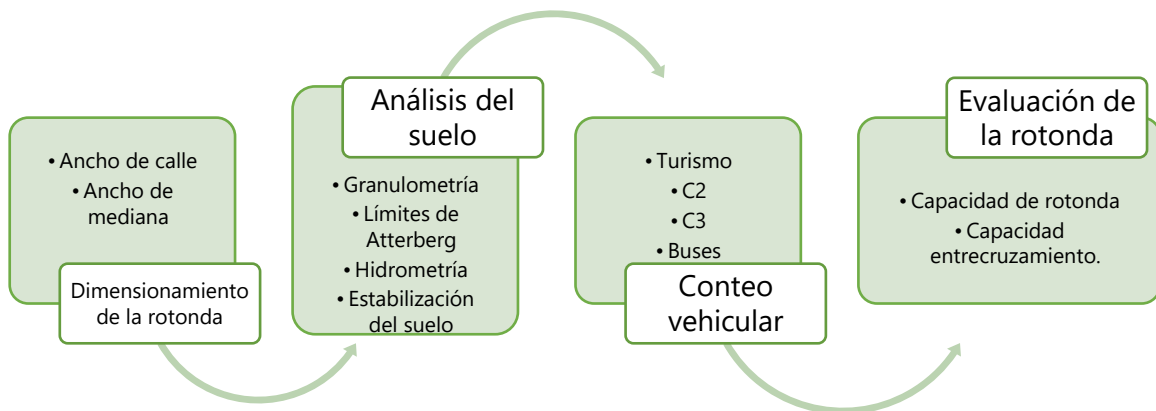
## IV. METODOLOGÍA

En la presente metodología se presenta el desglose de los diferentes procedimientos llevados a cabo para la realización del proyecto, en el cual se detallan las técnicas aplicadas, instrumentos requeridos y materiales aplicados.

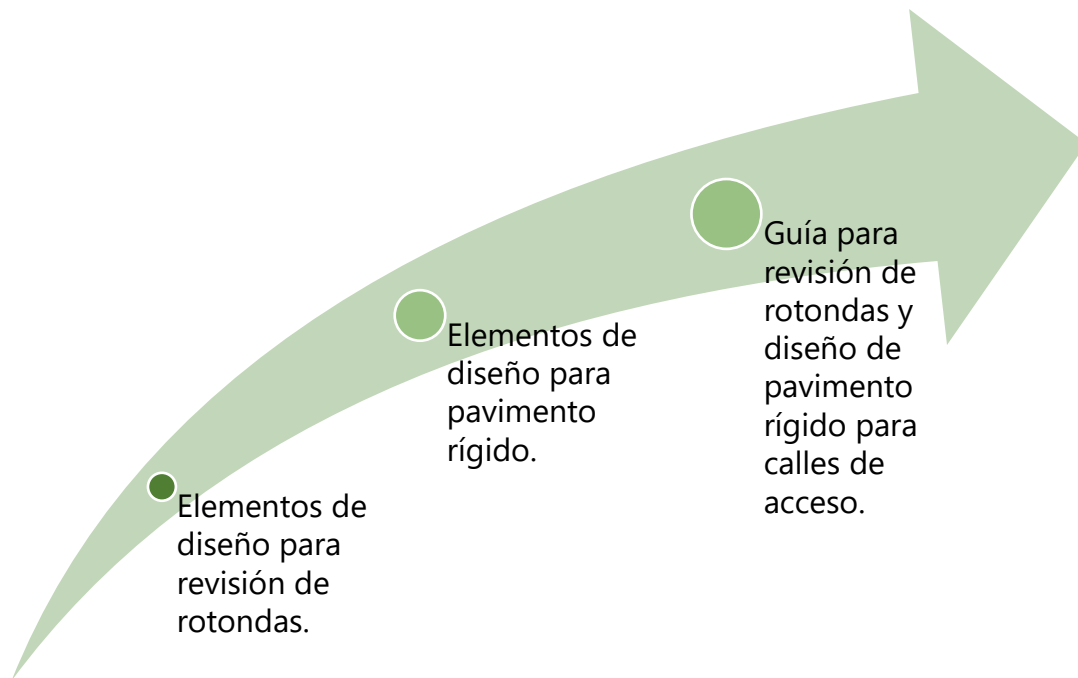
### 4.1. ENFOQUE

El presente proyecto de investigación se realizó mediante el enfoque cuantitativo el cual se adapta a las necesidades para la resolución y desarrollo de la investigación. Desde este tipo de enfoque, una revisión de una rotonda conlleva un proceso de diferentes estudios para poder tener resultados como el de la medición del sitio (m) ( $^{\circ}$  ' ' '), ángulos ( $^{\circ}$ ) y volumen de tráfico vehicular (veh/hr), entre otros.

Para desarrollar el proyecto de diseño fue necesario definir las principales variables involucradas, las cuales se describen a continuación:



**Diagrama 5. Variables para el diseño de rotondas**



**Diagrama 6. Variables para la guía de revisión de diseño de rotondas y diseño de pavimento**

## **4.2. HERRAMIENTAS, MATERIALES Y EQUIPO UTILIZADO**

En la siguiente sección se muestran las técnicas e instrumentos aplicados para lograr una revisión de diseño de rotondas y en este caso para la rotonda “Monumento El Soldado” para la intersección del bulevar Guardia de Honor Presidencial y Barrio La Trinidad, La Paz, La Paz.

### 4.2.1. HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

Las herramientas tecnológicas aplicadas para el reconocimiento del sitio, levantamiento topográfico, conteo vehicular entre otras actividades fueron.

#### 4.2.1.1. *Teléfono inteligente*

Requerido para obtener imágenes en tiempo real de la zona marcada.

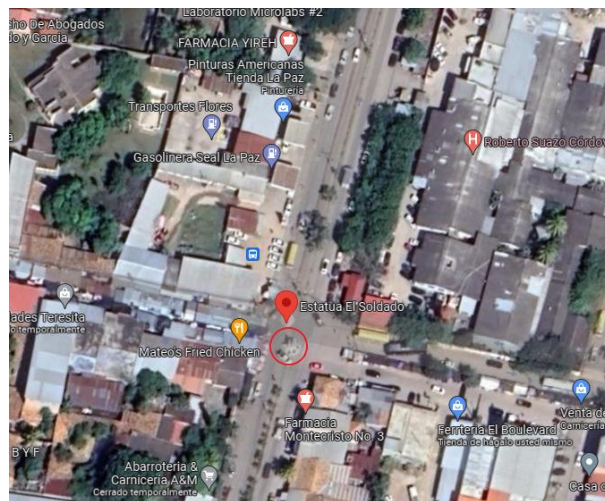


**Ilustración 21. Teléfono inteligente**

Fuente: (123rf, 2014)

#### 4.2.1.2. *Google Earth*

Mediante el uso de una aplicación de navegación por satélite se definió la ubicación geográfica del sitio donde está ubicado el proyecto.



**Ilustración 22. Ubicación del sitio**

### 4.2.1.3. Pavement designer

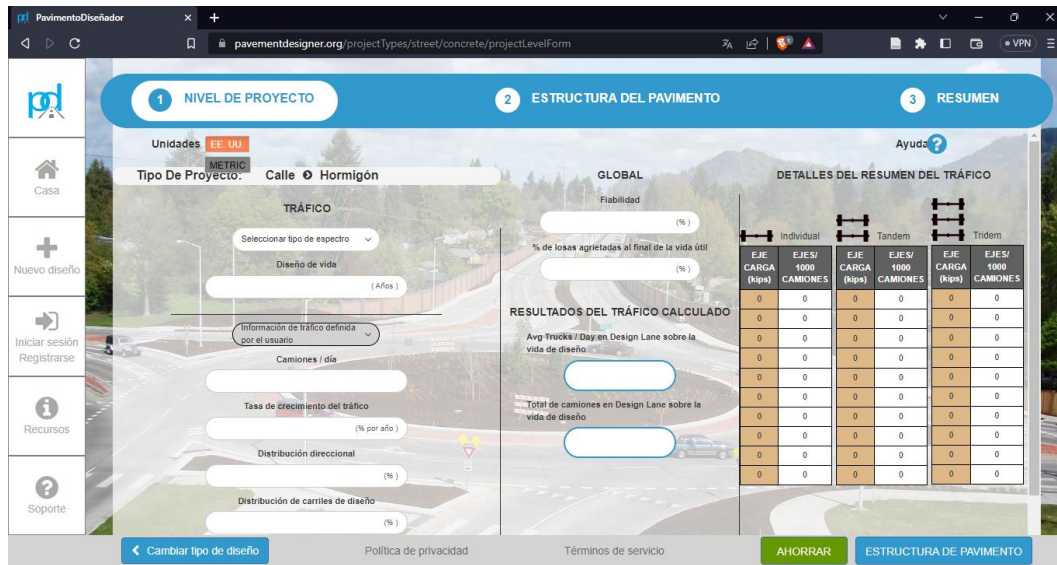


Ilustración 23. Pavement designer

La página web llamada "Pavement designer", se utilizó para el diseño de pavimento rígido, en el cual se ingresan los datos recopilados del estudio de tráfico y de los ensayos del suelo.

### 4.2.1.4. Zoom

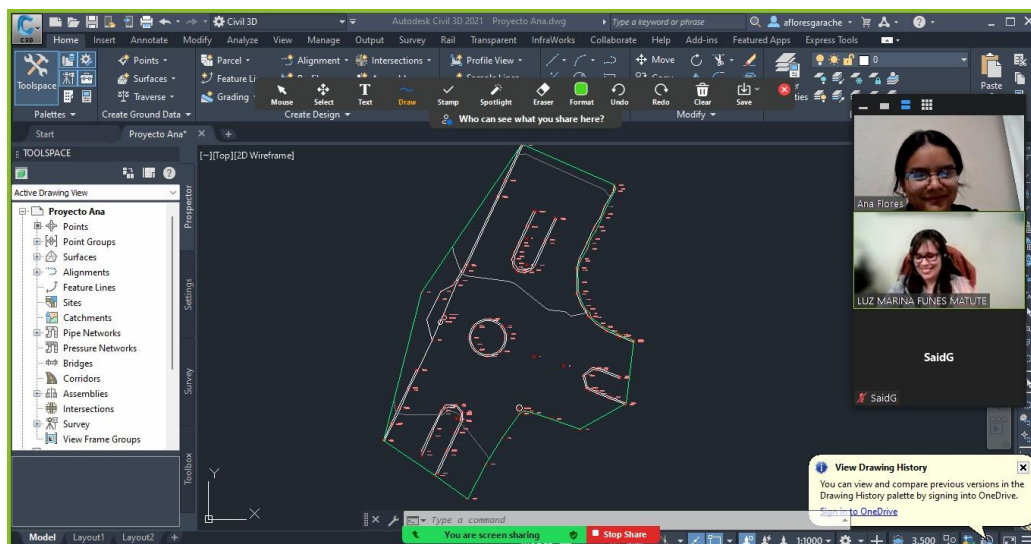
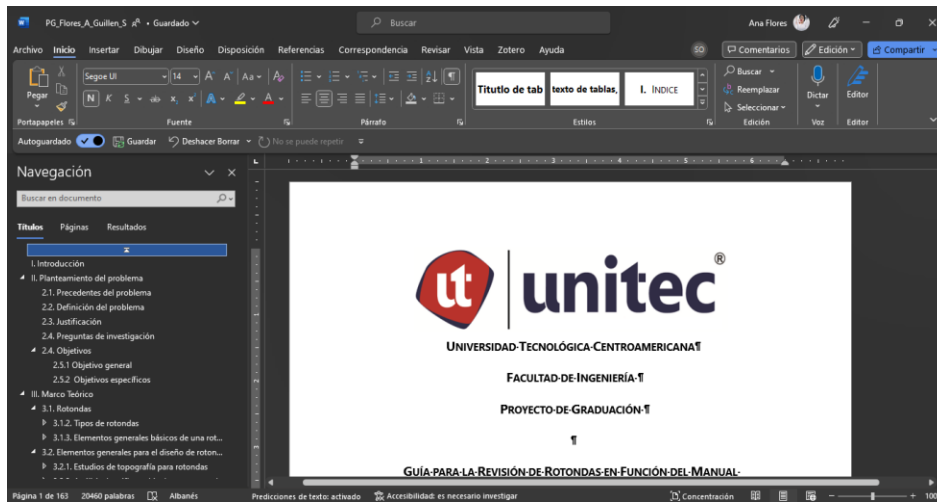


Ilustración 24. Uso de zoom para reuniones

Se utilizó el programa de reuniones virtuales Zoom, para las asesorías requeridas con la asesora temática y también para reuniones de grupo a medida se avanzaba en el estudio.

#### 4.2.1.5. Microsoft Word

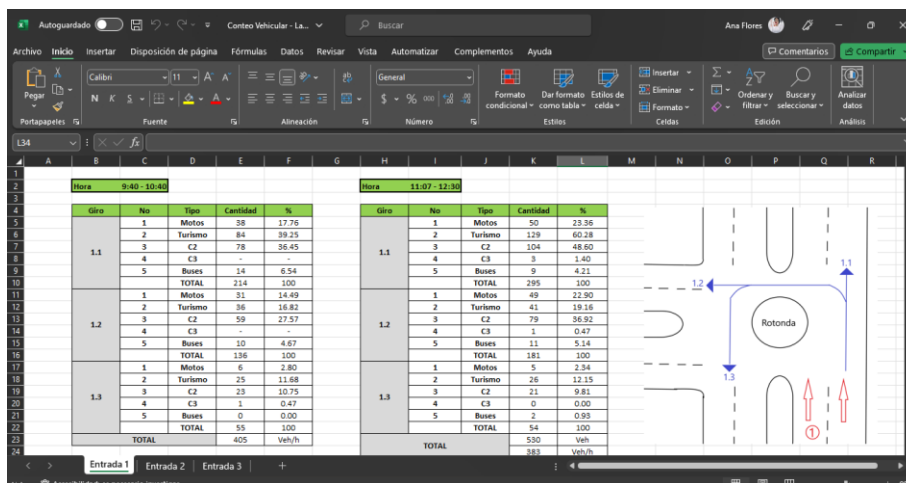


**Ilustración 25. Uso de Microsoft Word**

Para la redacción del informe se utilizó el programa de Microsoft Word, el cual permite vincularlo en línea para poder trabajar de manera simultánea.

#### 4.2.1.6. Microsoft Excel

Para llevar un control del conteo vehicular, ensayos del suelo y cronograma de actividades en las diferentes etapas del estudio, se utilizó este programa.



**Ilustración 26. Uso de Microsoft Excel**





#### 4.2.2. Cinta métrica

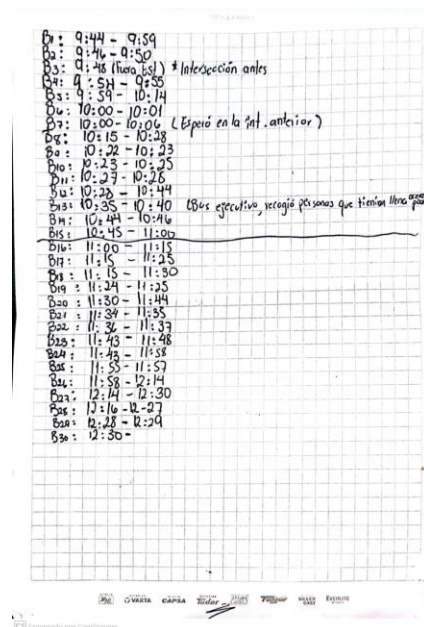


**Ilustración 30. Medición de ancho de calles**

Esta herramienta fue utilizada para la obtención de medidas preliminares del proyecto, de igual manera se utilizó para la medición de secciones transversales y longitudinales.

#### 4.2.3. MATERIALES

##### 4.2.3.1. Libreta

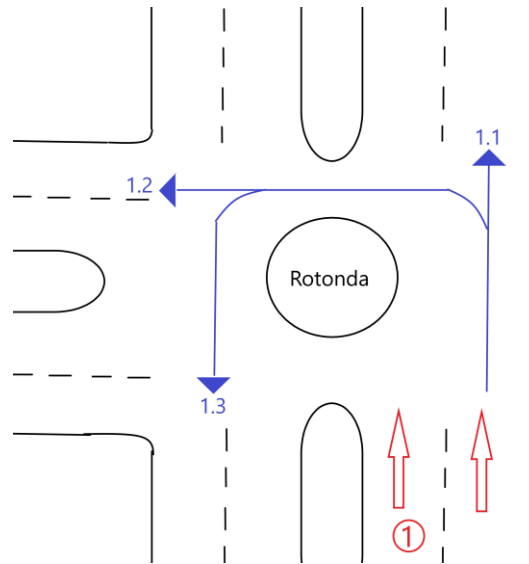


**Ilustración 31. Libreta utilizada para el conteo**



“Una libreta se emplea para verter anotaciones sobre cualquier índole, dibujar, tomar apuntes, volcar experiencias y sentimientos personales sobre diversas cuestiones que se van sucediendo en la vida, entre otras actividades” (DefiniciónABC).

#### 4.2.3.2. Croquis



**Ilustración 32. Croquis de la entrada 1 con cada una de las salidas**

“Diseño ligero de un terreno, paisaje o posición militar, que se hace a ojo sin valerse de instrumentos geométricos” (RAE, 2014).

### 4.3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

Se realizaron diferentes actividades del estudio de la rotonda para evaluar el cumplimiento del diseño con las normas SIECA, Manual Centroamericano de Carreteras y Manual de Carreteras de Honduras, para los siguientes componentes del proyecto: guía de revisión para el diseño de rotondas, diseño de pavimento rígido y un plano con las dimensiones de la zona de estudio.

1

En las primeras visitas realizadas se cumplió con una inspección de la intersección y zonas de aproximación, se definieron las carreteras que se cruzan en un terreno plano, siendo todas de pavimento rígido de cemento.

2

Con la estación total se digitalizaron los datos para realizar el plano de detalles geométricos por medio del programa Civil 3D, el levantamiento se inició en la entrada de sus accesos de cada intersección tomando punto a cada metro o 0.5m de la calzada, bordillo o cunetas.

3

El alcance del proyecto incluye el diseño del pavimento requiriendo un estudio de suelos para el sitio, se procedió a la extracción de dos muestras, al tener un pavimento previo se considera para el muestreo lo que es el relleno de balasto y suelo.

4

El suelo fue extraído con pala y piocha con ayuda de dos técnicos asignados por la alcaldía municipal, ambas muestras se llevaron ese mismo día al laboratorio de Ingeniería Civil de UNITEC, Tegucigalpa. Ambas muestras se depositaron en el horno para poder llevar a cabo los ensayos y con los resultados obtenidos se realizó la clasificación de suelo por método AASHTO.

5

El conteo vehicular se realizó considerando el sábado y viernes en horas de 10am-1:00pm con mayor intensidad del tráfico, es el horario más concurrido por ser zona comercial y horario donde ingresan la mayor cantidad de buses. Mediante un método manual se registró la cantidad y tipo de vehículo, dirección de giro alrededor de la rotonda de estudio "Monumento el soldado".

#### 4.3.1. RECONOCIMIENTO DEL SITIO

Con la ayuda del departamento de tránsito, dos regidoras y asistencia por parte del alcalde en su primer recorrido, previo a la medición del sitio se llevó a cabo el reconocimiento del sitio.



**Ilustración 33. Reconocimiento del sitio**



**Ilustración 34. Reconocimiento del sitio #2**

### 4.3.2. MEDICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Este procedimiento se realizó para obtener las medidas ya existentes del sitio donde se encuentra el proyecto, obteniendo las dimensiones de lo ya construido como ser la calzada, la plataforma, los carriles y del ancho de cuneta tipo bordillo, también dimensiones como ser la mediana, diámetro de la rotonda existente y la entrada de las intersecciones



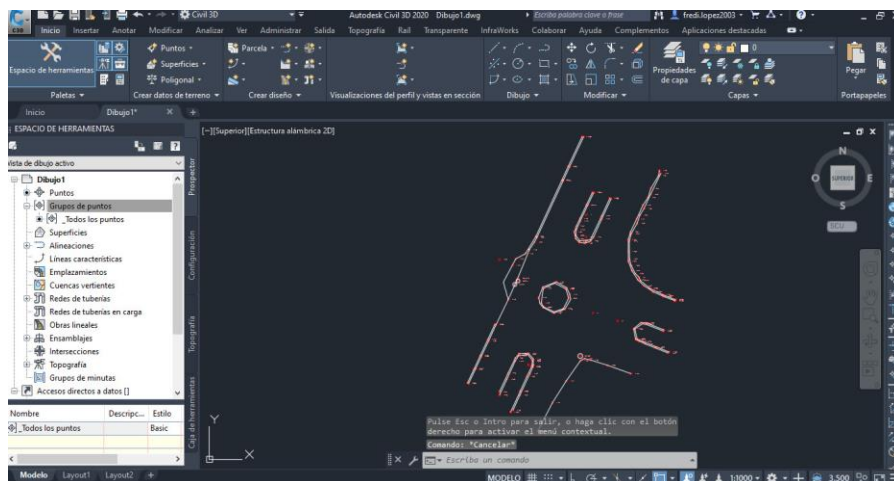
**Ilustración 35. Levantamiento topográfico**



**Ilustración 36. Estabilización del equipo topográfico**

### 4.3.3. PLANO

Con los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, se procede a trasladar los datos para poder proyectar una imagen representativa del sitio y poder realizar un plano en el software Civil 3D en el que se representaron a detalle sus dimensiones geométricas.



**Ilustración 37. Uso de Civil 3D**

#### 4.3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se desarrollaron diferentes ensayos de laboratorio con el fin de la clasificación del suelo de la zona de estudio.

##### 4.3.4.1. *Granulometría*

“La granulometría es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas” (UPCT, s.f.).

El procedimiento de esta práctica es importante para conocer la medida de los granos o de las partículas de suelo en estudio, brinda información como las propiedades mecánicas del suelo y de igual manera el cálculo de la abundancia de cada uno de los granos según su tamaño dentro de la escala granulométrica, determinando si el suelo es bien gradado o mal gradado.

Se comienza realizando la extracción de la muestra de suelo del lugar donde se desarrollará el proyecto.



**Ilustración 38. Extracción de la muestra del suelo**



**Ilustración 39. Medición de**

**profundidad**



Con la muestra de suelo suelto recolectado anteriormente, tanto el suelo de relleno como suelo natural, se procede a la realización de un análisis granulométrico. Antes de manipular la muestra de suelo suelto, se secó por medio de horno para remover el contenido de humedad que contiene el suelo durante 24 horas.



**Ilustración 40. Muestra de suelo secado en horno**

Se procedió a deshacer los grumos o terrones que contiene el suelo por medio de la utilización de almádanas, con el fin de obtener partículas elementales.



**Ilustración 41. Deformación de terrones**

Luego de obtener una muestra libre de grumos, se procede a realizar el procedimiento de cuarteo para obtener un mejor material a utilizar en el procedimiento de granulometría gruesa.

Se elabora la torre de tamices con los especificados en la hoja de datos del laboratorio, para realizar el tamizado de suelo grueso, luego se coloca la muestra representativa del suelo requiriéndose 1000 gramos de la muestra obtenida.



**Ilustración 42. Peso de muestra significativa**

Vertiendo la muestra de suelo en la torre de tamices, de 1000 gramos obtenida por cuarteo a través de los tamices especificados en la hoja de datos del laboratorio, se procede a la máquina tamizadora, donde esta recibirá movimientos verticales y horizontales durante 15 minutos, procurando un tamizado correcto.



**Ilustración 43. Torre de tamices en máquina tamizadora**

Un vez terminando los 15 minutos en la máquina tamizadora, se procede a retirar la torre de tamices y se procura recuperar el material que se ha retenido en los tamices, este procedimiento se realiza manualmente con ayuda de brochas para evitar dañar la malla de los tamices. Se requiere repetir el proceso de tamizado con el material contenido en el fondo de la torre de tamiz de granulometría gruesa, utilizando los tamices requeridos para el análisis de granulometría fina. Este proceso se repite para ambos extractos de suelo, tanto para el de suelo de relleno y el suelo natural de la zona.

#### 4.3.4.1.2. Ensayo de granulometría del suelo

Los datos obtenidos en laboratorio para análisis de granulometría gruesa del material de terreno natural son los siguientes:

**Tabla 10. Datos granulometría gruesa**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa retenido	Masa Retenida Acumulada	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
2 1/2"	63.5	0	0	0.00%	0.00%	0.00%
2"	101.6	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	7.02	7.02	0.70%	0.70%	99.30%
3/8"	9.525	63.21	70.23	6.30%	7.00%	93.00%
4	4.76	101.13	171.36	10.08%	17.09%	82.91%
Fondo		831.54	1002.9	82.91%	100.00%	0.00%
Masa Muestra:		1002.9				

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del ensayo de granulometría.

