

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL MENDOZA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO FINAL**

PUENTE BADEN CACIQUE GUAYMALLÉN

ALVAREZ MANSILLA, Renzo Sthefano – DNI: 40.102.804 – Legajo: 41.439
BIANCO, Juan Pablo – DNI: 40.271.722 – Legajo: 42.837
MASUZZO, Macarena Itatí – DNI: 40.464.359- Legajo: 42.680
PAGLIAFORA CURATO, Juan Matías – DNI: 40.218.156 – Legajo: 42.995

Tutor: Ing. Helvio Grilli
Integrantes de cátedra: Tit: Ing. Pablo Martín
Ayte: Ing. Helvio Grilli

2024

RESUMEN

El siguiente informe, en carácter de anteproyecto, ha sido desarrollado por alumnos de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza (UTN-FRM), de la República Argentina, como parte de su Proyecto Final para la obtención del título de grado "Ingeniero Civil". Bajo la supervisión de docentes y profesionales asignados, se han aplicado y ampliado los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para llevar a cabo los estudios y análisis necesarios para la ejecución de un anteproyecto vial, hidráulico e hidrológico.

En este informe se desarrollarán aspectos ingenieriles relacionados con la propuesta mencionada, en el cual se abordarán temas sociales, económicos, viales y de tránsito, hidráulicos, hidrológicos, cálculos varios, entre otros.

El objetivo a abordar trata de una problemática existente entre dos departamentos de la Provincia de Mendoza, los cuales se encuentran limitados por la presencia de un canal de riego y desagüe aluvional. Como solución, se plantea la construcción de un puente badén o puente bado, diseñado para permitir el paso de un pequeño caudal en circunstancias específicas.

Se realizaron estudios y simulaciones hidrológicas e hidráulicas con el fin de proyectar los caudales máximos que puedan circular por el canal para determinar y diseñar alcantarillas, puente badén, obras de restitución si fueran necesarias, obras de protección, entre otras.

Además, se efectuaron análisis de tránsito, y de entorno, para proyectar el tránsito medio diario anual, considerando tránsito actual y futuro. A partir de estos datos se desarrolló el diseño geométrico y estructural del camino. Asimismo, se propondrán las obras necesarias para el correcto funcionamiento de la vía, como ser, señalización vertical y horizontal, reductores de velocidad y/o intercambiadores si fuesen necesarios.

Finalmente, se evaluaron y estudiaron materiales, métodos y sistemas de construcción adecuados para la ejecución de la propuesta.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO 1 – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
1.1. Introducción.....	9
1.2. Ubicación y Situación actual	9
1.3. Puente badén.....	16
1.3.1. Verificación de flotación	17
1.4. Estudio de antecedentes.....	18
1.4.1. Proyecto Puente Baden calle Nuestra Señora del Carmen, Gllén, Mendoza	18
1.4.2. Construcción Puente Baden en Santa María de Oro (Rivadavia, Mendoza).....	19
1.4.3. Construcción puente Baden sobre Rio Diamante (San Rafael, Mendoza).....	20
2. CAPÍTULO 2 - ESTUDIOS GENERALES	22
2.1. Población afectada.....	22
2.1.1. El Plumerillo	22
2.1.2. El Bermejo	23
2.2. Fenómenos meteorológicos	24
2.2.1. Viento Zonda.....	25
2.2.2. Granizo	26
2.2.3. Tormentas Convectivas.....	27
3. CAPÍTULO 3 - ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	31
3.1. Historia y descripción del Canal Cacique Guaymallén	31
3.1. Antecedentes de Tormentas.....	32
3.1.1. Aluvión de 1970	33
3.1.2. Tormenta de 2008.....	34
3.1.3. Tormenta de 2020.....	35
3.2. Cuencas de Aporte	35
3.3. Características físicas de las cuencas delimitadas	38
3.4. Método CN para el cálculo de las perdidas por infiltración.....	38
3.5. Tormentas de diseño	40
3.6. Aplicación de modelo HEC-HMS	41
3.7. Cálculo de caudales.....	42
4. CAPÍTULO 4 – ESTUDIO HIDRÁULICO.....	44
4.1. Modelación Hidráulica	44
4.1.1. Situación 1.....	48
4.1.2. Situación 2.....	50
4.1.2.a. Escenario 1	52
4.1.2.b. Escenario 2	54
4.1.2.c. Escenario 3	56
4.1.3. Situación 3.....	58

4.1.3.a.	Escenario 1	59
4.1.3.b.	Escenario 2	60
4.1.3.c.	Escenario 3	63
4.2.	Conclusión	64
4.3.	Cálculo de erosión	65
4.3.1.	Método de Lischtván y Lebediev	66
4.3.2.	Cálculo de socavación	67
4.3.3.	Resultados	68
4.4.	Obras de Protección	68
4.4.1.	Muros Marginales	69
4.4.2.	Gaviones	70
4.4.3.	Colchonetas	72
5.	CAPÍTULO 5 - PROYECTO VIAL	75
5.1.	Introducción	75
5.2.	Censo de Tránsito	75
5.3.	Estudio de Tránsito, TMDA y Tránsito Futuro	78
5.3.1.	Determinación de TMDA	79
5.3.2.	Tránsito Futuro	83
5.3.3.	Método 1 – Obtención de TMDA y TF	85
5.3.4.	Método 2 – Obtención TMDA y TF	86
5.3.4.a.	Método 2.1 – obtención de t_f	91
5.3.4.b.	Método 2.2 – obtención de t_f	92
5.3.4.c.	Método 2.3 – obtención de t_f	93
5.4.	PROYECTO GEOMÉTRICO	95
5.4.1.	Categorización de camino	95
5.4.2.	Vehículo de diseño	97
5.4.1.	Peralte	98
5.4.2.	Curvas Horizontales	98
5.5.	Diseño de Pavimento	100
5.5.1.	Resultados obtenidos del estudio de tránsito	101
5.5.2.	Composición vehicular	101
5.5.2.a.	Factor de distribución por dirección (DD)	102
5.5.2.b.	Factor de distribución por trocha (DF)	102
5.5.2.c.	Configuración y carga máxima legal por eje (según DNV)	102
5.5.3.	Cálculo de número de ejes equivalentes (ESAL)	103
5.5.3.a.	Cálculo de tránsito en carril de diseño	103
5.5.3.b.	Cálculo de cantidad de vehículos	104
5.5.3.c.	Cantidad de ejes por día de cada vehículo	104

5.5.3.d.	Cálculo de ejes por día de cada vehículo en el primer año.....	104
5.5.3.e.	Cantidad de ejes proyectados a 20 años.....	105
5.5.3.f.	Cálculo del Factor equivalente de cargas, LEF	105
5.5.3.g.	Cálculo del número de ejes equivalentes de 8,2 ton (ESALs)	109
5.5.4.	Cálculo de espesores del paquete estructural.....	109
5.5.4.a.	Coeficiente “a”	115
5.5.4.b.	Coeficiente de drenaje, m	117
5.5.4.c.	Espesores de capas	119
5.5.4.d.	Determinación de D	120
5.5.4.e.	Coeficiente de transferencia de carga, J	120
5.5.4.f.	Módulo de elasticidad del hormigón, E	120
5.5.4.g.	Módulo de rotura del hormigón, Sc.....	120
5.5.5.	Diseño de Juntas	121
5.5.5.a.	Estados tensionales.....	121
5.5.5.b.	Distribución de losas y juntas.....	124
5.6.	Señalización.....	126
5.6.1.	Señalización Horizontal.....	126
5.6.1.a.	Líneas Longitudinales	128
5.6.1.b.	Señalización Vertical	129
5.6.1.c.	Localización	131
6.	CAPÍTULO 6 – CÓMPUTO DE MATERIALES	133
6.1.	Itemizado de tareas y materiales.....	133
6.1.1.	Excavaciones	133
6.1.2.	Terraplén.....	133
6.1.3.	Bases y sub-bases estabilizadas	133
6.1.4.	Carpeta de concreto asfáltico en caliente, incluido riego de liga.	134
6.1.5.	Pavimento de hormigón H-21.....	134
6.1.6.	Hormigón H-21- Alcantarillas y elementos de protección de ribera	134
6.1.7.	Hormigón de elementos de protección de ribera.....	134
6.1.8.	Cordones de hormigón	134
6.1.9.	Acero ADN 420.....	134
6.1.10.	Baranda peatonal metálica, acero flexible.....	135
6.2.	Tablas resúmenes de computo	135
7.	CAPÍTULO 7- CONCLUSIONES.....	137
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	138

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:Ubicación general de Guaymallén y Las Heras	10
Ilustración 2: Ubicación general del Canal Cacique Guaymallén	11
Ilustración 3: Ubicación cruces viales sobre canal Cacique Guaymallén	12
Ilustración 4: Cruce vial sobre canal Cacique Guaymallén, calle Aristóbulo del valle	12
Ilustración 5: Cruce Vial sobre Canal Cacique Guaymallén, Ruta Nacional N°40	13
Ilustración 6: Ubicación Puente Baden	13
Ilustración 7: Calle Araujo, Guaymallén	14
Ilustración 8: Calle Paraná, Las Heras	14
Ilustración 9: Distancia lineal desde Rotonda del Avión hasta intersección Aristóbulo del Valle	15
Ilustración 10: Distancia lineal desde Rotonda del Avión hasta Calle Paraná	15
Ilustración 11: Proyección de Parque Costero	16
Ilustración 12: Pérdida de estabilidad de vehículos	17
Ilustración 13: Barrera para cierre de puente badén	18
Ilustración 14: Regla limnimétrica para medir altura de agua	18
Ilustración 15: Puente Baden calle Nuestra Señora del Carmen, Gllén, Mza	19
Ilustración 16: Puente badén en calle Nuestra Señora del Carmen, Gllén, Mza	19
Ilustración 17:Puente Baden en Santa María de Oro, Rivadavia, Mza	20
Ilustración 18:Puente Baden en Santa María de Oro, Rivadavia, Mza	20
Ilustración 19: Puente Baden en San Rafael, Mza	21
Ilustración 20:Puente Baden en San Rafael, Mza	21
Ilustración 21: Sitios de Relevancia de El Plumerillo.....	23
Ilustración 22: Sitios de relevancia de El Bermejo	24
Ilustración 23: Esquema de Viento Zonda	25
Ilustración 24: Imágenes ilustrativas de Viento Zonda en Mendoza	26
Ilustración 25: Imágenes ilustrativas de granizo en Mendoza.....	27
Ilustración 26:Hidrograma típico de una crecida aluvional	29
Ilustración 27: Imágenes ilustrativas de tormentas en Mendoza.....	30
Ilustración 28: Imagen ilustrativa de Canal Cacique Guaymallén.....	31
Ilustración 29: Colapso de Dique Frías, aluvión de 1970, imagen de Diario Mendoza.....	33
Ilustración 30: Calle San Martín durante aluvión de 1970, imagen de Diario Mendoza	34
Ilustración 31: Colapso de Canal Cacique Guaymallén, imagen de Diario Mendoza.....	34
Ilustración 32: Tormenta de 2020, imagen de Diario Clarín	35
Ilustración 33: Cuencas de aporte al Canal Cacique Guaymallén	36
Ilustración 34: Cauces principales de la red de evacuación aluvional del Gran Mendoza	37
Ilustración 35: Relación intensidad-duración-frecuencia, IDF, para el pedemonte mendocino.	41
Ilustración 36: Modelación hidrológica	42
Ilustración 37: Caudal obtenido para TR 2años	42
Ilustración 38: Caudal obtenido para TR 25años	43
Ilustración 39: Fotografías del Canal Cacique Guaymallén en el lugar de emplazamiento de la obra.....	47
Ilustración 40: Coeficiente de Manning adoptado	47
Ilustración 41: Modelo digital de elevaciones	48
Ilustración 42: Modelo digital de elevaciones, situación sin obra	49
Ilustración 43: Mancha de inundación, situación sin obra	49
Ilustración 44: Perfil transversal, tirante de agua H=4,10m	50
Ilustración 45: Modelo digital de elevaciones, Situación 2.....	51
Ilustración 46: Sección transversal alcantarillas, (sin escaler)	51
Ilustración 47: Planta de alcantarilla y obras de protección, (sin escaler).....	52
Ilustración 48: Mancha de inundación, situación 2 escenario 1.....	53
Ilustración 49: Mapa de velocidades, situación 2 escenario 1	53

Ilustración 50: Perfil transversal tirante de agua H=1,9m	54
Ilustración 51: Mancha de inundación, situación 2 escenario 2.....	55
Ilustración 52: Mapa de velocidades, situación 2 escenario 2	55
Ilustración 53: Perfil transversal tirante de agua H=3,20m	56
Ilustración 54: Mancha de inundación, situación 2 escenario 3.....	57
Ilustración 55: Mapa de velocidades, situación 2 escenario 3	57
Ilustración 56: Perfil transversal tirante de agua H=3,80m	58
Ilustración 57: Modelo digital de elevaciones de situación 3.....	58
Ilustración 58: Mancha de inundación, situación 3 escenario 1.....	59
Ilustración 59: Mapa de velocidades, situación 3 escenario 1	60
Ilustración 60: Perfil transversal tirante de agua H=1,25m	60
Ilustración 61: Mancha de inundación, situación 3 escenario 2.....	61
Ilustración 62: Mapa de velocidades, situación 3 escenario 2	62
Ilustración 63: Perfil transversal tirante de agua H=2,90m	62
Ilustración 64: Mancha de inundación, situación 3 escenario 3.....	63
Ilustración 65: Mapa de velocidades, situación 3 escenario 3	64
Ilustración 66: Perfil transversal tirante de agua H=3,40m	64
Ilustración 67: Fenómeno de erosión generalizada.....	68
Ilustración 68: Ejemplificación de muros marginales	70
Ilustración 69: Ejemplificación de gaviones caja.....	71
Ilustración 70: Ejemplo de mallas	71
Ilustración 71: Tipos de gaviones.....	71
Ilustración 72: Detalle de armado de estructura de disipación.....	73
Ilustración 73: Ejemplificación de colchonetas.....	74
Ilustración 74: Ejemplo de viaje para censo de origen y destino.....	76
Ilustración 75: Intersección de calles Aristóbulo del Valle y Mathus Hoyos en Guaymallén	77
Ilustración 76: Esquema de extrapolación de TMDA.....	78
Ilustración 77: Obtención de TMD brindada por Vialidad Nacional	81
Ilustración 78: Factores de ajustes Horarios, fhd	81
Ilustración 79: Obtención de TMDM brindada por Vialidad Nacional.....	82
Ilustración 80: Factor de ajuste diario mensual, fdm	82
Ilustración 81: Obtención de TMDA brindada por Vialidad Nacional.....	82
Ilustración 82: Factor de ajuste mensual, fm.....	83
Ilustración 83: Área de influencia entre rutas existentes	87
Ilustración 84: Área no beneficiada directamente con la nueva obra.....	88
Ilustración 85: Área de influencia de población directamente beneficiada	89
Ilustración 86: Zona de influencia de población directamente beneficiada, considerando zona no habitable.....	90
Ilustración 87: Datos de censos de la Provincia de Mendoza	91
Ilustración 88: Población de Mendoza por departamentos	93
Ilustración 89: Resumen de características de diseño geométrico de caminos rurales.....	96
Ilustración 90: Resumen de características de diseño geométrico de caminos rurales.....	96
Ilustración 91: Ejemplo poligonal de camino.....	97
Ilustración 92: Elección de peralte.....	98
Ilustración 93: Elementos de una curva horizontal	99
Ilustración 94: Esquema de curva circular con transición	99
Ilustración 95: Radios mínimos absoluto y deseable según DNV2010	100
Ilustración 96: Elementos de curvas del proyecto.....	100
Ilustración 97: Composición del tránsito	101
Ilustración 98: Factor de distribución por trocha	102
Ilustración 99: Configuración y carga máxima legal por vehículo.....	103
Ilustración 100: Tablas brindadas por Norma AASHTO	108

Ilustración 101: Tabla de clasificación de suelos según AASHTO	113
Ilustración 102: Verificación de SN mediante software AASHTO 93	114
Ilustración 103: Esquema de paquete estructural.....	115
Ilustración 104: Coeficiente estructural para capas asfálticas.....	116
Ilustración 105: Coeficiente estructural para base granular.....	116
Ilustración 106: Coeficiente estructural para sub base granular	117
Ilustración 107: Información climatológica de Mendoza	118
Ilustración 108: Tiempos de saturación	118
Ilustración 109: Coeficiente de drenaje	118
Ilustración 110: Determinación del valor D según software AASHTO 93	120
Ilustración 111: Elementos de un pavimento rígido.....	121
Ilustración 112: Tensiones debido a la contracción.....	122
Ilustración 113: Tensiones por alabeo	122
Ilustración 114: Tensiones debida a cargas de vehículos	123
Ilustración 115: Experimentos realizados sobre subrasante	124
Ilustración 116: Distribución de losas y juntas.....	125
Ilustración 117: Junta Longitudinal	125
Ilustración 118: Junta Transversal de contracción.....	126
Ilustración 119: Junta Transversal de dilatación.....	126
Ilustración 121: Ejemplificación de señalización horizontal	127
Ilustración 122: Trazado discontinuo.....	129
Ilustración 123: Trazado mixto	129
Ilustración 124: Ejemplo de cartelería vertical de prevención	130
Ilustración 125: Ejemplo de cartelería vertical informativa.....	130
Ilustración 126: Ejemplo de señalización vertical reglamentaria	130
Ilustración 127: Ejemplo de señalización vertical de transición	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros morfométricos de las cuencas.....	40
Tabla 2: Distribución Temporal.....	41
Tabla 3: Resumen de caudales y TR, para intersección de Cacique Guaymallén con Zanjón de los Ciruelos	43
Tabla 4: Resumen de situaciones a analizar	44
Tabla 5: Valores de coeficiente de Manning.....	46
Tabla 6: Resumen de escenarios a analizar para la situación 2	52
Tabla 7: Resumen de escenarios a analizar para la situación 2	59
Tabla 8: Resumen de las situaciones planteadas, descripción y funcionamiento de las alcantarillas	65
Tabla 9:Tabla para la obtención de espesores de colchoneta.....	73
Tabla 10: Conversión de vehículos pesados a livianos	79
Tabla 11: Datos de Censo manual realizado sobre Aristóbulo del Valle	79
Tabla 12: Tránsito Medio Horario	80
Tabla 13: Vehículos representativos según Norma DNV 2010	98
Tabla 14: Distribución de vehículos según censo de tránsito.....	102
Tabla 15: Resumen de configuración y carga máxima legal por vehículo	102
Tabla 16: Cálculo de ejes por día	104
Tabla 17: Cálculo de ejes por año	104
Tabla 18: Cálculo de coeficiente de paso.....	105
Tabla 19: Resumen de obtención de resultados.....	109
Tabla 20: Ancho de líneas longitudinales.....	128
Tabla 21: Valores de módulos y relación de marca/módulo	128

Tabla 22: Cómputo y precio de paquete estructural de pavimento asfáltico por metro lineal	135
Tabla 23: Cómputo y precio de paquete estructural de pavimento rígido.....	135
Tabla 24: Cómputo y precio de alcantarilla	136

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A – CENSO DE ORIGEN Y DESTINO. RESULTADOS

ANEXO B – CONTEO VEHICULAR. RESULTADOS

ANEXO C – PLANOS DE PROYECTO

1. CAPÍTULO 1 – DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción

En la provincia de Mendoza se encuentran los departamentos de Guaymallén y Las Heras, los cuales están delimitados por un canal artificial de gran importancia para la región. Este canal es uno de los principales utilizados para el transporte de riego y desagüe aluvional, circulando a través de seis departamentos.

En la zona mencionada, existen escasas conexiones viales y peatonales, lo que dificulta la comunicación directa entre ambos departamentos. Esto obliga a los habitantes a realizar desvíos que incrementan el tiempo y los costos de traslado.

El presente proyecto propone una solución a esta problemática mediante la construcción de un puente badén, una estructura con una depresión que permite el paso de un determinado caudal de agua en circunstancias específicas. Este puente funcionaría de manera intermitente, dependiendo de la presencia de tormentas o del caudal que circule por el canal.

Lo que se plantea y estudia en el siguiente proyecto es una solución a esta problemática proponiendo la construcción de un puente badén o puente bado, estructura con una depresión que permite, para circunstancias específicas, el paso sobre él de un determinado caudal, lo que haría que funcionase de manera intermitente de acuerdo a la tormenta o caudal que circule por el canal.

1.2. Ubicación y Situación actual

El emplazamiento del proyecto se encuentra en el límite de los departamentos de Guaymallén, al norte, en el distrito de El Bermejo, y Las Heras, al sureste, distrito de El Plumerillo. Estos dos distritos se encuentran delimitados por el Canal Cacique Guaymallén, que como se mencionó anteriormente, su finalidad es dirigir los caudales para riego y de desagüe aluvional.

A su vez, cabe mencionar, que los departamentos involucrados forman parte de lo que se denomina en la provincia como “Gran Mendoza”. Esta es un área metropolitana que comprende varios departamentos que, debido a su cercanía y la expansión urbana, forman una unidad socioeconómica y administrativa.

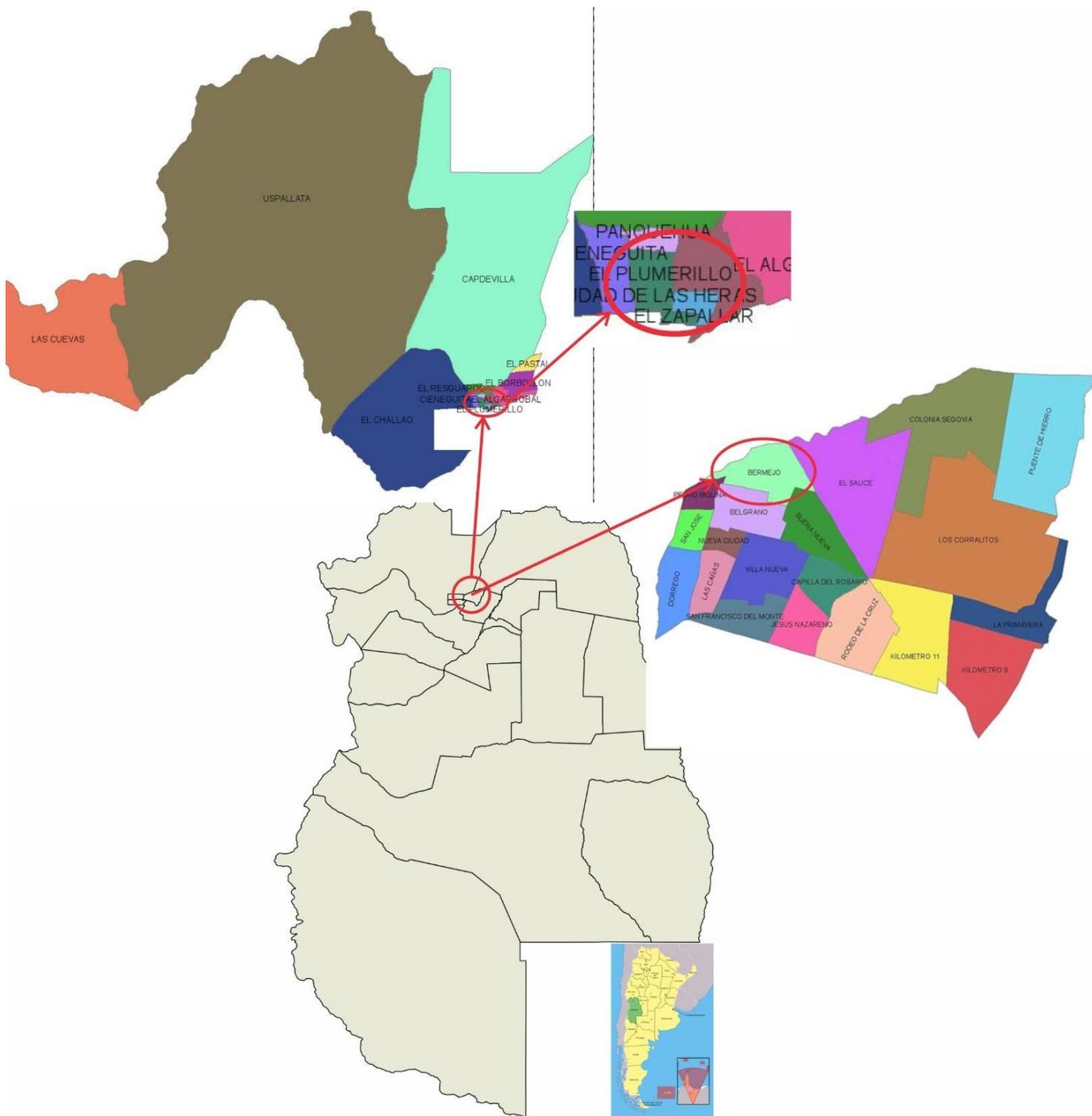


Ilustración 1: Ubicación general de Guaymallén y Las Heras



Ilustración 2: Ubicación general del Canal CaciQue Guaymallén

Al atravesar el canal dichos departamentos, crea un obstáculo para la comunicación vial y peatonal, no solo para los residentes locales, sino también para aquellos que necesitan dirigirse hacia el norte de la provincia por esta región.

Actualmente, solo existen dos conexiones viales: Calle Aristóbulo del Valle y Ruta Nacional N°40, más conocida como “Costanera” o “Acceso Norte”. Estas circunstancias obligan a los usuarios a recorrer mayores distancias para llegar a su destino, lo que impacta directamente en un mayor consumo de combustible además de generar un mayor tiempo de viaje. Ambas carreteras pasan por encima del canal por medio de puentes.



Ilustración 3: Ubicación cruces viales sobre canal Cacique Guaymallén



Ilustración 4: Cruce vial sobre canal Cacique Guaymallén, calle Aristóbulo del valle



Ilustración 5: Cruce Vial sobre Canal Cacique Guaymallén, Ruta Nacional N°40

Lo que se busca con este proyecto es la construcción de nuevas conexiones en la zona descrita. El mismo se ubicaría uniendo la calle Araujo de Guaymallén, con la calle Paraná de las Heras.