De igual manera que para el extracto anterior, se realizó el mismo procedimiento de granulometría tanto fina como gruesa para el extracto de terreno natural, utilizando las mismas formulas sustituyéndose con sus datos respectivos obtenidos en laboratorio. Algunos ejemplos de los cálculos de granulometría gruesa para el extracto de terreno natural:

Porcentaje de error

$$\% \text{ Error} = \left( 1 - \frac{1002.9}{1003.05} \right) * 100$$



Porcentaje de suelo retenido

$$Rn = \left( \frac{101.13}{1002.9} \right) * 100$$

Porcentaje retenido acumulado

$$\% Ra = \left( \frac{171.36}{1002.9} \right) * 100$$

Porcentaje de pase

$$\% Pa = 100 \% - 17.086 \%$$

Los datos obtenidos en laboratorio para análisis de granulometría fina del material de terreno natural son los siguientes:

**Tabla 11. Datos granulometría fina**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa retenida	Masa Retenida Acumulada	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
#10	2	98.57	98.57	19.71%	19.71%	80.29%
#40	0.42	235.62	334.19	47.12%	66.84%	33.16%
#100	0.149	84.71	418.9	16.94%	83.78%	16.22%
#200	0.074	35.74	454.64	7.15%	90.93%	9.07%
FONDO		45.36	500	9.07%	100.00%	0.00%
TOTAL		500	1806.3			
MASA DE MUESTRA		500				

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del ensayo de granulometría.

Algunos ejemplos de los cálculos de granulometría fina para el extracto de terreno natural:

$$\% Error = \left( 1 - \frac{500}{500} \right) * 100$$

$$Rn = \left( \frac{35.74}{500} \right) * 100$$

$$\% Ra = \left( \frac{454.64}{500} \right) * 100$$

$$\% Pa = 100 \% - 90.93 \%$$

Al combinar ambas gráficas tenemos el análisis granulométrico completo, el cual queda de la siguiente manera:

**Tabla 12. Datos granulometría combinada**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa retenido	Masa Retenida Acumulada	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
2"	101.6	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.1	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	0	0	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.05	7.02	7.02	0.70%	0.70%	99.30%
3/8"	9.525	63.21	70.23	6.30%	7.00%	93.00%
4	4.76	101.13	171.36	10.08%	17.09%	82.91%
#10	2	163.93	335.29	16.35%	33.43%	66.57%
#40	0.42	391.86	727.15	39.07%	72.50%	27.50%
#100	0.149	140.88	868.02	14.05%	86.55%	13.45%
#200	0.074	59.44	927.46	5.93%	92.48%	7.52%
FONDO		75.44	1002.90	7.52%	100.00%	0.00%
TOTAL						

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del ensayo de granulometría.

Los datos para el coeficiente de curvatura y coeficiente de uniformidad se obtienen de los resultados de la granulometría combinada, más específicamente con la gráfica. Reemplazando los valores en las respectivas ecuaciones:

$$Cc = \frac{(0.48)^2}{0.1 * 1.6}$$

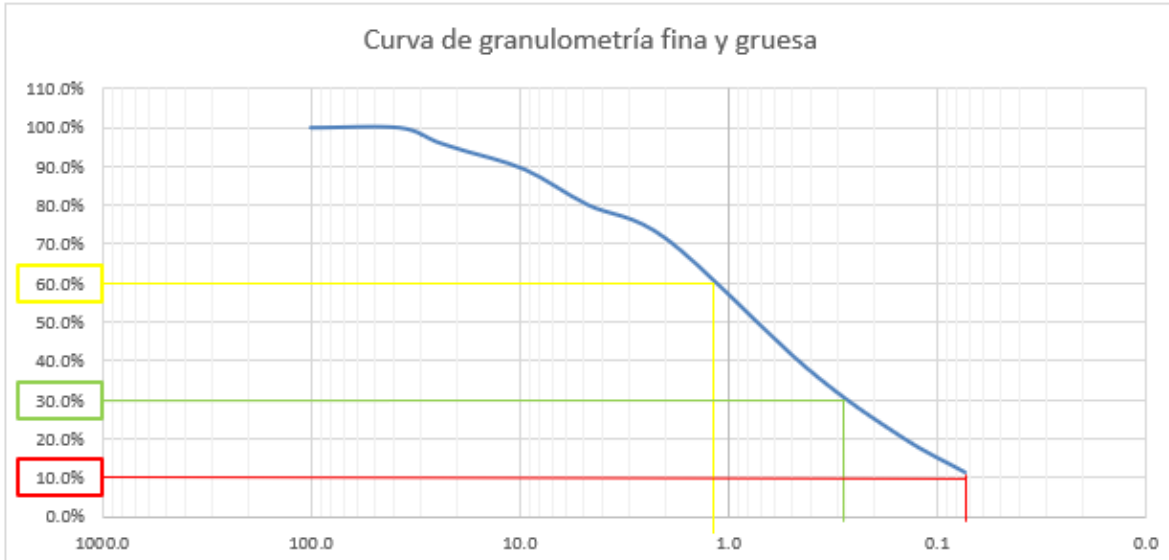
$$Cu = \frac{1.6}{0.1}$$

#### 4.3.4.2. Granulometría mecánica

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$

$$Cc = \frac{(0.29)^2}{0.07 * 1.1}$$

$$Cc = 1.09$$



**GRÁFICA 2. Curva granulométrica**

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cu = \frac{1.1}{0.07}$$

$$Cu = 15.71$$



$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

$$Cc = \frac{(0.48)^2}{0.1 * 1.6}$$

$$Cc = 1.44$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cu = \frac{1.6}{0.1}$$

$$Cu = 16$$

#### 4.3.4.3. Procedimiento de límites de Atterberg

Este ensayo permite conocer y caracterizar el comportamiento de los suelos finos, en un suelo de grano fino existen cuatro estados de consistencia: estado líquido, plástico, semisólido y sólido. Agregando poca agua a las muestras esta va pasando por cada uno de sus estados y los contenidos de humedad en cada estado son los que nos indica los límites de atterberg. Con los resultados obtenidos se clasifican ambas muestras del suelo por medio del método SUCS y AASHTO.

En este caso se obtuvieron dos muestras de suelo, esto para poder evaluar las capas del pavimento, se extrajo del suelo natural y del relleno de balastro, esto mismo se realizó para el ensayo posterior.



**Ilustración 44. Muestra para límite plástico**

Para iniciar con el ensayo se toma una masa representativa del suelo pase #40, en un aproximado de 20 gramos, esta pequeña muestra se humedece con agua destilada (ver Ilustración 44) y se mezcla hasta que la muestra tome una consistencia plástica

Una vez terminada la mezcla, sobre una placa de vidrio se hacen rollos haciendo movimientos con la mano hasta generar pequeños cilindros de 3mm de diámetro, no debe de presentar fisuras o desmoronamiento. Para que estos cilindros de 3mm califiquen para el ensayo se deja de mover los rollos hasta que estos se rompen y no puedan volver a unirse, siempre y cuando su diámetro continúe siendo de 3mm, este proceso se desarrolla hasta obtener tres muestras, cada muestra se colocará en latitas y tomar su peso, previamente se colocaran en el horno para poder calcular su porcentaje de humedad y límite plástico.

#### 4.3.4.3.1. Límite plástico relleno de balasto

Datos recopilados en el laboratorio, tabla resumen:

En la tabla se puede apreciar el resultado de contenido de humedad del límite plástico, los cálculos llevan el siguiente desarrollo.

**Tabla 13. Límite plástico relleno balasto, resumen de sus datos**

Límite plástico relleno balasto				
Lata No	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (W1)	W%
1	16.03	15.76	13.67	12.92%
12	16.9	16.44	13.73	16.97%
5	16.03	15.76	13.67	12.92%

Para iniciar, se calcula la masa de agua de cada muestra obtenida:

$$Ww = W2 - W3$$

#### **Ecuación 10. Masa del agua**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde:

Ww= Masa del agua

W2=Peso de lata más el suelo húmedo

W3= Peso de lata más suelo seco

$$Ww1 = 16.03 - 15.76$$

$$Ww12 = 16.9 - 16.44$$

$$Ww5 = 16.03 - 15.76$$

Se calcula la masa del suelo seco de la siguiente manera:

$$Ws = W3 - W1$$

### **Ecuación 11. Masa del suelo seco**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde:

Ws= Masa de suelo seco

W3= Peso de lata más suelo seco

W1= Peso de lata

$$Ws1 = 15.76 - 13.67$$

$$Ws12 = 16.44 - 13.73$$

$$Ws5 = 15.76 - 13.67$$

Se calcula contenido de humedad de la siguiente manera:

$$W\% = \left( \frac{Ww}{Ws} \right) * 100$$

### **Ecuación 12. Contenido de humedad**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde:

W%= Porcentaje de humedad

Ww= Masa de agua

Ws= Masa de suelo

$$W\%1 = \left(\frac{0.27}{2.09}\right) * 100$$

$$W\%12 = \left(\frac{0.46}{2.71}\right) * 100$$

$$W\%5 = \left(\frac{0.27}{2.09}\right) * 100$$

Se calcula el límite plástico de la siguiente manera:

$$LP = \frac{\Sigma W\%i}{Cantidad\ de\ latas}$$

**Ecuación 13. Limite plástico**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde:

LP= Límite plástico

$\Sigma W\%i$ = Porcentaje de humedad

$$LP = \frac{12.92\% + 16.97\% + 12.92\%}{3}$$

4.3.4.3.2. *Límite líquido de relleno de balasto*

Datos obtenidos en el laboratorio, tabla resumen:

**Tabla 14. Datos obtenidos del límite líquido relleno balasto**

Limite liquido S. Relleno					
Lata No	No. Golpes	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (gr) W1	W%
36	34	16.80	16.14	13.60	25.98%
4	29	16.10	15.55	13.60	28.21%
35	15	15.07	14.76	13.73	30.10%
13	17	15.68	15.22	13.70	30.26%
32	25	15.57	15.14	13.63	28.48%

En la tabla se puede apreciar el resultado de contenido de humedad, es por eso que su desarrollo para encontrar el resultado se hace la siguiente manera.

Para el cálculo de la masa del agua se aplica la fórmula utilizada en el límite plástico.

$$W_w = W_2 - W_3$$

$$W_{w36} = 16.80 - 16.14$$

$$W_{w4} = 16.10 - 15.55$$

$$W_{w35} = 15.07 - 14.76$$

$$W_{w13} = 15.68 - 15.22$$

$$W_{w32} = 15.57 - 15.14$$

Para el cálculo de la masa de suelo seco, se realiza de la misma forma.

$$W_s = W_3 - W_1$$

$$W_{s36} = 16.14 - 13.60$$

$$W_{s4} = 15.55 - 13.60$$

$$W_{s35} = 14.76 - 13.73$$

$$W_{s13} = 15.22 - 13.70$$

$$W_{s32} = 15.14 - 13.63$$

Una vez se obtiene el resultado de la masa del agua y la masa del suelo seco, se procede a calcular su porcentaje de humedad.

$$W\% = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) * 100$$

$$W\%_{36} = \left( \frac{0.66}{2.54} \right) * 100$$

$$W\%_4 = \left( \frac{0.55}{1.95} \right) * 100$$

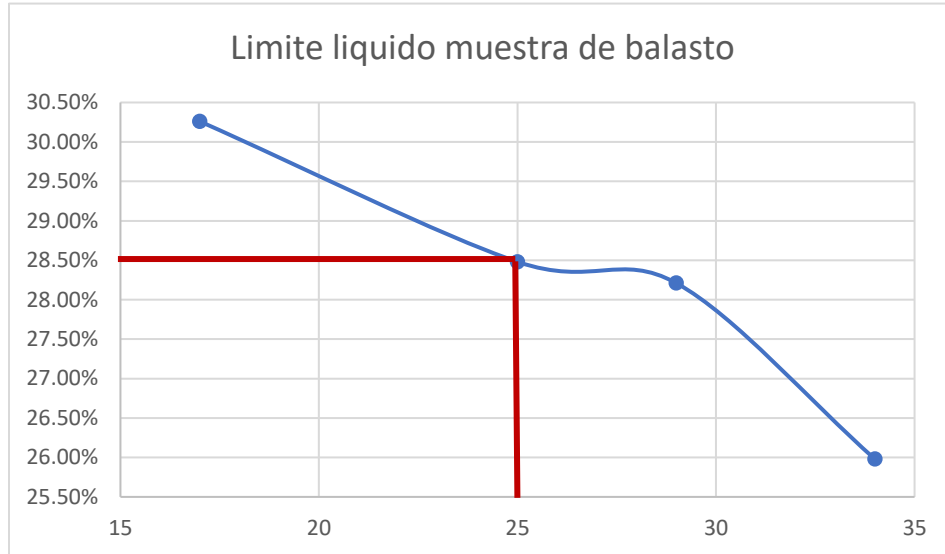
$$W\%_{35} = \left( \frac{0.31}{1.03} \right) * 100$$

$$W\%_{13} = \left( \frac{0.46}{1.52} \right) * 100$$

$$W\%_{32} = \left( \frac{0.43}{1.51} \right) * 100$$



Para encontrar el límite líquido es necesario realizar un diagrama donde se muestre la relación del % de humedad vs. N°. de golpes, para la lectura de la gráfica se toma el dato que marca el golpe #25 y posteriormente se toma el valor en el eje vertical y este viene siendo el límite líquido.



**GRÁFICA 3. Límite líquido de relleno de balasto**

Se puede observar que el límite líquido para el relleno de balasto es de 28.5%.

Se continua con el cálculo del índice de plasticidad de la muestra.

$$IP = LL - LP$$

**Ecuación 14. Índice de plasticidad**

Fuente= (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde:

IP= Índice de plasticidad

LL= Límite líquido

LP =Límite plástico

$$IP = 28.5 - 14.27$$

$$IP = 14.23$$

#### 4.3.4.4. *Desarrollo del ensayo de hidrometría*

El ensayo de hidrometría se realizó con el fin de determinar la gradación de los suelos limo-arcillosos, los cuales tienen partículas que pueden pasar por el tamiz No 200, y así conocer como estas partículas actúan en un fluido, teniendo en cuenta la ley de Stokes, en la cual se explica el movimiento de las partículas en un fluido viscoso. Al conocer las partículas y la gradación se puede complementar los datos obtenidos por la granulometría. Este proceso se realiza con la ayuda de un hidrómetro se mide la densidad específica del líquido en el que se está sumergiendo (el cual está conformado por las partículas sedimentadas de la muestra tomada, la cual primero fue sumergida en hexametáfosfato de sodio para separar las partículas en arcillas, limos y partículas suspendidas), con el fin de utilizar estos valores para conocer el diámetro de las partículas.

“También se le conoce como granulometría por el método de sedimentación, este ensayo sirve para determinar la distribución por tamaños de las partículas menores a la malla # 200”. (LCI-303 Laboratorio de Suelos, UNITEC TGU, s.f.)

El inicio consiste en pesar aproximadamente 50 gr de suelo seco al aire, esto cuando el suelo es en su mayor parte arcilla.



**Ilustración 45. Muestra de suelo arcilloso**

Se prepara la solución, consiste en 250ml de agua destilada con anti-floculante al 4%:



**Ilustración 46. Materiales para la solución**

Se agrega el 4% de anti-floculante, 10 gramos de hexametáfosfato de sodio por los 250ml de agua destilada.



**Ilustración 47. Muestra de hexametáfosfato**

Se vierten todos los materiales para la elaboración de la solución:



**Ilustración 48. Preparación de solución**

Se coloca en la muestra de suelo la solución de anti-floculante y mezclar bien hasta lograr obtener una consistencia fluida.



**Ilustración 49. Mezcla de solución con muestra de suelo**

Logrando obtener una consistencia fluida:



**Ilustración 50. Consistencia fluida de la muestra**

Luego se debe de llevar la mezcla de suelo y la solución de anti-floculante ya mezclado a un envase y posteriormente llenar el envase hasta la mitad de agua destilada:



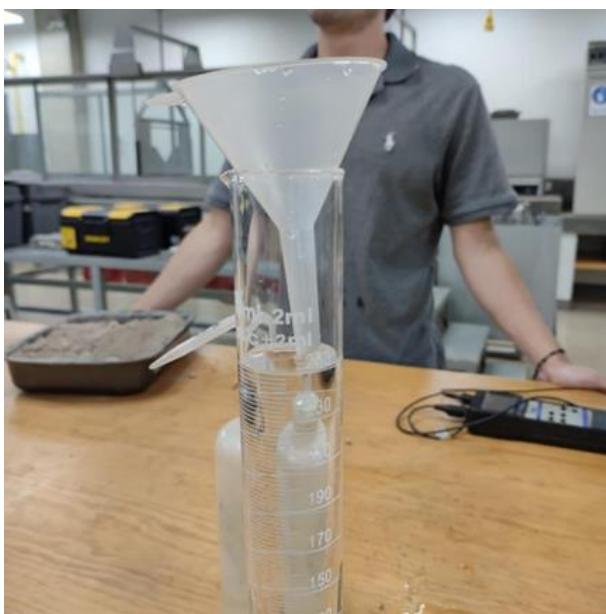
**Ilustración 51. Muestra de suelo y anti-floculante en envase**

Posteriormente se coloca el envase en una mezcladora por un minuto:



**Ilustración 52. Muestra de suelo y anti-floculante en mezcladora**

Se debe de tener 2 probetas de 1000 ml cada una, la primera probeta de sebe de llenar de agua destilada para la limpieza del hidrómetro.



**Ilustración 53. Probeta de 1000ml con agua destilada**

La segunda probeta se utiliza para verter la mezcla elaborada en la mezcladora y llenar con agua destilada hasta la altura de calibración de 1000 ml.





**Ilustración 54. Mezcla en probeta de 1000 ml**

Para obtener la mezcla, se debe de tapar con una mano el extremo abierto de la probeta y agitar aproximadamente 1 minuto hasta lograr obtener una mezcla homogénea de la suspensión y el agua destilada:



**Ilustración 55. Mezcla de suspensión y agua destilada**

Se coloca la probeta en la mesa y se debe de introducir el hidrómetro, para introducir el hidrómetro se recomienda hacerlo 20 segundos antes de la hora de toma, para esperar que se

estabilice. Luego al tener la lectura se saca el hidrómetro y se coloca con un movimiento rotatorio en la probeta con agua destilada, limpiando cualquier resto de suelo pegado en él.



**Ilustración 56. Toma de temperatura**

En cuanto al procedimiento de sus cálculos y de acuerdo con la norma ASTM D 442, se realiza de la siguiente manera.

Cálculo de la masa del suelo seco.

$$W_s = \left( \frac{W_h}{1 + \frac{\%w}{100}} \right)$$

**Ecuación 15. Masa de suelo seco para hidrometría**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde:

$W_s$ = Masa de suelo seco

$W_h$ = Masa inicial húmeda

$W_s$ = Masa suelo seco

$\%w$ = Contenido de humedad



$$W_s = \left( \frac{39.76}{1 + \frac{88.06}{100}} \right)$$

$$W_s = 21.14 \text{ gr}$$

Se elabora una tabla donde se muestran las variables por encontrar para lo que son las gráficas de hidrometría.

**Tabla 15. Resultados de hidrometría**

Ra	Temperatura (C')	Tiempo Minutos	cm	R	L	(L/t) <sup>1/2</sup>	A	D mm	Ct	Cdef	Rc	a	%Pase
61	23	2	1	62	6.832	1.848242	0.013985	0.025848	0.67	4	65.67	1.06808	140.2816
56	22.9	5	1	57	7.652	1.237093	0.013985	0.017301	0.67	4	60.67	1.06808	129.6008
50	22.7	15	1	51	8.636	0.758771	0.013985	0.010611	0.67	4	54.67	1.06808	116.7839
50.6	22.6	30	1	51.6	8.5376	0.533467	0.014019	0.007479	0.61	4	55.21	1.06808	117.9374
50.2	22.5	60	1	51.2	8.6032	0.378664	0.014019	0.005309	0.61	4	54.81	1.06808	117.0829
40	22.7	120	1	41	10.276	0.292632	0.014117	0.004131	0.64	4	44.64	1.06808	95.35818
30	24.3	1440	1	31	11.916	0.090967	0.014097	0.001282	1.09	4	35.09	1.06808	74.95785

La corrección por menisco (Cm) es un dato dado por la norma ASTM D 442 es de 1, para la corrección por longitud efectiva (R) se realiza así.

$$R = Ra + Cm$$

**Ecuación 16. Corrección por longitud efectiva**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

R= Corrección por longitud efectiva

Ra=Lectura de hidrómetro

Cm= Corrección por menisco

$$R = 61 + 1$$

$$R = 62$$

Para la longitud efectiva (L).

$$L = 17 - 0.164R$$

**Ecuación 17. Longitud efectiva**

Fuente= (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

L=Longitud efectiva

R=Corrección por longitud efectiva

$$L = 17 - 0.164(62)$$

$$L = 6.832$$

Para determinar la actividad (A) se utiliza una tabla que relaciona la temperatura con el peso por unidad de suelo y si es necesario este se interpola.

**Tabla 16. Encontrar actividad (A)**

Temp. °C	Peso por unidad de suelo( gm/ cu cm)							
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.0151	0.0148	0.0146	0.0144	0.0141	0.0139	0.0137	0.0136
17	0.0149	0.0146	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134
18	0.0148	0.0144	0.0142	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132
19	0.0145	0.0143	0.0140	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0131
20	0.0143	0.0141	0.0139	0.0137	0.0134	0.0133	0.0131	0.0129
21	0.0141	0.0139	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127
22	0.0140	0.0137	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0128	0.0126
23	0.0138	0.0136	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124
24	0.0137	0.0134	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0125	0.0123
25	0.0135	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0122
26	0.0133	0.0131	0.0129	0.0127	0.0125	0.0124	0.0122	0.0120
27	0.0132	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.01200	0.0119
28	0.0130	0.0128	0.0126	0.0124	0.0123	0.0121	0.0119	0.0117
29	0.0129	0.0127	0.0125	0.0123	0.0121	0.0120	0.0118	0.0116
30	0.0128	0.0126	0.0124	0.0122	0.0120	0.0118	0.0117	0.0115

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Para el diámetro de la partícula del suelo (D), se aplica la siguiente ecuación y esta será expresada en mm.

$$D = A * \sqrt{\frac{L}{t}}$$

**Ecuación 18. Diámetro de la partícula del suelo**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

D= Diámetro de la partícula del suelo

A= Actividad

L= Longitud efectiva

t= Tiempo

$$D = 0.013985 * \sqrt{\frac{6.832}{2}}$$

$$D = 0.025848mm$$

Para la corrección por defecto (C def) su valor es 4 para cada lectura del hidrómetro. En la corrección por temperatura (C<sub>T</sub>) se utiliza la siguiente tabla donde ser necesario se debe interpolar de acuerdo con la lectura tomada.

**Tabla 17. Corrección por temperatura**

Temperatura ° C	C <sub>T</sub>
15	-1.10
16	-0.90
17	-0.70
18	-0.50
19	-0.30
20	0.00
21	+0.20
22	+0.40
23	+0.70
24	+1.00
25	+1.30
26	+1.65
27	+2.00
30	+3.80

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

En la lectura corregida del hidrómetro (Rc) se aplica la siguiente formula donde el signo dependerá de la corrección por temperatura, usando la siguiente ecuación.

$$Rc = Ra + Cdef \pm Ct$$

**Ecuación 19. Lectura corregida del hidrómetro**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

Rc=Lectura corregida del hidrómetro

Cdef= Corrección por defecto

Ct=Corrección por temperatura

$$Rc = 61 + 4 \pm 0.67$$

$$Rc = 65.67$$

En la corrección por gravedad específica se utiliza la tabla donde se relaciona la gravedad específica de acuerdo con su peso específico y si es necesario se tendrá que interpolar.

**Tabla 18. Corrección por gravedad específica**

Gs	A
2.50	1.04
2.55	1.02
2.60	1.01
2.65	1.00
2.70	0.99
2.75	0.98
2.80	0.97

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Para el cálculo del % de pase se aplica la siguiente formula.

$$\%Pase = \frac{Rc}{Ws} x(a)x(100)$$

**Ecuación 20. %Porcentaje de pase**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

Rc=Lectura corregida del hidrómetro

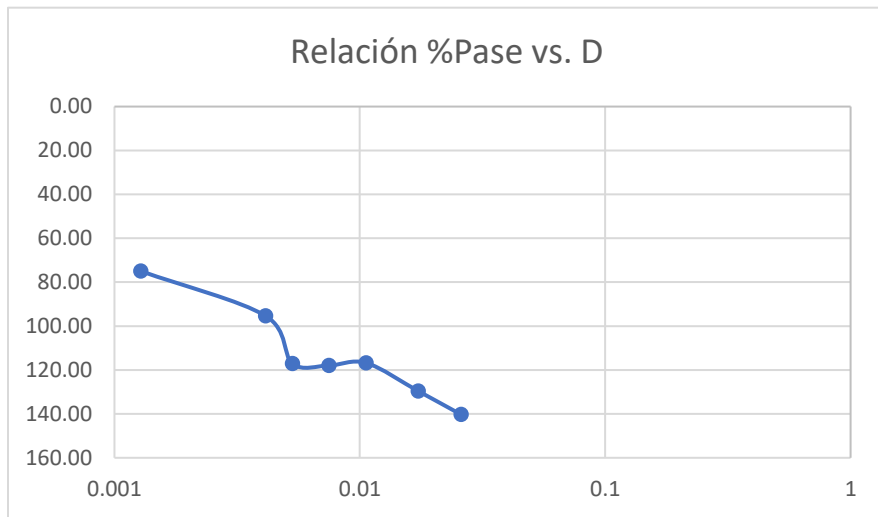
Ws=Peso del suelo seco

a=Corrección por gravedad específica

$$\%Pase = \frac{65.67}{50} \times (1.06808) \times (100)$$

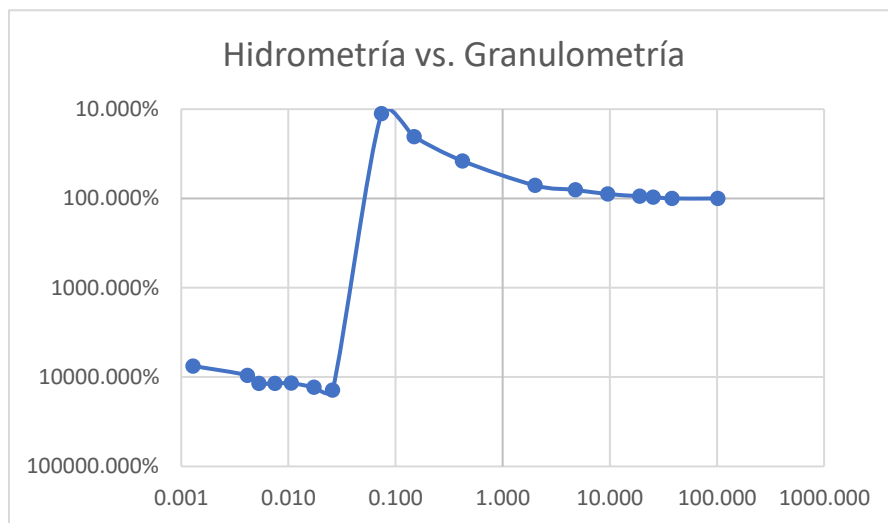
$$\%Pase = 140.28\%$$

Una vez encontrados todos los datos de la tabla, se procede a realizar una gráfica donde se relaciona el porcentaje de pase con el diámetro de la partícula del suelo.



**Diagrama 7 %Pase vs. Diámetro.**

Una vez se tiene la relación %pase y el diámetro de la partícula del suelo, el próximo diagrama se aplica de la misma manera con la diferencia que se agrega la granulometría combinada del suelo de balasto.



**Diagrama 8. Hidrometría combinada con granulometría combinada**

#### 4.3.4.5. *Mejoramiento del suelo para el diseño de pavimento*

La clasificación del suelo natural resultó ser limo arcilloso del grupo A-1-b, se realizaron ensayos del suelo con agregados de 3% de cal y 5% de cemento, luego hacer una clasificación del suelo con este nuevo agregado mediante su factor k para encontrar su valor de CBR y poder diseñar el pavimento rígido para ello se realizó el ensayo Límites Atterberg.

##### 4.3.4.5.1. *Agregado del 3% de cal*

Como primer agregado para el suelo natural y aporte para su estabilización del suelo se agregó un 3% de cal y luego desarrollar límite plástico y límite líquido.



**Ilustración 57. Suelo natural vs. 3% Cal**

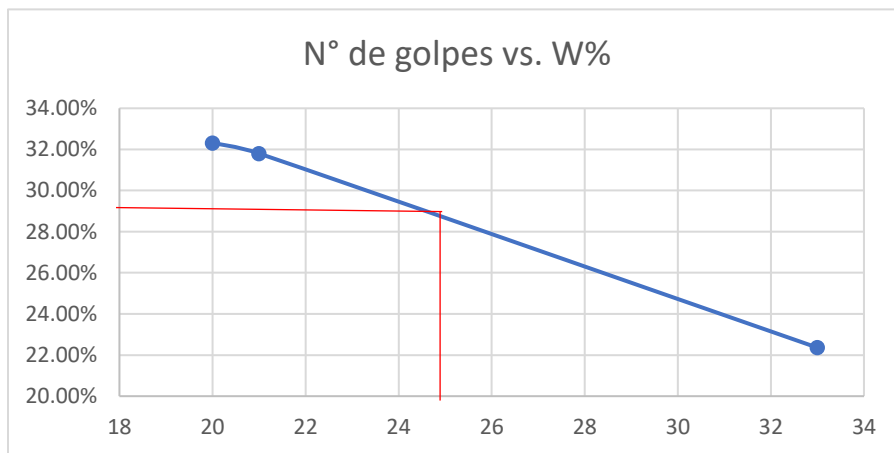
Tal como se ha hecho el mismo desarrollo del ensayo de límites de Atterberg a diferencia que se agregó un total de 18.09gr de cal a la muestra del suelo de 301gr, a continuación, se mostrará una tabla resumen con sus datos y valor obtenido de su contenido de humedad, cabe destacar que este agregado no ayudo al mejoramiento del suelo. Tabla 19 El resultado del límite líquido del ensayo nos dio de 29% ya que al trazar el porcentaje de humedad junto a la cantidad de golpes indica ese valor (ver GRÁFICA 4).

Para el límite plástico realizado de la misma forma descrita anteriormente, sus resultados y su índice de plasticidad fue así.

El promedio de contenido de humedad resulto ser de 15.86%, ese resultado se resta con el límite líquido para su índice de plasticidad de 14% siendo este, cuatro unidades mayores al del suelo natural.

**Tabla 19. Límite líquido 3% Cal**

Limite liquido 3% Cal					
Lata No	No. Golpes	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (gr) W1	W%
34	20	14.20	13.46	11.17	32.31%
33	33	14.08	13.36	10.14	22.36%
3	26	14.31	13.53	11.12	32.37%
6	21	13.91	13.22	11.05	31.80%
7	35	12.43	12.11	10.88	26.02%



**GRÁFICA 4. N° golpes vs. contenido de humedad**

**Tabla 20. Límite plástico 3% cal**

Límite plástico 3% cal				
Lata No	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (W1)	W%
8	13.15	12.74	11.07	24.55%
16	12.95	12.6	11.08	23.03%
25	12.5	12.25	11.09	21.55%

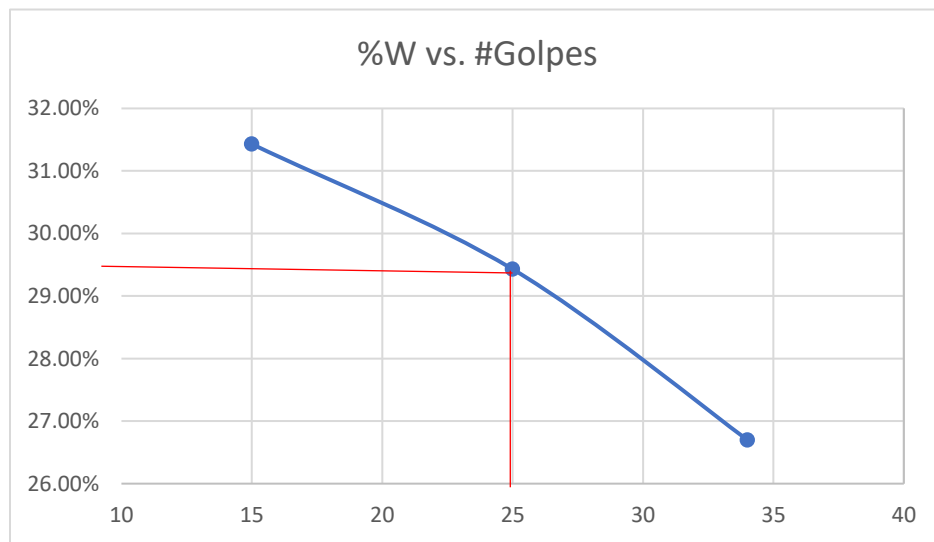
#### 4.3.4.5.2. Agregado del 5% de cemento

El índice de plasticidad con 3% de agregado de cal, no redujo la plasticidad por lo que se consideró un 5% de cemento el cual se encuentra en término medio con respecto al porcentaje de agregado de acuerdo con el tipo de suelo, el cual es A-1-b por lo que sus límites de agregado varían entre un 3% y 8%. Siguiendo el mismo desarrollo del ensayo de límites de Atterberg, se muestra en una tabla resumen que contiene cada uno de sus resultados.

Para el límite líquido su límite fue de 29.5%, el cual se verá reflejado en su respectiva gráfica.

**Tabla 21. Límite líquido 5% cemento**

Limite liquido 3% Cemento					
Lata No	No. Golpes	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (gr) W1	W%
5	34	18.11	17.17	13.65	26.70%
9	25	17.08	16.3	13.65	29.43%
12	35	18.55	17.48	13.73	28.53%
8	15	17.83	16.84	13.69	31.43%
1	17	17.79	16.85	13.66	29.47%



**GRÁFICA 5. Límite líquido 29.5%**

Para el límite plástico arrojé un valor promediado de 18.82%, el cual se resta al valor del límite líquido para obtener su índice de plasticidad, el cual dio un valor de 10.68%, por lo que esto nos indica que redujo un 28% de su estado posterior.



**Tabla 22. Límite plástico 5% cemento**

Límite plástico 5% cemento				
Lata No	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (W1)	W%
2	14.01	13.98	13.71	11.11%
10	14.44	14.31	13.72	22.03%
4	14.03	13.96	13.66	23.33%

#### 4.4. GUÍA DE REVISIÓN DE ROTONDAS

Para la investigación se seleccionó una rotonda, la cual se midió para analizar su diseño geométrico y determinar su eficiencia. Su eficiencia fue determinada comparando capacidades de rotonda con respecto a los conteos vehiculares realizados. Se realizó la selección de la rotonda más transitada en La Paz para realizar una revisión de su diseño en función de los manuales y medir su eficiencia, la intersección cuenta con tres ramales de aproximación con dos carriles por cada una y dentro del anillo circulatorio también tiene dos carriles.

##### 4.4.1. PASO #01 ANÁLISIS VEHICULAR

Se parte desde un análisis de conteo vehicular y basado en el análisis del volumen vehicular, las longitudes de entrecruzamiento no cumplen con las especificaciones de la norma. No son mínimas para el volumen vehicular actual, cabe destacar que el manual centroamericano indica que debe haber más tráfico para poder instalar una rotonda en el sitio, pero para el volumen vehicular existente no aplica.



**Ilustración 58. Rotulación de entradas en rotonda "Monumento El Soldado"**

Fuente: Obtenida de Google Maps 2023 y modificada con herramienta de Word.

A continuación, se mostrarán tablas resumen del conteo realizado en la zona de la rotonda, el resto de las tablas resumen de los datos recopilados en el conteo se encuentran en ver Anexo.

**Tabla 23. Entrada uno de 9:40 - 10:40**

Giro	No	Tipo	Cantidad	%
1.1	1	Motos	38	17.76
	2	Turismo	84	39.25
	3	C2	78	36.45
	4	C3	-	-
	5	Buses	14	6.54
		TOTAL	214	100
1.2	1	Motos	31	14.49
	2	Turismo	36	16.82
	3	C2	59	27.57
	4	C3	-	-
	5	Buses	10	4.67
		TOTAL	136	100
1.3	1	Motos	6	2.80
	2	Turismo	25	11.68
	3	C2	23	10.75
	4	C3	1	0.47
	5	Buses	0	0.00
		TOTAL	55	100
TOTAL			405	Veh/h

Para poder tener una proyección de tráfico promedio y obtener el análisis vehicular de la zona considerando dos paradas de buses, una en la entrada 1 y otra en la entrada 3 se realizó un conteo vehicular de manera manual el objetivo principal fue encontrar el promedio por entrada/salida, dentro del conteo vehicular se tomaron en cuenta los siguientes tipos de vehículos: turismo, C2, C3 y buses.

**Tabla 24. Volumen veh/h de entrada 1**

Volumen de entrada #01					
		Promedio de 2h	Proyección 12h	Proyección nocturna 12h	Proyección total vehículos diarios
<b>Volumen T</b>	394.11	395	4740	1422	6162
	392.36	393	4716	1415	6131

Resumiendo, se adjuntó una tabla con la proyección total de vehículos diarios para cada uno de los accesos:

**Tabla 25. Total, de conteo vehicular (tránsito mixto)**

No. Entrada	1	2	3
<b>Total, del tránsito mixto diario</b>	6,162 Veh/día	6,646 Veh/día	4134 Veh/día

#### 4.4.1. PASO #02 VALORES DE REFERENCIA DE CÍRCULO INSCRITO

En el segundo paso se considera uno de los aspectos para el diseño de rotondas, se describen algunos de los elementos de diseño que son determinantes en la configuración de la geometría, como ser los valores de referencia de círculo inscrito que a su vez está ligado con el tipo de rotonda. La rotonda actual del monumento del soldado cuenta con un diámetro de círculo inscrito promedio de 26.12 m, tomando un promedio debido a su irregularidad geométrica con un impedimento de heterogeneidad en todas sus intersecciones o entradas.

**Tabla 26. Diámetros típicos de círculos inscritos y volúmenes de tránsito diario**

Tipo de rotonda	Diámetro <sup>1</sup> típico de círculo inscrito (m)	Volumen <sup>2</sup> típico de tránsito diario (vpd) Rotonda de cuatro ramales
Urbana Un-Carril	35 - 43	< 25000
Urbana Multicarril (entradas 2-carriles)	45 - 60	25000 a 55000
Urbana Multicarril (entradas 3 ó 4 carriles)	60 - 85	55000 a 80000
Rural Un-Carril	36 - 45	< 25000
Rural Multicarril (entradas 2-carriles)	55 - 67	25000 a 55000
Rural Multicarril (entradas 3-carriles)	60- 76	55000 a 70000

Fuente: (Road Design Manual – Minnesota DOT, 2009)

#### 4.4.1. PASO #03 VERIFICACIÓN DE RADIO MÍNIMO

Se realizó el tercer paso para la rotonda actual, se trata de la verificación del radio mínimo de giro, con un radio promedio de 13.06m y con un diámetro de 26.12m, es de tipo urbana multicarril con

entradas de 2 carriles en todos sus ramales. Se verificó con la Tabla 40 y con un VPD de 16,942 veh/día, no cumple con el diámetro de círculo inscrito requerido para intersecciones donde el volumen de tráfico es menor a 25,000 veh/día.

**Tabla 27. Mínimos radios de giro para vehículos tipo**

Tipo de vehículo de diseño	Símbolo	Radio mínimo de giro de diseño m	Radio mínimo interior m
Vehículo de pasajeros	P	7,3	4,2
Camión de unidad simple	SU	12,8	8,5
Ómnibus urbano	CITY-BUS	11,6	7,4
Ómnibus interurbano	BUS-14	12,8	7,8
<b>Combinación de camiones</b>			
Semirremolque mediano	WB - 12	12,2	5,7
Semirremolque grande	WB - 15	13,7	5,8
Semirremolque especial	WB - 19	13,7	2,8
<b>Vehículo de recreación</b>			
Casa rodante	MH	12,2	7,9
Coche y remolque caravana	P/T	7,3	0,6

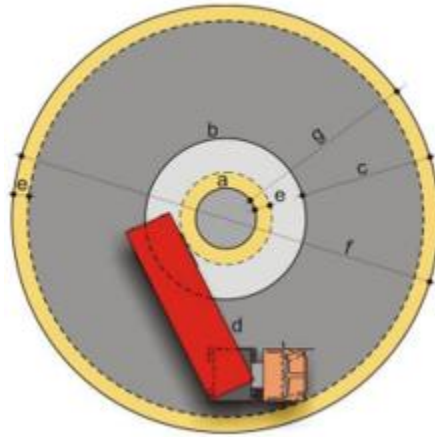
Fuente: (SIECA, 2011)

El vehículo más grande de diseño que circula en la rotonda, el cual es cabezal con semirremolque WB-15, se verifica los radios mínimos requeridos de giro, siendo para este caso 13.7 m comparado con el radio promedio de la rotonda el cual es de 13.06 m y con el radio mínimo de 6.65 m ver Tabla 27.

#### 4.4.1. PASO #04 ANCHOS DE GIRO

Numerosas técnicas se utilizan en las rotondas para dar cabida a los camiones y así acomodarlos según medidas. Aunque estrictamente no se basan en la investigación, las técnicas de diseño intuitivamente racionales implican ventajas y desventajas en términos de seguridad, capacidad y costo. Cada técnica de diseño se aplica en virtud de las diferentes condiciones del lugar (SIECA, 2011).

**Tabla 28. Anchos de giro requeridos por la plataforma circulatoria de las RM**



Diámetro círculo inscrito	Vehículo de diseño	
	Vehículo articulado	Ómnibus
f (m)	g mín (m)	g mín (m)
29	-	7,2
30,5	-	7
33,5	12,3 - 13,7	6,7
36,6	11,1 - 12,2	6,4
39,6	10,2 - 11,1	6,2
42,7	9,6 - 10,1	6,1
45,7	9,1 - 9,8	5,9
48,8	8,7 - 9,3	5,8
51,8	8,4 - 9	5,8
54,9	8,1 - 8,7	5,6
57,9	7,8 - 8,4	5,5
61	7,6 - 8,1	5,5

Fuente: (Ourston, 1995)

Las rotondas modernas son compactas en comparación con su predecesor: el círculo de tránsito o rotatoria. Al encogerse el diámetro exterior de la rotonda, o agrandarse la longitud del camión, la plataforma circulatoria debe ensancharse y la isleta central debe encogerse para permitir a los camiones girar a la izquierda. A medida resulta difícil dar una trayectoria deflexionada para la entrada de los vehículos pequeños, y se necesita un delantal de camiones. Eventualmente, al disminuir más el tamaño del círculo, cualquier isleta central elevada impide a los camiones usar la intersección. La isleta central debe volverse traspasable, como en las minirotondas. (Intersecciones, s.f.)

El cuarto paso es sobre la verificación de los anchos de giro requeridos para rotonda de 29 m de círculo inscrito o menos como aspecto de diseño, no cumple el ancho entre cordones (g) para Ómnibus con 7.2 m de g mínimo promedio de 9.77m debido a su irregularidad geométrica.

#### 4.4.1. PASO #05 DISTANCIA DE VISIBILIDAD

Próximo y quinto paso, factor que se toma para el diseño de rotondas son las distancias de visibilidad, la visibilidad de entrada como la visibilidad hacia la izquierda de la entrada. La

verificación con respecto a la distancia de visibilidad de parada con una velocidad de diseño de 50 km/h o menor, da como resultado una distancia mínima absoluta de visibilidad de parada de 50 m, obteniendo no cumplimiento por parte de la rotonda actual.

**Tabla 29. Distancia de visibilidad en rotondas**

a) Distancia de visibilidad de parada	b) Distancia de visibilidad hacia la izquierda de la entrada	
Velocidad de Diseño(km/h) 50 60 70 85 100	Diámetro inscrito (m) <40 40-60 60-100 >100	Distancia de visibilidad (m) Toda la Intersección 40 50 60
Mínima Deseable (m) 70 95 125 165 225		
Mínima Absoluta (m) 50 70 95 125 165		

La distancia de visibilidad hacia la izquierda de la entrada para un diámetro de círculo inscrito menor a 40 m debe de ser en toda la intersección según la Tabla 29 Obteniendo un no cumplimiento en la rotonda actual.



**Ilustración 59. Isleta direccional de entrada a rotonda**

Dirigen y controlan los movimientos, en especial de giro. Separan trayectorias del mismo sentido (una de giro y la otra de paso o correspondiente al otro giro) en intersecciones canalizadas, señalando claramente al conductor las trayectorias que pueden seguir, y evitando que aparezca una gran área pavimentada en la que pueda sentirse desorientado. Estas isletas tienen formas diversas, siendo frecuentes las triangulares de lados rectos o ligeramente

curvilíneos, aproximadamente paralelos a las trayectorias principales de los vehículos (SIECA, 2011).

#### 4.4.1. PASO #06 CAPACIDAD DE ENTRECruzAMIENTO Y CAPACIDAD DE ENTRADA

Se realizó el sexto paso para el cálculo de capacidad de entrecruzamiento y capacidad de entrada, se necesitó medir los elementos geométricos de cada sección de aproximación de la rotonda, con el levantamiento topográfico realizado se obtuvieron las medidas geométricas de la rotonda, obteniendo las siguientes medidas ver las

El tercer paso el cual consiste en los cálculos para la determinación de capacidades, utilizando la Ecuación 2 para determinar la capacidad para cada una de las direcciones. Comenzando con el cálculo de cada uno de los componentes.

**Tabla 30. Elementos geométricos de Entrada No. 1**

<b>Datos Geométricos Entrada No. 1</b>	
<b>Elementos Geométricos</b>	<b>Medidas (m)</b>
<b>Ancho de entrada (<math>e_1</math>)</b>	7.3
<b>Ancho de entrada (<math>e_2</math>)</b>	6.3
<b>Ancho promedio (e)</b>	6.8
<b>Ancho de entrecruzamiento (W)</b>	4.35
<b>Long. Entrecruzamiento (L)</b>	28.96

**Tabla 31. Elementos geométricos de Entrada No. 2**

<b>Datos Geométricos Entrada No. 2</b>	
<b>Elementos Geométricos</b>	<b>Medidas (m)</b>
<b>Ancho de entrada (<math>e_1</math>)</b>	8.14
<b>Ancho de entrada (<math>e_2</math>)</b>	7.32
<b>Ancho promedio (e)</b>	7.73
<b>Ancho de entrecruzamiento (W)</b>	10.3
<b>Long. Entrecruzamiento (L)</b>	18.125

**Tabla 32. Elementos geométricos de Entrada No. 3**

<b>Datos Geométricos Entrada No. 3</b>	
<b>Elementos Geométricos</b>	<b>Medidas (m)</b>
<b>Ancho de entrada (e<sub>1</sub>)</b>	7.62
<b>Ancho de entrada (e<sub>2</sub>)</b>	7.45
<b>Ancho promedio (e)</b>	7.535
<b>Ancho de entrecruzamiento (W)</b>	10.1
<b>Long. Entrecruzamiento (L)</b>	17.199

$$Qe = K(F - fc * Qc)$$

Los siguientes componentes de la formula K, F y fc son parámetros calibrados de la experiencia en función de las características geométricas de la entrada y de la rotonda, su resolución se elaboró con las siguientes formulas:

Cálculo parámetro K:

$$K = (1 - 0.00347(0 - 30)) - (0.978(0 - 0.05))$$

$$K = 2.0899$$

Cálculo de parámetro K para la entrada No. 1

$$S = 1.6 * \frac{e - 7.205}{6.646}$$

$$S = -1.08$$

$$X = 7.205 + \frac{(0.4 - 7.205)}{(1 + 2 * 1.08)}$$

$$X = 5.05$$

Cálculo parámetro F:

$$F = 303 * 5.05$$

$$F = 1,530.15$$

Cálculo de parámetro F para la entrada No. 1

Cálculo parámetro fc:



$$M = e \left( \frac{17.42 - 60}{10} \right)$$

$$M = 11.57$$

$$tp = 1 + \left( 1 + \left( \frac{0.5}{1 + 11.57} \right) \right)$$

$$tp = 2.04$$

$$fc = 0.21 * 2.04 (1 + 0.2 * 5.05)$$

$$fc = 0.86$$

Cálculo de parámetro fc para la entrada No. 1

Se calculó la capacidad de entrada:

$$Qe = K(F - fc * Qc)$$

$$Qe_{Entrada\ 1} = 2.0899(1,530.15 - 0.86 * 405)$$

Cálculo de Qe para la entrada No. 1

$$Qe_{Entrada\ 1} = 2,470 \text{ Veh/día}$$

$$Qe_{Entrada\ 2} = 2.0899(1,605.9 - 0.88 * 450)$$

Cálculo de Qe para la entrada No. 2

$$Qe_{Entrada\ 2} = 2,529 \text{ Veh/día}$$

$$Qe_{Entrada\ 3} = 2.0899(1,560.45 - 0.87 * 278)$$

Cálculo de Qe para la entrada No. 3

$$Qe_{Entrada\ 3} = 2,756 \text{ Veh/día}$$

Resumiendo, los resultados del cálculo de capacidad de entrada de la rotonda, se adjuntó una tabla con la capacidad para cada entrada o ramal de la rotonda Estatua El Soldado.

**Tabla 33. Capacidad de entrada por hora**

No. De Entrada	Qe (Veh/día)
1	2,470
2	2,529

<b>3</b>	2,756
----------	-------

Para determinar la capacidad de entrecruzamiento se realizó el cálculo con la ecuación establecida por Wardrop y así mismo la capacidad de entrada con la Ecuación 1, con los datos obtenidos de la geometría se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Qp = 282 * W * \left(1 + \frac{E}{W}\right) * \frac{\left(1 - \frac{P}{3}\right)}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)}$$

Se elaboró el cálculo del promedio de ancho entre acceso y calzada:

$$E = \frac{9.77 + 6.87}{2}$$

Cálculo de longitud de entrecruzamiento:

$$L = \frac{18.125 + 17.199 + 28.96}{3}$$

Se calculó la capacidad de entrecruzamiento:

$$Qp_{Entrada 1} = 282 * 4.35 * \left(1 + \frac{6.8}{4.35}\right) * \frac{\left(1 - \frac{0.75}{3}\right)}{\left(1 + \frac{4.35}{28.96}\right)}$$

Cálculo de Qp para la entrada No. 1

$$Qp_{Entrada 1} = 2,051 \text{ Veh/día}$$

$$Qp_{Entrada 2} = 282 * 10.3 * \left(1 + \frac{7.73}{10.3}\right) * \frac{\left(1 - \frac{0.75}{3}\right)}{\left(1 + \frac{10.3}{18.125}\right)}$$

Cálculo de Qp para la entrada No. 2

$$Qp_{Entrada 2} = 2,432 \text{ Veh/día}$$

$$Qp_{Entrada 3} = 282 * 10.1 * \left(1 + \frac{7.54}{10.1}\right) * \frac{\left(1 - \frac{0.75}{3}\right)}{\left(1 + \frac{10.1}{17.20}\right)}$$

Cálculo de Qp para la entrada No. 1

$$Qp_{Entrada 3} = 2,351 \text{ Veh/día}$$

Resumiendo, los resultados del cálculo de capacidad de entrecruzamiento de la rotonda, se adjuntó una tabla con la capacidad para cada entrada o ramal de la rotonda Estatua El Soldado.