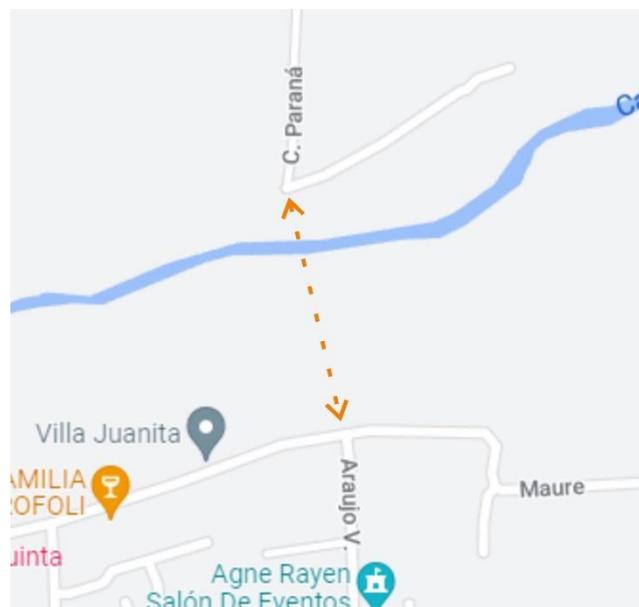


Ilustración 6: Ubicación Puente Baden



Ilustración 7: Calle Araujo, Guaymallén



Ilustración 8: Calle Paraná, Las Heras

Se puede observar en *Ilustración 9* la distancia que separan las carreteras actuales, teniendo aproximadamente 3.5km lineales. Realizando la obra propuesta en las calles mencionadas esta distancia se reduce en un kilómetro aproximadamente, es decir a 2,8km desde la ruta 40 (*Ilustración 10*). Por lo tanto, no sólo reducimos distancias entre caminos, sino que damos una nueva alternativa de viaje.

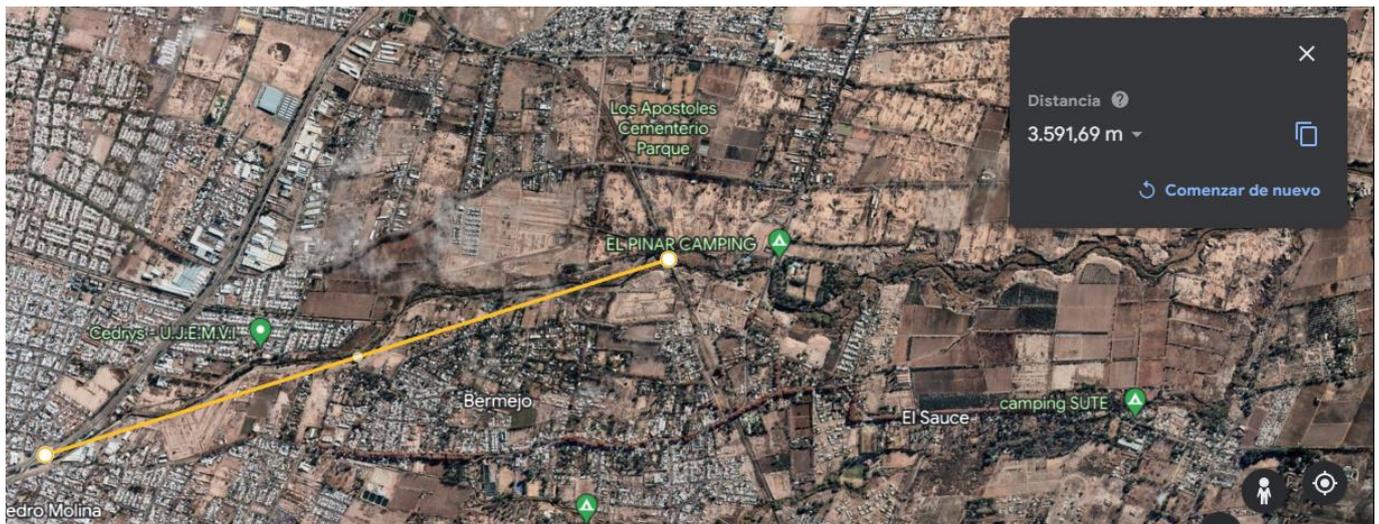


Ilustración 9: Distancia lineal desde Rotonda del Avión hasta intersección Aristóbulo del Valle



Ilustración 10: Distancia lineal desde Rotonda del Avión hasta Calle Paraná

En toda esta región descrita, la Municipalidad de Guaymallén está llevando a cabo el proyecto denominado “Parque Costero”, que implica la restauración y embellecimiento del lugar. Esta propuesta incluye una alternativa vial y un enfoque innovador para el funcionamiento del Canal Cacique Guaymallén en caso de crecidas. Se espera que el parque se convierta en un nuevo punto turístico y de recreación en la provincia.

Por lo tanto, considerando este proyecto, se anticipa crecimiento poblacional y turístico, una mayor valorización y encarecimiento de las localidades, lo que provocaría un aumento del tráfico. Esto hace necesario disponer de más alternativas para la comodidad de los usuarios.



Ilustración 11: Proyección de Parque Costero

1.3. Puente badén

El proyecto vial propuesto como solución a la problemática descrita con anterioridad, es la construcción de un puente badén o un puente bado, en lugar de la construcción tradicional de un puente.

Este tipo de obras ofrecen una alternativa satisfactoria al uso de alcantarillas y puentes para el cruce de arroyos en caminos de bajo volumen de tránsito, donde la mayor parte del año el río, o canal para este caso en estudio, permanece seco y posee una profundidad de flujo normal relativamente bajo. Como se desarrollará más adelante, la premisa de diseño para este tipo de infraestructura es que se inunde, interrumpiendo el tránsito por un período de tiempo, y permitiendo el cruce con un tirante sobre el mismo menor o igual a 30cm.

Los puentes bado son utilizados con frecuencia para los flujos intermitentes o efímeros. Para una corriente perenne, es necesario determinar la profundidad de flujo asociado con la descarga de diseño. La profundidad probable del agua puede ser determinada por la observación en el sitio durante un período largo o mediante la realización de análisis hidrológico e hidráulico, como se describirá en este trabajo.

Al permitir el paso de vehículos con agua sobre la calzada (menor a 30cm) se debe considerar el riesgo de accidentes por hidropneumático. Para caminos de categorías que varían entre III y IV (velocidad directriz de 60km/h y 40km/h respectivamente) no se podrán colocar vados en tramos rectos largos y en lugares sin sobrepaso debido a los requerimientos mínimos de estos. En los tramos donde se coloquen vados se debe señalar con dispositivos de señalización vertical y horizontal, indicando en cruce por vado y la reducción de velocidad en días lluviosos.

1.3.1. Verificación de flotación

La pérdida de estabilidad de un vehículo por flotación se presenta cuando la fuerza de flotación, F_b , supera el peso del vehículo, W . Dado que en los vehículos actuales el motor se encuentra en la parte delantera, la mayoría de las veces inicialmente las ruedas posteriores pierden el contacto con el piso y el vehículo gira apoyado en las ruedas anteriores y, posteriormente, en muchas ocasiones, es desplazado por el flujo. Este tipo de pérdida de estabilidad se presenta principalmente cuando el flujo presenta bajas velocidades y altas profundidades.

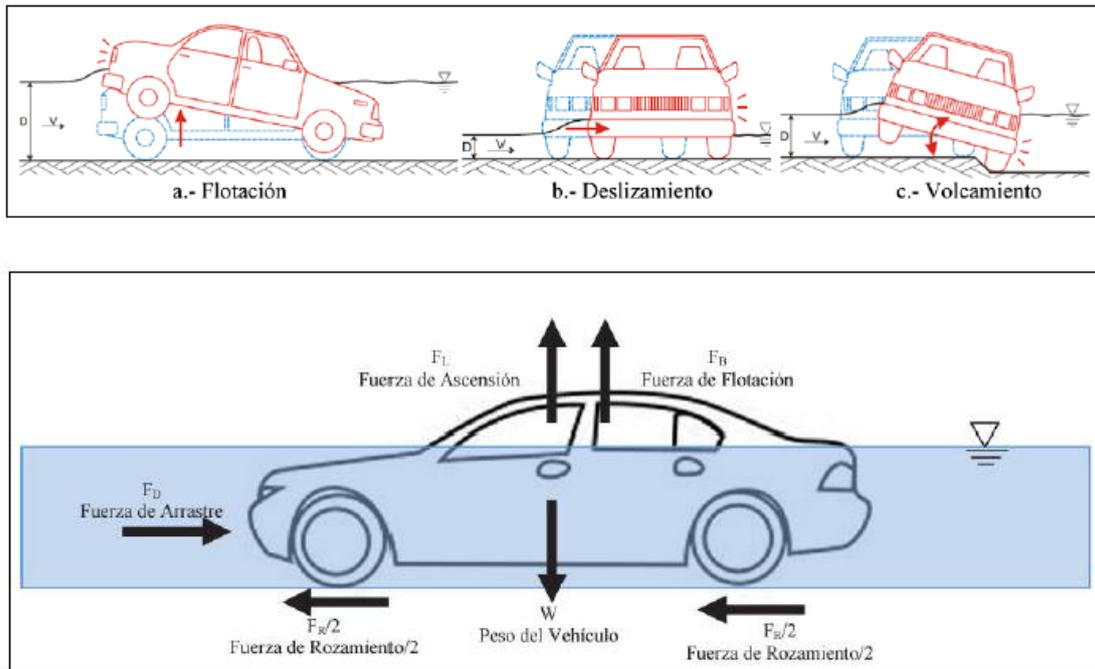


Ilustración 12: Pérdida de estabilidad de vehículos

La fuerza de flotación F_b se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_b = \rho * g * vol$$

Donde:

- ρ = densidad del agua,
- g = aceleración debido a la gravedad
- vol = volumen de agua desplazado por el vehículo.

Teniendo en cuenta que el área de proyecto corresponde a una zona urbana, se adopta como vehículo de diseño un auto liviano de tracción delantera simple, por este motivo se considera un auto de 1300 kg. Del análisis resulta que el tirante máximo que se admitirá para la circulación es de **0,30 m**.

Deberá colocarse la cartelería adecuada de advertencia, como ser, regla limnimétrica en ambos sentidos de circulación, barreras, semáforos, para evitar que los usuarios circulen sobre la calzada cuando exista un tirante igual o mayor al determinado anteriormente.



Ilustración 13: Barrera para cierre de puente badén



Ilustración 14: Regla limnimétrica para medir altura de agua

1.4. Estudio de antecedentes

1.4.1. Proyecto Puente Baden calle Nuestra Señora del Carmen, Gllén, Mendoza

Esta obra fue ejecutada en el año 2018 por el municipio de Guaymallén con el fin de laminar caudales aluvionales mediante el paso del agua por la alcantarilla construida y generar una laguna de retención para aliviar los caudales sobre el canal Lagunitas.

La construcción del badén, que busca evitar conducir grandes caudales aguas abajo, contempla un canal de fuga de 3 metros de ancho y 1,7 metros de profundidad. De esta forma se evita, por un lado, una mayor inversión en infraestructura; y por el otro, el envío de grandes caudales y de forma repentina al departamento de Lavalle.



Ilustración 15: Puente Baden calle Nuestra Señora del Carmen, Gllén, Mza



Ilustración 16: Puente badén en calle Nuestra Señora del Carmen, Gllén, Mza

1.4.2. Construcción Puente Baden en Santa María de Oro (Rivadavia, Mendoza)

Esta obra fue ejecutada en el año 2019, donde su principal finalidad es la conexión entre los distritos de Santa María de Oro y Los Campamentos del Departamento de Rivadavia. Debido a los grandes aluviones que producen crecidas sobre el Río Tunuyán, no era posible la conexión entre ambos distritos.



Ilustración 17:Puente Baden en Santa María de Oro, Rivadavia, Mza



Ilustración 18:Puente Baden en Santa María de Oro, Rivadavia, Mza

1.4.3. Construcción puente Baden sobre Rio Diamante (San Rafael, Mendoza)

Esta obra fue ejecutada en el año 2019 sobre el rio Diamante en el departamento de San Rafael, este proyecto tiene como finalidad canalizar los vehículos pesados sobre esta nueva vía para evitar que los mismos accedan a la Ciudad de San Rafael.



Ilustración 19: Puente Baden en San Rafael, Mza



Ilustración 20: Puente Baden en San Rafael, Mza

2. CAPÍTULO 2 - ESTUDIOS GENERALES

2.1. Población afectada

Para la evaluación de esta obra, es necesario conocer la población que se vería favorecida por ella. Si bien podríamos considerar que toda la población del Gran Mendoza se vería beneficiada por una obra de estas características, analizaremos la población directamente involucrada, es decir, los habitantes de El Plumerillo y El Bermejo.

2.1.1. El Plumerillo

El Plumerillo es una localidad perteneciente al departamento de Las Heras. Se encuentra a 8km de la capital provincial, con la cual se comunica directamente mediante la Ruta Nacional 40 y la Ruta Provincial 52.

Posee una población de 38.307 habitantes (Indec 2010). Es una zona de gran relevancia histórica, residencial y comercial dentro del Gran Mendoza.

Cuenta con diversas actividades económicas, destacándose el comercio y los servicios. La zona tiene una mezcla de áreas residenciales y comerciales, lo que contribuye a la economía local. Además, la proximidad al Aeropuerto Internacional Gobernador Francisco Gabrielli juega un papel crucial en el desarrollo económico.

También alberga monumentos y sitios históricos relacionados con la Gesta Libertadora, lo que lo convierte en un punto de interés cultural y turístico, realizándose actividades culturales, educativas y turísticas.

El Plumerillo tiene una gran infraestructura que incluye escuelas, centros de salud, espacios recreativos.

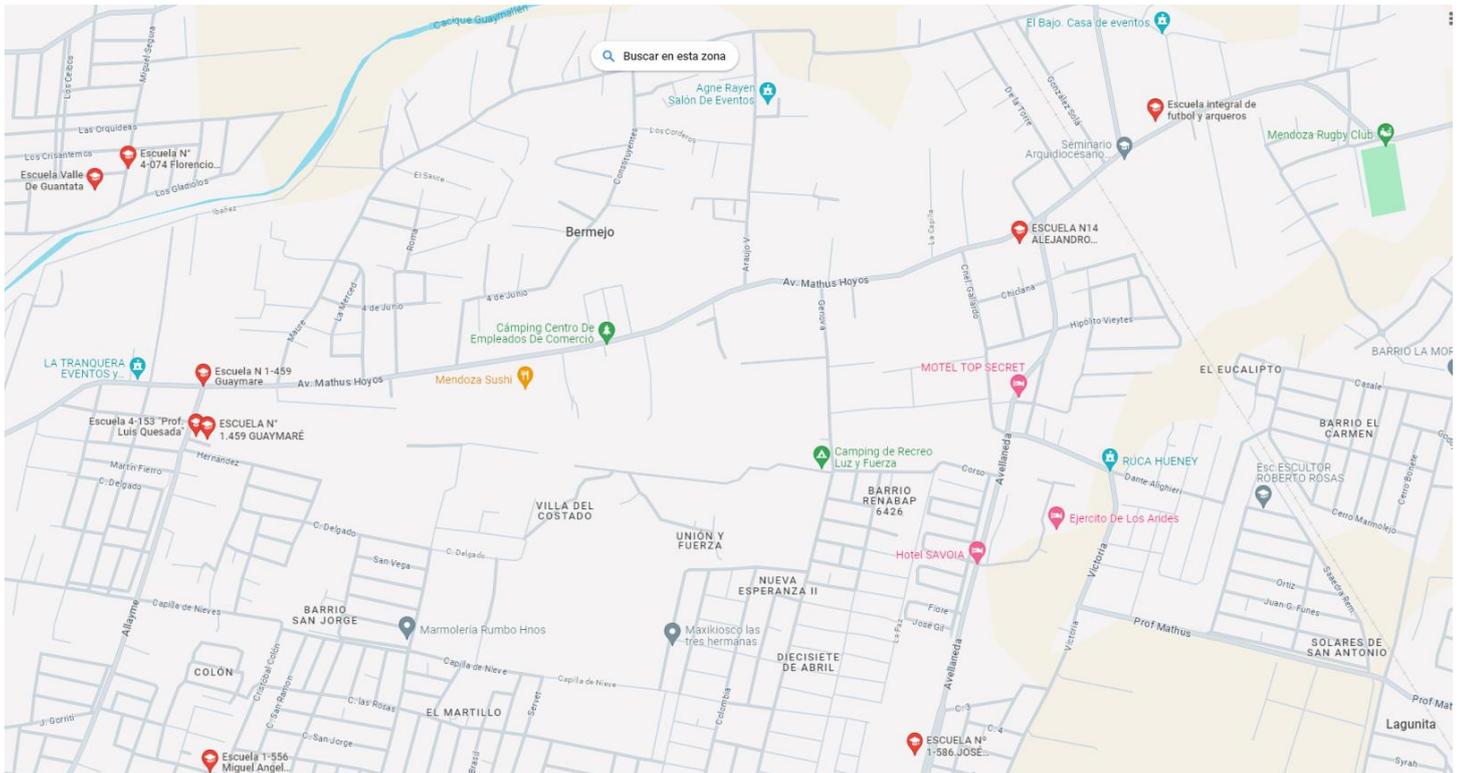


Ilustración 22: Sitios de relevancia de El Bermejo

La evaluación revela que ambos departamentos tienen aspectos de importancia a considerar. Como se observó, hay una gran cantidad de escuelas, hospitales, cementerios, iglesias e incluso el Aeropuerto Internacional.

En este sentido, la creación de un nuevo acceso que conecte ambas localidades no solo mejoraría la comunicación vial, sino que también aliviaría la congestión en las principales arterias y proporcionarían un respaldo en caso de que las dos vías existentes no estén operativas en algún momento.

2.2. Fenómenos meteorológicos

El clima árido de la Provincia de Mendoza presenta varios fenómenos meteorológicos que afectan en mayor o menor medida las distintas actividades de la región, entre ellas podemos nombrar viento zonda, granizo, heladas, tormentas convectivas de verano, etc. Es de importancia conocer los distintos fenómenos que ocurren en la provincia principalmente por el impacto que puede tener en el funcionamiento de obras de arte, alcantarillas y cauces, lo que afecta directamente la obra del puente badén, ya que, recordemos, este es diseñado para que en determinadas circunstancias el agua pase sobre él, y además, para determinado caudal que lo sobrepase debe ser interrumpido el tránsito.

2.2.1. Viento Zonda

El viento zonda es un fenómeno meteorológico característico de la región de Cuyo en Argentina especialmente en la provincia de Mendoza. Es un viento cálido y seco que desciende desde las laderas orientales de la Cordillera de los Andes hacia el valle.

Este viento se origina cuando las masas de aire húmedo del Océano Pacífico ascienden por la ladera occidental de los Andes, enfriándose y provocando precipitaciones en forma de nieve y lluvia. Al pasar la cresta de la cordillera y descender por la ladera oriental, el aire se calienta adiabáticamente (por compresión), perdiendo su humedad y convirtiéndose en un viento seco y cálido.

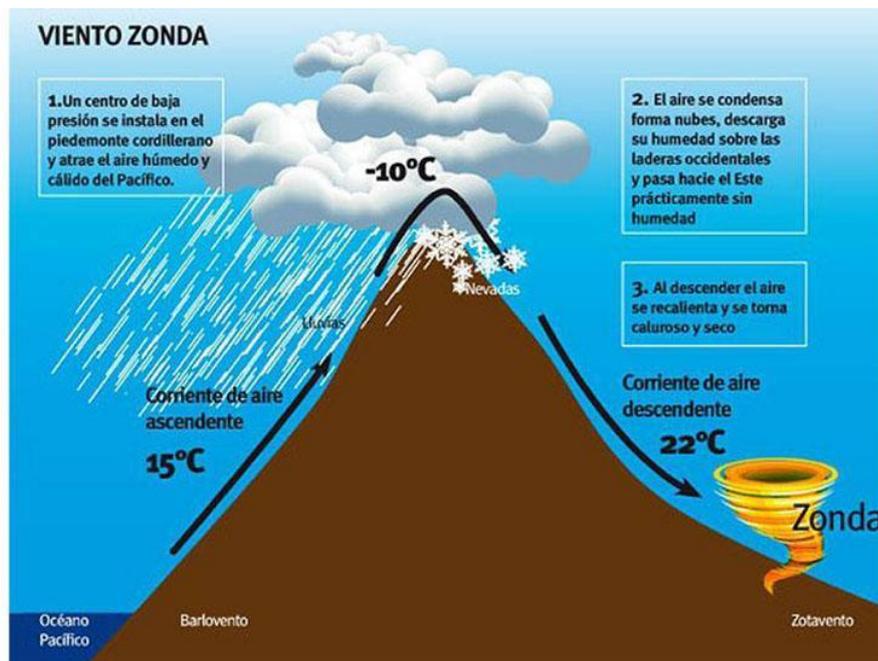


Ilustración 23: Esquema de Viento Zonda

El zonda suele ocurrir principalmente durante la primavera y el verano, aunque también puede presentarse en otras estaciones del año. Puede alcanzar velocidades significativas, a veces superiores a los 50km/h, e incluso ráfagas que superan los 100km/h. Este fenómeno tiene varios impactos en la agricultura, efectos sobre la salud, incendios forestales e interrupciones en la vida cotidiana.

Para el caso en estudio el mayor impacto es el hecho de que como resultado del viento pueden haber caídas de árboles, ramas, hojas y arrastre de residuos sólidos urbanos (RSU), los cuales en la mayoría de las ocasiones caen sobre los causes, por lo que luego de la ocurrencia del fenómeno, es necesario el monitoreo y vigilancia de las obras de desagüe y conducción para su correcto mantenimiento y despeje en caso de ser necesario.



Ilustración 24: Imágenes ilustrativas de Viento Zonda en Mendoza

2.2.2. Granizo

El granizo es un fenómeno meteorológico que se produce con frecuencia en la provincia de Mendoza, Argentina, y tiene un impacto significativo en tormentas convectivas severas, donde las corrientes de aire ascendente (corrientes convectivas) son lo suficientemente fuertes como para elevar gotas de agua por encima del nivel de congelación de la atmósfera.

El proceso de formación del granizo se puede dividir en 4 etapas:

- 1- **Tormentas Convectivas:** en las tormentas convectivas, el aire cálido y húmedo asciende rápidamente y se enfría al elevarse, formando nubes de gran desarrollo vertical.
- 2- **Congelación:** las gotas de agua son arrastradas hacia arriba por las corrientes ascendentes hasta que alcanzan alturas donde la temperatura es inferior a 0°C , congelándose en pequeños granos de hielo.
- 3- **Crecimiento del granizo:** estos granos de hielo pueden ser capturados rápidamente por corrientes ascendentes y descendentes dentro de la nube, acumulando capas de agua que se congelan sucesivamente. Cada ciclo aumenta el tamaño del granizo.
- 4- **Caída:** cuando las piedras de granizo se vuelven demasiado pesadas para que las corrientes de aire las mantengan en suspensión, caen a la superficie terrestre.

En la provincia tiene un gran impacto en agricultura, infraestructura y en la vida cotidiana de la provincia.

Para el caso en estudio la caída de granizo el principal inconveniente que genera es que el hielo caído no se funde inmediatamente, sino que se acumula creando masas más grandes de hielo conocidas como “rehielo”. Además, si la tormenta es acompañada, como ocurre en la mayoría de los casos, de precipitación líquida, el agua arrastra el granizo mezclado con hojas, ramas y RSU que encuentra a su paso, provocando verdaderos atoraderos en las distintas obras de arte, cauces de riego y aluvionales. De esta forma, las alcantarillas y puentes que se ven obstruidos favoreces la acumulación de hielo y agua en las zonas más bajas, delante de los terraplenes de las rutas y caminos, afectando gravemente áreas urbanizadas a causa de la inundación de las viviendas aledañas.



Ilustración 25: Imágenes ilustrativas de granizo en Mendoza

2.2.3. Tormentas Convectivas

Si bien los dos eventos anteriores son de importancia, la mayor complicación la puede originar una tormenta conectiva.

El Gran Mendoza se encuentra en el pie del sector terminal de la Precordillera Andina, con una superficie aproximada de 700 kilómetros cuadrados, contabilizando en esta área, tanto al piedemonte como a los sectores urbanizados y ocupados por la ciudad. El piedemonte se desarrolla entre los 1.500 metros y los 850 metros aproximadamente sobre el nivel del mar. Esta es el área que recibe las precipitaciones y da origen a los escurrimientos torrenciales que afectan al Gran Mendoza.

La característica de aridez de la zona contribuye al desarrollo de la escasa vegetación arbustiva basada en un suelo edafológicamente muy pobre, donde las características de gran permeabilidad, escasa cohesión y elevada pendiente, le confieren una baja resistencia a la erosión, basada solamente en la vegetación arbustiva y xerófila natural.

El clima del Gran Mendoza se caracteriza por presentar dos situaciones claramente definidas, correspondiente a una época seca y otra un poco más húmeda. Las precipitaciones totales se incluyen en la isoyeta de 200 milímetros anuales.

La temporada seca coincide con la primera parte del otoño, el invierno y la primera etapa de la primavera (mediados de abril a mediados de octubre). Durante este período se produce la menor cantidad de precipitaciones consistente en lluvias y lloviznas, de larga duración en el tiempo, pero de escasa intensidad, variando desde trazas a escasos milímetros. Otro tipo de precipitaciones corresponde a esporádicas nevadas durante los meses de julio a septiembre.

La temporada húmeda abarca el segundo período de la primavera, el verano y las primeras semanas del otoño. Durante esta época se registra entre el 95% y el 98% de las precipitaciones anuales totales. Los fenómenos son de precipitaciones intensas en un muy corto período de tiempo, el cual oscila entre los veinte a los noventa minutos con intensidades muy altas, en que se han registrado hasta un máximo de cinco milímetros por minuto.

Cuando se produce una lluvia torrencial, parte del agua precipitada en el primer tercio de la duración de la tormenta, es absorbido por el terreno, de acuerdo a su permeabilidad y parte se evapora nuevamente a la atmósfera debido a las elevadas temperaturas, tanto de sus capas en contacto con el suelo, como debido a las temperaturas del suelo donde ha precipitado. Durante el segundo tercio de duración de la tormenta, se produce el pico del hidrograma, es decir su valor máximo, para luego, entrar en el decaimiento del mismo, hasta llegar al caudal de base, que para este caso vale cero.

El tiempo al pico corresponde a la máxima descarga o al caudal máximo, el que dependerá, en gran medida, de la longitud y extensión de la cuenca y de la situación de la cuenca, previamente a la ocurrencia de la precipitación.