**Tabla 34. Capacidad de entrecruzamiento por hora**

No. De Entrada	Qp (Veh/día)
1	2,051
2	2,432
3	2,351

Se continuó con los cálculos de proyección a 20 años para obtener un dato de referencia de capacidad que debería cumplir la rotonda con una tasa de crecimiento vehicular de 11.4% anual.

$$\kappa = \frac{395 + 426 + 265}{3}$$

Cálculo de promedio total de vehículos que entran a la rotonda por hora

$$\kappa = \frac{6,162 + 6,646 + 4,134}{3}$$

Cálculo de promedio total de vehículos que entran a la rotonda por día

Se elaboró el cálculo de la proyección a 20 años:

$$\begin{aligned} & \kappa * (1 + r)^t \\ & 362 * (1 + 0.114)^{20} \\ & 5,648 * (1 + 0.114)^{20} \end{aligned}$$

#### 4.4.2. PASO #07 VERIFICACIÓN DE ISLETAS DIRECCIONALES VIALES

El séptimo paso es la verificación de isletas direccionales viales, el caso de la rotonda de estudio no cuenta con isletas direccionales, por lo que el conductor no tiene ninguna trayectoria señalizada y así respetar el movimiento del tránsito en circulación con responsabilidad sin realizar maniobras agresivas.



**Ilustración 60. Cruce peatonal en rotondas**

Fuente: (Ourston, 1995)

En el planeamiento y diseño de rotondas modernas debería darse especial consideración a los movimientos de los peatones. Las rotondas resultan para los peatones por lo menos tan seguras como las otras formas de control de intersección. Es frecuente una reducción de los accidentes con víctimas de peatones después de instalar una RM, porque los peatones son capaces de cruzar un sentido de tránsito por vez haciendo escala en las isletas partidoras. (Intersecciones, s.f.)

#### 4.4.3. PASO #08 SEGURIDAD VIAL

El octavo paso es la verificación de seguridad, dentro de esta seguridad entra la de señalizaciones en general como la señalización para el tránsito peatonal, la zona donde se encuentra la Rotonda es muy transitada por personas, dado que tiene colindancia con el Hospital Roberto Suazo Córdova, una calle tomada por puestos ambulantes reconocido como el mercado municipal, paradas de transporte público como taxis y buses. Tomando en consideración la alta fluencia de tránsito peatonal y la nula seguridad que existe, en cuanto señalizaciones de cruces peatonales, la rotonda no se adecua como solución vial en una zona tan comercial, cabe destacar que los peatones deben cruzar con cuidado porque, distinto a los cruces con semáforos, las Rotondas no dan una positiva seguridad a los peatones sobre los movimientos de los vehículos.

La aptitud de los vehículos para entrar en una RM puede verse afectada seriamente por un cruce peatonal, que disminuye el número de vehículos que pueden entrar y salir de las RM. La provisión de facilidades para los peatones no influye grandemente en el diseño geométrico requerido por otros tratamientos de la intersección. Sin embargo, ciertos diseños de RM, particularmente las grandes, pueden resultar en caminatas más largas, e incomodar a los peatones. Es importante no dar a los peatones una falsa sensación de seguridad pintando líneas través de las entradas y salidas, sino más bien alentarlos a identificar y aceptar claros en el tránsito y cruzar cuando sea seguro hacerlo. (Ourston, 1995)

La rotonda no cuenta con reductores de velocidad de aproximación de los vehículos, uniéndose la inexistente deflexión que debería de estar en cada acceso para obligar al tránsito vehicular respetar tanto a peatones como el movimiento del tránsito en circulación, de igual manera la rotonda no tiene señales que alerten sobre el tránsito peatonal.

#### **4.5. DISEÑO DE PAVIMENTO**

Una vez terminado los ensayos de límites de Atterberg para el mejoramiento del suelo, se procede a clasificar el suelo con el agregado del 5% de cemento se escoge el valor del CBR mediante una tabla definida por la AASHTO para poder diseñar el pavimento rígido ver Tabla 35.

Los datos principales por ingresar en la página de diseño de pavimento van relacionados con el análisis del tráfico, es por ello por lo que solicita escoger el tráfico que se adecue al conteo vehicular previamente realizado, de los que el programa propone se opta por escoger arterial principal dado que es el más similar por el porcentaje de los camiones.

**Tabla 35. CBR% y valor k para pavimentos**

Clasificación (AASHTO)	Descripción	Clasificación Unificada (SUCS)	Densidad seca (kg/m³)	CBR (%)	K (pci)
<b>Suelos Granulares</b>					
A-1-a bien gradado	Grava Arena gruesa	GW	2000-2240	60-80	300-450
A-1-a mal gradado		GP	1920-2080	35-60	300-400
A-1-b		SW	1760-2080	20-40	200-400
A-3	Arena fina	SP	1680-1920	15-25	150-300
<b>Suelos A-2 (suelos con alto contenido de finos)</b>					
A-2-4 gravoso	Grava limosa	GM	2080-2320	40-80	300-500
A-2-5 gravoso	Grava areno limoso				
A-2-4 arenoso	Arena limosa	SM	1920-2160	20-40	300-400
A-2-5 arenoso	Arena gravo limoso				
A-2-6 gravoso	Grava arcillosa	GC	1920-2240	20-40	200-450
A-2-7 gravoso	Grava areno arcillosa				
A-2-6 arenoso	Arena arcillosa	SC	1680-2080	10-20	150-350
A-2-7 arenoso	Arena gravo arcillosa				
<b>Suelos Finos</b>					
A-4	Limo, Mezcla limo/arena/grava	ML, OL	1440-1680 1600-2000	4-8 5-15	25-165* 40-220*
A-5	Limo mezclado	MH	1280-1600	4-8	25-190*
A-6	Arcilla plástica	CL	1600-2000	5-15	25-255*
A-7-5	Arcilla elástica moderadamente plástica	CL, OL	1440-2000	4-15	25-215*
A-7-6	Arcilla elástica altamente plástica	CH, OH	1280-1760	3-5	40-220*

The screenshot shows the 'NIVEL DE PROYECTO' (Project Level) screen of the PavimentoDiseñador software. It features a navigation menu on the left with options like 'Casa', 'Nuevo diseño', 'Iniciar sesión', 'Recursos', and 'Soporte'. The main content area is titled 'Tipo De Proyecto' and includes a descriptive paragraph about traffic categories. Below the text is a table with columns for 'Categoría de tráfico', 'Descripción', 'Tráfico' (ADT, % Camiones, ADT\*\*), and 'Cargas máximas de ejes (kips)' (ejes individuales, Ejes en tándem). The 'Arterial principal' row is highlighted with a red box. To the right, there is a 'TRÁFICO' section with a table for 'EJE CARGA (kips)' and 'EJES 1000 CAMIONES'. A sidebar on the right contains 'Ayuda?' and 'RESUMEN' buttons.

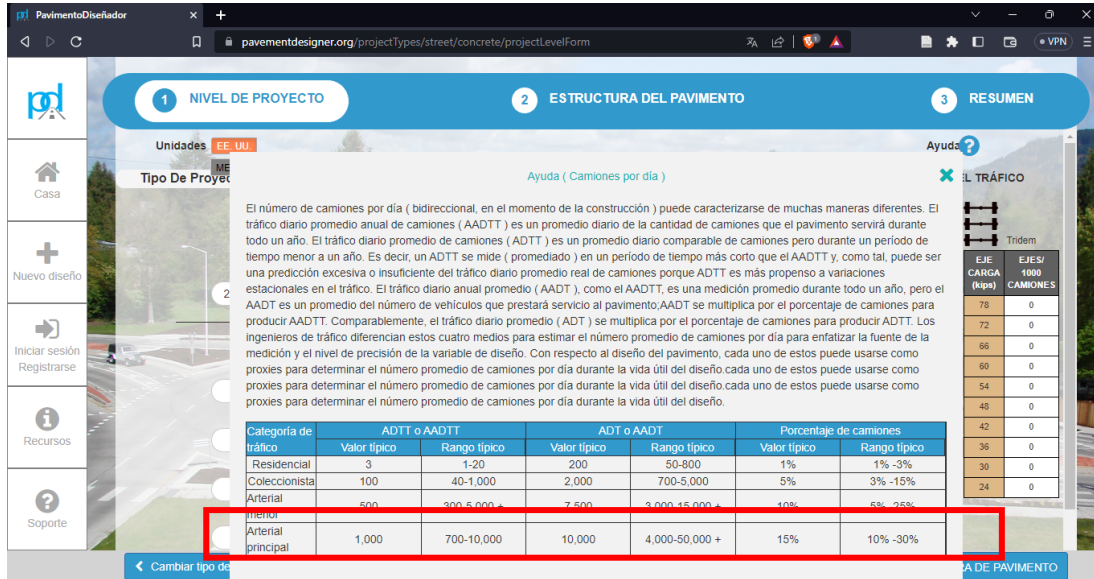
Categoría de tráfico	Descripción	Tráfico			Cargas máximas de ejes (kips)	
		ADT	% Camiones	ADT**	ejes individuales	Ejes en tándem
Residencial	Calle residenciales, caminos rurales y secundarios (bajo a medio *)	50-800	1% -3%	1-20	22	36
Coleccionista	Calle colectoras, caminos rurales y secundarios (alto *), calles arteriales y caminos primarios (bajo *)	700-5,000	3% -15%	40-1,000	26	44
Arterial menor	Calle arteriales y carreteras primarias (medio *), autopistas y interestatales urbanas y rurales (bajo a medio *)	3,000-15,000	5% -25%	300-5,000 +	30	52
Arterial principal	Calle arteriales, carreteras primarias, autopistas (alta *), interestatal urbano y rural (media a alta *)	4,000-50,000 +	10% -30%	700-10,000 +	34	60

\*Los descriptores alto, medio o bajo se refieren a los pesos relativos de las cargas por eje para el tipo de calle o carretera; es decir, "bajo" para una carretera interestatal rural representaría cargas más pesadas que "bajas" para una carretera secundaria.

\*\* Camiones: camiones de dos ejes y cuatro neumáticos excluidos.

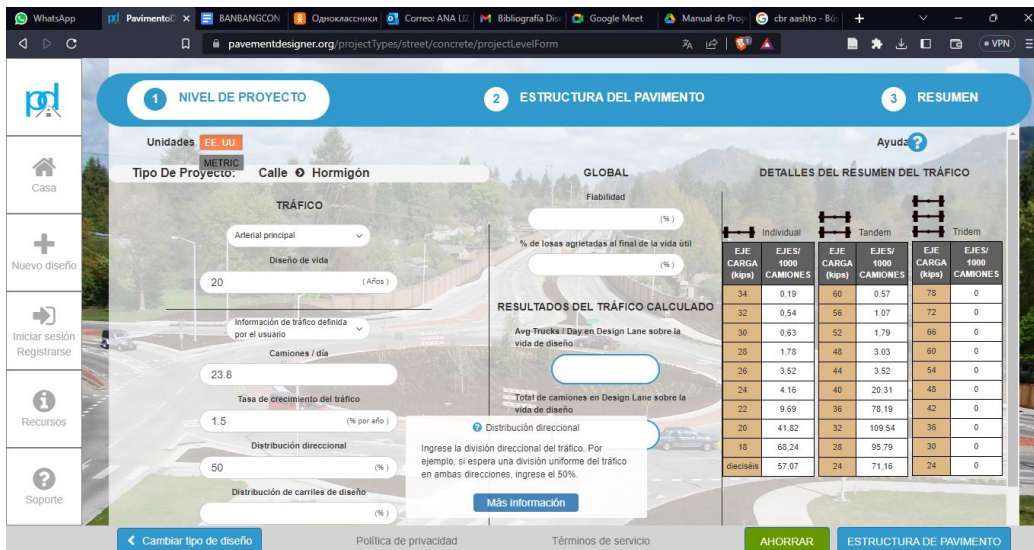
**Ilustración 61. Categoría de tráfico**

Al seleccionar el tipo de tráfico, se inserta el porcentaje total de los camiones transitados en la zona donde se realizó el conteo vehicular y como se mencionó anteriormente el tráfico es arterial principal por lo que porcentaje a insertar estará en un rango de 10%-30%.



**Ilustración 62. Proyección de camiones por día**

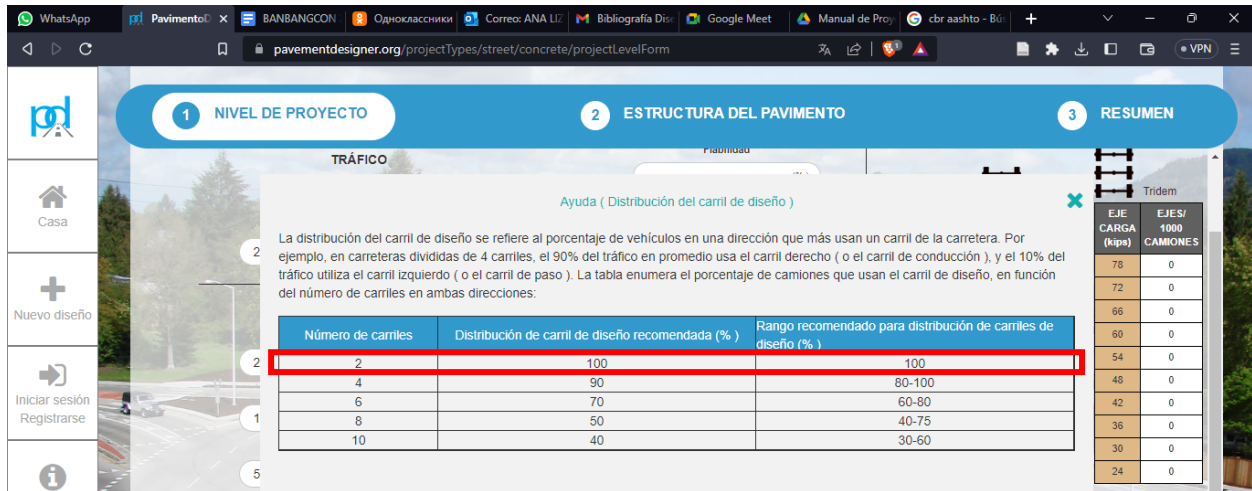
En cuanto a la tasa de crecimiento, existe un rango de 1%-3%, por lo que se optó por un 1.5% ya que es un municipio en desarrollo a ser una ciudad y para la distribución direccional se coloca 50% por default.



**Ilustración 63. Tasa de crecimiento del tráfico y distribución direccional**

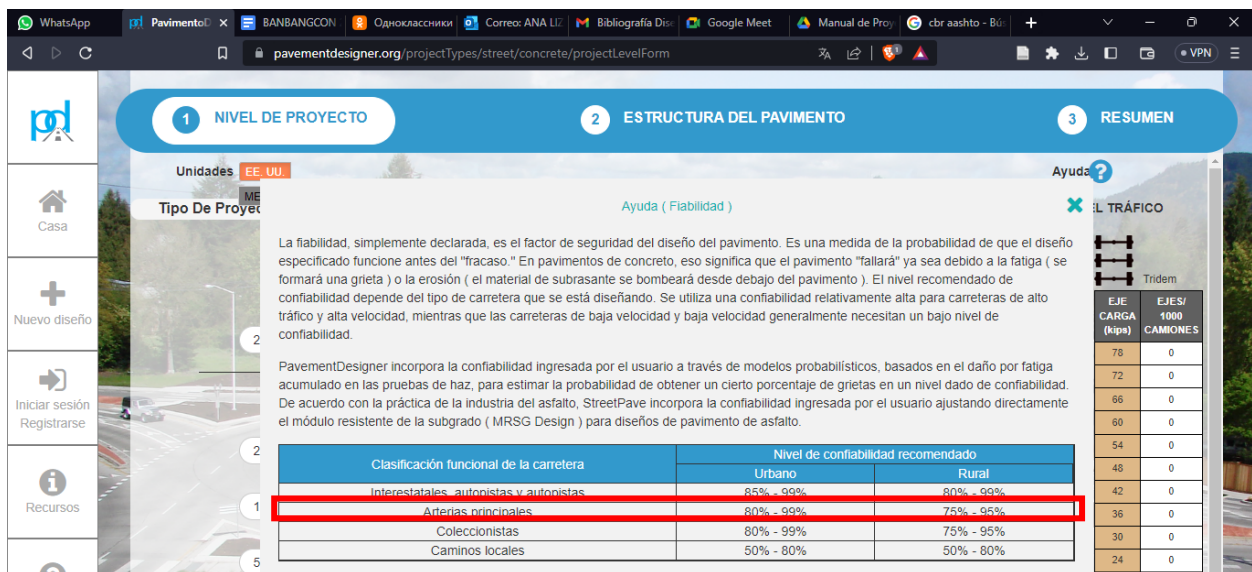


Para la distribución de carriles de diseño se coloca el porcentaje de acuerdo con los carriles que hay, en este caso son de dos carriles por lo que es 100%.



**Ilustración 64. Distribución de carril de diseño**

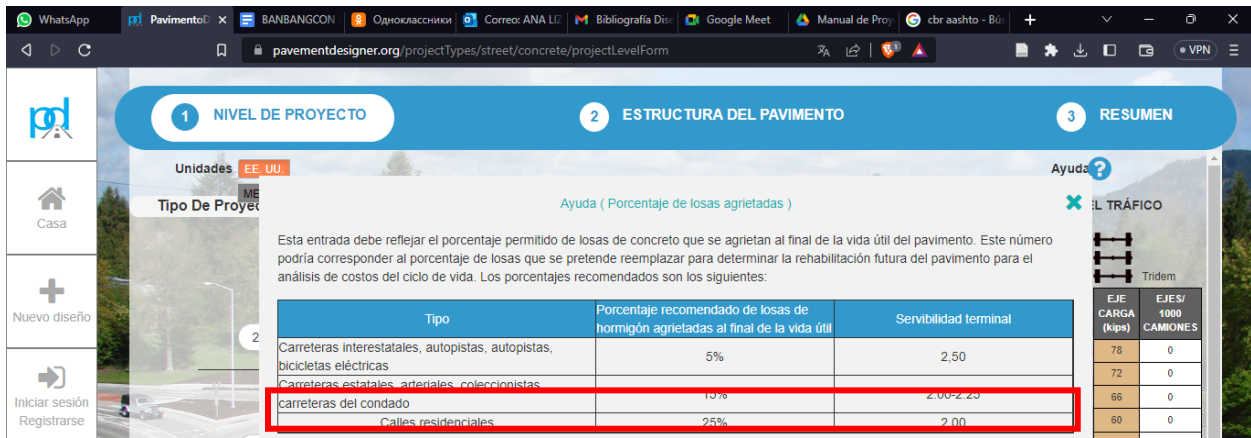
Para la fiabilidad del diseño, esta se escoge de acuerdo al tipo de tráfico seleccionado inicialmente y tomando en cuenta que la zona es rural, dado que aún se la como categoría de municipio.



**Ilustración 65. Elección de fiabilidad**

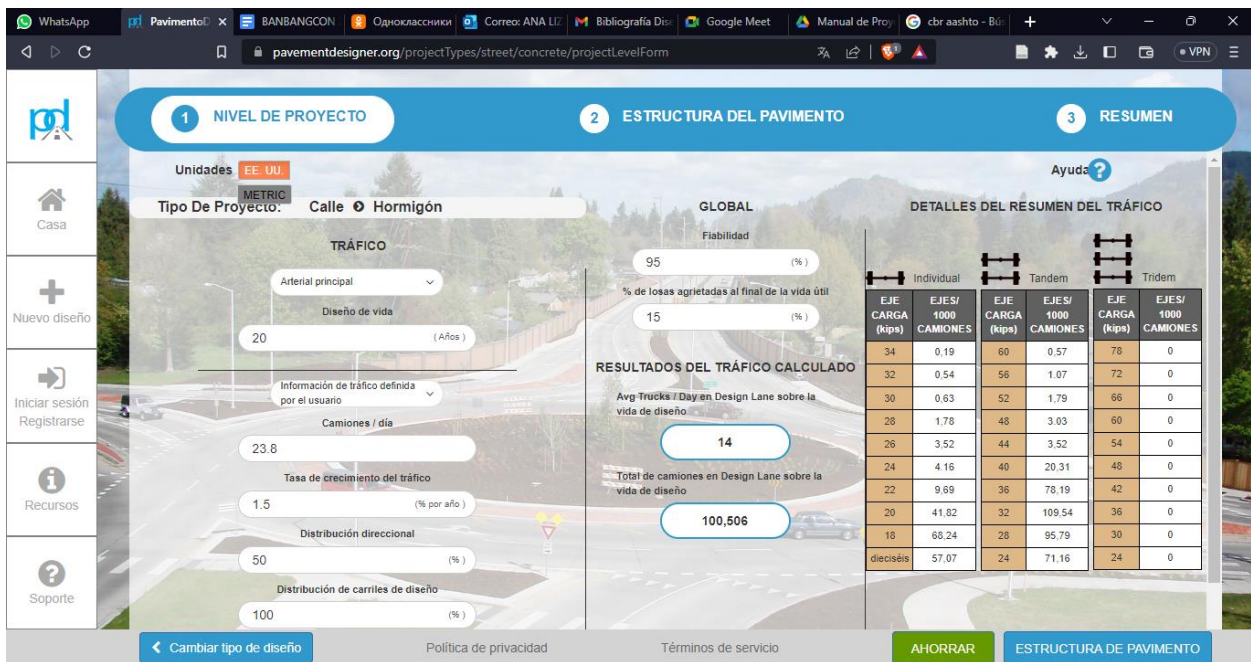
En cuanto al porcentaje de losas agrietadas se relaciona al tipo de tráfico que se escogió y al ser arterial su porcentaje es de 15% de agrietamiento por losa.





**Ilustración 66. % Agrietamiento por losa**

Al obtener los datos requeridos en la etapa uno del nivel de proyecto, el programa da un rango de camiones diarios y una proyección del total de camiones a lo largo de los 20 años de vida del pavimento.



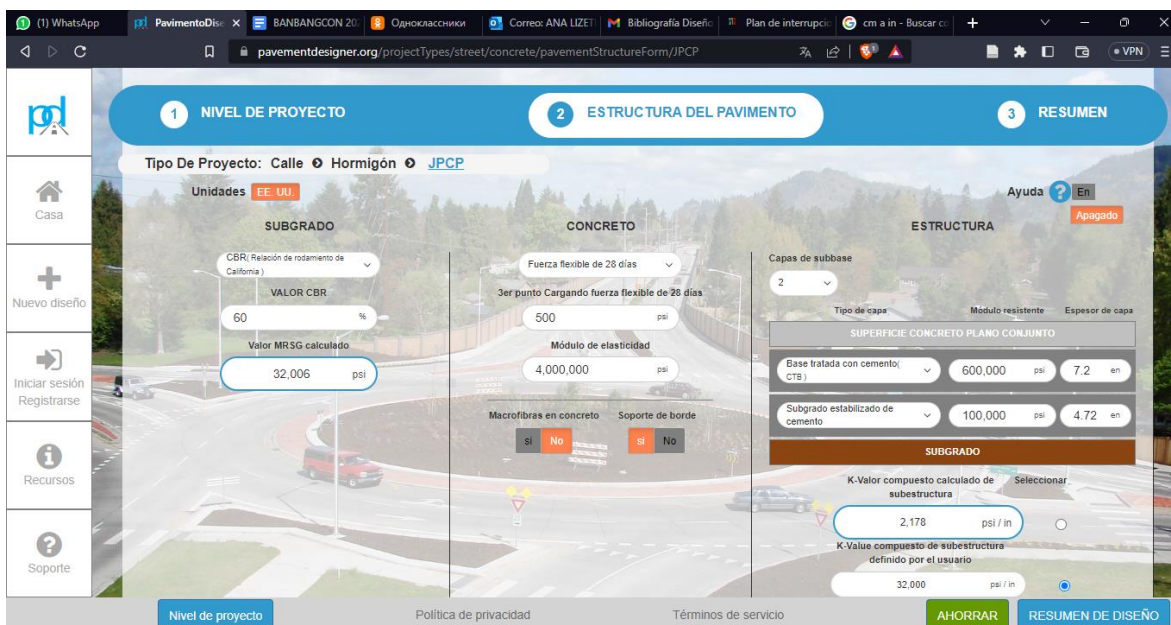
**Ilustración 67. Datos de la primera etapa, nivel de proyecto**

Para continuar con la siguiente etapa del diseño de pavimento, el cual es modelar la estructura del pavimento y se comienza con seleccionar el porcentaje de CBR de acuerdo con la selección del suelo con el agregado del cemento realizado previamente.



**Ilustración 68. Selección de %CBR**

Una vez se ingresa el valor del %CBR, el programa arroja los valores restantes del concreto y su módulo de elasticidad, en la sección de la estructura se desglosa la cantidad de capas subbase con su espesor y módulo resistente.



**Ilustración 69. Datos para la estructura del pavimento**

The screenshot displays the 'JOINT SPACING' analysis and guidance section of the PavementDesigner.org web application. The interface is divided into three main sections: PROJECT LEVEL, PAVEMENT STRUCTURE, and SUMMARY. The current view is under 'PAVEMENT STRUCTURE'.

**Project Level:** Street, Concrete, JPCP

**Calculated Minimum Thickness:** 6.86 in (Doweled), 6.86 in (Undoweled)

**Recommended Design Thickness:** 7.00 in (Doweled), 7.00 in (Undoweled)

**Maximum Joint Spacing:** 6 ft (Doweled), 6 ft (Undoweled)

**Analysis and Guidance:**

SENSITIVITY | CRACKING | EROSION | LOAD TRANSFER | **JOINT SPACING** | DOWELED | UNDOWELED

PavementDesigner does not include joint spacing as a design input variable. PavementDesigner calculates the recommended joint spacing as 5.25 times the radius of relative stiffness, which has been confirmed through field observations performed by ACPA across the U.S. to provide minimal risk of slab cracking in a variety of in situ conditions.

As an alternative, you may elect to determine joint spacing based on the ACPA formulas:

$$RL = T \cdot C_s$$

where:

- RL = Recommended length between joints (See Notes 1 and 2)
- T = Slab thickness (Either metric or English units)
- C<sub>s</sub> = Support constant:  
Use 24 for subgrades or granular bases.  
Use 21 for stabilized (cement or asphalt) bases

Notes:

- The spacing of transverse joints in plain (unreinforced) concrete pavement should not exceed 20 ft (6 m) for slabs less than 10 in. (250 mm) thick.
- A general rule-of-thumb requires that the transverse joint spacing should not exceed 150% of the longitudinal joint spacing.

You should always apply engineering judgment in selecting a joint spacing. This may include equally dividing your facility or lane geometry or require matching an existing or adjacent joint pattern. Longer joint spacings than are recommended by PavementDesigner may be acceptable if local experience indicates good performance will result. Shorter lengths than recommended by PavementDesigner may further reduce the risk of transverse cracking slightly but may also increase construction and joint maintenance costs. Be aware that in some countries slab dimensions may also be patented.

At the bottom of the page, there are buttons for 'PAVEMENT STRUCTURE', 'Privacy Policy', 'Terms of Service', 'SAVE', and 'GENERATE REPORT'.

**Ilustración 70. Juntas para el pavimento**

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 5.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Con ayuda de la estación total se realizó el levantamiento topográfico con el que se recopilaron los datos de dimensiones geométricas de la rotonda y rotulado cada punto a detalle de la rotonda.

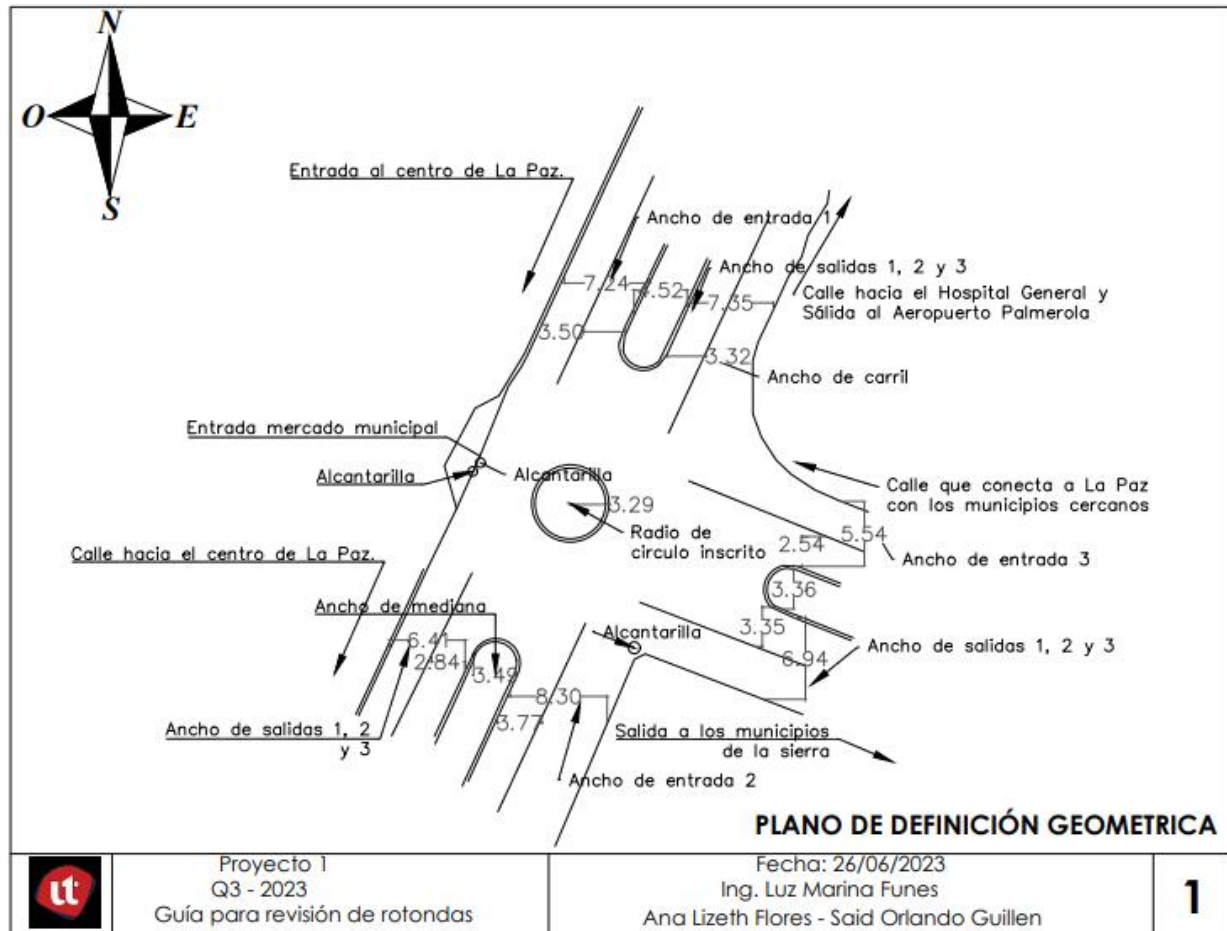


Ilustración 71. Plano de definición geométrica

### 5.2. ANÁLISIS DE ROTONDA "MONUMENTO EL SOLDADO"

Con los datos obtenidos de las mediciones de todos los accesos de cada rotonda se obtuvieron las capacidades de cada acceso de esta, las cuales se compararon con la capacidad de entrecruzamiento por cada entrada en unidades de vehículos por día.



**Tabla 36. Comparación entre capacidades rotonda "Monumento El Soldado"**

Capacidad de entrada			
No. De Entrada	Qe (Veh/día)	Qp (Veh/día)	Qrotonda (Veh/día)
1	2,470	2,051	6,162
2	2,529	2,432	6,646
3	2,756	2,351	4,134

La rotonda de estudio se clasifica como una rotonda mediana normal de 3 accesos. Para comparar las capacidades obtenidas se utilizó el conteo vehicular, obteniendo valores que serán el resultado del funcionamiento de la rotonda.

Tomando la comparación de capacidades, se observa que el primer, segundo y tercer acceso de la rotonda, la capacidad de entrecruzamiento es menor a la capacidad de entrada en sus intersecciones, en el diseño de rotondas medianas se espera que la capacidad de entrecruzamiento sea mayor a la capacidad de entrada. Esto significa que la rotonda debe de ser capaz de permitir que el tráfico vehicular fluya suavemente tanto desde las vías de entrada hacia la rotonda como desde la rotonda a las salidas. Destacando que la capacidad de entrecruzamiento se refiere a la cantidad de vehículos que pueden pasar a través de los puntos de intersección dentro de la rotonda, mientras que la capacidad de entrada se refiere a la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la rotonda desde las vías de acceso. Se espera que la capacidad de entrecruzamiento sea mayor para permitir que los vehículos de tránsito en circulación tengan prioridad y fluyan sin interrupciones.

En consideración de lo mencionado anteriormente, la rotonda "Monumento El Soldado" no se considera eficiente al no cumplir con la capacidad de vehículos por día en sus tres accesos, actualmente la capacidad de entrada es mayor a la capacidad calculada de diseño de la rotonda, ya que la cantidad de vehículos que transitan por la rotonda son menores a la capacidad calculada mediante la fórmula de Wardrop, ocasionando que esta sea una rotonda congestionada.



**Ilustración 72. Capacidades de diseño en rotonda Monumento El Soldado**

Complementando la consideración anterior, se elaboró el cálculo de promedio de vehículos que entran a la rotonda para posteriormente calcular la proyección a 20 años y analizar los resultados:

$$\kappa = \frac{395 + 426 + 265}{3}$$

$$\kappa = 362 \text{ Veh/h}$$

Promedio total de vehículos que entran a la rotonda por hora.

$$\kappa = \frac{6,162 + 6,646 + 4,134}{3}$$

$$\kappa = 5,648 \text{ Ve/día}$$

Cálculo de promedio total de vehículos que entran a la rotonda por día.

Se elaboró el cálculo de la proyección a 20 años:

$$362 * (1 + 0.114)^{20} = 3,136.26 \text{ Veh/h}$$

$$5,648 * (1 + 0.114)^{20} = 48,933 \text{ Veh/día}$$

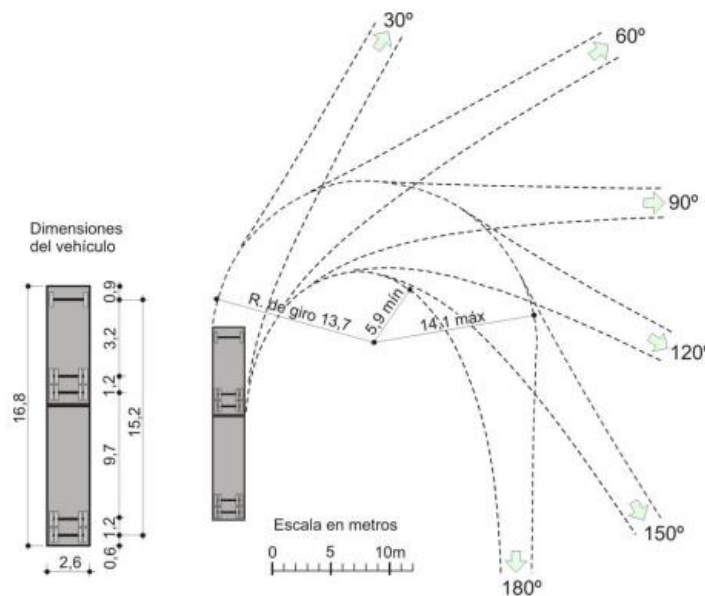
### 5.2.1. RESULTADO Y ANÁLISIS DEL CÁLCULO DE PROYECCIÓN A 20 AÑOS.

Resumiendo, los resultados de capacidad de entrecruzamiento por entrada de la rotonda, se planteó una tabla con la comparación a 20 años:

**Tabla 37. Comparación de entrecruzamiento y proyección a 20 años**

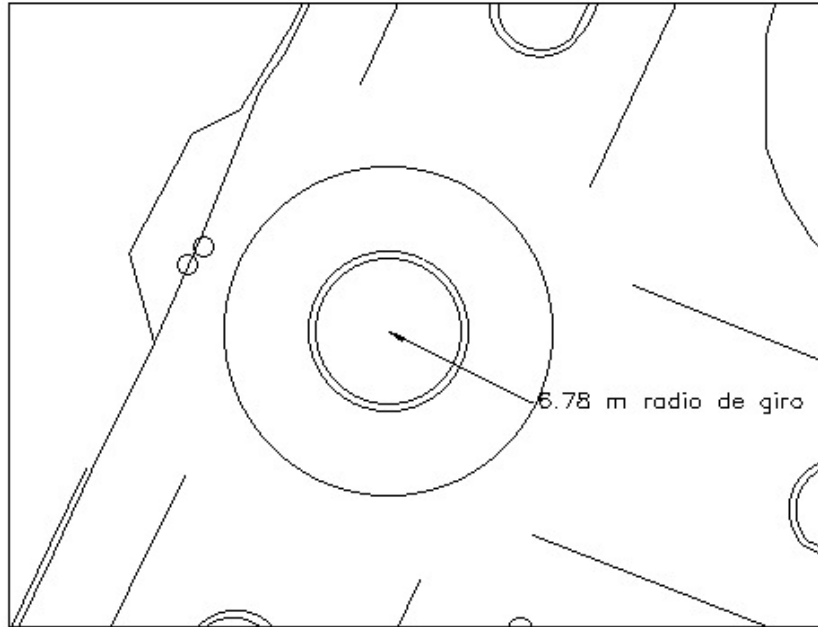
Comparación a 20 años	
3,137 Veh/h >	2,051 Veh/h
	2,432 Veh/h
	2,351 Veh/h

En análisis de la proyección a 20 años en comparación a la capacidad de diseño, se observa un incremento significativo de vehículos con respecto a la actualidad, demostrando la nula eficiencia de esta Rotonda en el presente y a futuro en caso de que no se solucione el congestionamiento vehicular de La Paz, agregando parámetros como la eficiencia del espacio, lo cual no utiliza el espacio vial disponible de manera óptima.



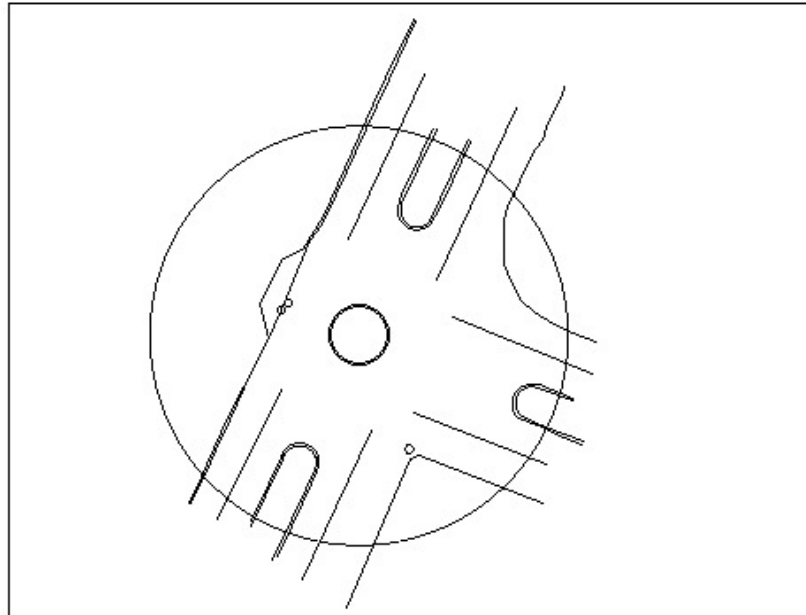
**Ilustración 73. Mínima trayectoria para vehículo de diseño WB-15**

En cuanto a las verificaciones de los mínimos radios de giro para un cabezal semirremolque WB-15 y sus respectivas trayectorias de maniobra, se requiere de un radio de giro de 14.1 m, escogiendo el giro de 180° considerando la maniobra de retorno, la rotonda actual cuenta con 13 m de radio de giro, agregando que debido a su irregularidad y su ineficiencia en la utilización de todo el espacio vial, su radio mínimo de giro el cual está situado en la entrada 1 es de 6.78 m como se muestra en la siguiente imagen ilustrativa, comparado con 14.1 m requeridos mostrando nuevamente un no cumplimiento por parte de la rotonda actual.



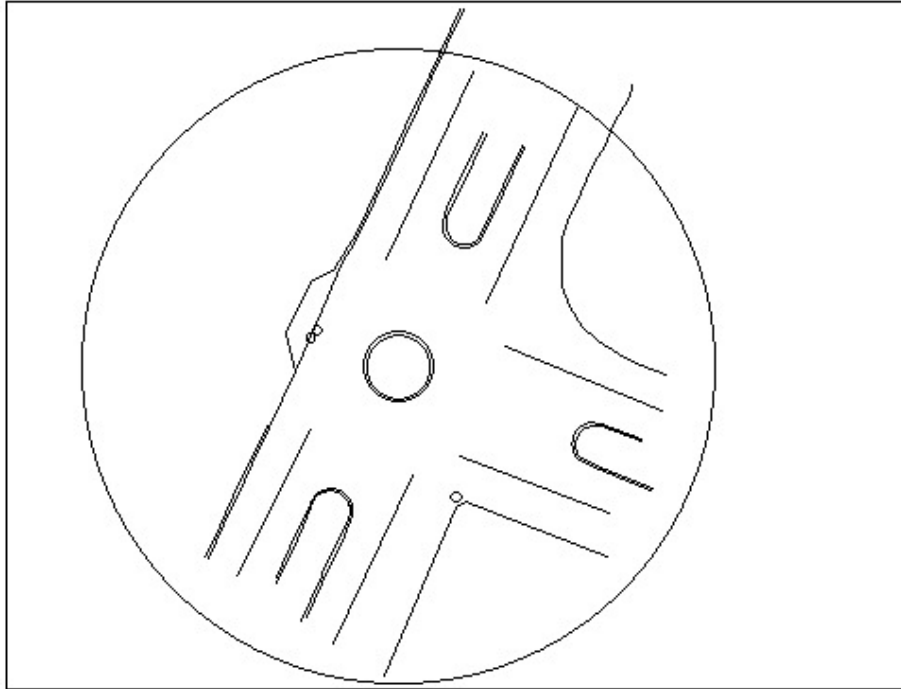
**Ilustración 74. Menor radio de giro de la rotonda "Monumento El Soldado"**

Los diámetros de círculo inscrito provistos de la rotonda son puestos a prueba en la verificación de los diámetros requeridos para una rotonda urbana multicarril con entradas de dos carriles.



**Ilustración 75. Representación de diámetro de 45 m en planta de espacio vial**

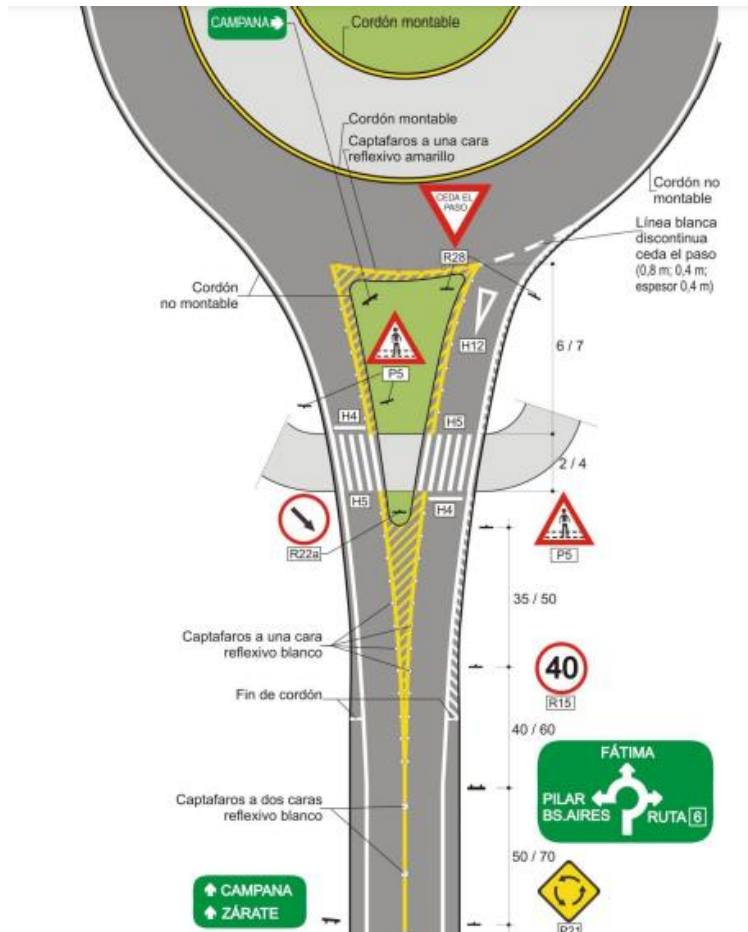




**Ilustración 76. Representación de diámetro de 60 m en planta de espacio vial**

Se demuestra nuevamente el no cumplimiento en cuanto a espacios viales requeridos para el diseño de una rotonda urbana multicarril con entradas de dos carriles.

La verificación de señales requeridas en una rotonda mediana normal como lo es la rotonda de estudio se elabora con el uso de normas como ser la SIECA, se trata de señales clave como las reglamentarias de CEDA EL PASO y la de prevención CEDA EL PASO A XX METROS. En este caso la rotonda no tiene ninguna señal de tránsito y señales de aproximación, no contiene señales para el tránsito peatonal como ser pasos cebra con isletas partidoras, lo cual no cumple en la verificación de seguridad para el tránsito peatonal, consideración importante debido a la ubicación de la rotonda actual con su alto flujo de tránsito peatonal; no contiene señales de flujo peatonal, señales de orientación, señales de velocidad máxima y señalización horizontal en general.



**Ilustración 77. Señalización en Rotonda Mediana normal**

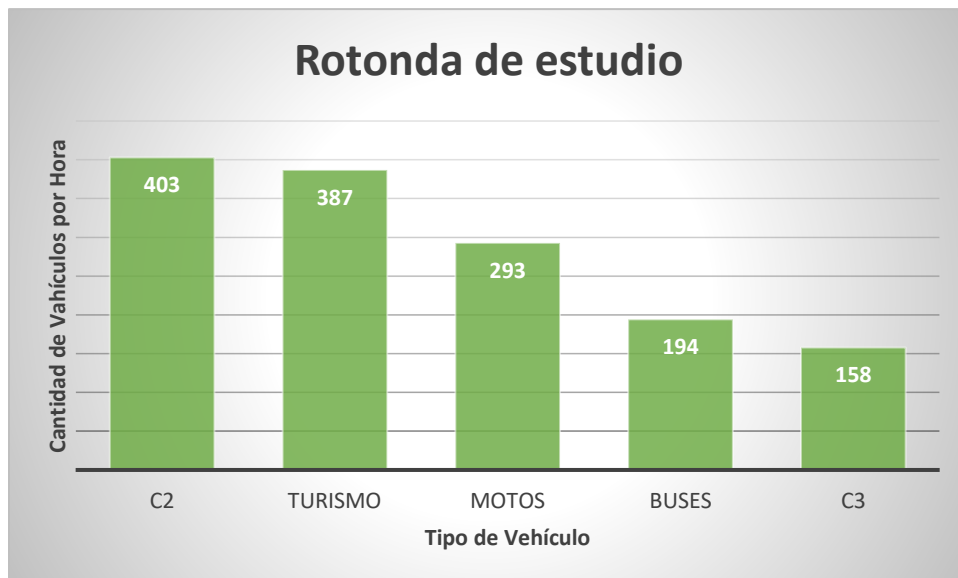
En la imagen se puede observar la señalización requerida para una rotonda mediana normal, contando con señalización reglamentaria y preventiva, obteniendo un no cumplimiento por parte de la rotonda actual.

La iluminación, otro parámetro ligado a la seguridad vial como lo son las señalizaciones en general, normalmente las rotondas deberían de iluminarse como un requerimiento obligatorio de seguridad esencial según las normas y especificaciones utilizadas. Los postes de luz representativos en la rotonda son 3, de los cuales solo 2 están en función y solamente 1 especialmente en la zona de conflicto.



**Ilustración 78. Iluminación representativa en una rotonda mediana de 4 accesos**

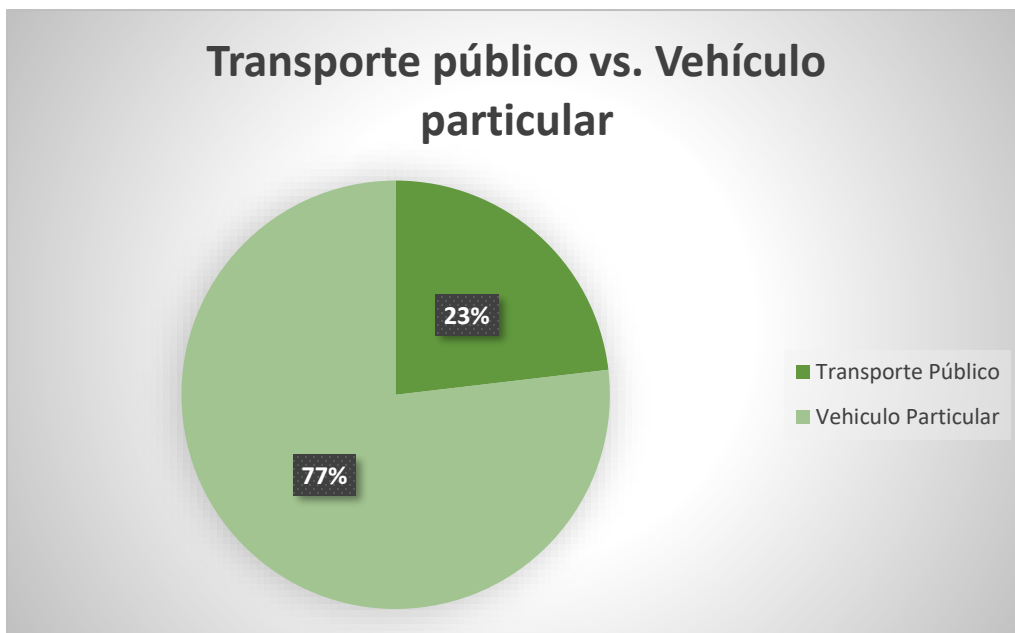
La rotonda presenta inseguridad en cuanto a los parámetros verificados de cumplimiento, se demuestra que cuenta con nula señalización y una ineficiente iluminación en la zona de conflicto. En los conteos vehiculares que se realizaron para la comparación del flujo vehicular que pasa actualmente en esta rotonda con la capacidad calculada según la geometría de esta misma, se obtuvieron los siguientes datos.