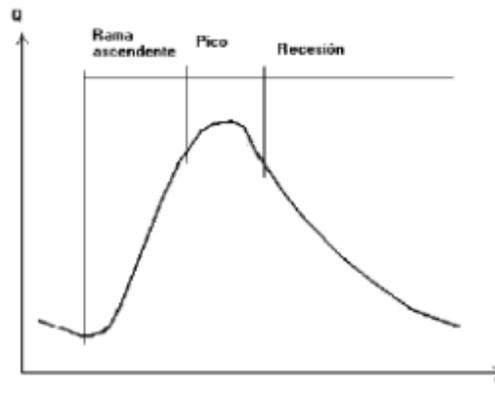


Ilustración 26: Hidrograma típico de una crecida aluvional

En general, los tiempos al pico o tiempos de respuesta, para el Gran Mendoza oscilan entre los 40 minutos, para los sectores de las cuencas en que se encuentran en la Precordillera, y los 20 minutos, para aquellos sectores que se encuentran cercanos a las áreas urbanizadas. Por las razones geomorfológicas brevemente explicadas, las crecidas aluvionales siempre van acompañadas de abundante material natural, tanto en suspensión como de arrastre de fondo. A medida que las pendientes disminuyen el material que requiere mayor cantidad de energía para su transporte, va siendo depositado en el cauce, mediante el proceso comúnmente conocido como decantación o sedimentación.

Parte de todos estos materiales son conducidos a través de los canales que atraviesan el Gran Mendoza, pudiéndose apreciar luego de las grandes tormentas, en los principales canales matrices y colector final.

Es así como se producen las siguientes crecidas claramente diferenciables de las aluvionales:

- **Crecidas de origen urbano:** son aquellas que se producen por una precipitación exclusivamente sobre áreas urbanizadas, en las que la topografía y las condiciones de absorción y escurrimiento han sido modificadas totalmente por la acción antrópica. Las clásicas urbanizaciones de trazado rectangular, con las calles y acequias en el sentido de la máxima pendiente, aumentan el efecto de la concentración de los caudales y disminuyen el tiempo de respuesta de las cuencas urbanas. Esta característica provoca que, tormentas de idéntica magnitud, con el correr del tiempo, causen más daños e inundaciones en los sectores más bajos y de menor pendiente que se encuentran en las partes distales o terminales de la periferia de la cuenca.
- **Crecidas de origen nival de los ríos:** son aquellas que tienen su origen en el derretimiento de la nieve precipitada y acumulada durante el invierno anterior, además de la contribución de los glaciares y las vertientes. Asimismo, los caudales de los ríos

(corrientes permanentes de agua superficial) pueden recibir aportes esporádicos de las eventuales tormentas que se produzcan durante la temporada estival.



Ilustración 27: Imágenes ilustrativas de tormentas en Mendoza

3. CAPÍTULO 3 - ESTUDIO HIDROLÓGICO

3.1. Historia y descripción del Canal Cacique Guaymallén

El canal cacique Guaymallén es el colector principal de diversas cuencas pedemontana ubicadas en la Provincia de Mendoza, tiene una extensión de sur a norte de 27 kilómetros en su sector urbano, con otros tantos hasta llegar a su derivación final en el compartó del canal Jocolí, en el departamento de Lavalle.

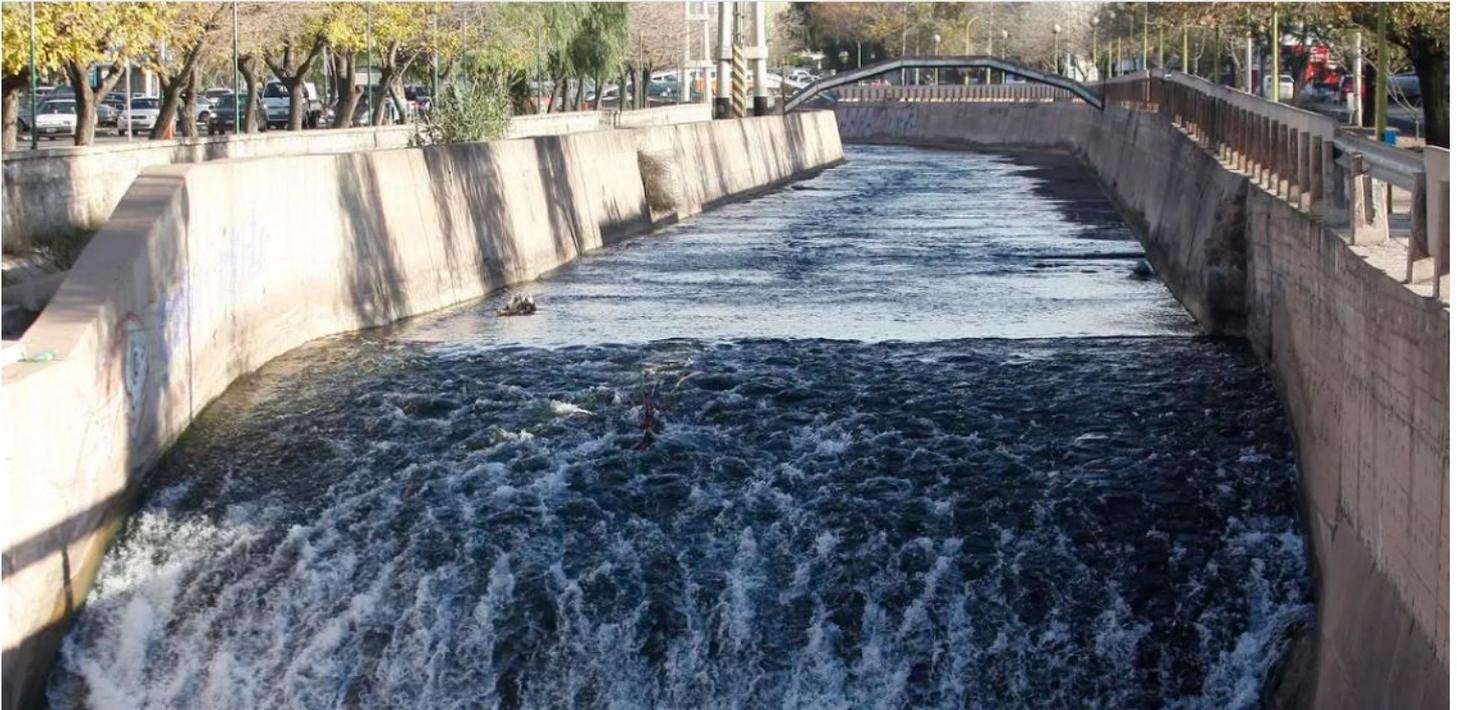


Ilustración 28: Imagen ilustrativa de Canal Cacique Guaymallén

Tiene múltiples funciones, por lo que necesita de dimensiones muy importantes para poder cumplirlas, muchas veces, de manera simultánea. Podría decirse que se comporta como un verdadero río debido a que es un cauce natural y conduce agua para riego, abastecimiento humano, abastecimiento industrial y usos no consuntivos como lo es la generación hidroeléctrica en la Central San Martín en el Departamento de Luján de Cuyo.

Nace en el dique Cipolletti, azud derivador de riego, del cual nace el canal Gran Matriz sobre la margen izquierda y nutre de las dotaciones a los todos los canales de riego, tanto de la margen derecha como de la margen izquierda del Río Mendoza, totalizando más de 80.000 hectáreas. Del Canal Gran Matriz se desprende inmediatamente el Canal Matriz margen derecha, que sirve a la zona de Luján Sur, mediante un sifón que atraviesa el cauce del río Mendoza. Unas pocas centenas de metros aguas abajo, se encuentra la Central Hidroeléctrica San Martín, y, unas decenas de metros aguas abajo, se encuentra el Gran Comparto, del cual nacen el canal Cacique Guaymallén y el canal San Martín.

Por su parte, el canal Cacique Guaymallén posee una serie muy importante de derivaciones a lo largo de su extenso desarrollo, entregando agua de riego a medida que progresa en longitud. Se convierte en canal de desagüe aluvional a partir del primer tributario, es decir, el Río Seco Sosa, siempre desde la margen izquierda. A partir de allí, a unos metros aguas abajo del dique Gil, el canal ya cumple sus dos principales roles hasta su finalización.

Las dimensiones predominantes de este gran cauce son los quince a veinte metros de ancho, entre los dos metros y medio y tres metros y medio de profundidad, con una pendiente de fondo de solera de 0.8 % de promedio, desarrollado siembre en excavación. A fin de disminuir la erosión general, especialmente del fondo, las diversas administraciones provinciales han realizado obras de estabilización de fondo a efectos de disminuir la pendiente y, por lo tanto, la velocidad media de la corriente, directamente relacionada con la capacidad de transporte y la erosión de fondo.

La diferencia entre las necesidades de conducir agua para riego y las de conducir los desagües de las tormentas convectivas muestra un gran canal urbano, la mayor parte del tiempo, con una capacidad “ociosa” o vacío. Esta errónea visión simplista se ve corregida durante las crecidas de verano, donde la capacidad de conducción se ve colmada y, en algunas ocasiones, sobrepasada por los escurrimientos combinados de los tributarios. A veces, suele embancarse (acumulación de ramas, basura, restos de estructuras, etc.), causando los temidos desbordes, con las consecuentes inundaciones aguas abajo, en general sobre la margen derecha del cauce, en el departamento Guaymallén.

En general, el paisaje urbano que presenta el canal Cacique Guaymallén consiste en una estructura rectangular, con distintas configuraciones, que dependerá del momento en que la Administración ejecutó las obras correspondientes. También, se encuentra atravesado por innumerables puentes carreteros, cuyas estructuras son variadas y le ofrecen distintos grados de obstaculización o estrangulamiento, dependiendo de la edad de los mismos y su planificación o coordinación con la autoridad de aplicación, es decir, la Dirección de Hidráulica para el caso de las crecidas aluvionales y el Departamento General de Irrigación, para el caso de las dotaciones de riego. Puede estimarse en unos 250 m³ /s como capacidad máxima de conducción en el sector urbano, hasta el Dique Algarrobal, en el departamento Las Heras.

3.1. Antecedentes de Tormentas

El estudio de antecedentes de tormentas y aluviones en la provincia de Mendoza es para tomar conciencia de la importancia de realizar una correcta proyección de períodos de recurrencia, caudales y la infraestructura adecuada para evitar que sucedan catástrofes como las que se verán a continuación.

A lo largo de su historia, Mendoza, ha sido azotada por diversos desastres naturales. No solo está ubicada en una zona sísmica, por lo que los terremotos han formado parte la historia, sino que además el desnivel producido por la cercanía del piedemonte hace que ciertos sectores sean propensos a aluviones e inundaciones.

3.1.1. Aluvión de 1970

El domingo 4 de enero de 1970 se desató sobre Mendoza una tormenta muy intensa. El agua bajaba de los cerros con un caudal inusitado y con fuerza imparable que hizo colapsar el dique Frías, ubicado en el límite del departamento de Godoy Cruz y Ciudad.



Ilustración 29: Colapso de Dique Frías, aluvión de 1970, imagen de Diario Mendoza

El enorme caudal bajó devastando la zona de Villa del Parque, llegando a Ciudad. La calle San Martín, calle principal del centro de la provincia, se convirtió en un río. Puente Olive, que conectaba con Luján (aún no existía el “Acceso Sur”) había sido arrasado por el agua. El canal Cacique Guaymallén se encontraba desbordado.



Ilustración 30: Calle San Martín durante aluvión de 1970, imagen de Diario Mendoza

Como resultado del devastador aluvión se perdieron 24 vidas y se declararon daños materiales por 23 millones de dólares de la época.



Ilustración 31: Colapso de Canal Cacique Guaymallén, imagen de Diario Mendoza

3.1.2. Tormenta de 2008

El día 29 de enero hubo una torrencial lluvia sobre el Gran Mendoza, provocando inundaciones en arterias importantes de la zona metropolitana, que generó trastornos en varias zonas. Una de

las más afectadas fue la que rodea el zanjón de los Ciruelos y San Martín, en el límite de Capital y Las Heras. El agua circulaba por encima de la calzada como un río.

La intersección entre Acceso Este y Acceso Sur en Guaymallén sufrió graves problemas de inundación. Por otro lado, el canal Cacique Guaymallén estaba desbordado, pasando agua sobre la calzada.

El departamento de Las Heras fue el más afectado, se produjeron graves anegamientos de viviendas en los barrios Ujemvi y 8 de abril.

3.1.3. Tormenta de 2020

La tormenta se caracterizó por ser de gran intensidad y corta duración, además acompañada de granizo y viento. Se detectaron zonas inundadas, cortes de servicios y caída de árboles.

En el municipio de Las Heras cayeron 32 árboles, además de voladuras de techos, inundaciones y postes caídos. Un chico de 14 años falleció al caer en un canal y ser arrastrado por el cauce de agua.



Ilustración 32: Tormenta de 2020, imagen de Diario Clarín

Los hechos descriptos anteriormente son solo algunos de los fenómenos que han ocurrido en la provincia, aunque hay muchos más. Como se puede observar en algunos de ellos, es crucial conocer las cuencas de aporte a los distintos cauces y las conexiones fluviales de la región, ya que actúan como las principales arterias por las que se dirige el caudal de agua tanto en situaciones extremas como en la vida cotidiana de la provincia.

3.2. Cuencas de Aporte

Una cuenca de aporte es una región geográfica que drena agua hacia un punto específico. La cuenca recoge el agua de precipitación, escorrentía y otras fuentes, dirigiéndola hacia un punto de concentración. Las características y el tamaño de una cuenca de aporte influyen

significativamente en el comportamiento hidrológico del área, incluyendo el flujo de agua, la sedimentación y la calidad del agua.

Para el caso de estudio, es de importancia conocer todas las cuencas de aporte que erogan caudal hacia el Canal Cacique Guaymallén, y a su vez, tener conocimiento de los volúmenes de agua en el tiempo que pasan por el punto en estudio, es decir, por el área donde se va a realizar el puente.

Las cuencas que influyen de manera directa sobre el proyecto a ejecutar son todas las que se encuentran en el pedemonte, extendidas de norte a sur, y que descargan directamente sobre el canal, tal como se muestra en la *Ilustración 33*.

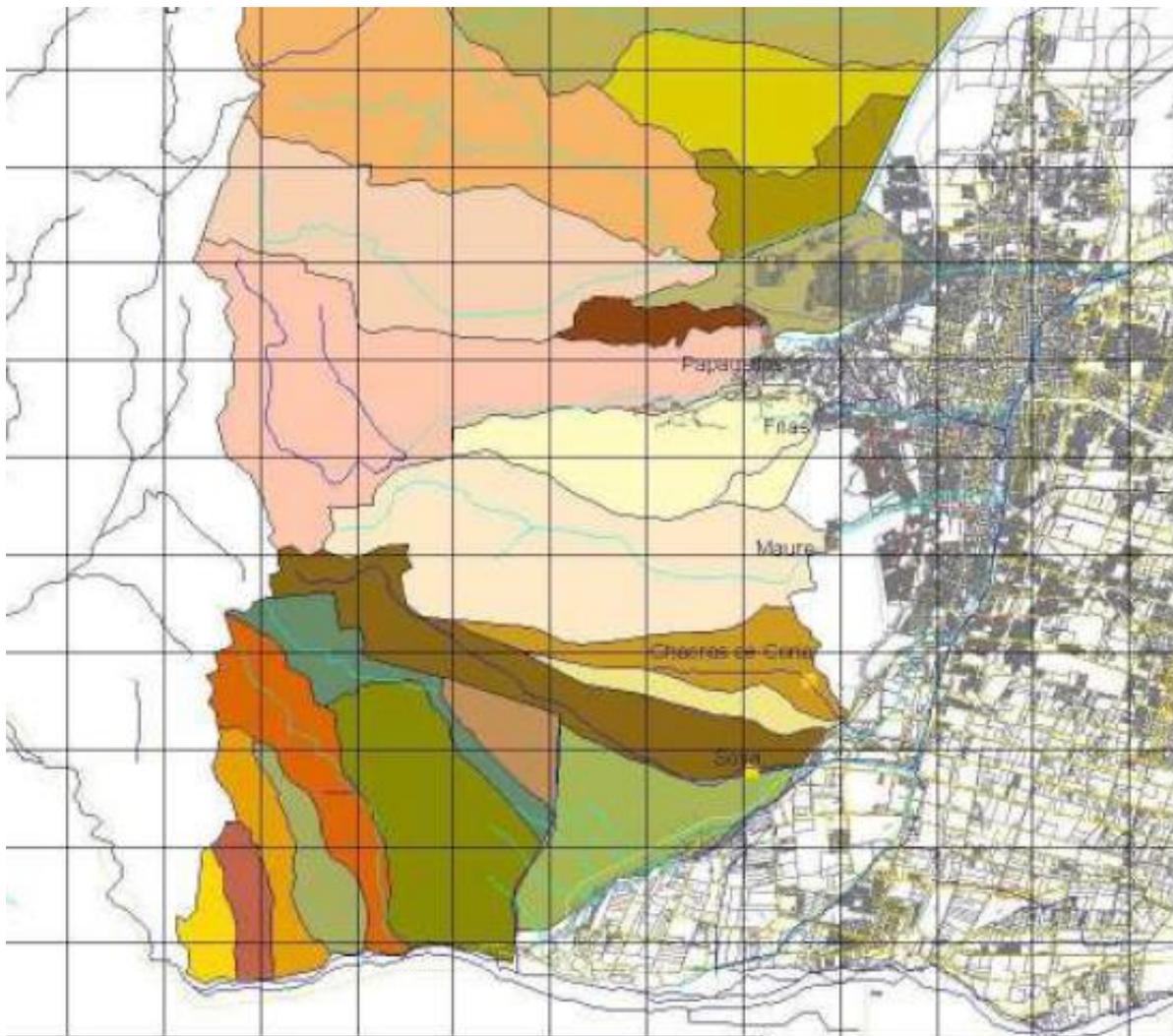


Ilustración 33: Cuencas de aporte al Canal Cacique Guaymallén

Las cuencas que se observan en la imagen anterior son las siguientes:

- Cuenca Sosa: 4220ha
- Cuenca Chacras de Coria: 2300ha
- Cuenca Blanco Encalada: 7090ha

- Cuenca Maure: 6000ha
- Cuenca Frías: 2600ha
- Cuenca Papagayos: 5700ha
- Cuenca de Las Heras 14900ha + 12180ha = 27080ha

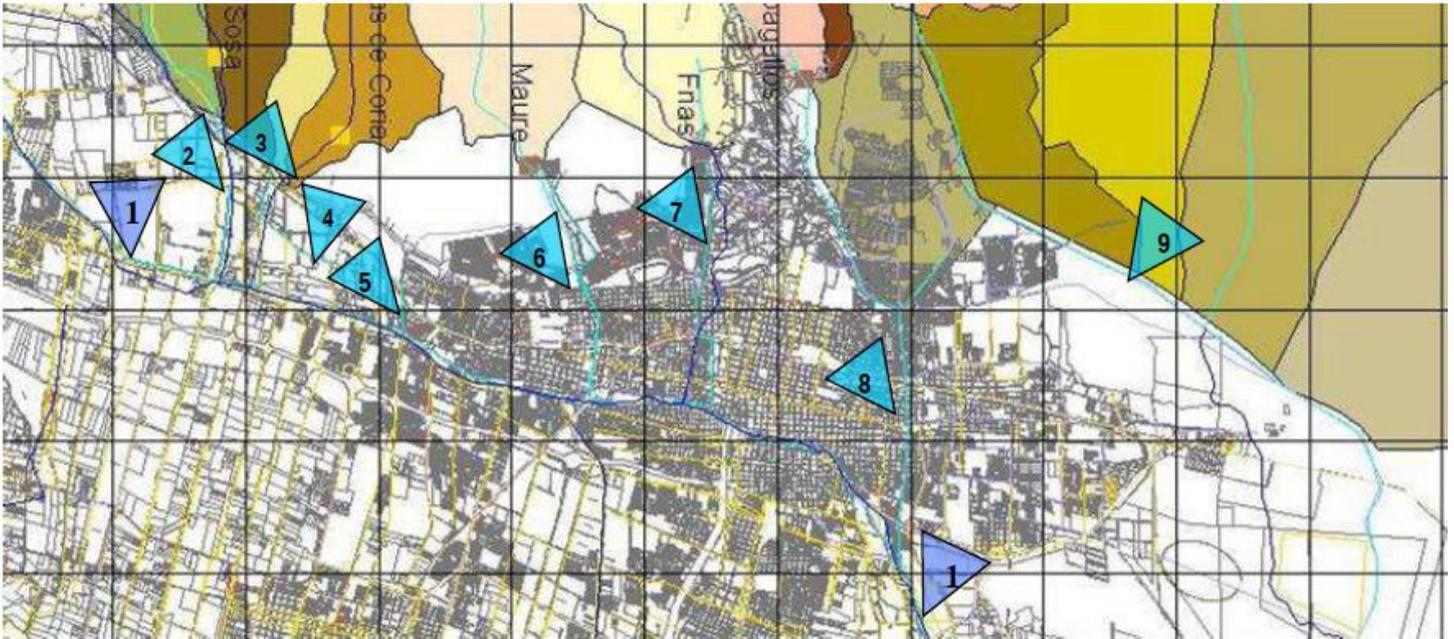


Ilustración 34: Cauces principales de la red de evacuación aluvional del Gran Mendoza

En la *Ilustración 34* se muestran desde sur a norte los cauces principales que componen la red actual de evacuación aluvional del Gran Mendoza, los cuales son los siguientes, de acuerdo con su desembocadura en el Canal Cacique Guaymallén, el cual es el colector principal de toda la red aluvional del Gran Mendoza:

- 1) Canal Cacique Guaymallén
- 2) Zanjón Sosa, Luján de Cuyo
- 3) Río Seco Tejo, Luján de Cuyo
- 4) Río Seco Viamonte, Luján de Cuyo
- 5) Río Seco Liniers, Luján de Cuyo
- 6) Zanjón Maure, Godoy Cruz
- 7) Zanjón Frías, límite entre Godoy Cruz y Capital
- 8) Zanjón de Los Ciruelos, límite entre Capital y Las Heras
- 9) Colector las Heras, no tributario del Canal Cacique Guaymallén

Estos cauces evacuadores y colectores, en especial los emisarios de los diques de atenuación de crecidas (Maure, Frías y Los Ciruelos), han quedado con su capacidad colmada frente a lluvias, de cada vez, menos intensidad, debido al fenómeno creciente de la urbanización, en especial el caso del Zanjón de Los Ciruelos e incluso el canal Cacique Guaymallén.

El esquema de la red de drenaje natural se ve antropizada en muchos de los sectores para la conducción y evacuación de las descargas aluvionales de la Precordillera y de las aguas pluviales de los excesos hídricos urbanos. Dado que sembradíos en un principio, y luego, construcciones y barrios, con el correr del tiempo se fueron ubicando en las márgenes de los arroyos secos. Los mismos se constituyeron inmediatamente en el destino de los desagües pluviales de sus áreas de influencia. Así mismo, algunos de ellos sufrieron la acción de los antiguos superficiarios, quienes desviaron su cauce a fin de aprovechar y optimizar el uso de la extensión de sus propiedades. Este uso ha subsistido en el tiempo a causa del parcelamiento definitivo del territorio, obligando a efectuar el revestimiento de las canalizaciones (Río Seco Tejo, Viamonte, Liniers).

En otros casos, la ocurrencia de graves descargas aluvionales ha causado tales destrozos, que fue necesario restituir la traza del río a su antiguo cauce, como es el caso del Zanjón Sosa.

3.3. Características físicas de las cuencas delimitadas

Con el objetivo de determinar el caudal de aporte al punto de cruce identificado, es necesario determinar los parámetros morfométricos de la cuenca de aporte a ser aplicados en la modelación hidrológica.

Estas características están dadas por la topografía del área de estudio. En el presente estudio se considera:

- Alturas máximas (H_{max}) y mínima (H_{min}): se refiere a las cotas máximas y mínimas de la cuenca. Se obtienen de analizar la información del DEM con el polígono de la cuenca en GIS.
- Desnivel altitudinal, D : se calcula como la diferencia entre las alturas máxima y mínima.
- Pendiente media de la cuenca, S_m : se obtiene de analizar un mapa de pendientes contra el polígono de la cuenca en GIS.
- Área.
- Perímetro.
- Longitud de cauce principal.

3.4. Método CN para el cálculo de las pérdidas por infiltración

Para la determinación de los coeficientes de escurrimiento de las cuencas se ha utilizado la metodología de Número de Curva CN del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, ampliamente difundida y aplicada a nivel internacional y local.

Esta se basa en analizar los tres factores fundamentales que inciden en la capacidad de retención

o escurrimiento de una cuenca:

- Características del suelo
- Características de la cobertura vegetal
- Condición de humedad del suelo

La combinación de estos tres factores origina el llamado “CN” o número de curva, que es el coeficiente de escurrimiento, el cual puede tomar valores entre 1 y 100 (100 = máximo potencial de escurrimiento, es decir, todo lo que precipita escurre).

Debe tenerse en cuenta que, desde el punto de vista hidrológico, el concepto de suelo no es aplicable en sentido estricto. A efectos de determinar las pérdidas por infiltración se asume como tal a toda la cubierta superior del terreno más o menos permeable, capaz o no de soportar vegetación, incluyendo rocas diaclasadas y fragmentadas.

Este parámetro es compatible con la mayoría de los modelos hidrológicos determinísticos de eventos aislados o continuos, lo que lo convierte en una excelente herramienta para la modelación hidrológica. Además, ha sido usado en numerosos estudios en la zona andina y ha sido calibrado en varias cuencas, previa adaptación a las características de la geomorfología y de la vegetación local, ya que originalmente fue desarrollado para zonas rurales y suburbanas.

Su principal ventaja la constituye la simplicidad de las estimaciones y la posibilidad de síntesis que brinda. En efecto, clasifica los suelos en sólo cuatro grupos A, B, C y D, en orden creciente de potencial de escurrimiento. La cobertura se analiza en función del tipo (arbórea, arbustiva, herbácea, mantillo, etc.) y el grado de cobertura.

Luego se determinan los complejos suelo cobertura por combinación de los grupos hidrológicos de suelo con la cobertura vegetal y finalmente se determina la “Condición de Humedad Antecedente” (CHA) entre tres niveles posibles que van de I (suelo seco) al III (suelo saturado).