**GRÁFICA 6. Gráfico de tráfico vehicular según su tipo**



**GRÁFICA 7. Gráfico de tráfico vehicular según su tipo**



**GRÁFICA 8. Porcentaje de tránsito vehicular de transporte público vs. vehículo particular**

Existe un mal uso de la rotonda en sus giros en el derecho de vía, asumen llevar la preferencia por ley del más fuerte, hay carros que asumen la calle que dirige hacia el hospital o la calle que dirige hacia Barrio la Trinidad tiene preferencia de villa. Otro punto de observación es que los taxistas asumen que al ser una calle amplia tienen derecho de estacionarse en medio de la rotonda y se estacionan un estimado un taxi cada cinco minutos en los giros de la rotonda. Se observó que se necesita más espacio para el tránsito de unidades T2-S2 (WB-15) los cuales son los más

grandes transitando en la zona, ya que en reiteradas ocasiones no se completa el giro en un movimiento. Se observó varios carros a punto de colisionar por el mal uso de vías a causa de la ausencia de señalamiento, en reiteradas ocasiones carros rebasando dentro de la rotonda, usuarios con sus bicicletas cruzando en medio de la rotonda sin respetar ninguna dirección.

### 5.2.2. ROTONDA "MONUMENTO EL SOLDADO" VS. ROTONDA DE CANTARRANAS

La rotonda de Cantarranas se diseñó en el año 2019, la cual se realizó con el Manual Centroamericano de Carreteras y normas de la SIECA, la cual cumplió en flujo vehicular, dimensiones geométricas, capacidad de entrecruzamiento, capacidad de rotonda, etc. Esto para comparar el diseño de una rotonda la cual cumple bajo las normativas vigentes versus la rotonda "El Soldado" que no cumple.

**Tabla 38. Rotonda "Monumento El Soldado" vs. Rotonda de Cantarranas**

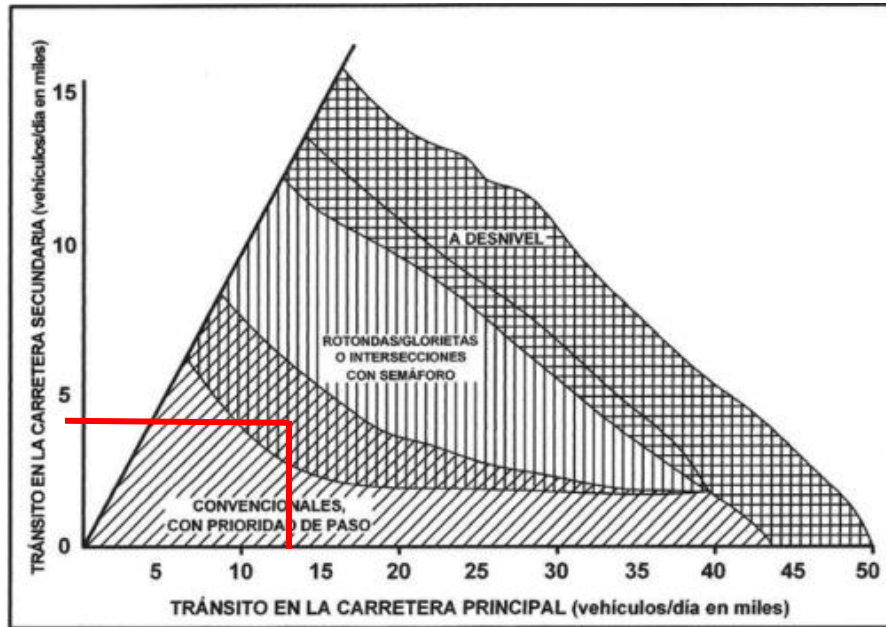
Comparación de sus elementos de diseño		
Elemento	Rotonda "El Soldado"	Rotonda Cantarranas
Radios de entrada	6.65 m	6.5 m
Radios de salida	7 m	14 m
Diámetro inscrito	3.3 m	28 m
Ancho de carril de circulación interno	9.6 m	3.6 m
Ancho montable	1.5 m	1.5 m
Periodo de diseño	20 años	20 años
Vehículos que entrecruzan	362 veh/hr	179 veh/hr
Ancho de calzada circular	6.6 m	4.50 m
Capacidad de entrada	2267.95 veh/h	883 veh/h
Capacidad de entrecruzamiento	3136.26 veh/h	1304 veh/hr
Angulo de entrada	11°	23°

El manual de la SIECA no brinda una explicación específica de las fórmulas que son para la capacidad de entrar y capacidad de rotonda, las cuales determinan la eficiencia de la rotonda como tal.

### 5.3. SELECCIÓN DE INTERSECCIÓN COMO SOLUCIÓN VIAL

Para la selección de una intersección que se adecue al flujo vehicular existente, es lo primero que se verifica en los diferentes tipos de intersecciones, el Manual Centroamericano de Carreteras

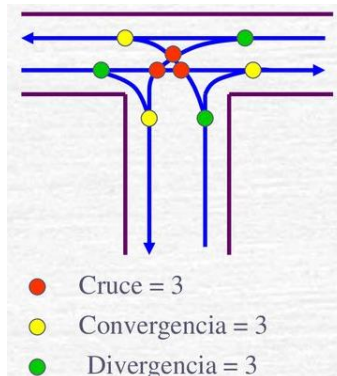
indica que debe de haber un flujo vehicular por entrada que supere los 300 vehículos por entrada, pero que no sobrepase los 600 vehículos. El siguiente diagrama indica la intersección adecuada en relación con el flujo vehicular por calle principal/secundaria.



**GRÁFICA 9. Tipos de intersecciones para diferentes volúmenes de tránsito**

Fuente: (SIECA, 2011)

El trazado de los volúmenes se definió al establecer la entrada uno y dos como calles principales el cual arrojó un valor de 12, 808 vehículos diarios y la última entrada es de 4, 134 vehículos diarios, esto marcó una intersección semaforizada, la cual es la ideal como solución vial para la zona de conflicto, la intersección se vería de la siguiente manera.



**Ilustración 79. Intersección semaforizada tipo T**

Al no existir una rotonda, esta resultaría una intersección tipo T la cual como se mencionó anteriormente por su flujo vehicular su intersección sería semaforizada, tal como lo indica la imagen anterior marca la cantidad de cruces, convergencias y divergencias.

La distancia de visibilidad hacia la izquierda de la entrada para un diámetro de círculo inscrito menor a 40 m debe de ser en toda la intersección según la gráfica. Selección de intersección como solución vial obteniendo un no cumplimiento en la rotonda actual.

#### **5.4. ANÁLISIS DEL SUELO**

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría y límites de Atterberg, se procede a clasificar ambas muestras de suelos de acuerdo con el índice de plasticidad obtenido y con el porcentaje retenido en el tamiz #200 se podrá realizar esta sección.

##### 5.4.1. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Para la clasificación del suelo se consideró la norma AASHTO, dado el tipo de diseño que conlleva este proyecto.

###### *5.4.1.1. Relleno de balasto*

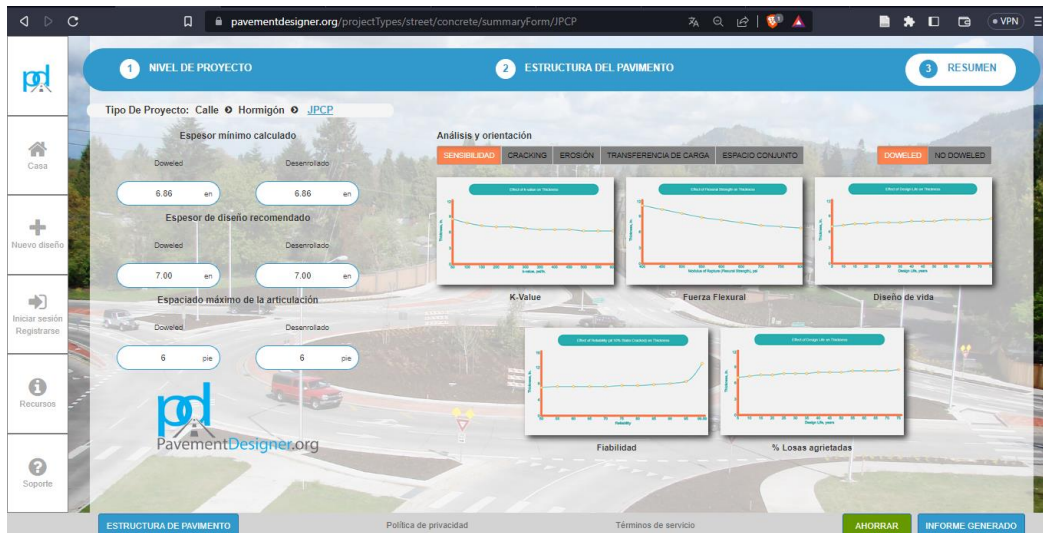
Según los resultados obtenidos en el ensayo de granulometría, menos del 35% total de la muestra paso la malla #200 por lo que se utiliza la tabla para materiales granulares para clasificar el suelo según norma AASHTO y de acuerdo con los límites de Atterberg el suelo cumple con los parámetros para un suelo del grupo A-1-b, con un estado de consistencia limo arcilloso con una calidad de excelente a buena.

###### *5.4.1.2. Suelo natural*

De la misma forma que se describe en la sección anterior y dado que el porcentaje de pase de la malla #200 es menor al 35%, indica que pertenece al mismo grupo de suelo, o sea A-1-b, con un estado de consistencia limo arcilloso y calidad de excelente a buena.

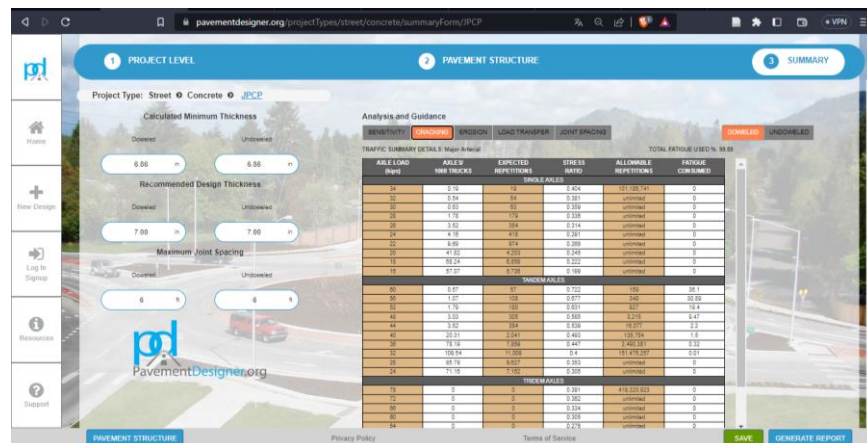
## 5.5. DISEÑO DE PAVIMENTO

El resultado del diseño de pavimento fue el siguiente donde el programa desglosa el diseño en la sensibilidad, agrietamiento, erosión, transferencia de carga y espacio del conjunto. El cual podemos observar diferentes diagramas donde se muestra su valor K, fuerza flexible, diseño de vida, fiabilidad y el % de losa de agrietamiento que el pavimento tendrá de acuerdo con la sensibilidad del pavimento.



**Ilustración 80. Sensibilidad del diseño de pavimento**

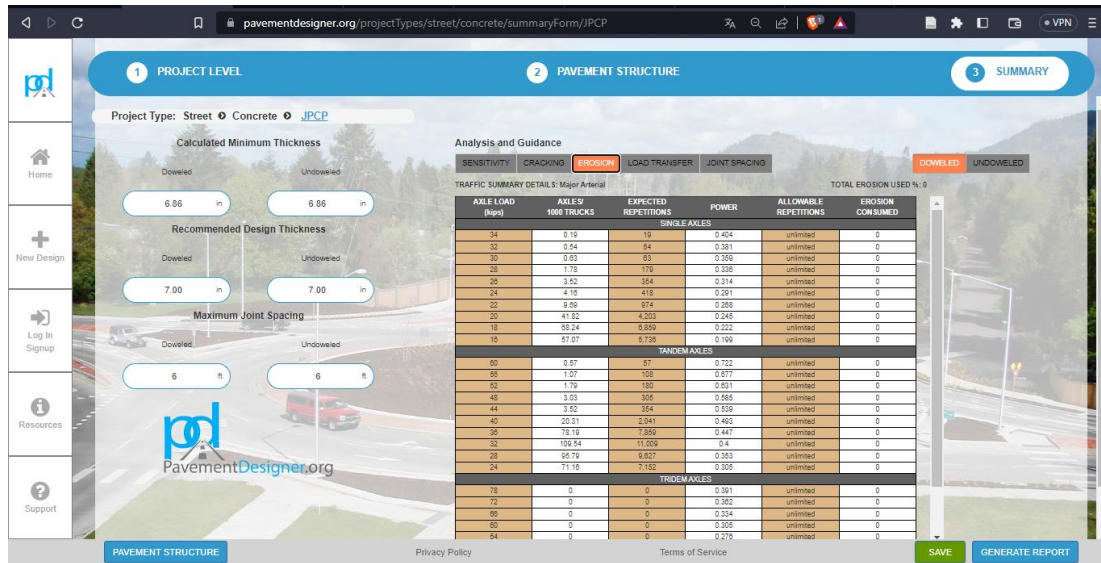
En cuanto al agrietamiento del pavimento, se observa los rangos de acuerdo con la carga por camiones de diseño y la fatiga que este tendrá con respecto los años de vida que el pavimento fue diseñado.



**Ilustración 81. Rangos de agrietamiento del diseño de pavimento**

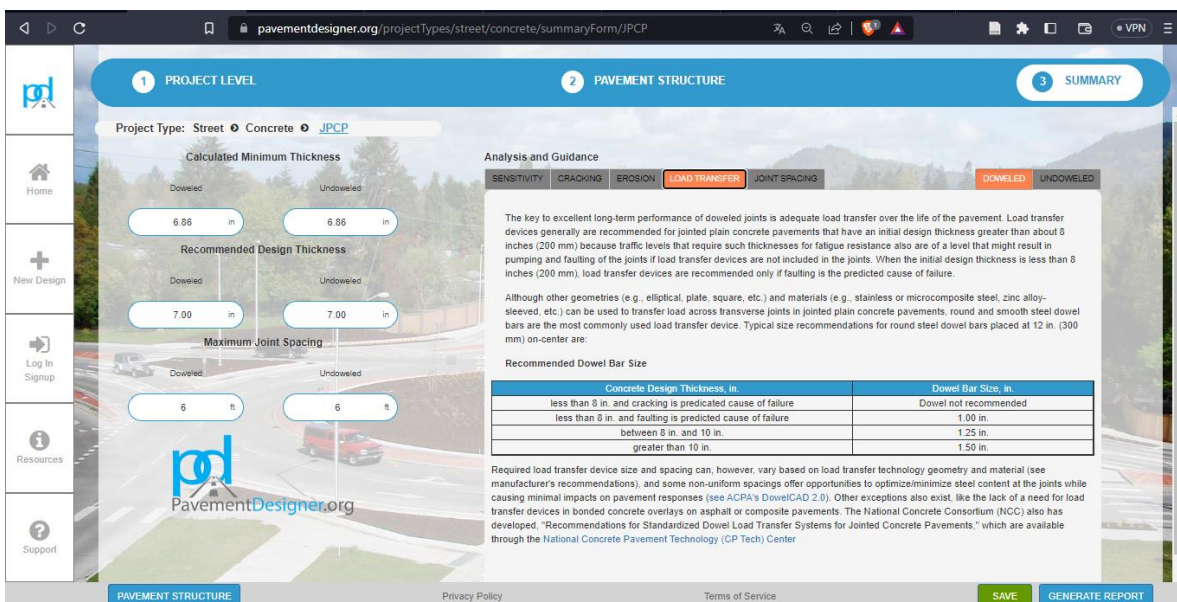


A continuación, se presentan los rangos de erosión de acuerdo con la carga por camiones de diseño, es importante destacar que tiene muchas repeticiones permitidas.



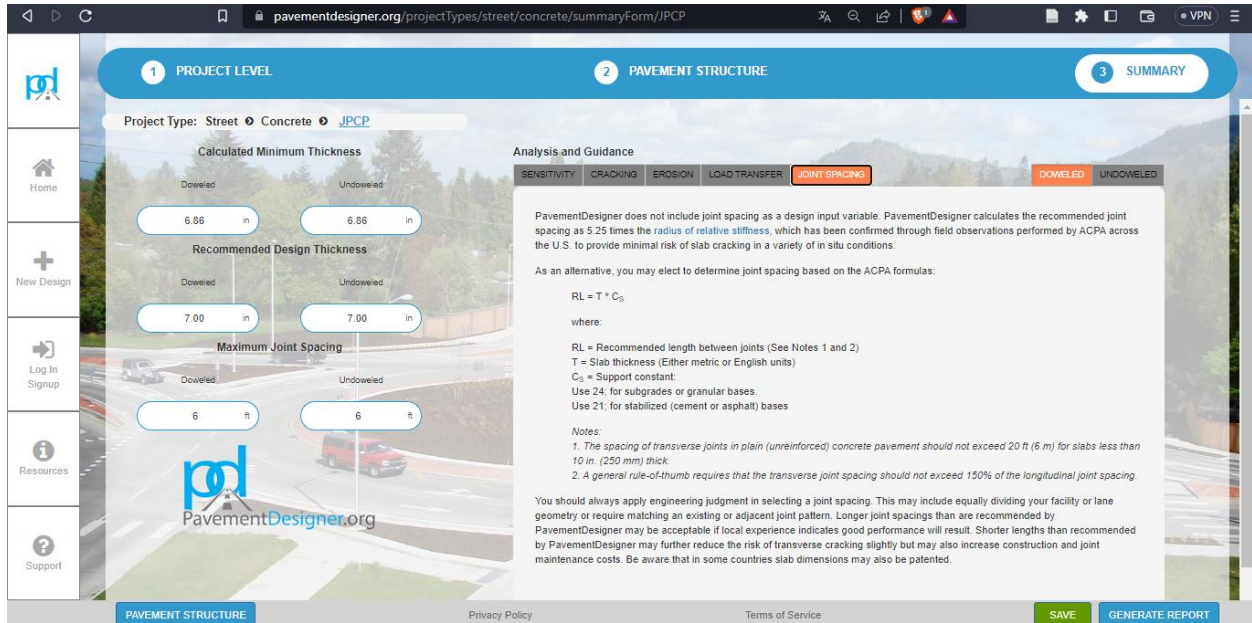
**Ilustración 82. Erosión por diseño de pavimento realizado**

Para las cargas transferidas se desglosan de acuerdo con el tipo de geometría, esto para transferir carga a través de juntas transversales en pavimentos de concreto simple articulado, las barras pasadoras de acero redondas y lisas son el dispositivo de transferencia de carga más comúnmente utilizado. Esta sección también indica los pasadores que no son permitidos.



**Ilustración 83. Cargas transferidas por sección geométrica**

El espaciamiento de las juntas se basa en las fórmulas mostradas en el resultado del programa del diseño de pavimento. Indica que el espaciado de juntas recomendado es de 5.25 veces el radio de rigidez relativa, este dato lo proporciona para un riesgo mínimo de agrietamiento de la losa en una variedad de condiciones in situ.



**Ilustración 84. Espaciamiento de las juntas**

El resultado del diseño del pavimento es el siguiente:

**SUBBASE**

User-Defined Composite K-Value of Substructure: 32000 psi/in

Tipo de capa	Módulo resistente	Espesor de capa
<b>SUPERFICIE CONCRETO PLANO CONJUNTO</b>		
Base tratada con cemento( CTB )	600,000 psi	7.2 en
Subgrado estabilizado de cemento	100,000 psi	4.72 en
<b>SUBGRADO</b>		

**Ilustración 85. Resultado del diseño del pavimento rígido**

## VI. CONCLUSIONES

Se ha determinado que la rotonda "Monumento El Soldado" requiere un diámetro de 45 a 60 metros típico de círculo inscrito, el cual no aplicó con un diámetro de círculo inscrito de 26.12 metros, otra de sus consideraciones es el flujo vehicular el cual debe ser mayor a 25, 000 vehículos por día.

1. Se ha determinado que las consideraciones para el diseño de una rotonda son verificaciones como el diámetro típico inscrito en consideración a volúmenes de tránsito diario, radios mínimos de giro, anchos de giro requeridos, distancia de visibilidad, isletas direccionales, iluminación y señales de tránsito.
2. Se ha determinado que las consideraciones de diseño para las vías de acceso a las rotondas, la pendiente de los accesos debe superar el 3% al ramal del triángulo visual, reducir las velocidades de aproximación de los vehículos mediante la provisión de una adecuada deflexión en cada una de sus vías de acceso, evitar puntos de estrechamiento en accesos, entradas y salida.
3. Se ha determinado que las rotondas que pueden ser utilizadas en zonas urbanas son, las rotondas normales de acuerdo con el espacio vial y las minirotondas.
4. Se ha realizado un levantamiento topográfico en el que se recopilieron datos de las aproximaciones y puntos de interés. Los datos más relevantes fueron los anchos de calle 7.24 metros, radios de giro 6.78 metros y ángulos de entrada de 11°. Se encontró irregularidad en la geometría del diámetro de círculo inscrito y las dimensiones de la calzada.
5. Se ha realizado un conteo vehicular en las horas pico desarrollado de manera manual, el vehículo más transitado es un C2. El 23% del transporte general pertenece al transporte público, son 1, 086 vehículos por hora los que ingresan a la rotonda. El flujo vehicular por capacidad promedio por entrada es de 2, 585 vehículos por día, el flujo vehicular por capacidad de entrecruzamiento es de 2, 278 vehículos por día y la demanda de la rotonda actual el volumen es de 5, 648 vehículos por día en promedio.

6. Se ha determinado mediante ensayos de granulometría y límites de Atterberg, según la tabla de la norma AASHTO es un suelo tipo A-1-b. Estos ensayos se usaron para el mejoramiento del suelo para reducir su índice de plasticidad, el cual redujo 28%.
7. Se ha diseñado el pavimento rígido en el programa Pavement Designer este indica 185 mm de espesor de cemento y una base tratada de 120 mm.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Lograr el seguimiento de las normas establecidas por los manuales como guía principal en el diseño constructivo y asegurar que cada parámetro de diseño cumpla para que tenga el funcionamiento que se espera en una rotonda.
2. Realizar una indagación en otros manuales de carreteras más actualizados, en específico los utilizados en países latinoamericanos.
3. Evitar el uso de las rotondas tipo glorietas en zonas urbanas.
4. Lograr un mejor aprovechamiento del espacio vial distribuyendo las medidas y se procure que las medidas sean homogéneas de acuerdo con el área; en las entradas con isletas direccionales aplicar ensanchamientos.
5. Realizar un conteo de tránsito peatonal para un estudio óptimo del tránsito, tener una mejor ubicación para transporte público para tener un mejor orden vial, paradas que ellos realizan en una de las vías de la calle obstaculizan por tiempos prolongados el flujo vial.
6. Realizar ensayos para el mejoramiento del suelo con otros estabilizantes, la muestra del suelo natural es limo arcilloso.
7. Indagar de otros programas de diseño en pavimentos rígidos, con datos de otras pruebas de laboratorio que sean más exactas.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (1993). Obtenido de <https://transportation.org/>

ASCE. (2010). Obtenido de <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockey=0173148>

ASTM . (2015). Obtenido de <https://ensayosdelaboratoriosuelos.files.wordpress.com/2015/12/traduccic3b3n-astm-d4318.pdf>

biodic. (2020). *BioDic*. Obtenido de <https://www.biodic.net/palabra/radio-de-giro/>

Boiero, A. (12 de Agosto de 2020). *goe-webonline.com*. Obtenido de <https://goe-webonline.com/el-sistema-de-clasificacion-de-suelos-aashto/>

BOWLES. (1988). En J. E. Bowles, *foundation analysis and design*.

Calles, M. d. (2019). *Diseño Vial para ciudades Mexicanas* .

Calo, D. H. (2012). Obtenido de <https://ficem.org/CIC-descargas/argentina/Diseno-de-pavimentos-rigidos.pdf>

Carreteros. (2016). *carreteros.org*. Obtenido de [http://www.carreteros.org/normativa/trazado/31ic\\_2016/apartados/glosario.htm#:~:text=CALZADA%3A%20Parte%20de%20la%20carretera,de%20veh%C3%ADculos%20en%20circunstancias%20ordinarias](http://www.carreteros.org/normativa/trazado/31ic_2016/apartados/glosario.htm#:~:text=CALZADA%3A%20Parte%20de%20la%20carretera,de%20veh%C3%ADculos%20en%20circunstancias%20ordinarias).

CDPR. (2003). *catalogo de diseño de pavimentos rigidos de la pca*.

Céspedes, J. (2015). *sribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/315374278/Alineamiento-Horizontal#>

Cormac, J. M. (2006). *Portal UCOL*. Obtenido de <https://portal.ucol.mx/fic/topo05.htm#:~:text=La%20topograf%C3%ADa%20es%20la%20ciencia,de%20distancias%2C%20direcciones%20y%20elevaciones>.