Otro parámetro que se tiene en cuenta es la abstracción inicial, que contempla las pérdidas por intercepción, y que se calcula con base en la siguiente expresión de origen empírico:

$$Ia = \left[\frac{25400}{CN} - 254 \right] * 0.2$$

Como se ha dicho, el valor del parámetro número de curva para condiciones medias de humedad en el suelo depende del uso del suelo, las características hidrológicas, la pendiente del terreno y el tipo de suelo.

Tabla 1: Parámetros morfométricos de las cuencas

Cuenca N°	Tipo	Area [Km ²]	Long. Cauce Ppal [Km]	Desnivel [m]	CN II	Ia [mm]	Imperm. [%]	Dir Conect. [%]	Pend [%]	Observaciones
301	RURAL	24.39	12.09	1055	87.0	7.4				Cajón de Minas
302	RURAL	8.62	5.76	888	89.0	6.7				La Obligación
303	RURAL	18.64	13.39	1233	70.7	12.9				Media
304	RURAL	5.74	8.3	540	61.6	16.2				Baja
305	RURAL	5.25	6.75	410	81.2	9.4				Divisadero Largo
306	URBANA	2.31	2.8	140	72.4	12.4	27	16	5.0	B° Dalvian (parte) + pedemonte
307	URBANA	4.12	3.96	250	72.4	12.4	50	30	6.3	B° Favorita
308	RURAL	6.25	4.23	145	56.2	18.3				Parque San Martín Cdad Univ.
309	URBANA	12.94	7.82	445	66.0	14.6	37	22	5.7	Challao - Dalvian y otros
310	URBANA	14.56	8.82	120	93.2	5.0	71	57	1.4	Mendoza Norte
311	RURAL	30	14.3	955	75.8	11.2				Cuenca Frías
312	RURAL	2.44	3.2	130	72.4	12.4				Parque S. Martín
313	URBANA	3.93	3.11	200	81.2	9.4	65	39	6.4	B° del Oeste Godoy Cruz
314	URBANA	7.63	5.58	120	93.2	5.0	79	63	2.2	Mendoza Sur
315	RURAL	61.2	18.65	1650	77.5	10.6				Cuenca Maure
317	RURAL	2.94	1.9	110	72.4	12.4				B° Sol y Sierra + pedemonte
318	URBANA	14.13	5.17	230	74.0	11.8	47	28	4.4	B° Palmares-Estanzuela + pedemonte
319	URBANA	2.75	2.70	140	72.4	12.4	66	40	5.2	B° Barrancos-Susso-Autódromo
320	URBANA	8.22	5.94	150	91.2	5.8	82	66	2.5	Godoy Cruz
321	RURAL	3.35	5.8	138	77.9	10.5				Cerro Pelota
322	RURAL	10.18	10.4	465	72.6	12.3				Cerro Petaca
323	URBANA	6.75	6.6	160	89.0	6.7	54	32	2.4	Chacras de Coria
324	URBANA	37	15.1	160	81.2	9.4	43	26	1.1	Vistalba
325	RURAL	56	15.5	950	74.0	11.8				

3.5. Tormentas de diseño

Se entiende como tormenta de diseño a una lluvia hipotética para presentar una condición extrema de precipitación. Se basa en datos históricos y probabilidades estadísticas para determinar la intensidad, duración y frecuencia de la tormenta. A partir de esta tormenta, se dimensiona el alcantarillado del puente badén. Esta práctica ayuda a minimizar el riesgo de inundaciones y otros problemas asociados con eventos de precipitación extrema.

A partir de las curvas de intensidad-duración-frecuencia, IDF, brindadas por el Instituto Nacional del Agua (INA) se obtiene las posibles tormentas de diseño, que se encuentran ubicadas en distintas zonas del pedemonte mendocino.

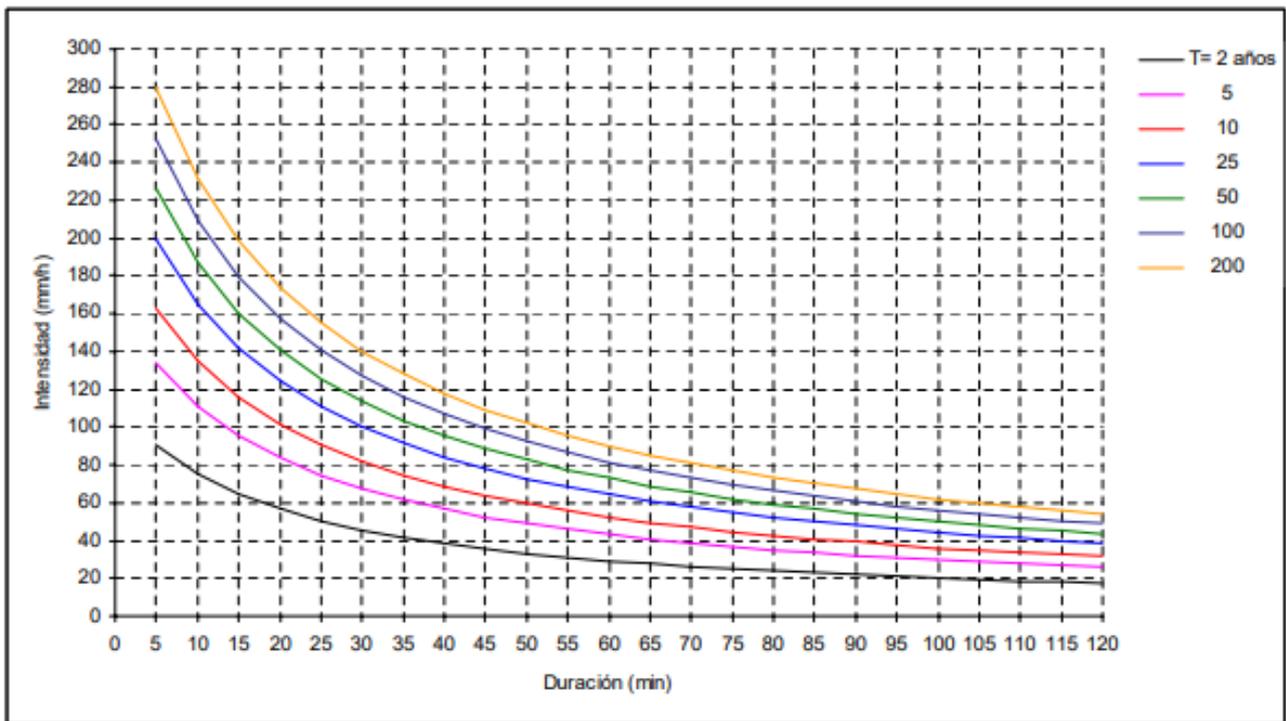


Ilustración 35: Relación intensidad-duración-frecuencia, IDF, para el pedemonte mendocino.

Para estimar la lámina de las tormentas cuyas duraciones sean mayores a 1 hora y menores de 24 horas se aplicó el Método de Intensidad Contigua, cuya expresión es la siguiente.

$$I_D(mm/h) = \frac{\omega(T_r)}{(D + 0.268)^{0,83}}$$

Donde:

T_R : Tiempo de recurrencia.

D : es la duración en horas, con $1 < D \leq 24$ horas.

Tabla 2: Distribución Temporal

T_R (años)	2	5	10	25	50	100	200
$\omega(T_R)$	36.049	53.303	64.727	79.161	89.869	100.498	111.088

Para las 25 cuencas descriptas, se obtuvieron un total de 48 hietogramas acumulados, para esto, se tuvieron en cuenta dos tiempos de recurrencia, T_R , 2 años y 25 años.

3.6. Aplicación de modelo HEC-HMS

El HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para simular el proceso hidrológico de cuencas hidrográficas.

La aplicación del Modelo de Simulación Hidrológica del Hydrologic Engineering Center- HEC-HMS

se realiza adoptando para el modelo de cuenca (Basin Model) una topología de cálculo independiente para cada cuenca aluvional identificada, el Método del Número de Curva (índice CN) para la estimación de las pérdidas de precipitación, el Método del SCS para la transformación de lluvia-caudal y sin considerar el flujo base o subterráneo, dado que interesa conocer el flujo superficial que es el que aporta mayor volumen de agua en una crecida aluvional.

Para el modelo de precipitación (Meteorologic Model) se utilizan los hietogramas generados con el método de bloques alternos para la duración de la tormenta de proyecto adoptada para cada el período de recurrencia considerando el hietograma correspondiente para cada cuenca.

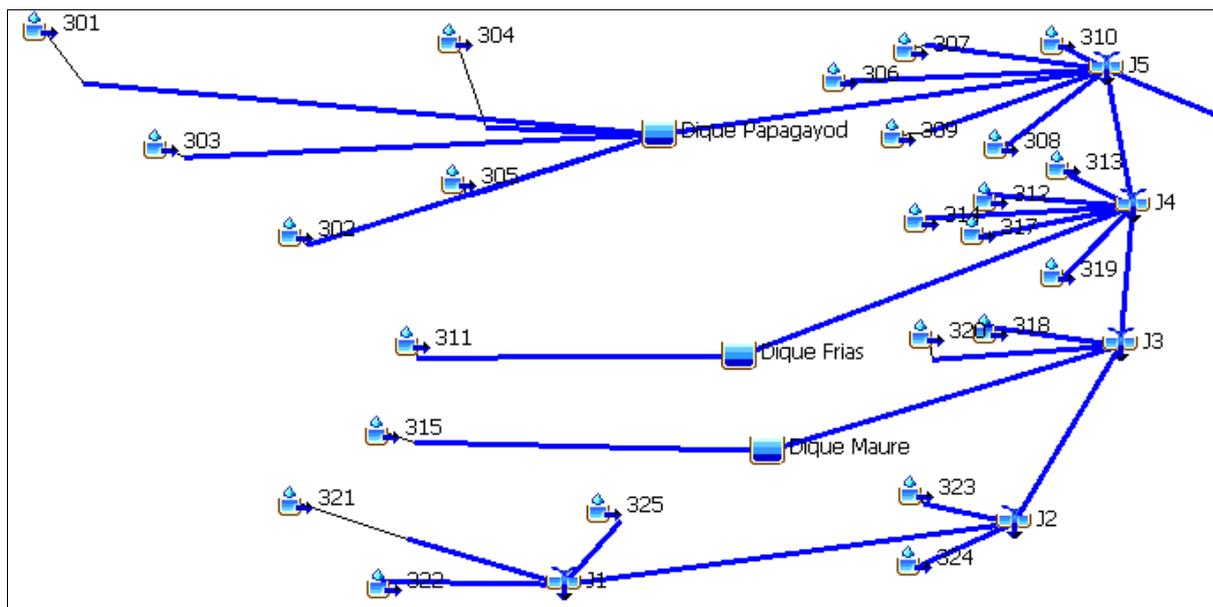


Ilustración 36: Modelación hidrológica

3.7. Cálculo de caudales

Con los parámetros de ingreso que se definieron con anterioridad, se procede a iniciar la simulación a través del modelo HEC-HMS y se obtienen los resultados para la cuenca analizadas.

A modo de resumen en las siguientes figuras se muestran los valores representativos para la cuenca analizadas para un TR2 y TR25.

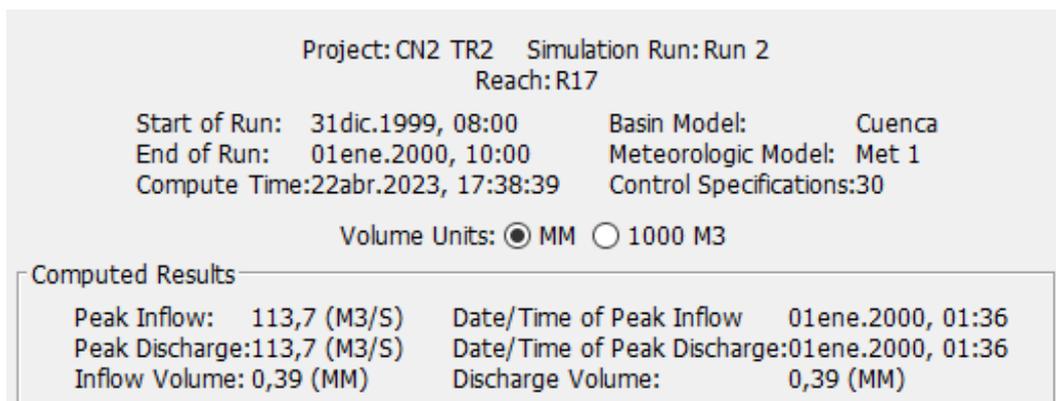


Ilustración 37: Caudal obtenido para TR 2años

Project: CN2 TR25 Simulation Run: Run 2
 Reach: R17

Start of Run: 31dic.1999, 12:00 Basin Model: Cuenca
 End of Run: 01ene.2000, 14:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: 30

Volume Units: MM 1000 M3

Computed Results

Peak Inflow: 199,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Inflow	01ene.2000, 01:35
Peak Discharge: 199,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	01ene.2000, 01:35
Inflow Volume: 1,17 (MM)	Discharge Volume:	1,17 (MM)

Ilustración 38: Caudal obtenido para TR 25 años

En resumen, los caudales obtenidos son los siguientes:

Tabla 3: Resumen de caudales y TR, para intersección de Cacique Guaymallén con Zanjón de los Ciruelos

Canal Cacique Guaymallén en intersección con	TR= 2 años	TR= 25 años
	Q [m3/s]	Q [m3/s]
Zanjón Ciruelos	113,7	199,2

4. CAPÍTULO 4 – ESTUDIO HIDRÁULICO

4.1. Modelación Hidráulica

El propósito de realizar una modelación hidráulica es analizar el comportamiento del flujo en el canal Cacique Guaymallén. Para esto, se analizarán distintas situaciones para distintos caudales de escorrentías, las cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 4: Resumen de situaciones a analizar

Situación	Escenario	Tiempo de recurrencia (años)	Caudal (m ³ /s)	Descripción
1	1	25	199,2	Situación actual sin obras
2	1	continuo	40	Caudal de riego con obras 10 alcantarillas
	2	2	113,7	Con obras 10 alcantarillas
	3	25	199,2	Con obras 10 alcantarillas
3	1	continuo	40	Caudal de riego con obras 5 alcantarillas etapa de construcción
	2	2	113,7	Con obras 5 alcantarillas etapa de construcción
	3	25	199,2	Con obras 5 alcantarillas etapa de construcción

Para el análisis hidráulico del canal que intercepta la traza del badén, se utilizó el software HEC-RAS (River Analysis System), de uso libre desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de EE.UU. El programa permite el cálculo del comportamiento del flujo en las secciones que se ingresen a través de la interfaz del mismo. Ingresando la información topográfica de cada cruce y los hidrogramas de crecida calculados en cada caso mediante la modelación hidrológica, se obtienen las características del flujo, su extensión, profundidad y velocidad, entre otros parámetros. La modelación hidráulica se encuentra asociada a los hidrogramas obtenidos mediante la modelación hidrológica.

El procedimiento computacional está basado en la solución de la ecuación de energía unidimensional, en las ecuaciones de Saint Venant en el caso bidimensional y las pérdidas de energía se evalúan por la ecuación de Manning. El método de cálculo es el conocido como estándar por pasos y volúmenes finitos.

Otros datos necesarios para proceder a la modelación se describen a continuación:

- **Coefficiente de Manning (n):** Implica la estimación de la resistencia al flujo en un cauce determinado. El valor de n es muy variable y depende de cierto número de factores. Los factores más relevantes se describen a continuación:

Rugosidad Superficial: se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que conforma el perímetro mojado y que produce un efecto retardador del flujo.

Por lo general, granos finos dan como resultado un valor bajo de n , y granos gruesos un valor alto.

Vegetación: se puede considerar como una clase de rugosidad superficial, pero también reduce de manera notable la capacidad del canal y se retarda el flujo. Este efecto depende de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación.

Irregularidad del canal: incluyen irregularidades en el perímetro y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma de la misma a lo largo del cauce. En canales naturales, tales irregularidades por lo general son producidas por la presencia de bancos de arena, ondas de fondo, crestas, depresiones, etc., en el fondo del cauce, que introduce una rugosidad adicional a la superficial

Alineamiento del cauce: curvas suaves con radios grandes producirán valores de n relativamente bajos, mientras que las curvas cerradas con meandros severos incrementarán su valor. Es importante considerar que la curvatura puede inducir a la acumulación de material flotante y por consiguiente incrementar indirectamente el valor de n .

Para la elección de dicho valor se utilizó la tabla de coeficientes de Manning obtenida del libro de Ven Te Chow, *Hidráulica de Canales Abiertos*

Tabla 5: Valores de coeficiente de Manning

Coeficientes de Manning

Canal excavado o dragado	
En tierra, recto y uniforme	
Limpio, recientemente terminado	0,018
Limpio, después de exposición a la intemperie	0,022
Con gravas, sección uniforme, limpio	0,025
Con pastos cortos, algunas malezas	0,027
En tierra serpenteante y recto	
Sin vegetación	0,025
Pastos, algunas malezas	0,030
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0,035
Fondo en tierra con lados en piedra	0,030
Fondo pedregoso y bancas con malezas	0,035
Fondo en canto rodado y lados limpios	0,040
Excavado con pala o dragado	
Sin vegetación	0,028
Matorrales ligeros en las bancas	0,050
Corte en roca	
Lisos y uniformes	0,035
Afilados e irregulares	0,040
Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar	
Malezas densas, tan altas como la profundidad del flujo	0,080
Fondo limpio, matorrales en los lados	0,050
Igual, nivel máximo de flujo	0,070
Matorrales densos, nivel alto	0,100
Revestimiento	
Colchoneta de alambre tejido perfectamente sellada con mastique asfáltico con terminación lisa	0,0158
Ídem a anterior con terminación normal	0,0172
Colchoneta de alambre tejido o gaviones sin impregnación asfáltica, pero con acabado cuidadoso.	0,022
Ídem anterior, pero con acabado normal	0,025
Gaviones rellenos con material muy grueso	0,027
Ferrocemento	0,012
Membrana plástica sobre revestimiento rígido	0,012 a 0,015

En la sección donde se ubicará este proyecto, se puede observar, metros aguas arriba, la presencia de una transición entre dos secciones del canal cacique Guaymallén, pasando de una sección rectangular revestida, a una sección de cauce natural, donde se encuentra vegetación y rocas.



Ilustración 39: Fotografías del Canal Cacique Guaymallén en el lugar de emplazamiento de la obra

Por esto, se toma un valor de coeficiente de Manning, $n=0,035$

En tierra serpenteante y recto	
Sin vegetación	0,025
Pastos, algunas malezas	0,030
Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0,035
Fondo en tierra con lados en piedra	0,030
Fondo pedregoso y bancas con malezas	0,035
Fondo en canto rodado y lados limpios	0,040

Ilustración 40: Coeficiente de Manning adoptado

- **Condiciones de borde:** Las condiciones de borde asignadas corresponden a la manera en que el flujo se comporta previo a ingresar a la zona donde se desarrolla la modelación y en las secciones posteriores a la misma.
- **Caudales de escorrentía:** Para la modelación del cauce se utilizó como dato de ingreso, el hidrograma de descarga de la cuenca de aporte para un tiempo de recurrencia de 25 años y 2 años

- **Modelo digital de elevaciones:** Se evaluó la disponibilidad de modelos digitales de elevación en el área y se trabajó con el modelo digital de elevaciones del Instituto Geográfico Nacional (IGN) con una resolución de 5 m. Se utilizó el mosaico 3369-16-3-b. El MDE utilizado puede verse en la siguiente figura.

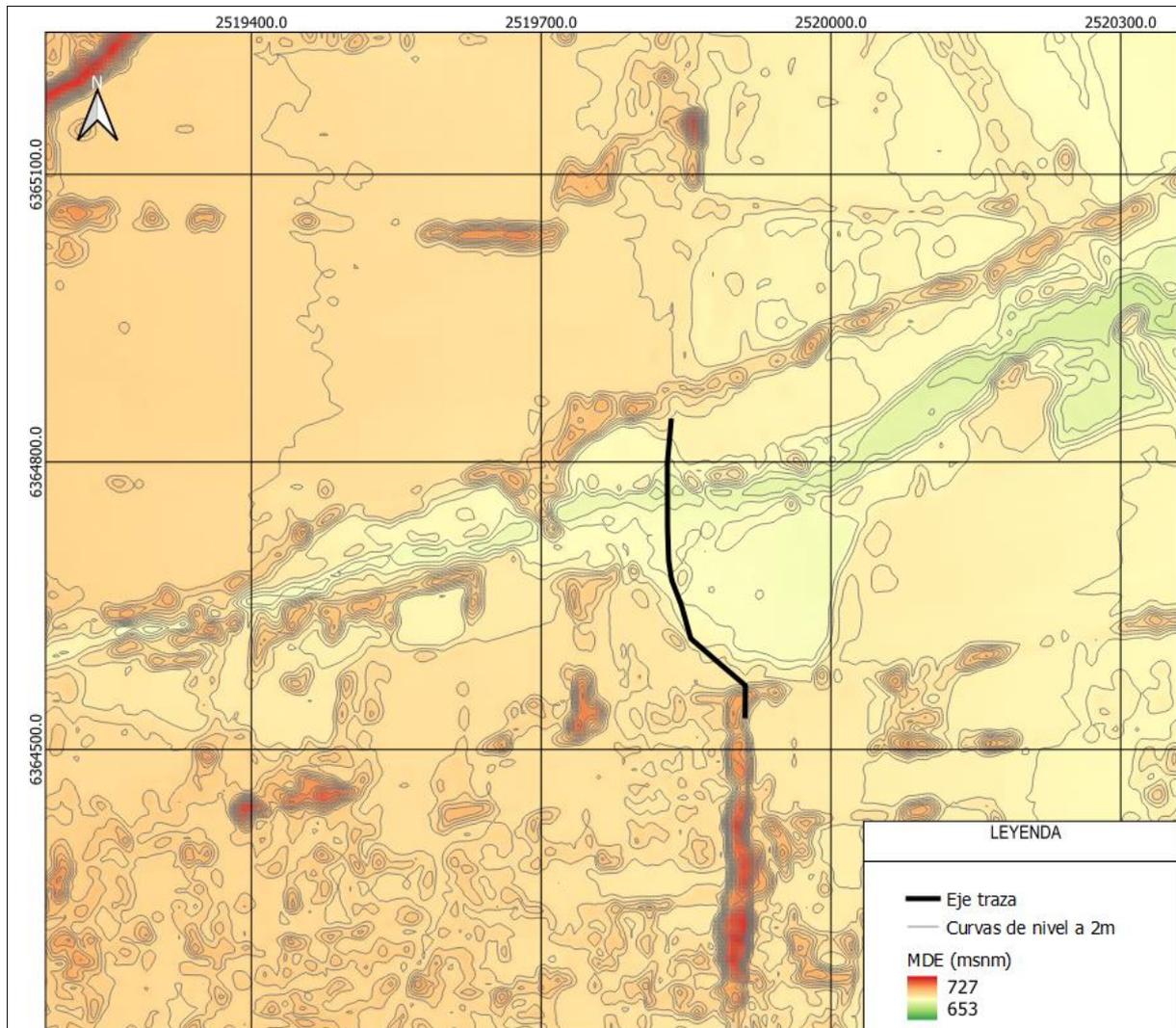


Ilustración 41: Modelo digital de elevaciones

4.1.1. Situación 1

Se realizó la modelación hidráulica generando una grilla de 1m, adoptando un Manning como se describió anteriormente, $n=0.035$. Además, se definió una condición de entrada al oeste, correspondiente al hidrograma para un TR25 años.

- **Tormenta:** TR=25años, $Q=199,20m^3/s$

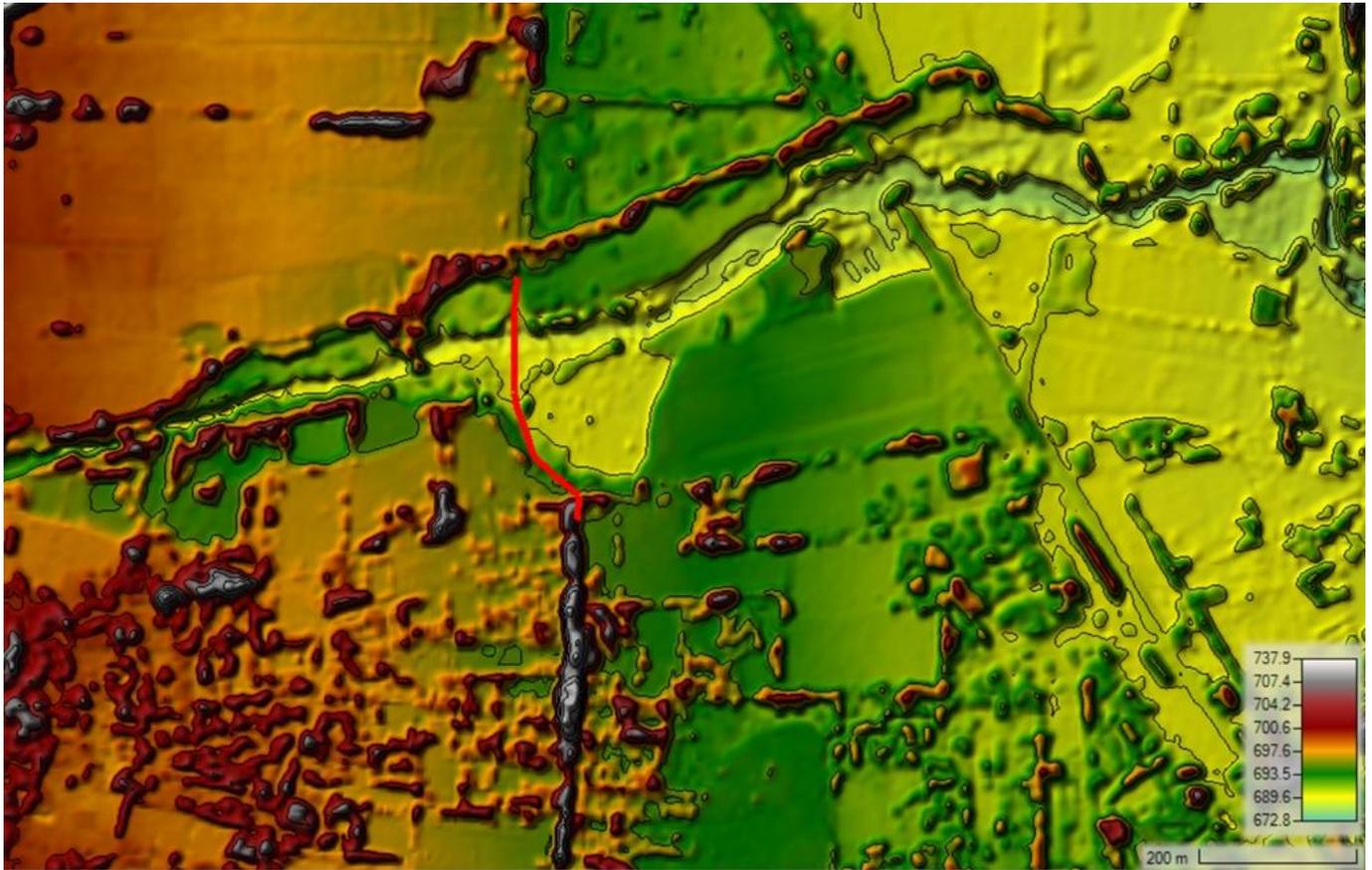


Ilustración 42: Modelo digital de elevaciones, situación sin obra

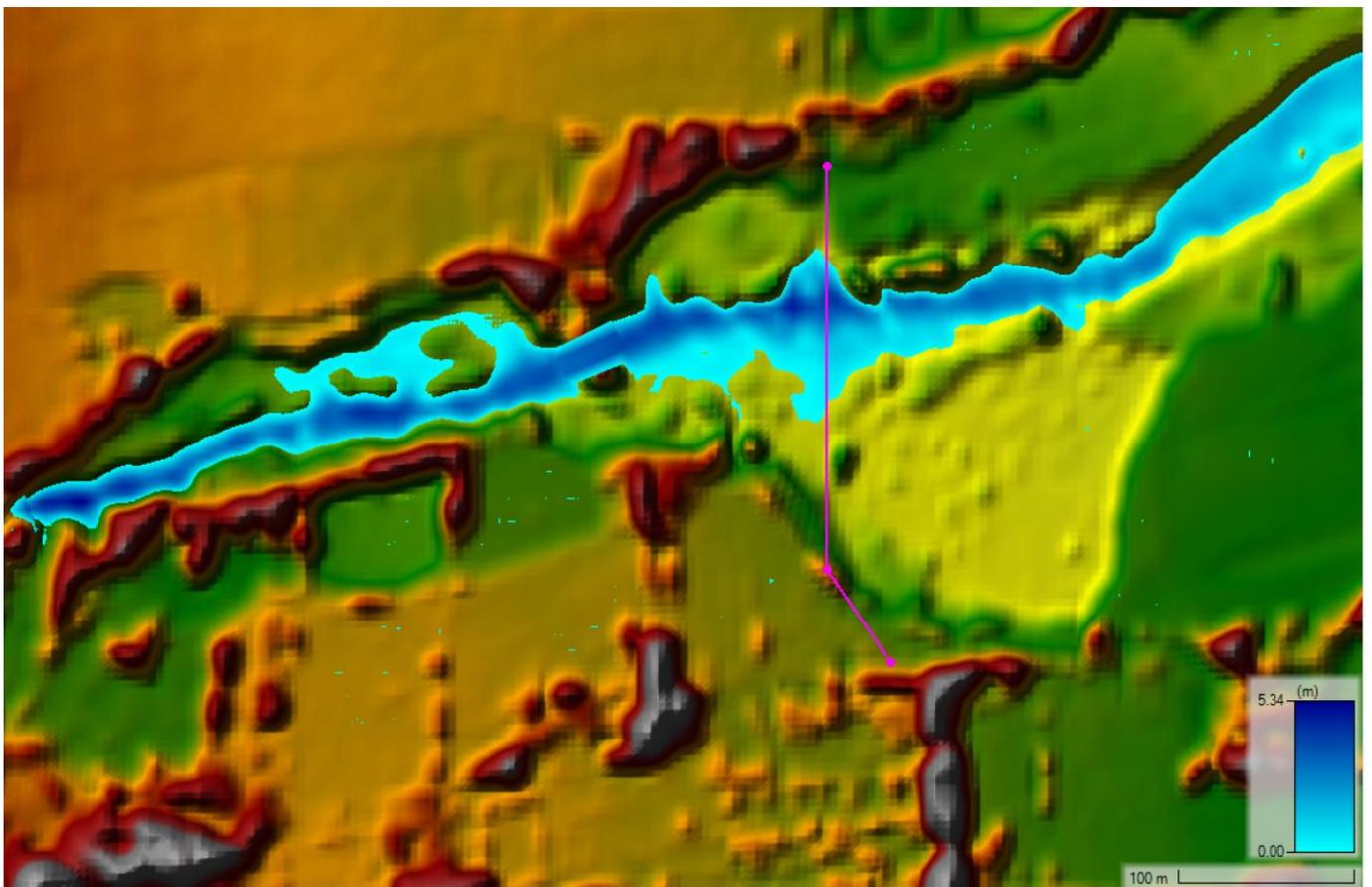


Ilustración 43: Mancha de inundación, situación sin obra

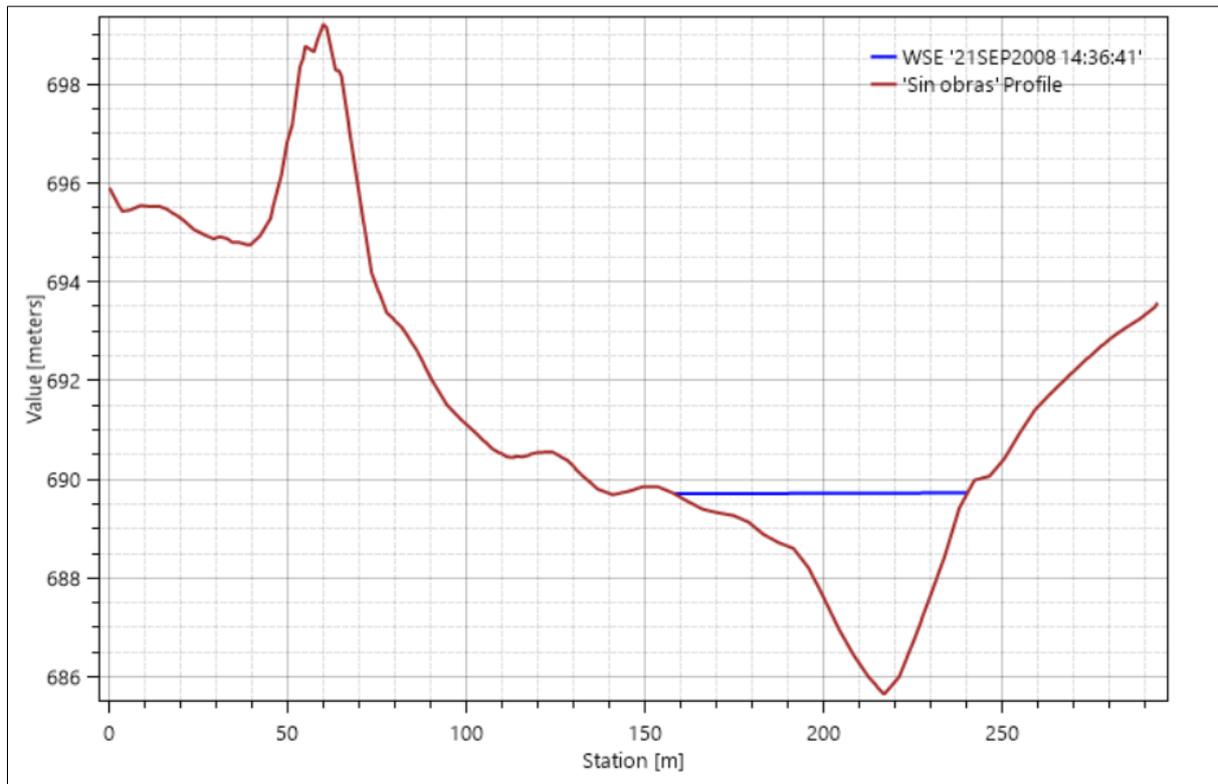


Ilustración 44: Perfil transversal, tirante de agua $H=4,10m$

A partir de la información obtenida de la modelación hidráulica realizada se puede determinar las obras de mitigación necesarias, las cuales se explicarán en la siguiente situación.

4.1.2. Situación 2

Considerando los resultados del análisis hidrológico y la modelación hidráulica realizada, se muestran a continuación las obras de protección de márgenes y la estructura de cruce del canal propuesto. La estructura de cruce está compuesta por una serie de 10 alcantarillas con dimensiones de 2x2m, junto con cabezales para mejorar el ingreso del flujo de agua.

Se plantean diversos escenarios posibles de funcionamiento de la estructura, en los cuales las alcantarillas funcionarán de distintas formas: libremente (como canal), bajo presión, o como vertedero.

Se realizará además una explanación y limpieza del terreno para mejorar las condiciones del escurrimiento aguas arriba y debajo de la ubicación de la alcantarilla.

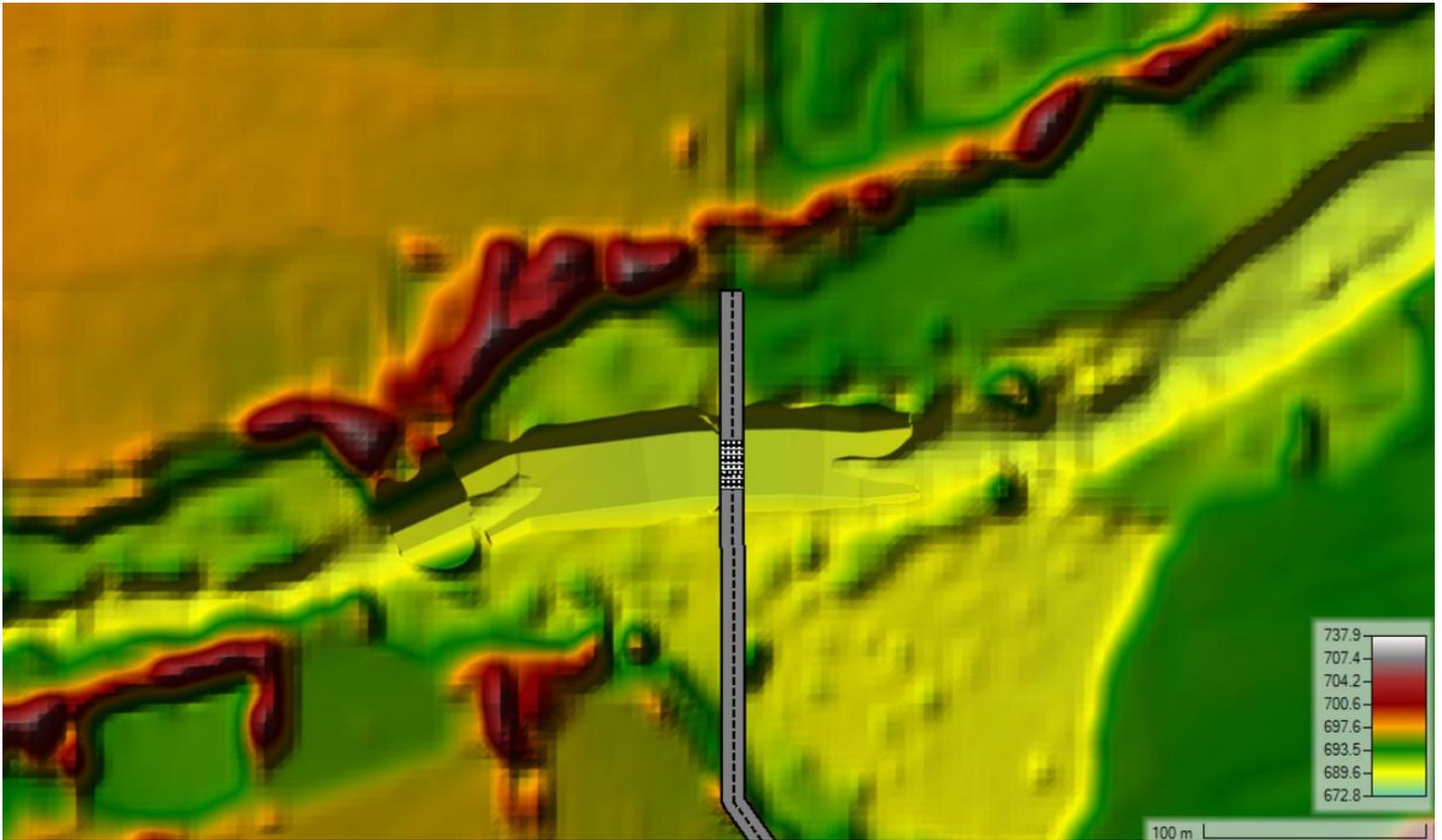


Ilustración 45: Modelo digital de elevaciones, Situación 2

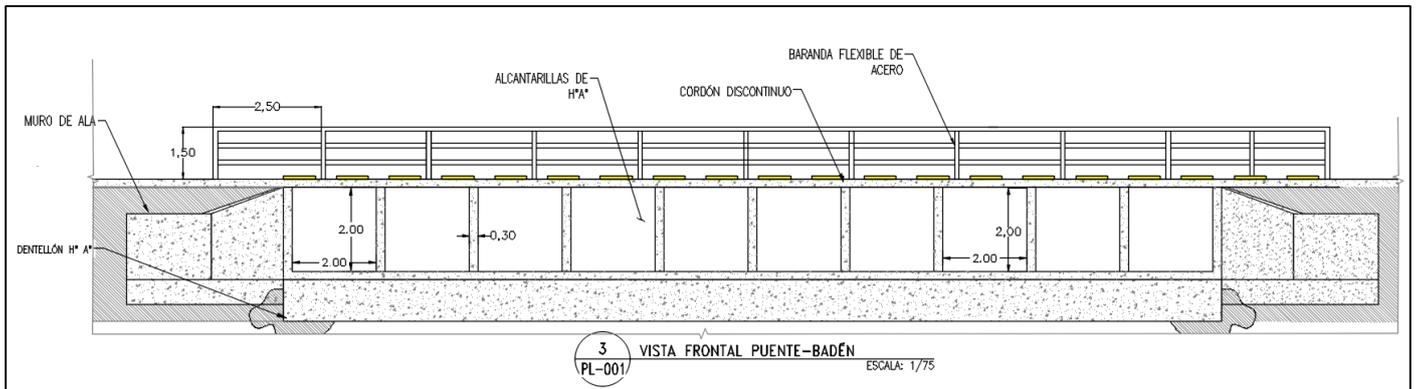


Ilustración 46: Sección transversal alcantarillas, (sin escalas)

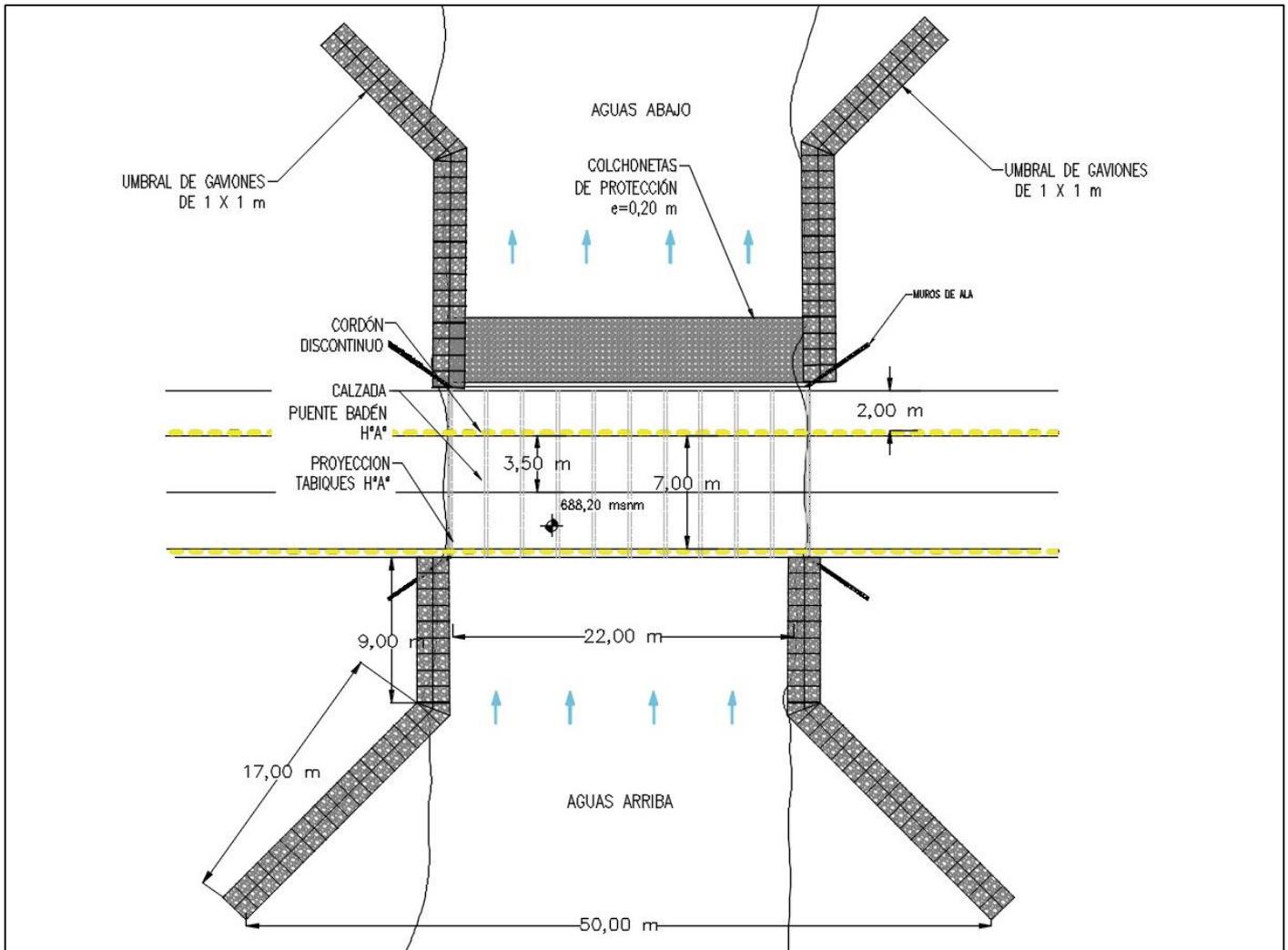


Ilustración 47: Planta de alcantarilla y obras de protección, (sin escalera)

En el **Anexo C** puede observarse detalladamente y a escala los planos correspondientes a planta y perfil transversal de la obra.

Para esta situación, como se resumió al inicio del capítulo, se presentan tres escenarios posibles:

Tabla 6: Resumen de escenarios a analizar para la situación 2

Situación	Escenario	Tiempo de recurrencia (años)	Caudal (m ³ /s)	Descripción
2	1	continuo	40	Caudal de riego con obras 10 alcantarillas
	2	2	113,7	Con obras 10 alcantarillas
	3	25	199,2	Con obras 10 alcantarillas

4.1.2.a. **Escenario 1**

Para este primer escenario modelado se colocaron obras de protección de márgenes, como se propusieron anteriormente, limpieza de terreno y la serie de alcantarillas descrita. Se consideraron las mismas condiciones de entrada, tomando el hidrograma correspondiente al caudal de riego.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de la modelación hidráulica con las obras propuestas:

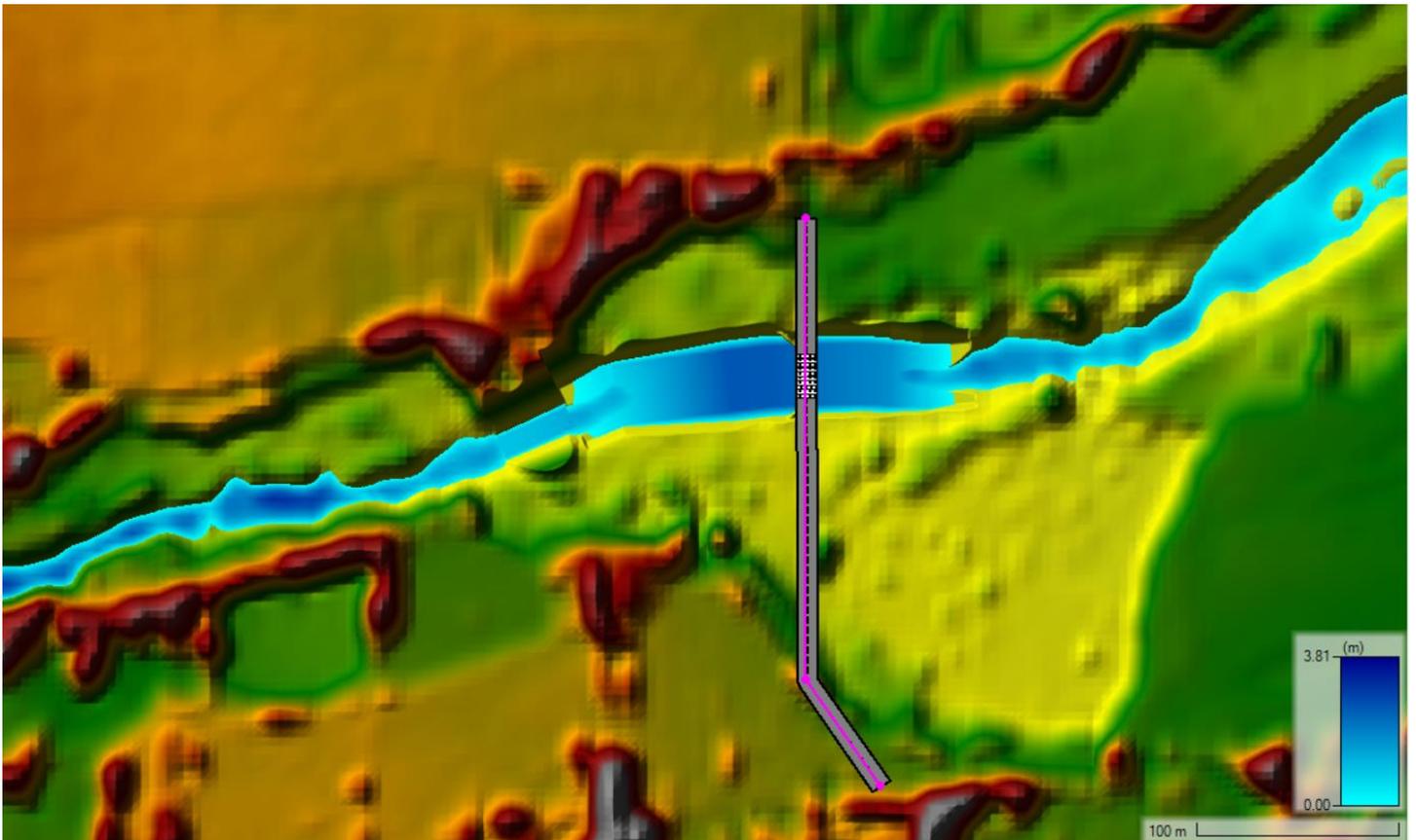


Ilustración 48: Mancha de inundación, situación 2 escenario 1

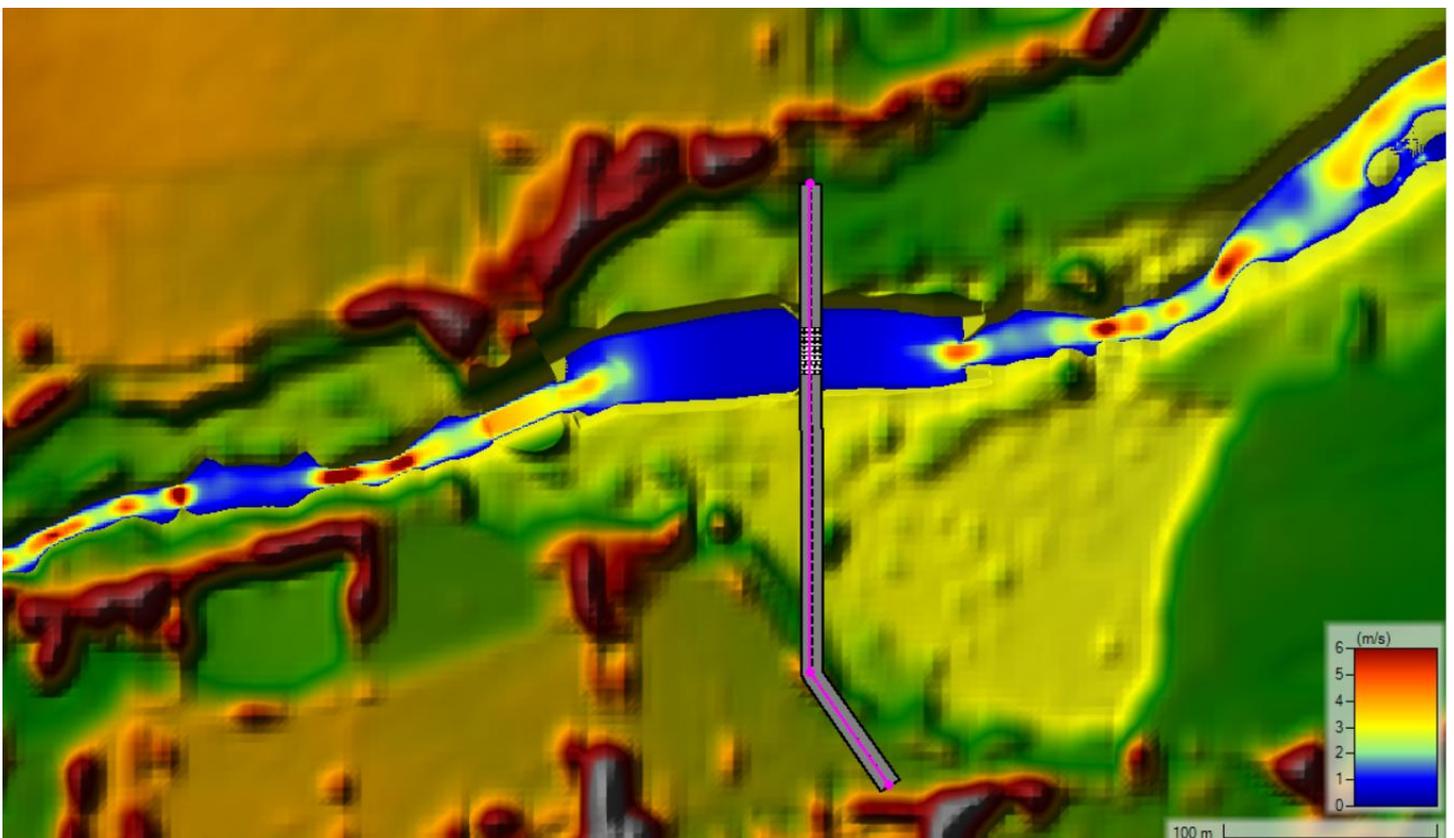


Ilustración 49: Mapa de velocidades, situación 2 escenario 1

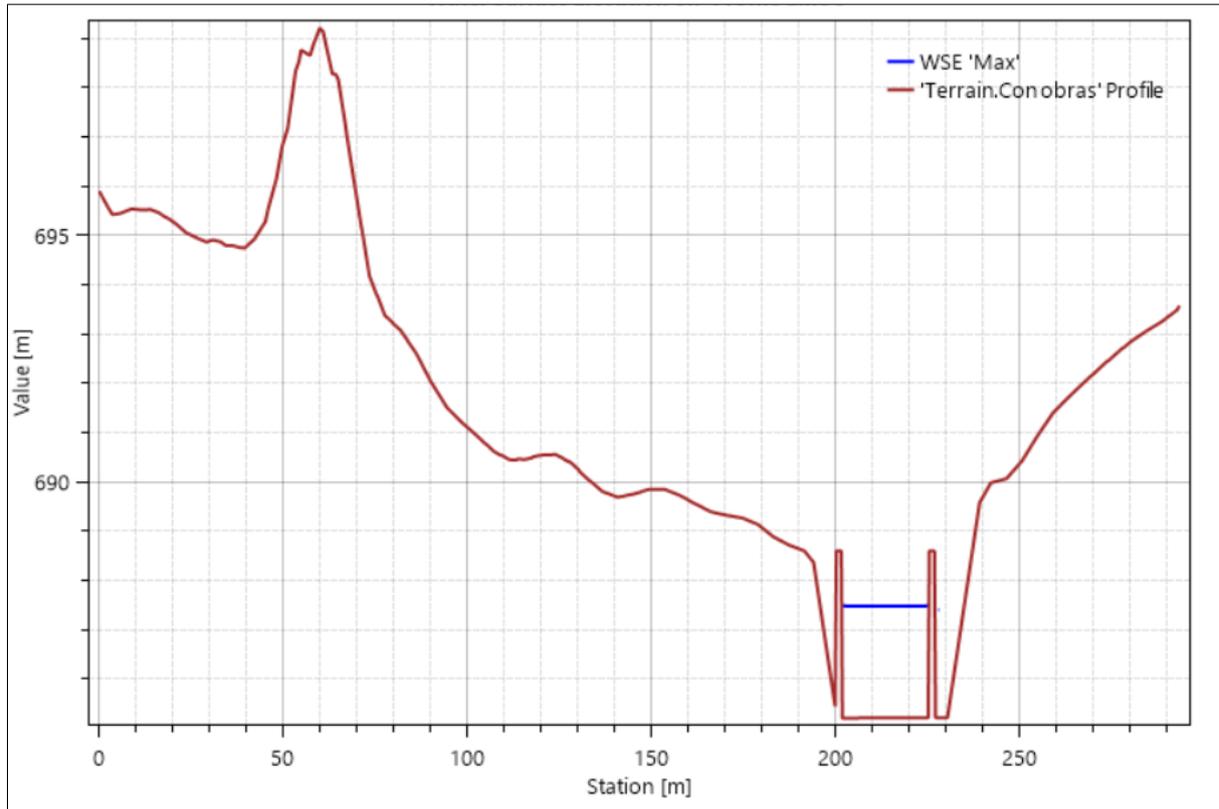


Ilustración 50: Perfil transversal tirante de agua $H=1,9m$

4.1.2.b. **Escenario 2**

En el segundo escenario modelado se colocaron obras de protección, limpieza de terreno y la serie de alcantarillas al igual que en las situaciones anteriores. Se consideraron las mismas condiciones de entrada, tomando el hidrograma para un tiempo de recurrencia de 2 años.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de la modelación hidráulica con las obras propuestas:

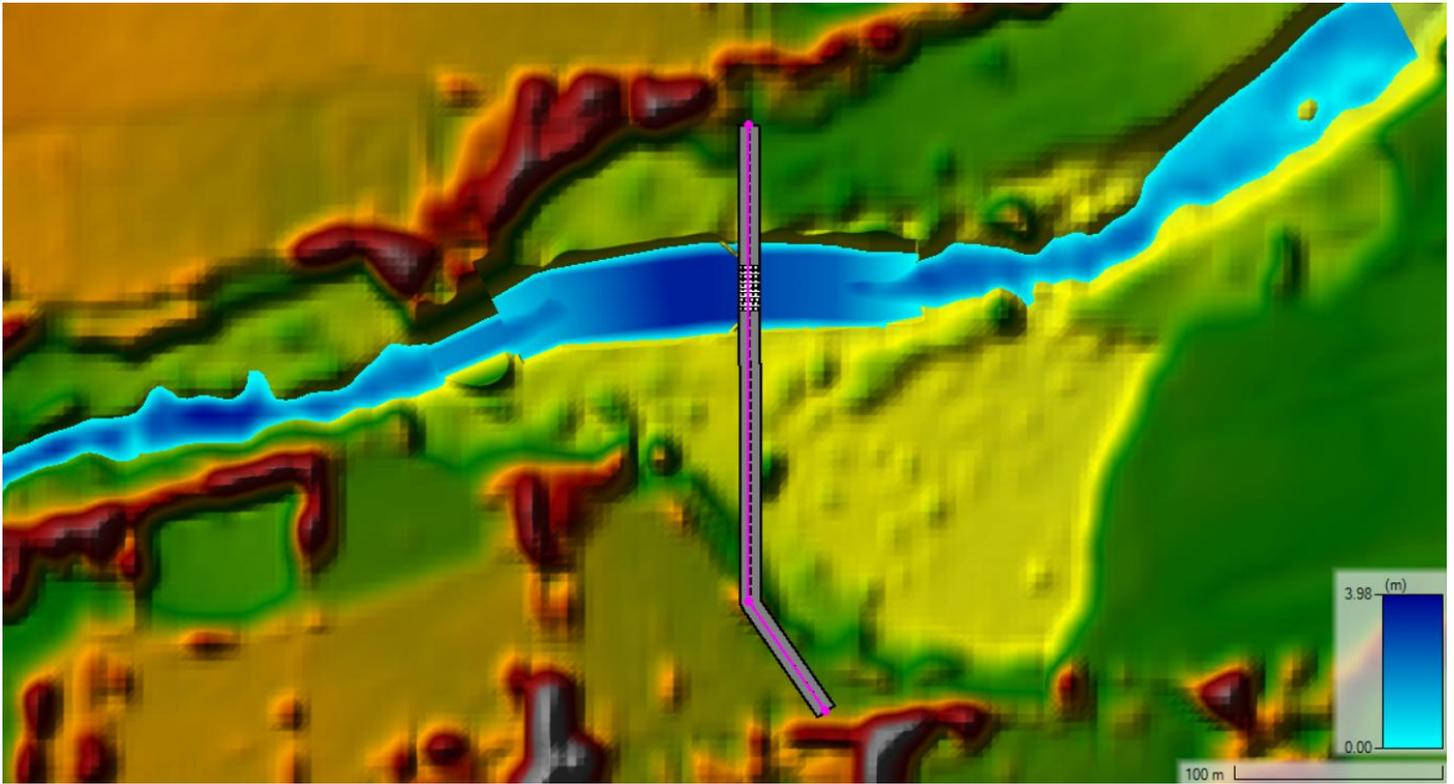


Ilustración 51: Mancha de inundación, situación 2 escenario 2

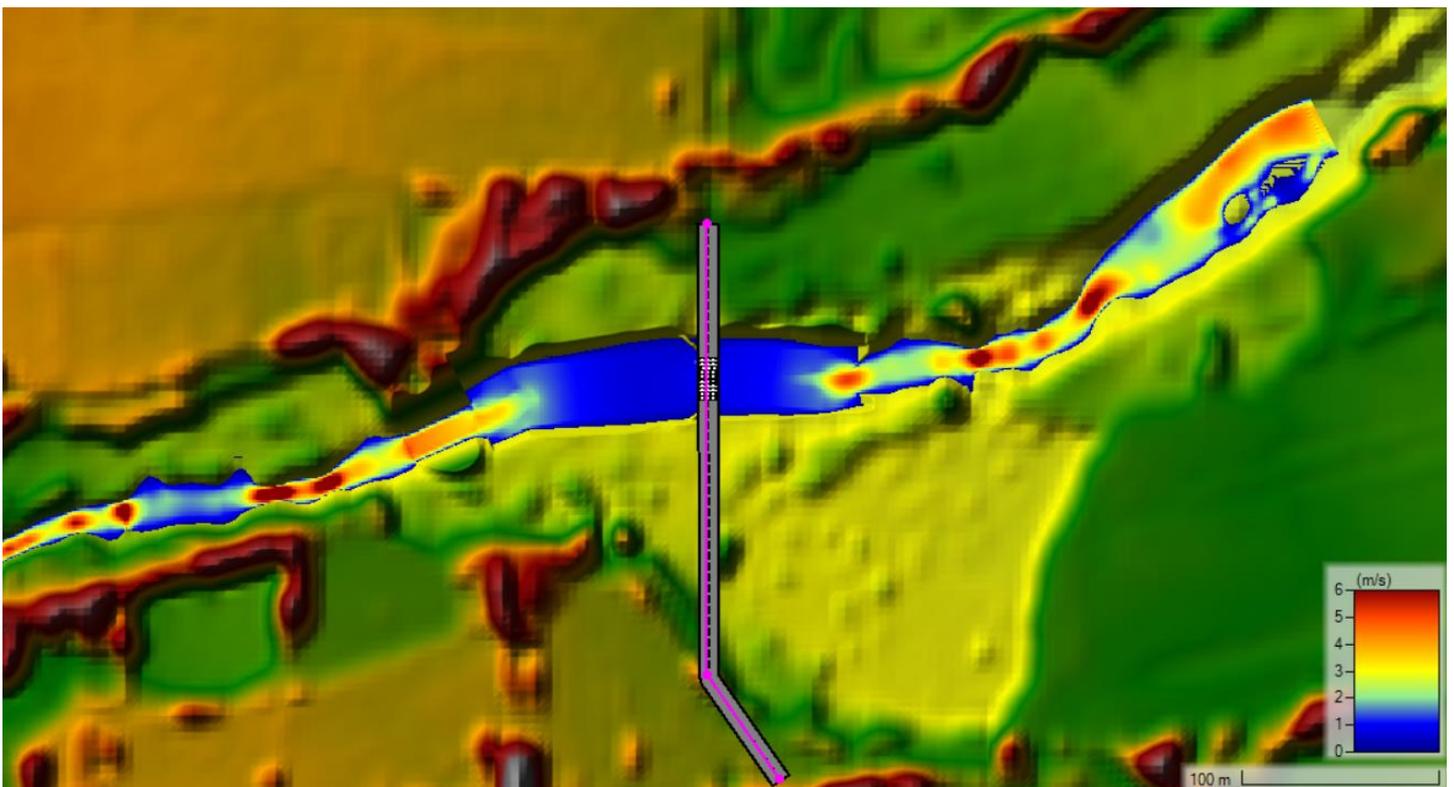


Ilustración 52: Mapa de velocidades, situación 2 escenario 2

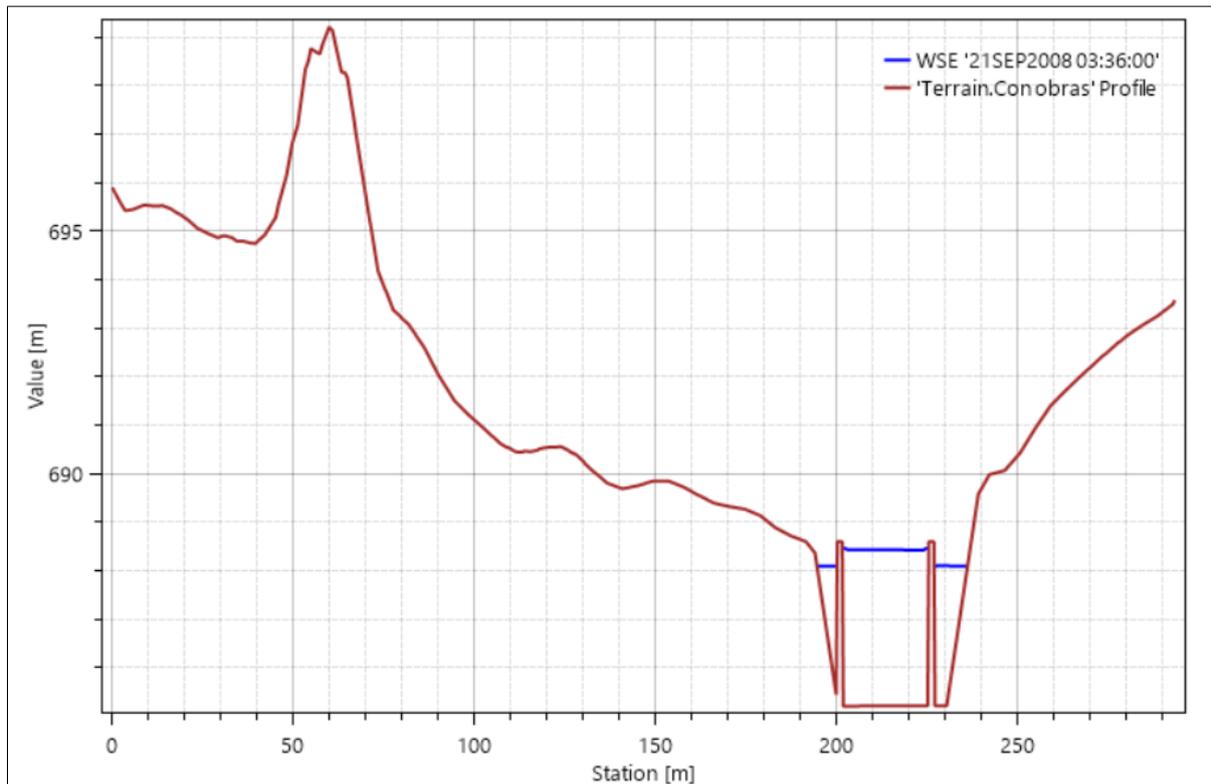


Ilustración 53: Perfil transversal tirante de agua H=3,20m

4.1.2.c. **Escenario 3**

Para el último escenario se procede de la misma forma que para los escenarios anteriores, colocando las obras de protección de márgenes, limpieza de terreno y alcantarillas. Se consideraron las mismas condiciones de entrada, tomando el hidrograma para un tiempo de recurrencia de 25 años.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de la modelación hidráulica con las obras propuestas:

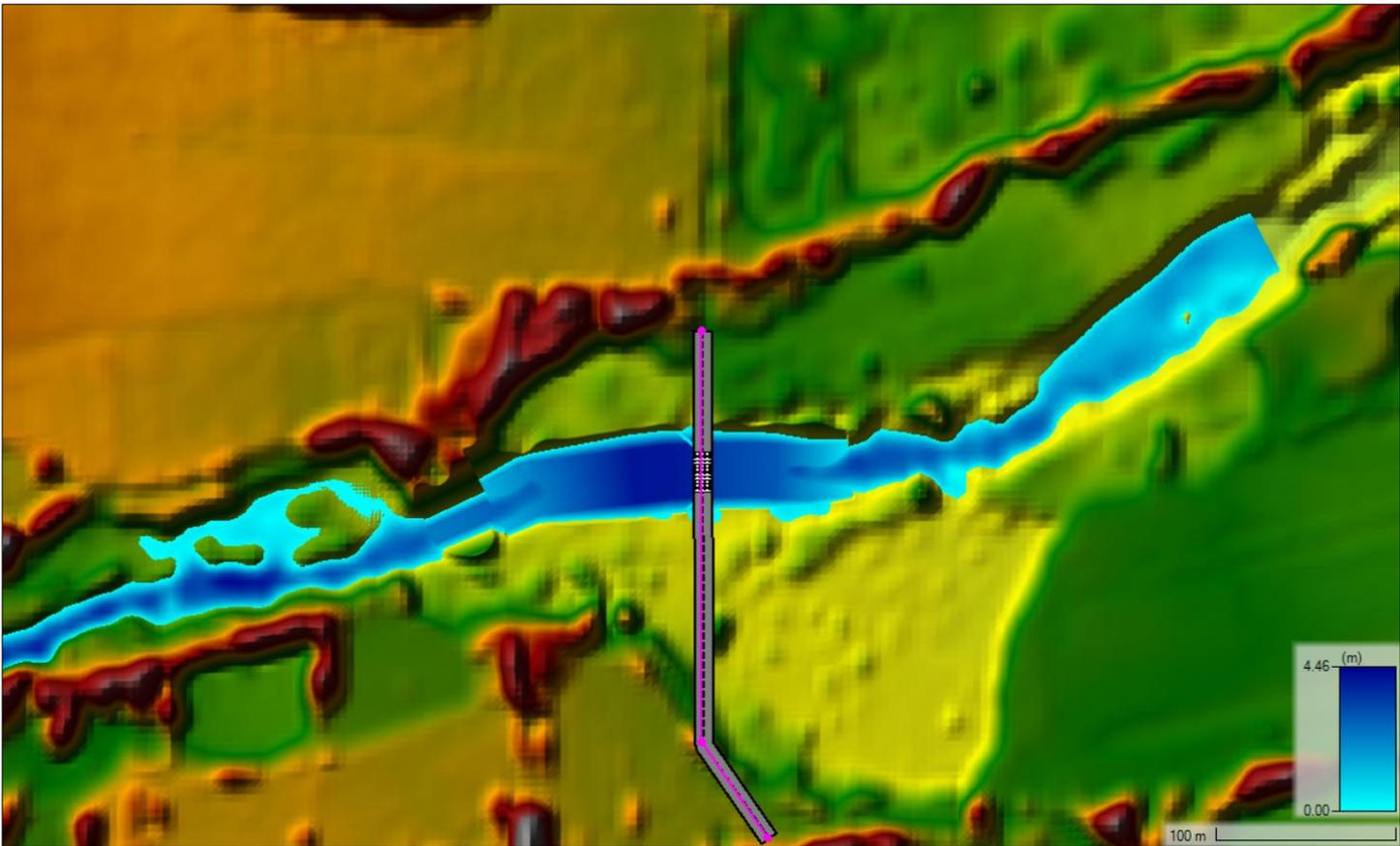


Ilustración 54: Mancha de inundación, situación 2 escenario 3

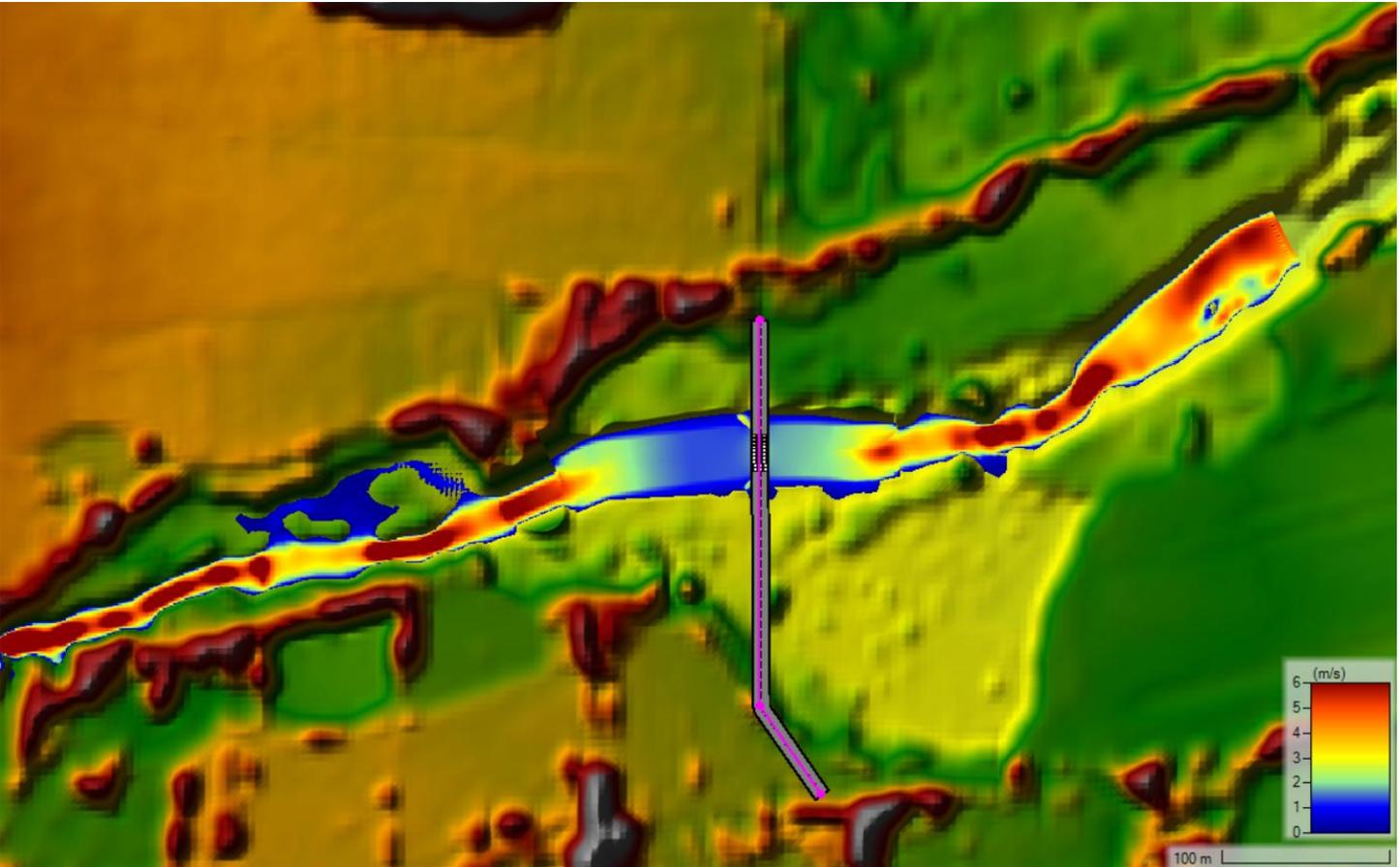


Ilustración 55: Mapa de velocidades, situación 2 escenario 3

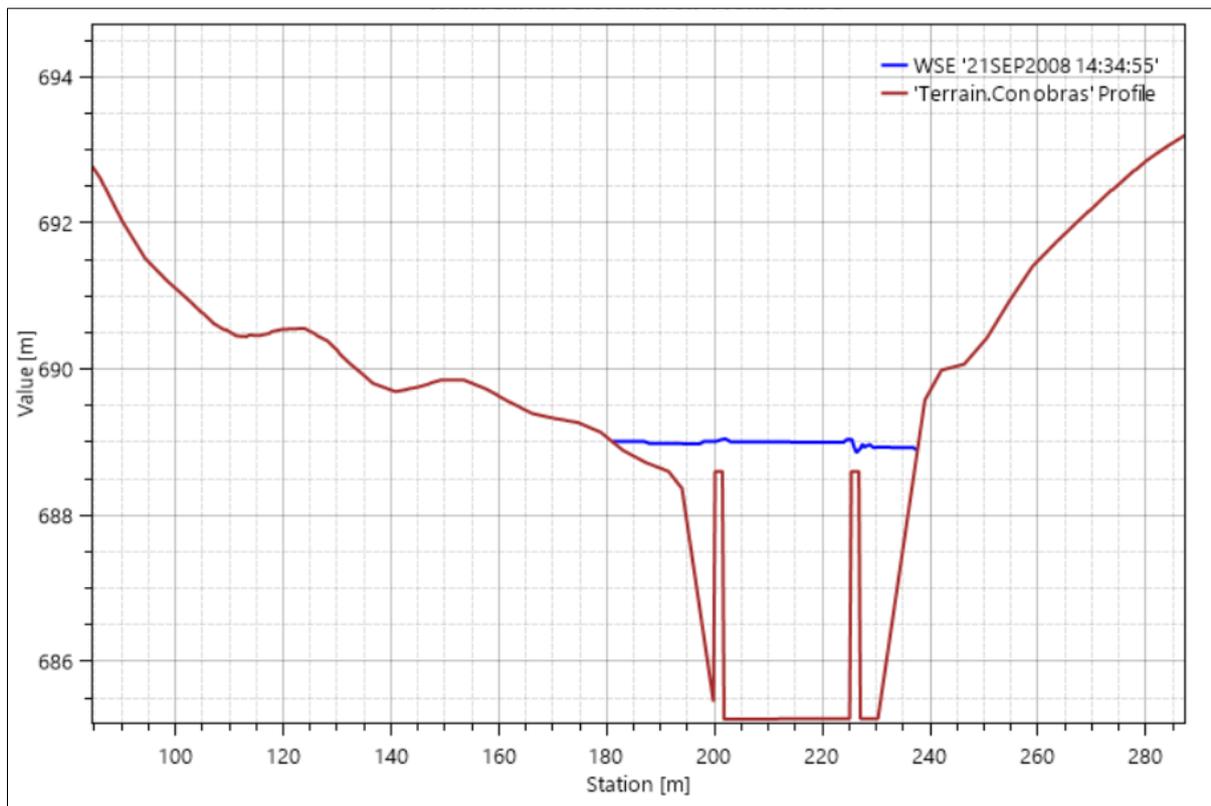


Ilustración 56: Perfil transversal tirante de agua $H=3,80m$

4.1.3. Situación 3

En esta situación, se analizan los mismos escenarios que en la situación 2, pero se considera que la obra está en un 50% de ejecución. Esto implica que hay 5 alcantarillas en pleno funcionamiento y se está llevando a cabo labores de limpieza y perfilado de la zona de obra.