Correa, M. (2021). *Manual de diseño de vias urbanas*.

Dass, B. (Septiembre de 2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson. Obtenido de [https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos\\_de\\_Ingenieria\\_Geotecnica\\_Braja\\_M\\_Das](https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das)

DefiniciónABC. (s.f.). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/libreta.php>

Delgado, M. (25 de Enero de 2021). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/510614649/RAMPAS-ENTRECRUZAMIENTO-E-INTERSECCIONES#>

DNVT. (27 de Diciembre de 2005). *TSC GOBIERNO DE HONDURAS*. Obtenido de <https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Ley-de-Transito.pdf>

E. M. (26 de Mayo de 2015). *elnortecastilla.es*. Obtenido de <https://www.elnortedecastilla.es/tecnologia/investigacion/201505/26/semaforos-faciles-arreglar-para-20150526170113-rc.html>

Facultad de Ingeniería UNITEC. (s.f.). Obtenido de <https://www.unitec.edu/facultad/ingenieria>

FAO. (7 de Enero de 2023). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FHWA. (2000).

FHWA. (2006). *safety.fhwa.dot.gov*. Obtenido de <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/roundabouts/fhwas08006sp.pdf>

Gálvez, J. (5 de Febrero de 2015). *mef.gob.pe*. Obtenido de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas\\_Pavimentos.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf)

Gibson. (12 de Marzo de 2020). *Revista Espacios*. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/20410804.html#:~:text=1.2.-,Flujo%20vehicular,v%C3%ADa%20por%20unidad%20de%20tiempo>.

Giordani, C., & Diego, L. (5 de Noviembre de 2014). *UTN.EDU*. Obtenido de UTN.EDU: [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

Giordani, C., & Leone, D. (2010). *Pavimentos*. Alajuela, Costa Rica: UTN. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

INACAP. (7 de Marzo de 2007). *inacap.cl*. Obtenido de [http://www.inacap.cl/web/material-apoyocedem/alumno/Construccion/G03\\_Clasificacion\\_de\\_Suelos.pdf](http://www.inacap.cl/web/material-apoyocedem/alumno/Construccion/G03_Clasificacion_de_Suelos.pdf)

INE. (2021). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.ine.gob.hn/V3/>

Intersecciones. (s.f.). Obtenido de <file:///C:/Users/saidg/Downloads/C5%20INTERSECCIONES.pdf>

ITVC. (2016). *Principios para el diseño de sistemas rotatorios*. Obtenido de <https://www.umsa.bo/documents/1745551/1817265/PRINCIPIOS+PARA+EL+DISE%C3%91O+DE+SISTEMAS+ROTATORIOS+-+IVC.pdf/0bdf197e-a1f2-31bf-2cf4-bc3ff7a5a4cf>

LCI-303 Laboratorio de Suelos, UNITEC TGU. (s.f.).

Markovich, A. (2014). *georedia.com*. Obtenido de <http://www.georedia.com/blog/geotecnia-blog-1/que-es-la-geotecnia-campo-y-concepto-4>

Math Dictionary. (2019). Obtenido de <https://www.mathematicsdictionary.com/spanish/vmd/full/c/circumscribedcircle.htm>

Merino, P. (13 de Mayo de 2020). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/interseccion/#:~:text=En%20el%20%C3%A1mbito%20de%20la,se%20cruzan%20en%20un%20punto.>

Mocondino, J. (11 de Marzo de 2020). *linkedin.com*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-pavimento-y-c%C3%B3mo-se-clasifican-jhonn-jairo-mocondino-r->

Navarro, S. (1 de Agosto de 2008). *wordpress.com*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/unidad-vii-curvas.pdf>



Neves, G. A. (2010). *Instituto IVIA*. Obtenido de Instituto IVIA: [http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/control\\_gestion\\_gt/julian\\_rivera.pdf](http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/control_gestion_gt/julian_rivera.pdf)

Ourston. (1995). Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/normas-disec3b1o-geometrico-sieca-2004.pdf>

Policy on Geometric Desing of Highways and Streets. (2004). *SIECA*. Obtenido de <file:///C:/Users/saidg/Downloads/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.pdf>

Portland Cement Association. (s.f.). Obtenido de <https://www.cement.org/>

RACE. (2022). Obtenido de <https://www.race.es/como-circular-en-rotondas>

RAE. (2014). Obtenido de <https://dle.rae.es/croquis>

Road Design Manual – Minnesota DOT. (2009). Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/normas-disec3b1o-geometrico-sieca-2004.pdf>

Rodrigo Bahamondes. (Diciembre de 2013). Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2013000300002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000300002)

SC. (6 de Diciembre de 2012). *slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/vetho007/disenog-geometricorotondas>

SCT. (2019). *Secretaria de Comunicacion y Trasnportes*. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt563.pdf>

Segui, P. (2021). *ovacen.com*. Obtenido de <https://ovacen.com/intersecciones-belleza/>

Sergio, R. (8 de Agosto de 2012). *unimilitar.edu*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16519/RuedaRinconSergiolvan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SIECA. (2011). Obtenido de <file:///C:/Users/saidg/Downloads/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.pdf>

SOPTRAVI. (1996).

TOOLKIT. (2021). Obtenido de <https://toolkit.irap.org/es/safer-road-treatments/intersection-roundabout/>

Toolkit, R. S. (2022). *toolkit.irap.org*. Obtenido de <https://toolkit.irap.org/es/safer-road-treatments/intersection-roundabout/>

U.N.A.M. (2012). *Clasificación y Diseño de Pavimentos*.

UCC. (s.f.). *universidad cooperativa de colombia* . Obtenido de <https://ucc.edu.co/>

UMNG. (8 de Julio de 2013). *UMNG.EDU*. Obtenido de [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin\\_desktop.php?path=Li4vb3ZhcY9pbmdlbnllcmhX2NpdmlsL2Rpc2Vub19nZW9tZXRyaWNvX2RlX3ZpYXpYXmvdW5pZGFkXzMv#slide\\_3.1](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin_desktop.php?path=Li4vb3ZhcY9pbmdlbnllcmhX2NpdmlsL2Rpc2Vub19nZW9tZXRyaWNvX2RlX3ZpYXpYXmvdW5pZGFkXzMv#slide_3.1)

UNAM. (2017). *iagua.es*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial>

UNC. (2013).

UPC. (2019). *upc.edu*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3375/36814-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

UPCT. (s.f.). Obtenido de <https://www.upct.es/sait/es/reologia-y-granulometria/granulometria/>

UPTC. (2007). Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1222/RED-1.pdf;jsessionid=950351A753B042E509F1FF1E4D8E40EA?sequence=1>

Yepez, A. (7 de Marzo de 2015). *blogspot.com*. Obtenido de <https://angelicayepezdiplomado.blogspot.com/2015/>

AASHTO. (1993). Obtenido de <https://transportation.org/>

ASCE. (2010). Obtenido de <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockey=0173148>

- ASTM . (2015). Obtenido de <https://ensayosdelaboratoriosuelos.files.wordpress.com/2015/12/traduccic3b3n-astm-d4318.pdf>
- biodic. (2020). *BioDic*. Obtenido de <https://www.biodic.net/palabra/radio-de-giro/>
- Boiero, A. (12 de Agosto de 2020). *goe-webonline.com*. Obtenido de <https://goe-webonline.com/el-sistema-de-clasificacion-de-suelos-aashto/>
- BOWLES. (1988). En J. E. Bowles, *foundation analysis and design*.
- Calles, M. d. (2019). *Diseño Vial para ciudades Mexicanas* .
- Calo, D. H. (2012). Obtenido de <https://ficem.org/CIC-descargas/argentina/Diseno-de-pavimentos-rigidos.pdf>
- Carreteros. (2016). *carreteros.org*. Obtenido de [http://www.carreteros.org/normativa/trazado/31ic\\_2016/apartados/glosario.htm#:~:text=CALZADA%3A%20Parte%20de%20la%20carretera,de%20veh%C3%ADculos%20en%20circunstancias%20ordinarias](http://www.carreteros.org/normativa/trazado/31ic_2016/apartados/glosario.htm#:~:text=CALZADA%3A%20Parte%20de%20la%20carretera,de%20veh%C3%ADculos%20en%20circunstancias%20ordinarias).
- CDPR. (2003). *catalogo de diseño de pavimentos rigidos de la pca*.
- Céspedes, J. (2015). *sribd.com*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/315374278/Alineamiento-Horizontal#>
- Cormac, J. M. (2006). *Portal UCOL*. Obtenido de <https://portal.ucol.mx/fic/topo05.htm#:~:text=La%20topograf%C3%ADa%20es%20la%20ciencia,de%20distancias%2C%20direcciones%20y%20elevaciones>.
- Correa, M. (2021). *Manual de diseño de vías urbanas*.
- Dass, B. (Septiembre de 2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson. Obtenido de [https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos\\_de\\_Ingenieria\\_Geotecnica\\_Braja\\_M\\_Das](https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das)
- DefiniciónABC. (s.f.). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/general/libreta.php>

Delgado, M. (25 de Enero de 2021). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/510614649/RAMPAS-ENTRECRUZAMIENTO-E-INTERSECCIONES#>

DNVT. (27 de Diciembre de 2005). *TSC GOBIERNO DE HONDURAS*. Obtenido de <https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Ley-de-Transito.pdf>

E. M. (26 de Mayo de 2015). *elnortecastilla.es*. Obtenido de <https://www.elnortedecastilla.es/tecnologia/investigacion/201505/26/semaforos-faciles-arreglar-para-20150526170113-rc.html>

Facultad de Ingeniería UNITEC. (s.f.). Obtenido de <https://www.unitec.edu/facultad/ingenieria>

FAO. (7 de Enero de 2023). *fao.org*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

FHWA. (2000).

FHWA. (2006). *safety.fhwa.dot.gov*. Obtenido de <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/roundabouts/fhwasa08006sp.pdf>

Gálvez, J. (5 de Febrero de 2015). *mef.gob.pe*. Obtenido de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas\\_Pavimentos.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf)

Gibson. (12 de Marzo de 2020). *Revista Espacios*. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/20410804.html#:~:text=1.2.-,Flujo%20vehicular,v%C3%ADa%20por%20unidad%20de%20tiempo>.

Giordani, C., & Diego, L. (5 de Noviembre de 2014). *UTN.EDU*. Obtenido de [UTN.EDU: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

Giordani, C., & Leone, D. (2010). *Pavimentos*. Alajuela, Costa Rica: UTN. Obtenido de [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_anio/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)

INACAP. (7 de Marzo de 2007). *inacap.cl*. Obtenido de [http://www.inacap.cl/web/material-apoyocedem/alumno/Construccion/G03\\_Clasificacion\\_de\\_Suelos.pdf](http://www.inacap.cl/web/material-apoyocedem/alumno/Construccion/G03_Clasificacion_de_Suelos.pdf)

INE. (2021). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de <https://www.ine.gov.hk/V3/>

Intersecciones. (s.f.). Obtenido de <file:///C:/Users/saidg/Downloads/C5%20INTERSECCIONES.pdf>

ITVC. (2016). *Principios para el diseño de sistemas rotatorios*. Obtenido de <https://www.umsa.bo/documents/1745551/1817265/PRINCIPIOS+PARA+EL+DISE%C3%91O+DE+SISTEMAS+ROTATORIOS+-+IVC.pdf/0bdf197e-a1f2-31bf-2cf4-bc3ff7a5a4cf>

LCI-303 Laboratorio de Suelos, UNITEC TGU. (s.f.).

Markovich, A. (2014). *georedia.com*. Obtenido de <http://www.georedia.com/blog/geotecnia-blog-1/que-es-la-geotecnia-campo-y-concepto-4>

Math Dictionary. (2019). Obtenido de <https://www.mathematicsdictionary.com/spanish/vmd/full/c/circumscribedcircle.htm>

Merino, P. (13 de Mayo de 2020). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/interseccion/#:~:text=En%20el%20%C3%A1mbito%20de%20la,se%20cruzan%20en%20un%20punto>.

Mocondino, J. (11 de Marzo de 2020). *linkedin.com*. Obtenido de <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-pavimento-y-c%C3%B3mo-se-clasifican-jhonn-jairo-mocondino-r->

Navarro, S. (1 de Agosto de 2008). *wordpress.com*. Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/unidad-vii-curvas.pdf>

Neves, G. A. (2010). *Instituto IVIA*. Obtenido de Instituto IVIA: [http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/control\\_gestion\\_gt/julian\\_rivera.pdf](http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/control_gestion_gt/julian_rivera.pdf)

Ourston. (1995). Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/normas-disec3b1o-geometrico-sieca-2004.pdf>

Policy on Geometric Design of Highways and Streets. (2004). SIECA. Obtenido de file:///C:/Users/saidg/Downloads/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.pdf

Portland Cement Association. (s.f.). Obtenido de <https://www.cement.org/>

RACE. (2022). Obtenido de <https://www.race.es/como-circular-en-rotondas>

RAE. (2014). Obtenido de <https://dle.rae.es/croquis>

Road Design Manual – Minnesota DOT. (2009). Obtenido de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2011/08/normas-disec3b1o-geometrico-sieca-2004.pdf>

Rodrigo Bahamondes. (Diciembre de 2013). Obtenido de [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-915X2013000300002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000300002)

SC. (6 de Diciembre de 2012). *slideshare.net*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/vetho007/disenog-geometricorotondas>

SCT. (2019). *Secretaria de Comunicacion y Trasnportes*. Obtenido de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt563.pdf>

Segui, P. (2021). *ovacen.com*. Obtenido de <https://ovacen.com/intersecciones-belleza/>

Sergio, R. (8 de Agosto de 2012). *unimilitar.edu*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16519/RuedaRinconSergioIvan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SIECA. (2011). Obtenido de file:///C:/Users/saidg/Downloads/Manual%20Centroamericano%20de%20normas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20geometrico%20de%20carreteras%202011.pdf

SOPTRAVI. (1996).

TOOLKIT. (2021). Obtenido de <https://toolkit.irap.org/es/safer-road-treatments/intersection-roundabout/>

Toolkit, R. S. (2022). *toolkit.irap.org*. Obtenido de <https://toolkit.irap.org/es/safer-road-treatments/intersection-roundabout/>

U.N.A.M. (2012). *Clasificación y Diseño de Pavimentos*.

UCC. (s.f.). *universidad cooperativa de colombia* . Obtenido de <https://ucc.edu.co/>

UMNG. (8 de Julio de 2013). *UMNG.EDU*. Obtenido de [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin\\_desktop.php?path=Li4vb3ZhcY9pbmdlbmllcmhX2NpdmlsL2Rpc2Vub19nZW9tZXRyaWNvX2RIX3ZpYXMvdW5pZGFkXzMv#slide\\_3.1](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin_desktop.php?path=Li4vb3ZhcY9pbmdlbmllcmhX2NpdmlsL2Rpc2Vub19nZW9tZXRyaWNvX2RIX3ZpYXMvdW5pZGFkXzMv#slide_3.1)

UNAM. (2017). *iagua.es*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial>

UNC. (2013).

UPC. (2019). *upc.edu*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3375/36814-7.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

UPCT. (s.f.). Obtenido de <https://www.upct.es/sait/es/reologia-y-granulometria/granulometria/>

UPTC. (2007). Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/1222/RED-1.pdf;jsessionid=950351A753B042E509F1FF1E4D8E40EA?sequence=1>

Yepez, A. (7 de Marzo de 2015). *blogspot.com*. Obtenido de <https://angelicayepezdiplomado.blogspot.com/2015/>

## IX. ANEXOS

### Anexo 1. Asesorías temáticas


#### ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO	Nº: <u>1</u>
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez	
1. Evaluar la rotonda.	
2. Diseñar pavimento.	
3. Realizar estudios de suelos para suelo natural y relleno de balastro.	
4. Ir haciendo el modelado en Civil 3D.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>13/05/2021</u>

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO




NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO	Nº: <u>2</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes	
1. Realizar prueba de granulometría.	
2 Realizar prueba de límites de atterberg.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO Fecha: <u>29/05/2023</u>

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO


NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO		N°: <u>3</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes		
1. Realizar prueba de hidrometría para suelo de balastro.		
2 Realizar probetas con cemento.		
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO	Fecha: <u>01/06/2021</u>


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO		N°: <u>4</u>
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez		
1. Encontrar contenido óptimo con cal para el pavimento.		
2 Realizar pruebas de CBR con el porcentaje de cal óptimo.		
3 Realizar otro conteo de carros para definir porcentajes.		
4 Medir el terreno alrededor del sitio.		
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO	Fecha: <u>31/05/2023</u>

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:


Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO	Nº: <u>5</u>
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez	
1. Realizar límites de atterberg con agregado de cal para el mejoramiento del suelo.	
2. Encontrar valor de CBR con la reclasificación del suelo.	
3. Valor K	
4.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO
	Fecha: <u>05/06/2021</u>

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

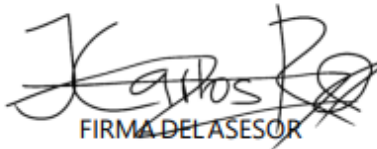
Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235

Said Orlando Guillén Tábora	11911051
-----------------------------	----------

ASESORAMIENTO		Nº: <u>6</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes		
1. Agregado de 3% de cemento para mejoramiento del suelo.		
2. Agregado de 5% de cemento para mejoramiento del suelo.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>10/06/2021</u>

#### ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

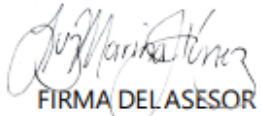
NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO		Nº: 7
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez e Ing. Alberto Urcina		
1. Explicación para las formulas de capacidad de rotonda y capacidad por entrada		
2. Evaluar la posibilidad de otras intersecciones como solución vial		
3		
4		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: 13/06/2021

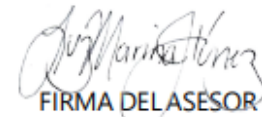
#### ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO		Nº: 8
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez		
1. Usar Pavement designer para el diseño de pavimento rígido		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: 10/06/2021

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

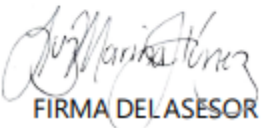
NOMBRE DEL PROYECTO:

Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Táborá	11911051

ASESORAMIENTO	Nº: <u>9</u>
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez	
1. Realizar una guía comparativa entre la eficiencia de una rotonda vs. la rotonda el soldado.	
2. Redactar acerca de las intersecciones como solución vial.	
3. Aplicar las normas de intersecciones	
4.	
 FIRMA DEL ASESOR	SEIIO Fecha: <u>14/06/2021</u>

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:


Guía para revisión de rotondas y diseño de pavimento rígido para calles de acceso.

---

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
--------	--------

Ana Lizeth Flores Garache	11711235
Said Orlando Guillén Tábora	11911051

ASESORAMIENTO		N°: <u>10</u>
ASESOR: Ing. Luz Marina Funez		
1. Realizar una comparación entre el diseño de la rotonda de cantarranas vs. la rotonda el soldado.		
2. Proponer la intersección que se adecue al flujo vehicular		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>19/06/2021</u>

## Anexo 2. Ensayo granulometría relleno de balasto

### 9.1.1. GRANULOMETRÍA RELLENO DE BALASTO

Los datos obtenidos en laboratorio para análisis de granulometría gruesa del material de relleno son los siguientes:

**Tabla 39. Datos granulometría gruesa**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa retenido	Masa Retenida Acumulada	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
2 1/2"	63.5	0.000	0.000	0.000%	0.000%	10000.000%
2"	101.600	0.000	0.000	0.000%	0.000%	100.000%
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.000%	0.000%	100.000%
1"	25.400	25.600	25.600	3.593%	3.593%	96.407%
3/4"	19.050	15.470	41.070	2.171%	5.764%	94.236%
3/8"	9.525	35.800	76.870	5.025%	10.789%	89.211%

4	4.760	64.800	141.670	9.095%	19.884%	80.116%
Fondo		570.800	712.470		19.884%	80.116%
Masa Muestra:		712.470				

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del ensayo de granulometría.

Se debe calcular el porcentaje de error del ensayo, el cual idealmente debe de ser menor al 1%, en el caso que sea mayor se debe de realizar una repetición.

$$\% Error = \left(1 - \frac{W_{total}}{W_{inicial}}\right) * 100$$

### **Ecuación 21. Porcentaje de error**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

% E: Porcentaje de error del ensayo.

Wt: Peso total de la muestra (después del ensayo).

Wi: Peso total de la muestra (inicial).

$$\% Error = \left(1 - \frac{1424.94}{1002}\right) * 100$$

La obtención de la masa retenida se realiza sumando la masa retenida en cada tamiz. El porcentaje de suelo retenido es calculado con la siguiente fórmula:

$$Rn = \left(\frac{M_{Retenida}}{M_{total}}\right) * 100$$

### **Ecuación 22. Porcentaje de suelo retenido**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

Mr: Masa retenida en cada tamiz (después del ensayo).



Mt: masa retenida total.

Para conocer el porcentaje de suelo retenido en el tamiz #4.

$$Rn = \left( \frac{64.8}{712.47} \right) * 100$$

Se calcula el porcentaje del suelo retenido en cada malla con la siguiente ecuación:

$$\% Ra = \left( \frac{Wr}{Wtotal} \right) * 100$$

### **Ecuación 23. Porcentaje retenido acumulado**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

%Ra: Porcentaje retenido acumulado

Wr: Peso retenido acumulado.

Wt: Peso total.

De igual manera para conocer el porcentaje de suelo retenido acumulado en el tamiz #4, se utiliza el peso retenido acumulado.

$$\% Ra = \left( \frac{141.67}{712.47} \right) * 100$$

Se calcula el porcentaje de pase de cada malla y se utiliza la siguiente ecuación:

$$\% Pa = 100 \% - \% Ra$$

### **Ecuación 24. Porcentaje de pase**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Donde

%Pa: Porcentaje de pase.

$$\% Pa = 100 \% - 19.884 \%$$

Los datos obtenidos en laboratorio para análisis de granulometría fina del material de relleno son los siguientes:

**Tabla 40. Datos granulometría fina**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa retenido	Masa Retenida Acumulada	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
#10	2	54.48	54.48	10.93%	10.93%	89.07%
#40	0.42	208.43	262.91	41.80%	52.72%	47.28%
#100	0.149	109.22	372.13	21.90%	74.63%	25.37%
#200	0.074	56.7	428.83	11.37%	86.00%	14.00%
FONDO		69.82	498.65	14.00%	100.00%	0.00%
TOTAL		498.65	1617			
MASA DE MUESTRA		500				

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del ensayo de granulometría.

De igual manera que granulometría gruesa, se debe calcular el porcentaje de error del ensayo, el cual idealmente debe de ser menor al 1%.

$$\% \text{ Error} = \left(1 - \frac{W_{total}}{W_{inicial}}\right) * 100$$

Utilizando como ejemplo el tamiz #200:

$$\% \text{ Error} = \left(1 - \frac{498.65}{500}\right) * 100$$

Para conocer el porcentaje de suelo retenido en el tamiz #200:

$$Rn = \left(\frac{M_{Retenida}}{M_{total}}\right) * 100$$

$$Rn = \left(\frac{56.7}{498.65}\right) * 100$$

Para conocer el porcentaje de suelo retenido acumulado en el tamiz #200, se utiliza el peso retenido acumulado:

$$\% Ra = \left( \frac{Wr}{Wtotal} \right) * 100$$

$$\% Ra = \left( \frac{428.83}{498.65} \right) * 100$$

Se calcula el porcentaje de pase de cada malla de granulometría fina

$$\% Pa = 100 \% - \% Ra$$

$$\% Pa = 100 \% - 86 \%$$

Al combinar ambas gráficas tenemos el análisis granulométrico completo, el cual queda de la siguiente manera:

**Tabla 41. Datos granulometría combinada**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Masa retenido	Masa Retenida Acumulada	% Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa
2"	101.60	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.40	25.60	25.60	3.59%	3.59%	96.41%
3/4"	19.05	15.47	41.07	2.17%	5.76%	94.24%
3/8"	9.525	35.80	76.87	5.03%	10.79%	89.21%
4	4.760	64.80	141.67	9.01%	19.88%	80.12%
#10	2	62.36	204.03	8.75%	28.64%	71.36%
#40	0.42	238.59	442.62	33.49%	62.13%	37.88%
#100	0.149	125.02	567.64	17.55%	79.67%	20.33%
#200	0.074	64.90	632.55	9.11%	88.78%	11.22%
FONDO		79.92	712.47	11.22%	100.00%	0.00%
TOTAL		712.47		100.00%		

Fuente: Elaboración propia, datos obtenidos del ensayo de granulometría.