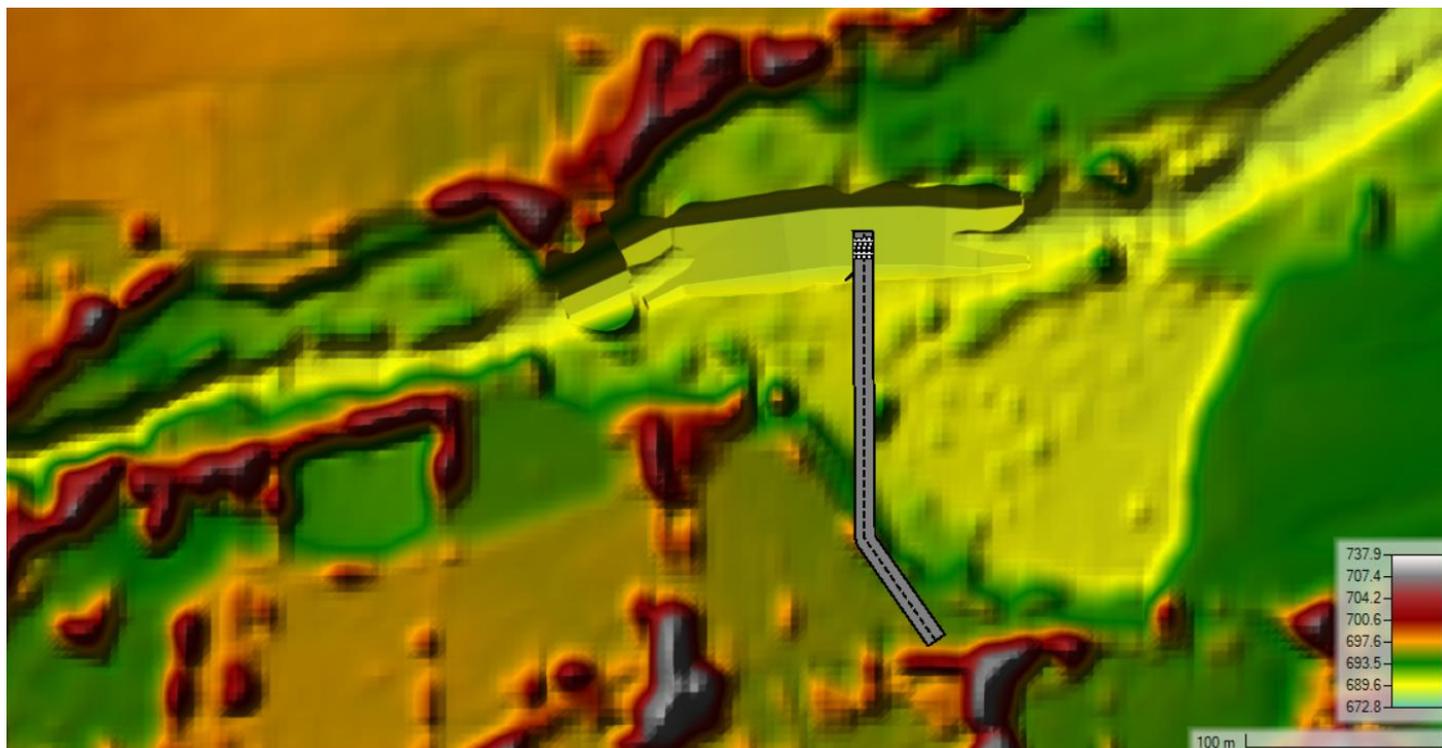


Ilustración 57: Modelo digital de elevaciones de situación 3

Por lo tanto, para esta situación se presentan tres escenarios posibles, tal como se resumió al inicio del capítulo:

Tabla 7: Resumen de escenarios a analizar para la situación 2

Situación	Escenario	Tiempo de recurrencia (años)	Caudal (m ³ /s)	Descripción
3	1	continuo	40	Caudal de riego con obras 5 alcantarillas etapa de construcción
	2	2	113,7	Con obras 5 alcantarillas etapa de construcción
	3	25	199,2	Con obras 5 alcantarillas etapa de construcción

4.1.3.a. Escenario 1

Tal como se modeló para la situación 2, para este escenario se colocaron obras de protección de margen propuestas, limpieza de terreno y la serie de alcantarillas, pero considerando que estas se encuentran en un avance de obra del 50%. Se consideraron las mismas condiciones de entrada, tomando el hidrograma correspondiente al caudal de riego.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de la modelación hidráulica con las obras propuestas:

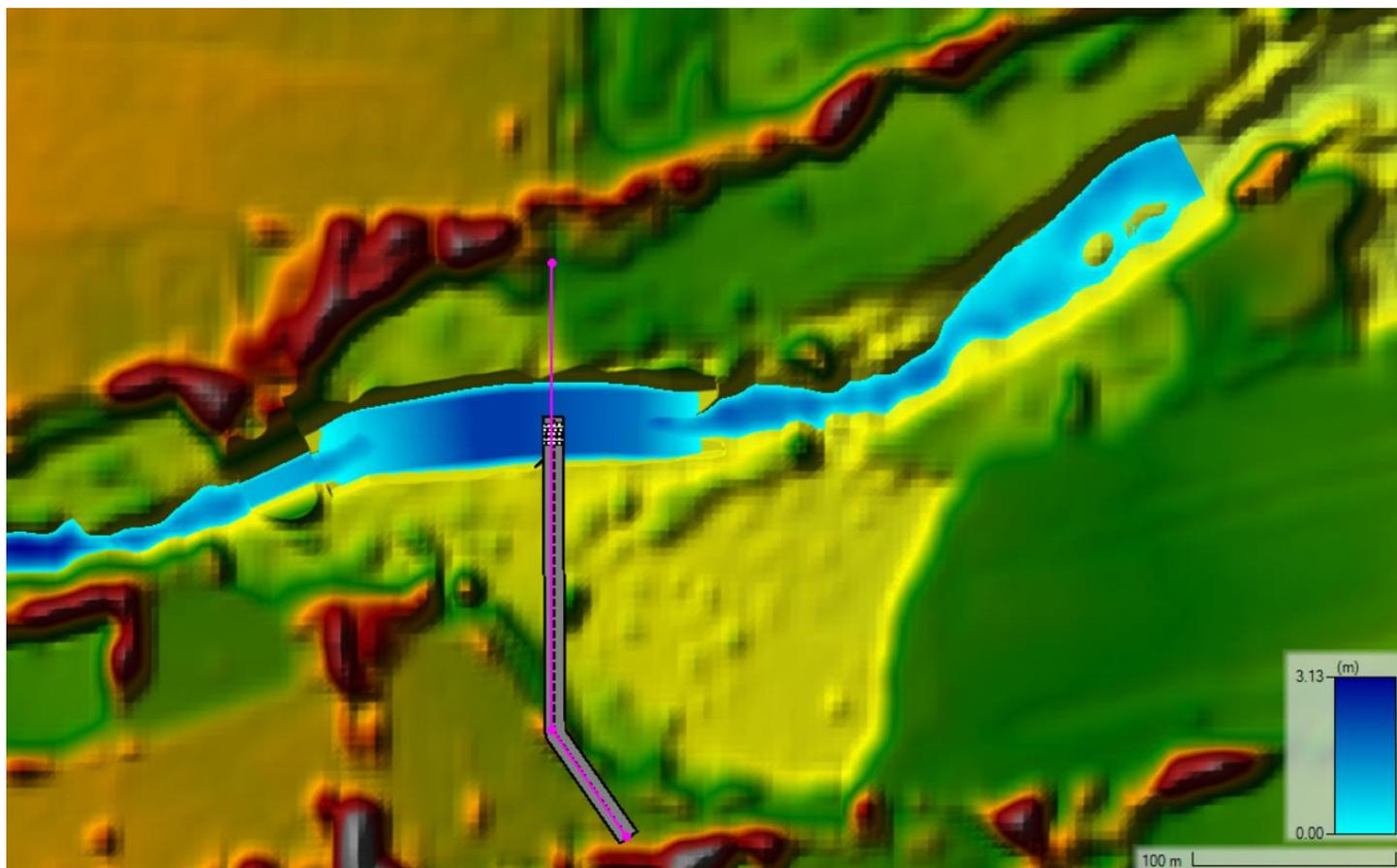


Ilustración 58: Mancha de inundación, situación 3 escenario 1

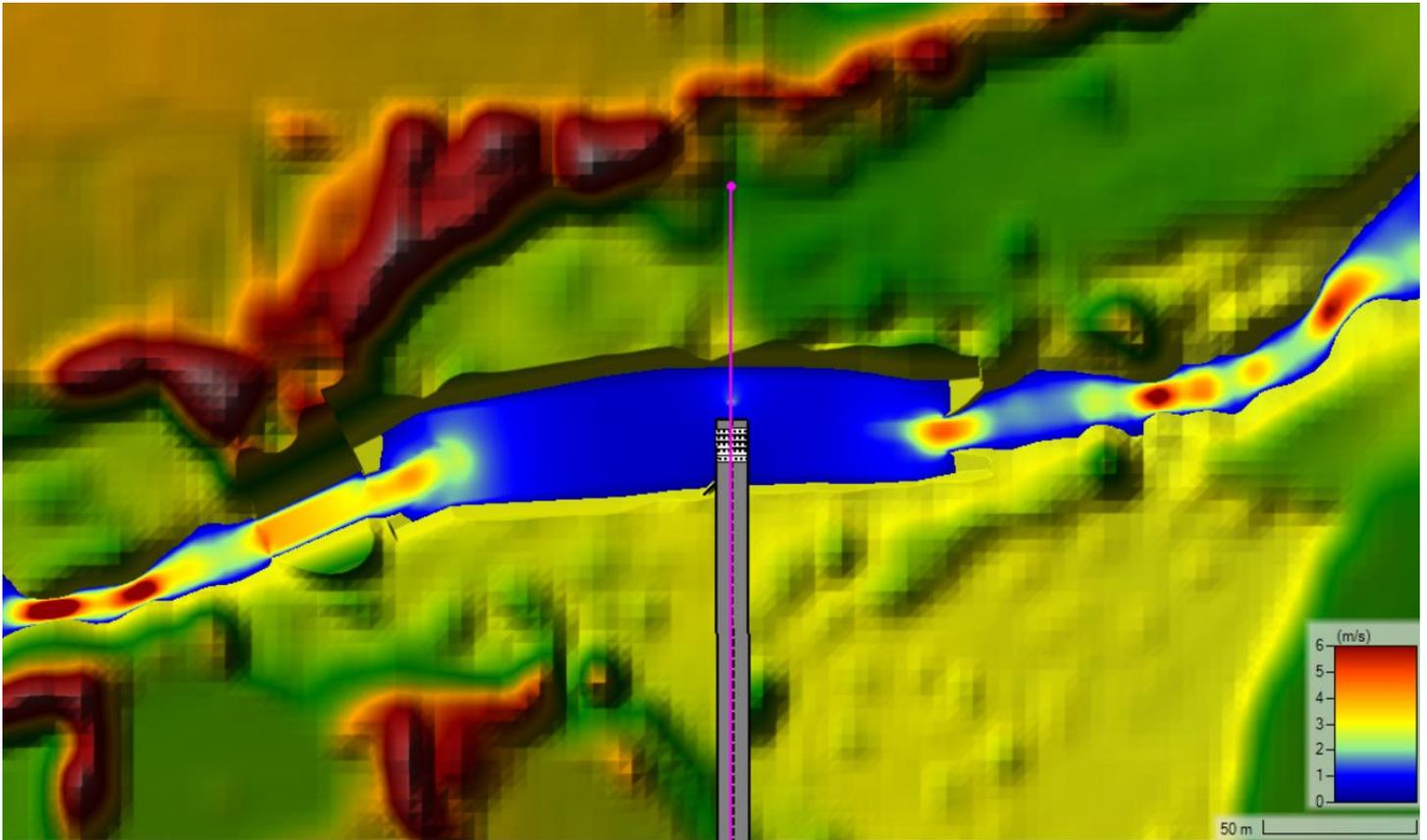


Ilustración 59: Mapa de velocidades, situación 3 escenario 1

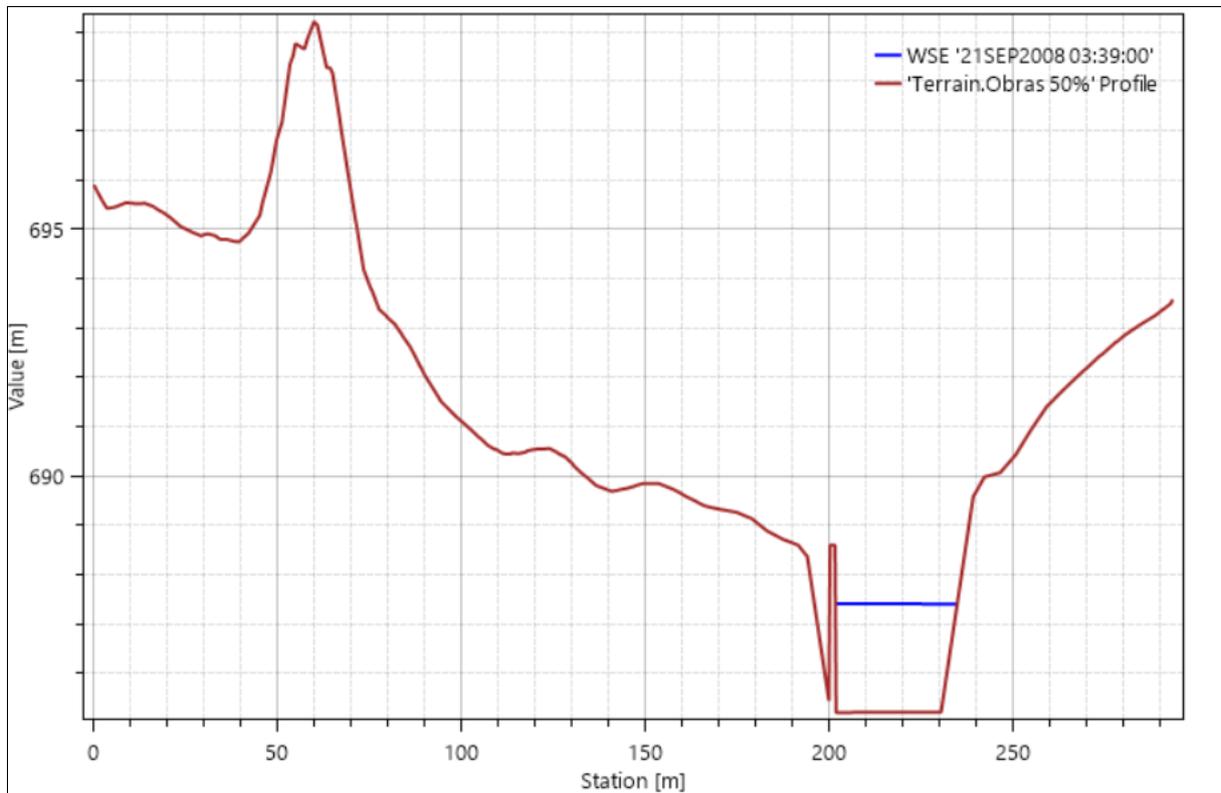


Ilustración 60: Perfil transversal tirante de agua H=1,25m

4.1.3.b. **Escenario 2**

Al igual que escenarios y situaciones anteriores, se plantean las obras de protección de márgenes, limpieza de terreno y serie de alcantarillas con un avance de obra del 50%. Se

consideran las mismas condiciones de entrada que en el resto de las situaciones, tomando el hidrograma para un tiempo de recurrencia de 2 años.

Se presenta a continuación los resultados obtenidos de la modelación hidráulica:

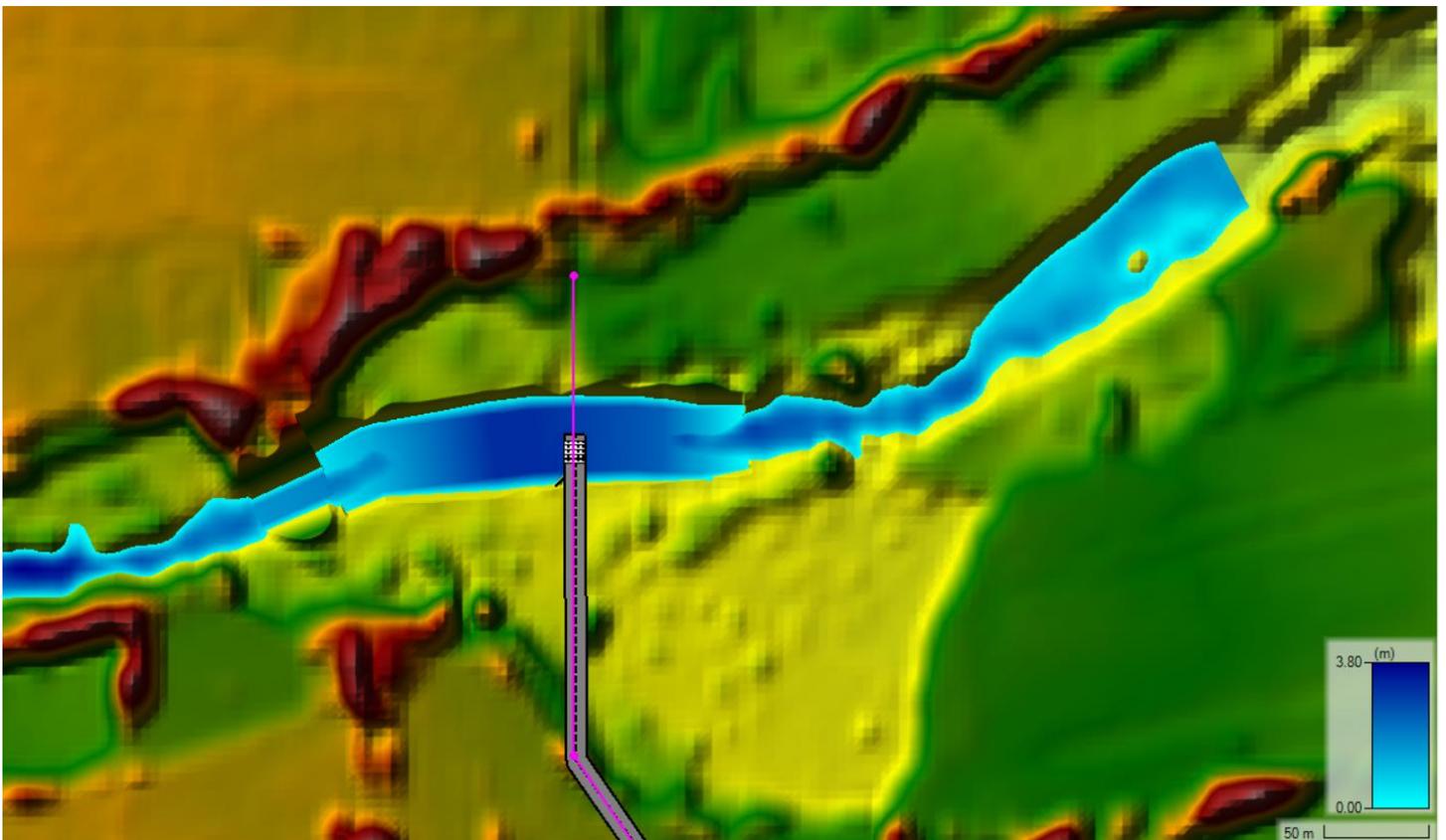


Ilustración 61: Mancha de inundación, situación 3 escenario 2

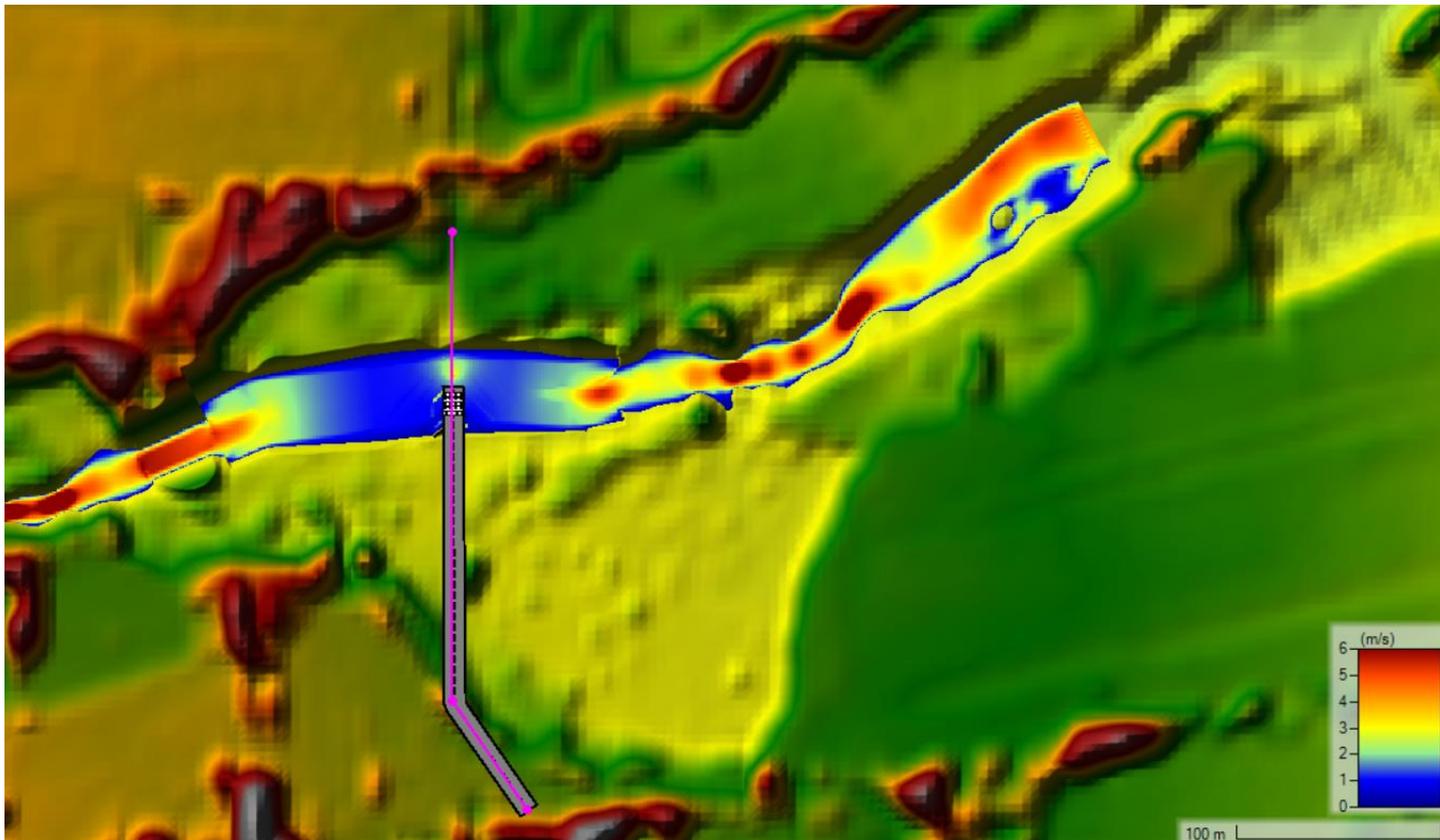


Ilustración 62: Mapa de velocidades, situación 3 escenario 2

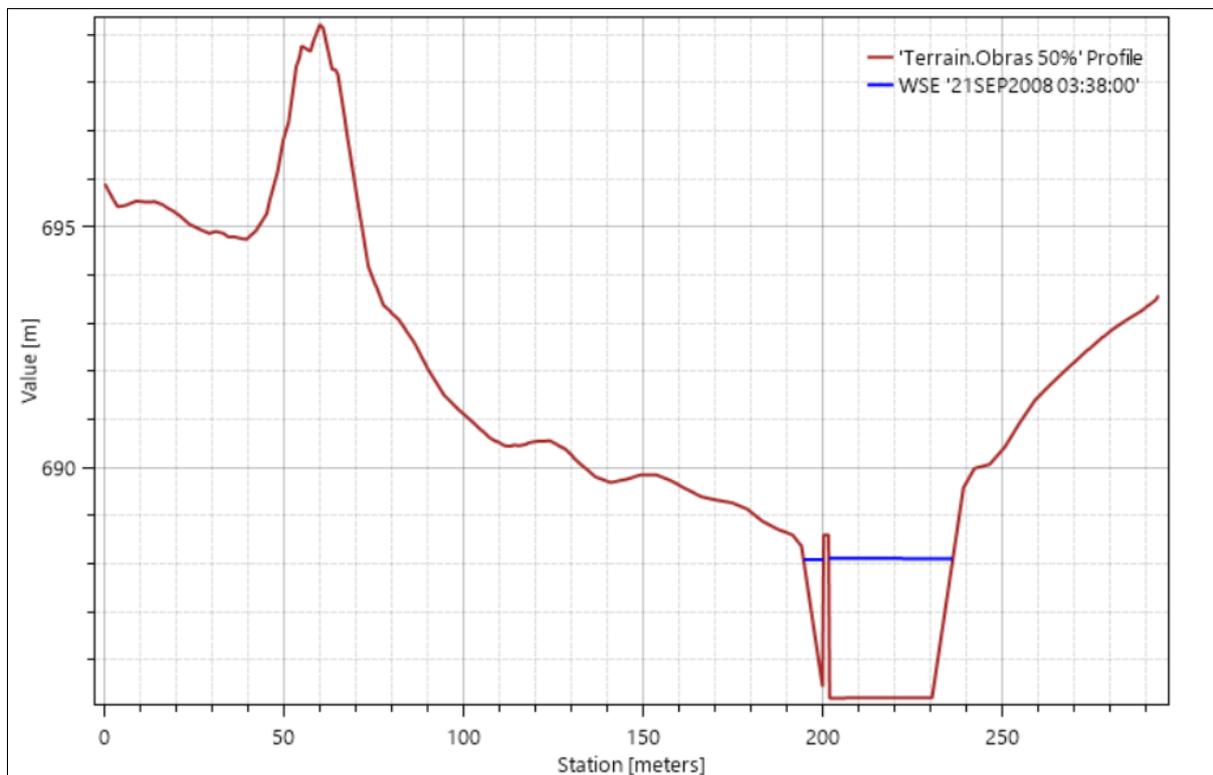


Ilustración 63: Perfil transversal tirante de agua H=2,90m

4.1.3.c. **Escenario 3**

Por último, para el escenario 3 nuevamente se repiten todas las condiciones propuestas en las situaciones anteriores. Se consideran las mismas condiciones de entrada, tomando el hidrograma para un tiempo de recurrencia de 25 años.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