El coeficiente de curvatura de la granulometría combinada se obtiene con la siguiente formula

$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$

### Ecuación 25. Coeficiente de curvatura

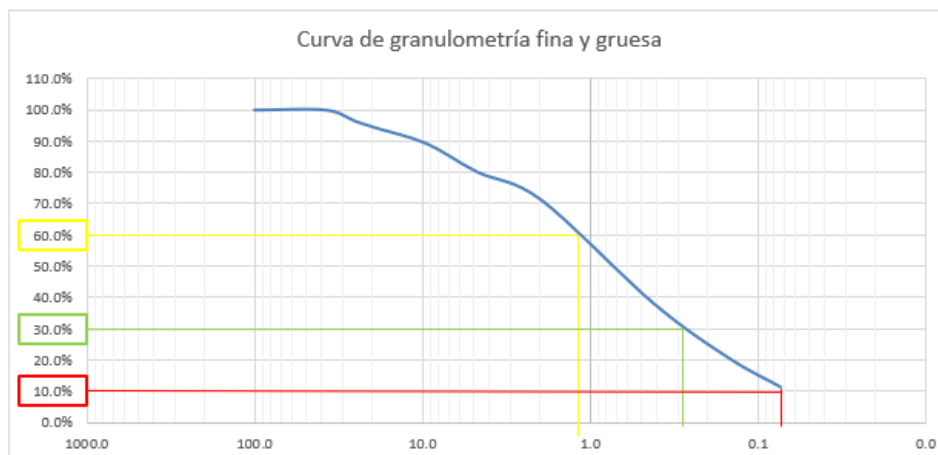
Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Reemplazando los valores en el coeficiente de curvatura:

$$Cc = \frac{(0.29)^2}{0.07 * 1.1}$$

El coeficiente de uniformidad de la granulometría combinada se obtiene con la siguiente formula.

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$



$$Cc = \frac{D30^2}{D10 * D60}$$

$$Cc = \frac{(0.29)^2}{0.07 * 1.1}$$

$$Cc = 1.09$$

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cu = \frac{1.1}{0.07}$$

$$Cu = 15.71$$

### **Ecuación 26. Coeficiente de uniformidad**

Fuente: (Facultad de Ingeniería UNITEC)

Reemplazando los valores en el coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{1.1}{0.07}$$

#### *9.1.1.1. Límite líquido del suelo*

El objetivo al realizar el límite líquido es encontrar el contenido de humedad con el que la muestra o el suelo llegue a su límite líquido. Para encontrar el límite líquido se calibró la copa de casa grande para que no difiera en encontrar los datos, con una muestra de suelo de alrededor de 100gr del pase #40 se humedece con agua destilada se mezcla hasta que este agarre consistencia. Una vez se deja reposar el tiempo suficiente se procede a llenar la copa de casa grande con la mezcla de forma horizontal con un llenado desde la mitad (ver Ilustración 86) una vez llenado se forma una zanja manteniendo de forma perpendicular el acanalador a la superficie de la copa de bronce, se hace rotar con la manivela de la copa dos vueltas por segundo y se cuenta el número de golpes necesarios hasta que cierre la zanja en una longitud de 13mm, algo que hay que tomar en cuenta es que se tomaran 5 muestras donde dos muestras cierren entre 15 y 25 golpes, dos muestras que cierren entre 25 y 35 y una muestra que cierre el golpe 25.



**Ilustración 86. Agregado de muestra en copa de casa grande para límite líquido**

9.1.1.2. Límite líquido del suelo natural

**Tabla 42. Datos límite líquido s. natural**

Límite líquido s. natural					
Lata No	No. Golpes	PL + SH (gr) (W2)	PL + SS (gr) (W3)	PL (gr) W1	W%
34	25	17.94	16.98	13.67	29.00%
33	30	16.10	15.55	13.70	29.73%
3	27	17.72	16.99	13.72	22.32%
6	23	15.48	15.05	13.74	32.82%
7	17	16.23	15.61	13.70	32.46%

En la Tabla 42 se muestran los resultados del contenido de humedad, encontrar su resultado fue de la siguiente manera.

Para el cálculo de masa de agua.

$$W_w = W_2 - W_3$$

$$W_{w34} = 17.94 - 16.98$$

$$W_{w34} = 0.96 \text{ gr}$$

$$W_{w33} = 16.10 - 15.55$$

$$W_{w33} = 0.55 \text{ gr}$$

$$W_{w3} = 17.72 - 16.99$$

$$W_{w3} = 0.73 \text{ gr}$$

$$W_{w6} = 15.48 - 15.05$$

$$W_{w6} = 0.43 \text{ gr}$$

$$W_{w7} = 16.23 - 15.61$$

$$W_{w7} = 0.62 \text{ gr}$$

Para el cálculo de la masa del suelo seco.

$$W_s = W_3 - W_1$$

$$W_{s34} = 16.98 - 13.67$$

$$W_{s34} = 3.31 \text{ gr}$$

$$W_{s33} = 15.55 - 13.70$$

$$Ws33 = 1.85 \text{ gr}$$

$$Ws3 = 16.99 - 13.72$$

$$Ws3 = 3.27 \text{ gr}$$

$$Ws6 = 15.05 - 13.74$$

$$Ws6 = 1.31 \text{ gr}$$

$$Ws7 = 15.61 - 13.70$$

$$Ws7 = 1.91 \text{ gr}$$

Una vez sabiendo el valor de la masa del agua y del suelo seco, se procede a calcular el contenido de humedad de la siguiente manera.

$$W\% = \left( \frac{W_w}{W_s} \right) * 100$$

$$W\%34 = \left( \frac{0.96}{3.31} \right) * 100$$

$$W\%34 = 29\%$$

$$W\%33 = \left( \frac{0.55}{1.85} \right) * 100$$

$$W\%33 = 29.73\%$$

$$W\%3 = \left( \frac{0.73}{3.27} \right) * 100$$

$$W\%3 = 22.32\%$$

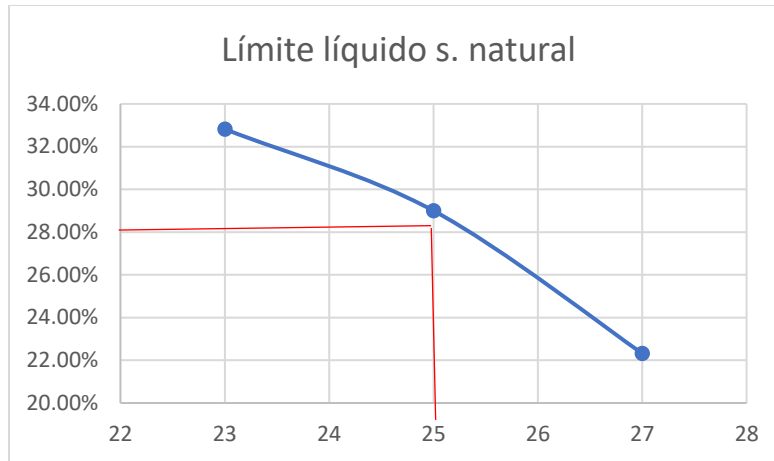
$$W\%6 = \left( \frac{0.43}{1.31} \right) * 100$$

$$W\%6 = 32.82\%$$

$$W\%7 = \left( \frac{0.62}{1.91} \right) * 100$$

$$W\%7 = 34.96$$

Para encontrar el límite líquido se realiza una gráfica de relación del contenido de humedad vs. el número de golpes dados por la copa de casa grande en casa una de las diferentes muestras.



**GRÁFICA 10. Límite líquido s. natural**

Se el porcentaje con relación a los 25 golpes, por lo que el límite líquido del suelo natural es de 29%.

**Anexo 3. Resultados de conteo vehicular**

**Tabla 43. Entrada 2 hora 9:40-10:40**

Giro	No	Tipo	Cantidad	%
1.1	1	Motos	33	25.38
	2	Turismo	35	26.92
	3	C2	56	43.08
	4	C3	2	1.54
	5	Buses	4	3.08
		TOTAL	130	100
1.2	1	Motos	75	57.69
	2	Turismo	80	61.54
	3	C2	75	57.69
	4	C3	6	4.62
	5	Buses	1	0.77
		TOTAL	237	100
1.3	1	Motos	8	6.15
	2	Turismo	9	6.92
	3	C2	7	5.38
	4	C3	0	0.00
	5	Buses	0	0.00
		TOTAL	24	100
TOTAL			391	Veh/h



**Tabla 44. Entrada 2 hora 11:07-12:30**

<b>Giro</b>	<b>No</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
<b>1.1</b>	<b>1</b>	<b>Motos</b>	33	25.38
	<b>2</b>	<b>Turismo</b>	50	38.46
	<b>3</b>	<b>C2</b>	51	39.23
	<b>4</b>	<b>C3</b>	0	0.00
	<b>5</b>	<b>Buses</b>	5	3.85
		<b>TOTAL</b>	139	100
<b>1.2</b>	<b>1</b>	<b>Motos</b>	123	94.62
	<b>2</b>	<b>Turismo</b>	166	127.69
	<b>3</b>	<b>C2</b>	173	133.08
	<b>4</b>	<b>C3</b>	0	0.00
	<b>5</b>	<b>Buses</b>	3	2.31
		<b>TOTAL</b>	465	100
<b>1.3</b>	<b>1</b>	<b>Motos</b>	7	5.38
	<b>2</b>	<b>Turismo</b>	4	3.08
	<b>3</b>	<b>C2</b>	7	5.38
	<b>4</b>	<b>C3</b>	0	0.00
	<b>5</b>	<b>Buses</b>	0	0.00
		<b>TOTAL</b>	18	100
<b>TOTAL</b>			622	Veh
			450	Veh/h

**Tabla 45. Entrada 3 hora 9:40-10:40**

<b>Giro</b>	<b>No</b>	<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>%</b>
<b>1.1</b>	<b>1</b>	<b>Motos</b>	24	14.91
	<b>2</b>	<b>Turismo</b>	56	34.78
	<b>3</b>	<b>C2</b>	69	42.86
	<b>4</b>	<b>C3</b>	0	0.00
	<b>5</b>	<b>Buses</b>	12	7.45
		<b>TOTAL</b>	161	100
<b>1.2</b>	<b>1</b>	<b>Motos</b>	24	14.91
	<b>2</b>	<b>Turismo</b>	21	13.04
	<b>3</b>	<b>C2</b>	19	11.80
	<b>4</b>	<b>C3</b>	0	0.00
	<b>5</b>	<b>Buses</b>	2	1.24
		<b>TOTAL</b>	66	100
<b>1.3</b>	<b>1</b>	<b>Motos</b>	2	1.24
	<b>2</b>	<b>Turismo</b>	4	2.48
	<b>3</b>	<b>C2</b>	12	7.45
	<b>4</b>	<b>C3</b>	0	0.00

	5	Buses	2	1.24
		TOTAL	20	100
TOTAL			247	Veh/h

**Tabla 46. Entrada 3 hora 11:07-12:30**

Giro	No	Tipo	Cantidad	%
1.1	1	Motos	70	43.48
	2	Turismo	94	58.39
	3	C2	95	59.01
	4	C3	0	0.00
	5	Buses	20	12.42
		TOTAL	279	100
1.2	1	Motos	30	18.63
	2	Turismo	28	17.39
	3	C2	26	16.15
	4	C3	0	0.00
	5	Buses	4	2.48
		TOTAL	88	100
1.3	1	Motos	0	0.00
	2	Turismo	6	3.73
	3	C2	4	2.48
	4	C3	1	0.62
	5	Buses	6	3.73
		TOTAL	17	100
TOTAL			384	Veh
			278	Veh/h

**Tabla 47. Volumen veh/h entrada 2**

Volumen de entrada #02					
		Promedio de 2h	Proyección 12h	Proyección nocturna 12h	Proyección total vehículos diarios
Volumen T	420.37	421	5052	1515.6	6567.6
	425.09	426	5112	1534	6646

**Tabla 48. Volumen veh/h entrada 3**

Volumen de entrada #03					
		Promedio de 2h	Proyección 12h	Proyección nocturna 12h	Proyección total vehículos diarios
Volumen T	262.33	263	3156	946.8	4102.8
	264.79	265	3180	954	4134

#### Anexo 4. Peso por eje tándem

Tabla 49. Vehículo de diseño por eje tándem

LÍMITE DE PESO POR EJE							
Tipos de Vehículo	Primer Eje	Segundo Eje	Tercer Eje	Cuarto Eje	Quinto Eje	Sexto Eje	Total
C2	5	10					15
C2-R2	5	10	7	7			29
C3	5	8.25	8.25				21.5
C3-R2	5	8.25	8.25	7	7		35.5
C3-R3	5	8.25	8.25	7	6	6	40.5
C4	5	6.667	6.666	6.666			25
T2-S1	5	9	9				23
T2-S2	5	9	8	8			30
T2-S3	5	9	6.667	6.666	6.666		34
T3-S1	5	8	8	9			30
T3-S2	5	8	8	8	8		37
T3-S3	5	8	8	6.667	6.666	6.666	41
Otros (1)	Variable						

#### Anexo 5. Camión C2

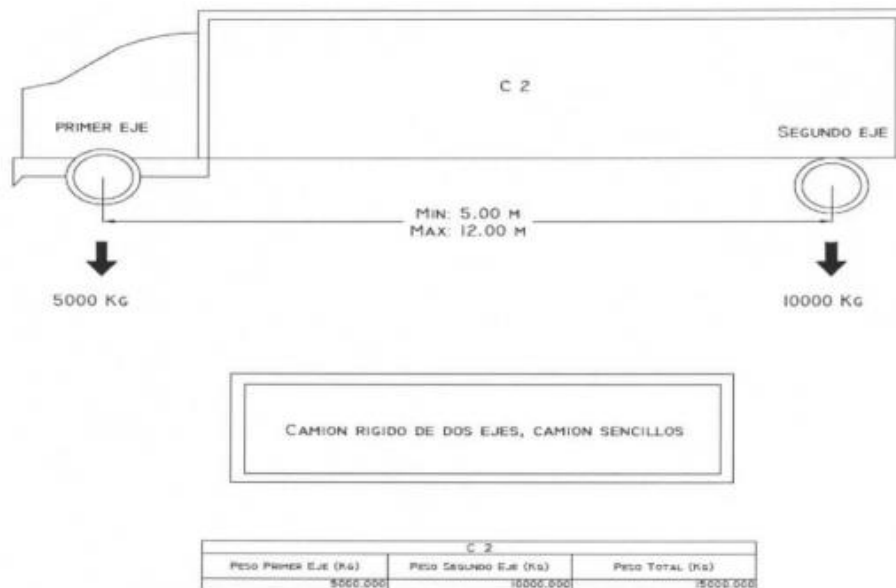
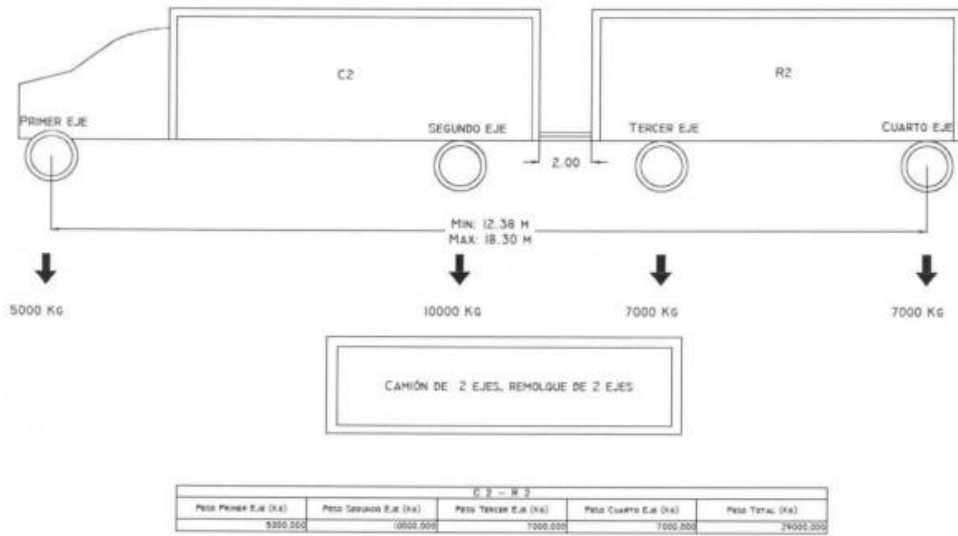


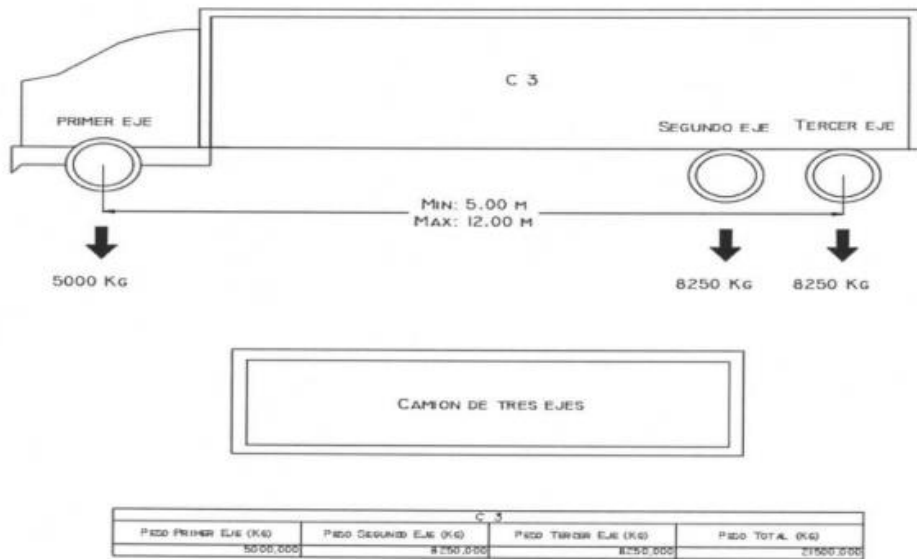
Ilustración 87. Características del camión C2

**Anexo 6. Camión C2 R2**



**Ilustración 88. Características del camión C2 R2**

**Anexo 7. Camión C3**



**Ilustración 89. Características del camión C3**

## Anexo 8. Croquis como guía para el conteo manual

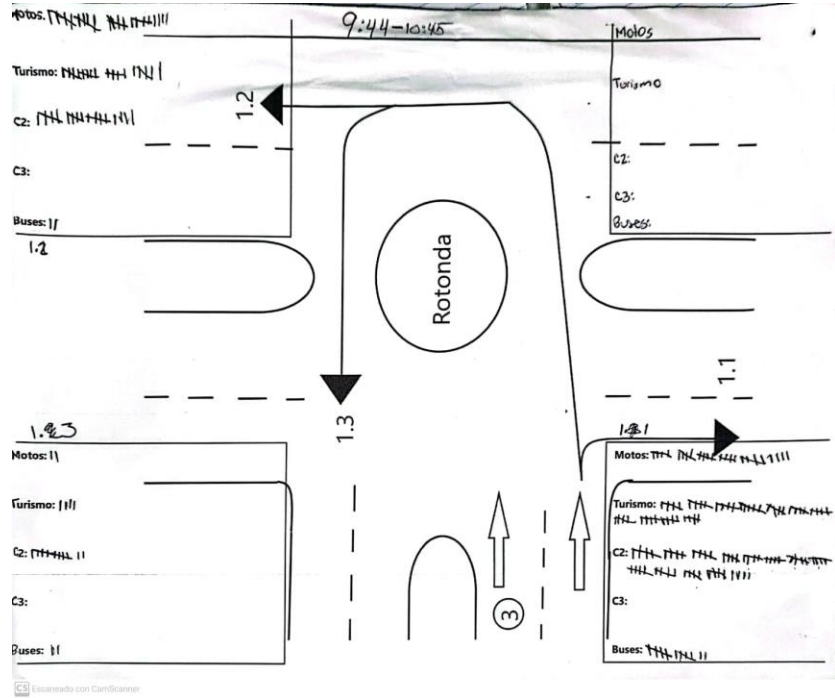


Ilustración 90. Croquis como referencia para el conteo realizado

## Anexo 9. Cronograma semanas 1 y 2

ACTIVIDAD	SEMANA 1							SEMANA 2						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Portada														
Autorización														
Hoja de firmas														
Resumen ejecutivo (español)														
Abstract														
Índice de contenido														
Índice de ilustraciones														
Índice de tablas														
Índice de ecuaciones														
Índice de anexos														
Siglas														
Glosario														
I. Introducción														
II. Planteamiento del problema														
III. Marco Teórico														
IV. Metodología														
V. Resultados y análisis														
V. Conclusiones														
VI. Recomendaciones														
Bibliografía														
Anexos														
<b>ENTREGABLES MEDIO PERIODO</b>														
INFORME MEDIO PERIODO (EN SEMANA 5)														
PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
ENSAYO CONFERENCIA 1 (EN SEMANA 5)														
<b>ENTREGABLES FINALES</b>														
ENSAYO CONFERENCIA 2 (EN SEMANA 10)														
ENTREGA CALIFICACIÓN CURSO HABILIDADES EN PRESENTACIONES (EN SEMANA 10)														
PLANOS O PAPER (EN SEMANA 10)														
INFORME FINAL (EN SEMANA 10)														
PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														

## Anexo 10. Cronograma semanas 3 y 4

ACTIVIDAD	SEMANA 3							SEMANA 4						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Portada														
Autorización														
Hoja de firmas														
Resumen ejecutivo (español)														
Abstract														
Índice de contenido														
Índice de ilustraciones														
Índice de tablas														
Índice de ecuaciones														
Índice de anexos														
Siglas														
Glosario														
I. Introducción														
II. Planteamiento del problema														
III. Marco Teórico														
IV. Metodología														
V. Resultados y análisis														
V. Conclusiones														
VI. Recomendaciones														
Bibliografía														
Anexos														
<b>ENTREGABLES MEDIO PERIODO</b>														
INFORME MEDIO PERIODO (EN SEMANA 5)														
PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
ENSAYO CONFERENCIA 1 (EN SEMANA 5)														
<b>ENTREGABLES FINALES</b>														
ENSAYO CONFERENCIA 2 (EN SEMANA 10)														
ENTREGA CALIFICACIÓN CURSO HABILIDADES EN PRESENTACIONES (EN SEMANA 10)														
PLANOS O PAPER (EN SEMANA 10)														
INFORME FINAL (EN SEMANA 10)														
PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														

## Anexo 11. Cronograma semanas 5 y 6

ACTIVIDAD	SEMANA 5							SEMANA 6						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Portada														
Autorización														
Hoja de firmas														
Resumen ejecutivo (español)														
Abstract														
Índice de contenido														
Índice de ilustraciones														
Índice de tablas														
Índice de ecuaciones														
Índice de anexos														
Siglas														
Glosario														
I. Introducción														
II. Planteamiento del problema														
III. Marco Teórico														
IV. Metodología														
V. Resultados y análisis														
V. Conclusiones														
VI. Recomendaciones														
Bibliografía														
Anexos														
<b>ENTREGABLES MEDIO PERIODO</b>														
INFORME MEDIO PERIODO (EN SEMANA 5)														
PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
ENSAYO Y CONFERENCIA 1 (EN SEMANA 5)														
<b>ENTREGABLES FINALES</b>														
ENSAYO Y CONFERENCIA 2 (EN SEMANA 10)														
ENTREGA CALIFICACIÓN CURSO HABILIDADES EN PRESENTACIONES (EN SEMANA 10)														
PLANOS O PAPER (EN SEMANA 10)														
INFORME FINAL (EN SEMANA 10)														
PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														



## Anexo 12. Cronograma semanas 7 y 8

ACTIVIDAD	SEMANA 7							SEMANA 8						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Portada														
Autorización														
Hoja de firmas														
Resumen ejecutivo (español)														
Abstract														
Índice de contenido														
Índice de ilustraciones														
Índice de tablas														
Índice de ecuaciones														
Índice de anexos														
Siglas														
Glosario														
I. Introducción														
II. Planteamiento del problema														
III. Marco Teórico														
IV. Metodología														
V. Resultados y análisis														
V. Conclusiones														
VI. Recomendaciones														
Bibliografía														
Anexos														
<b>ENTREGABLES MEDIO PERIODO</b>														
INFORME MEDIO PERIODO (EN SEMANA 5)														
PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
ENSAJO Y CONFERENCIA 1 (EN SEMANA 5)														
<b>ENTREGABLES FINALES</b>														
ENSAJO Y CONFERENCIA 2 (EN SEMANA 10)														
ENTREGA CALIFICACIÓN CURSO HABILIDADES EN PRESENTACIONES (EN SEMANA 10)														
PLANOS O PAPER (EN SEMANA 10)														
INFORME FINAL (EN SEMANA 10)														
PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														

### Anexo 13. Cronograma semanas 9 y 10

ACTIVIDAD	PROGRAMADO													
	SEMANA 9							SEMANA 10						
	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
Portada														
Autorización														
Hoja de firmas														
Resumen ejecutivo (español)														
Abstract														
Índice de contenido														
Índice de ilustraciones														
Índice de tablas														
Índice de ecuaciones														
Índice de anexos														
Siglas														
Glosario														
I. Introducción														
II. Planteamiento del problema														
III. Marco Teórico														
IV. Metodología														
V. Resultados y análisis														
V. Conclusiones														
VI. Recomendaciones														
Bibliografía														
Anexos														
ENTREGABLES MEDIO PERIODO														
INFORME MEDIO PERIODO (EN SEMANA 5)														
PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN (EN SEMANA 5)														
ENSAYO CONFERENCIA 1 (EN SEMANA 5)														
ENTREGABLES FINALES														
ENSAYO CONFERENCIA 2 (EN SEMANA 10)														
ENTREGA CALIFICACIÓN CURSO HABILIDADES EN PRESENTACIONES (EN SEMANA 10)														
PLANOS O PAPER (EN SEMANA 10)														
INFORME FINAL (EN SEMANA 10)														
PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														
GUIÓN DE LA PRESENTACIÓN FINAL (EN SEMANA 10)														