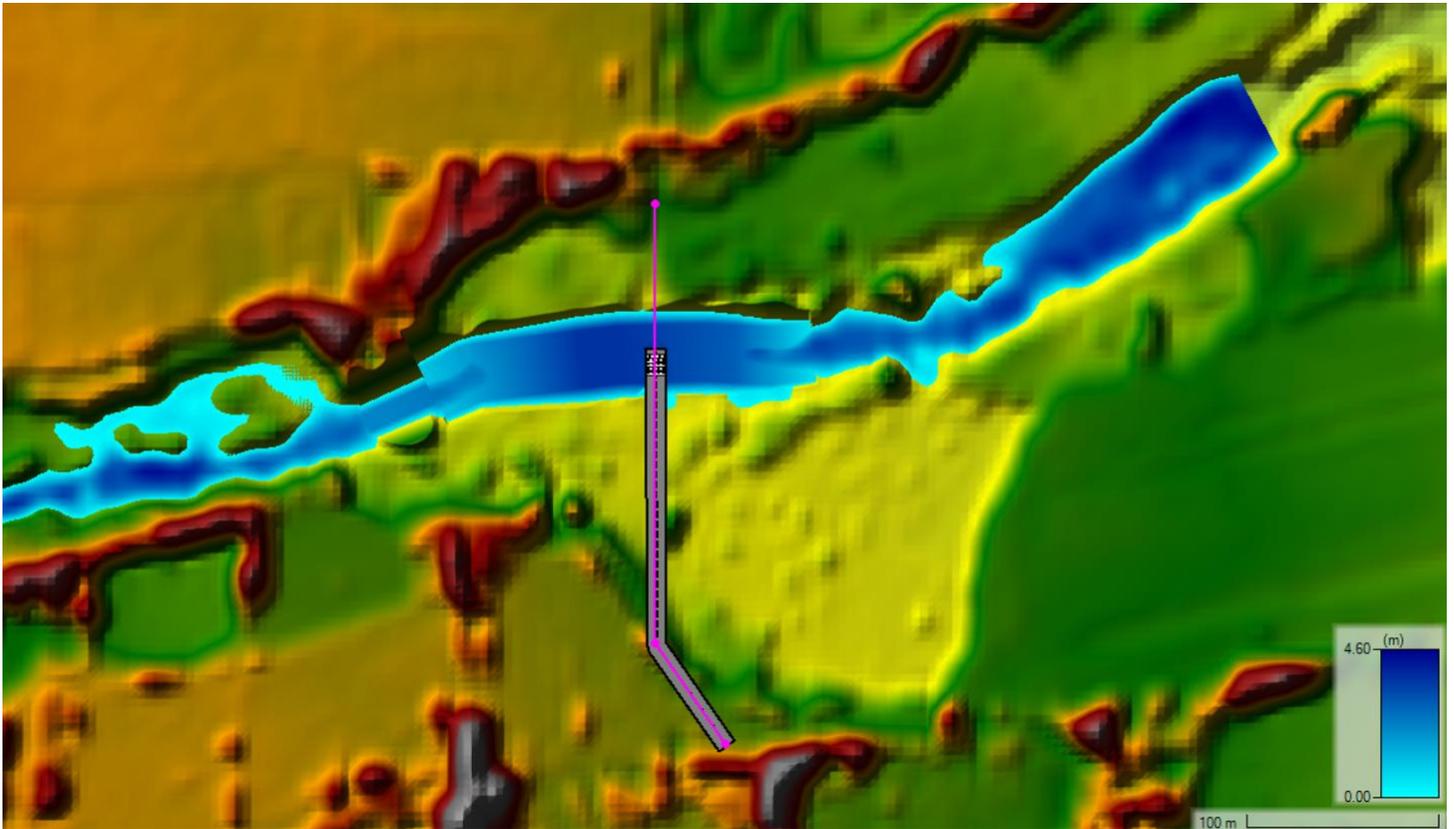


Ilustración 64: Mancha de inundación, situación 3 escenario 3

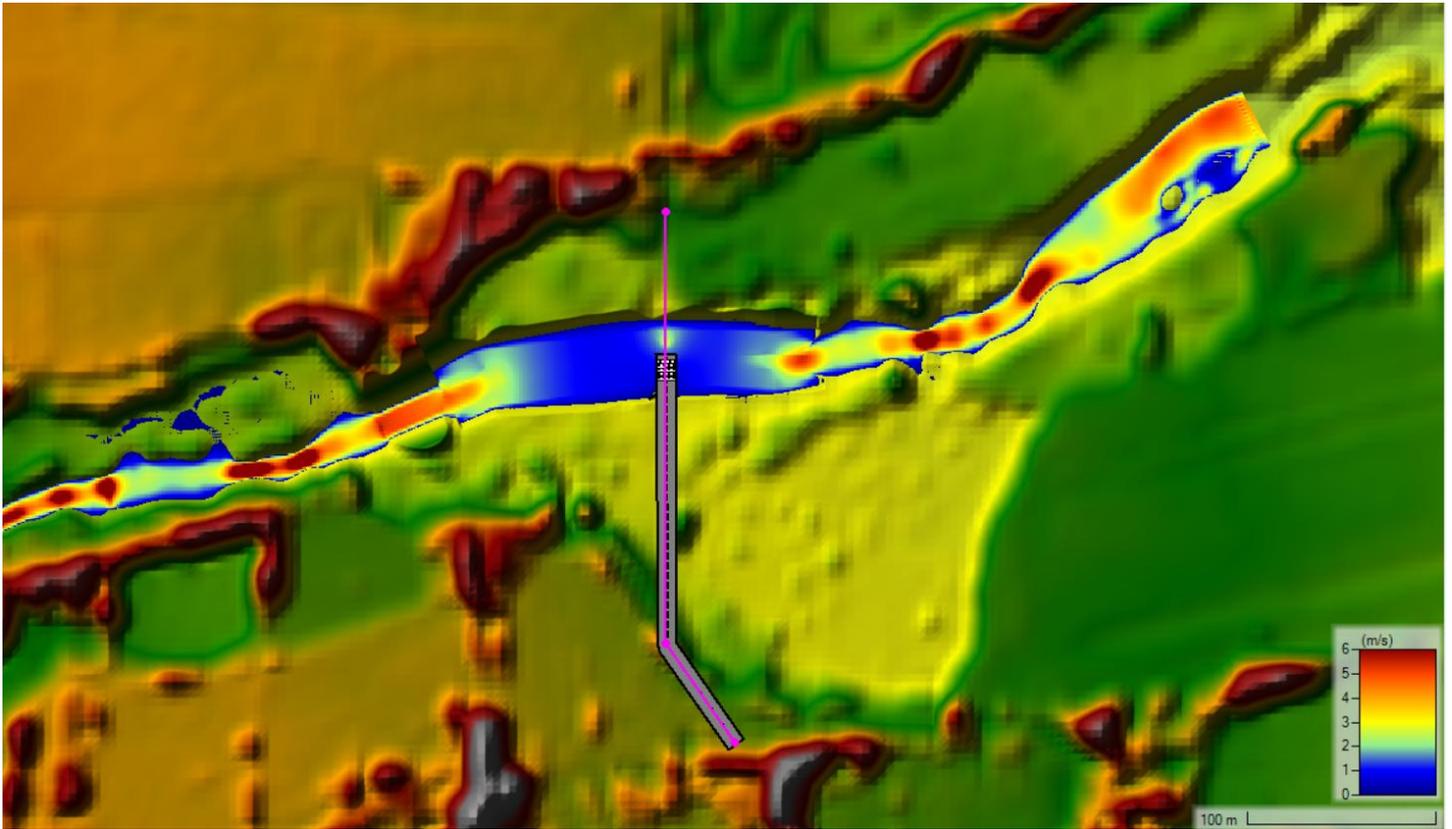


Ilustración 65: Mapa de velocidades, situación 3 escenario 3

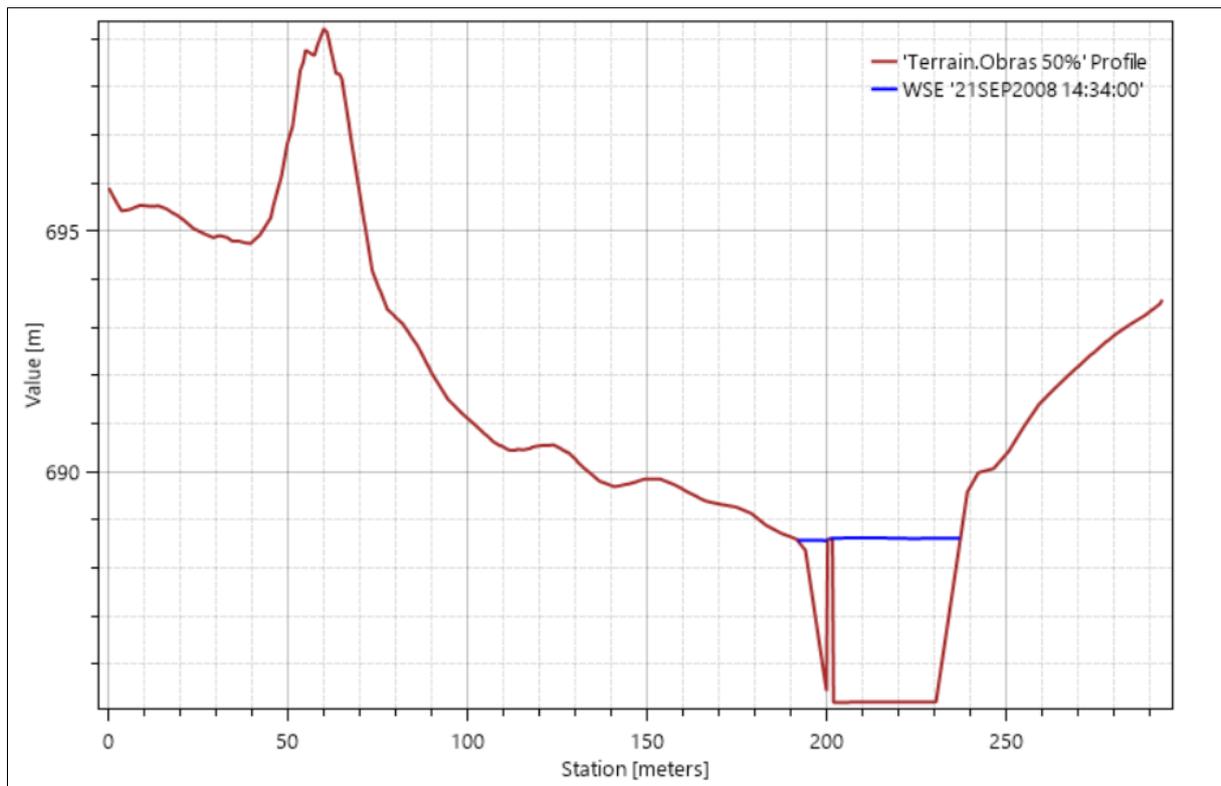


Ilustración 66: Perfil transversal tirante de agua $H=3,40m$

4.2. Conclusión

Se elaboró un modelo hidráulico, utilizando el modelo digital de elevaciones disponible en la zona y tomando como condición de entrada los hidrogramas obtenidos a partir de la modelación

hidrológica. Dicha modelación permite obtener la velocidad del flujo y las profundidades máximas en la zona de interés, parámetros que se utilizan como datos para el diseño de obras de protección de márgenes y dimensionamiento del badén.

A modo de resumen, se observa en la siguiente tabla para cada situación y escenario planteado el funcionamiento de las alcantarillas:

Tabla 8: Resumen de las situaciones planteadas, descripción y funcionamiento de las alcantarillas

Situación	Escenario	TR (años)	Caudal (m ³ /s)	Tirante de agua (m)	Descripción	Funcionamiento de la alcantarilla
1	1	25	199,2	4.1	Situación actual sin obras	-
2	1	continuo	40	1.9	Caudal de riego con obras 10 alcantarillas	Funciona como canal (libre)
	2	2	113,7	3.2	Con obras 10 alcantarillas	Funciona como vertedero y tirante por encima de la alcantarilla 0.8 m
	3	25	199,2	3.8	Con obras 10 alcantarillas	Funciona como vertedero y tirante por encima de la alcantarilla 1.4 m
3	1	continuo	40	2.15	Caudal de riego con obras 5 alcantarillas etapa de construcción	Funciona como canal (libre)
	2	2	113,7	2.9	Con obras 5 alcantarillas etapa de construcción	Funciona como vertedero y tirante por encima de la alcantarilla 0.5 m
	3	25	199,2	3.4	Con obras 5 alcantarillas etapa de construcción	Funciona como vertedero y tirante por encima de la alcantarilla 1 m

4.3. Cálculo de erosión

La erosión generalizada se produce al aumentar la energía del flujo, fenómeno común en cauces con alta energía y fuertes pendientes, donde los picos de crecida son breves y poco frecuentes.

Durante la crecida, la movilización de los sedimentos puede cambiar la sección transversal del cauce, ya sea bajando la cota del lecho y/o modificando la posición del talud. El fenómeno aparece al alcanzar el flujo una velocidad denominada crítica, la cual depende de las condiciones del escurrimiento. La erosión aumenta a medida que aumenta la diferencia entre la velocidad del escurrimiento y la crítica. Si se observa la sección transversal del río, se aprecia no sólo un aumento de nivel de la superficie del agua a medida que aumenta el caudal, sino también una disminución de la cota del lecho, siendo máximo este descenso aproximadamente en el centro. Esta erosión puede alcanzar la cota de fundación de las alcantarillas y descubrirla total o parcialmente. Cuando el caudal de la crecida comienza a disminuir y la velocidad de la corriente se sitúa por debajo de la velocidad crítica, se invierte el proceso y comienza a depositarse parte del material arrastrado.

Esta amenaza es determinante en el análisis de riesgo de falla de estructuras fluviales como puentes, defensas o ductos soterrados.

Para el análisis del estado final de equilibrio en la sección de estudio se utilizan ecuaciones semi-empíricas en lugar de modelos a fondo móvil, debido a la gran complejidad y cantidad de parámetros utilizados en los segundos.

Predecir la respuesta de un río o canal a una intervención es una tarea altamente compleja, ya que los parámetros y variables que afectan y determinan los procesos fluviales son numerosos y además muchos de ellos se hallan interrelacionados. Entre estos parámetros se tienen los caudales líquidos, las cargas de sedimentos, la pendiente del cauce, la resistencia al flujo (rugosidad), la geomorfología, etc.

Los suelos cohesivos compuestos por significantes fracciones de material de granos finos en el rango de limos y arcillas tienen mayor resistencia a entrar en movimiento que los sedimentos gruesos compuestos solamente por arenas, es decir, requieren tensiones de corte relativamente elevadas para erosionar una partícula o conglomerado de partículas y tensiones relativamente bajas para transportarla. La característica de soportar altas velocidades críticas por parte de los materiales de fondo finos es atribuida mayormente a la cohesión, la que, actuando conjuntamente con el peso de las partículas, se opone a la entrada en movimiento.

4.3.1. Método de Lischtván y Lebediev

Existen numerosas fórmulas para calcular la erosión general, la aplicación de las mismas depende de las condiciones y variables que intervienen en cada situación particular tanto de una sección global como de una sección segmentada.

La evaluación se enfocó, en particular, en la ecuación de Lischtván & Lebediev para la estimación de la profundidad de erosión generalizada en el punto de riesgo hidrológico, objeto del presente estudio.

- **Sedimentos incoherentes**

La ecuación de Lischtván & Lebediev para la determinación de las profundidades de erosión general puede expresarse como:

$$H_{sj} = \left(\frac{q_j}{4.7 \times \beta \times d^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$
$$\beta = 0.8217 + 0.0369 x \ln R$$

Donde:

H_{sj}: es la profundidad del flujo luego de la erosión general en metros;

q_j: es el caudal específico en m²/s;

d: diámetro representativo del sedimento del lecho (m). Para sedimentos cuasi-uniformes ($\sigma < 1,4$)

$d=d_{50}$ y para sedimentos no uniformes $d=d_m$ (diámetro medio aritmético)

β : coeficiente adimensional , depende de la recurrencia R asociada al caudal.

x : es en función del diámetro representativo d (mm)

$$x = \begin{cases} 0.4007 \times d^{-0.0262} \rightarrow 0.2 < d(\text{mm}) \leq 1 \\ 0.4005 \times d^{-0.0778} \rightarrow 1.0 < d(\text{mm}) \leq 100 \\ 0.5235 \times d^{-0.1359} \rightarrow 100 < d(\text{mm}) \leq 500 \end{cases}$$

- **Sedimentos cohesivos**

$$H_{sj} = \left(\frac{q_j}{0.6 \times \beta \times \gamma_s^{1.18}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$
$$\beta = 0.8217 + 0.0369 x \ln R$$

Donde:

H_{sj} : es la profundidad del flujo luego de la erosión general en metros;

q_j : es el caudal específico en m^2/s ;

γ_s : peso específico seco del sedimento del lecho (t/m^3)

β : coeficiente adimensional , depende de la recurrencia R asociada al caudal.

x : es en función del peso específico seco.

$$x = \begin{cases} 0.4423 \times \gamma_s^{-0.7260} \rightarrow 0.9 \leq \gamma_s \left(\frac{t}{m^3} \right) < 1.2 \\ 0.4363 \times \gamma_s^{-0.6433} \rightarrow 1.2 < \gamma_s \left(\frac{t}{m^3} \right) \leq 2 \end{cases}$$

4.3.2. Cálculo de socavación

Los parámetros para el cálculo de erosión se extraen del modelo hidráulico realizado sobre la canalización de tierra del Cacique Guaymallén en estudio de manera transversal a las líneas de corriente, de dicha sección se extraen los valores máximos. De este modo se busca obtener el caso más desfavorable para calcular la erosión generalizada. Para partículas de tamaño medio menores a 0,2 mm se utiliza la fórmula para sedimentos cohesivos.

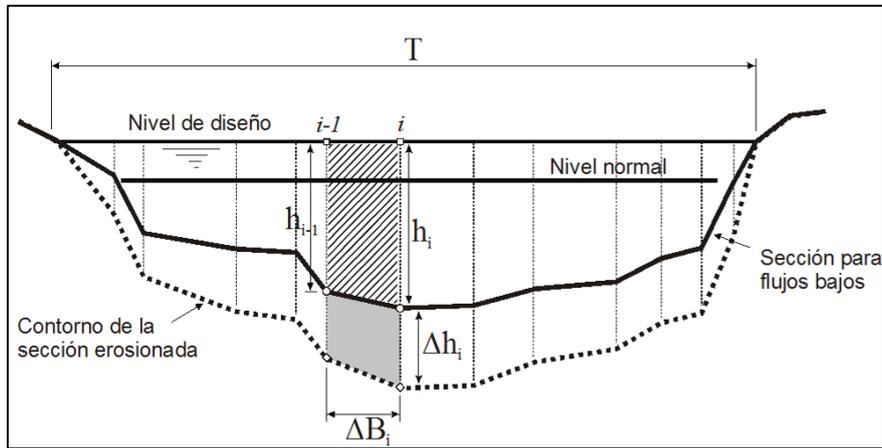


Ilustración 67: Fenómeno de erosión generalizada

4.3.3. Resultados

A partir de los modelos hidráulicos y de los resultados geotécnicos para la determinación del d_{50} y la densidad seca, según corresponda, se obtienen los siguientes valores de erosión generalizada. Se consideran distintos escenarios para el cálculo de la erosión, debido a que no fue posible obtener un estudio de suelos en el área de proyecto, por lo tanto, se supone un diámetro medio de la partícula para distintas granulometrías y se calcula de forma manual y por programas computacionales la profundidad de erosión al pie del dentellón aguas arriba de la obra. Esto tiene como finalidad poder determinar la profundidad necesaria de la pantalla, evitando que se desplante la obra en el momento de la crecida de diseño.

Por lo descrito en el párrafo anterior, se adoptó una erosión de 2m, ejecutándose un diente de hormigón de la misma profundidad. Es tarea de los profesionales correspondientes realizar el estudio de suelos debido para un correcto cálculo.

4.4. Obras de Protección

Las obras de protección en las márgenes de cauces naturales, obras fluviales, canales, etc., como ser colchonetas, gaviones, espigones, son esenciales para la prevención de la erosión y la estabilización de las márgenes, lo que ayuda a mantener la integridad de los cauces y la calidad del agua. Las colchonetas y gaviones, al estar contruidos con materiales duraderos y permeables, permiten el flujo natural del agua mientras refuerzan las márgenes contra la acción erosiva de la corriente y eventos de inundación. Además, estas obras de protección son fundamentales para la conservación del entorno natural, ya que minimizan el impacto ambiental, protegen la biodiversidad y aseguran la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos. En el contexto de la infraestructura y el desarrollo urbano, la implementación de estas técnicas de protección garantiza la seguridad de las áreas habitadas cercanas a cuerpos de agua, previniendo daños materiales y pérdidas humanas, contribuye a un manejo eficiente y responsable de los recursos hídricos a largo plazo.

Se utilizarán barreras flexibles en las zonas donde se desea rectificar el río mediante el movimiento de suelo correspondiente, el cual se deberá realizar 80m aguas arriba y aguas debajo de la obra. Esto con el fin de lograr el encausamiento del agua hacia la obra de arte colocada en el lecho natural del canal Cacique Guaymallén.

A continuación, se presentan las distintas obras de protección propuestas, tanto de márgenes como del cauce del canal, en la entrada y salida de las alcantarillas a construir.

4.4.1. Muros Marginales

Los muros marginales, también conocidos como muros de contención o muros de ribera, son estructuras construidas a lo largo de las márgenes de ríos y arroyos naturales. Su principal objetivo es proteger las orillas contra la erosión y los desbordamientos, estabilizar el cauce y prevenir inundaciones en áreas adyacentes.

Estos muros cumplen diversas funciones:

- **Protección contra la erosión:** Los muros marginales protegen las orillas del río de la acción erosiva del agua, manteniendo la integridad del cauce y previniendo el colapso de las riberas.
- **Estabilización de márgenes:** Ayudan a mantener la estabilidad del terreno adyacente al cauce, evitando deslizamientos y desprendimientos de tierra.
- **Control de inundaciones:** Al actuar como barreras físicas, los muros marginales reducen el riesgo de inundaciones en las áreas cercanas al cauce, protegiendo infraestructuras y propiedades.
- **Mejora el flujo de agua:** Contribuyen a mantener una sección transversal del cauce más estable, facilitando el flujo del agua y evitando acumulaciones de sedimentos en áreas no deseadas.
- **Reducción de la velocidad del agua:** al estabilizar las márgenes, los muros marginales pueden ayudar a reducir la velocidad del flujo del agua cerca de las orillas, disminuyendo como se mencionó, la capacidad erosiva del cauce.

Los muros marginales pueden construirse de diversos materiales: concreto, piedra y roca, acero, madera, etc. y de distintas formas e inclinaciones. Para el anteproyecto en estudio se proponen muros de contención de hormigón, conocidos como muros de ala.



Ilustración 68: Ejemplificación de muros marginales

4.4.2. Gaviones

Los gaviones son elementos prismáticos contruidos en malla metálica que permiten alojar rellenos diversos (piedra, suelo, arena, etc.), que luego puestos en obra y atados unos a otros, acaban formando una estructura de protección.

Tal estructura tiene la particularidad de su gran resistencia, trabaja como un todo en forma monolítica y son extremadamente flexibles. No permiten la acumulación de tensiones por presión hidrostática, o sea que al ser permeable y permitir ser atravesada por el agua, alivian las importantes tensiones que se acumulan detrás de los muros.

Otra particularidad de estas estructuras es la de integrarse al medio ambiente permitiendo el desarrollo de la vegetación. Además, tienen la capacidad de actuar como barreras contra ruidos, gracias a los vacíos de las piedras, donde se depositarán suelos y se desarrollará la vegetación. La misma situación no es cierta para obras de concreto, requiriendo trabajos adicionales y rellenos con materiales más apropiados.

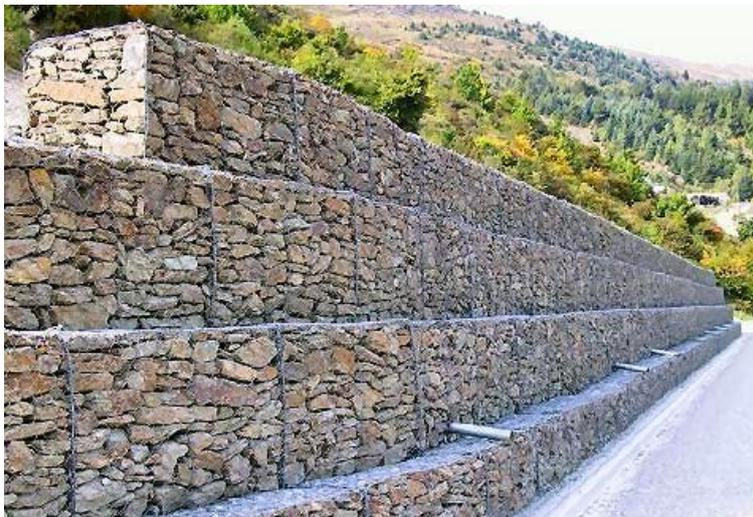
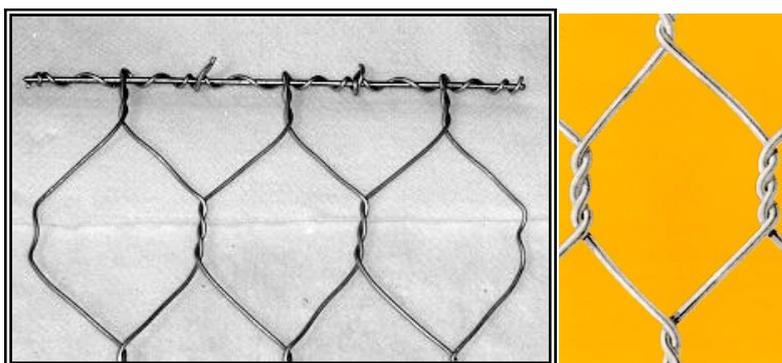


Ilustración 69: Ejemplificación de gaviones caja

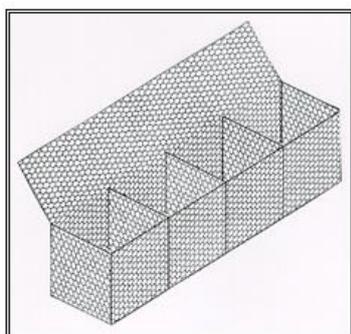
Los gaviones serán contruidos con mallas de triple torsión y escuadrada tipo 6x8cm, 8x10 cm, o 10x12cm, de alambre de acero bajo en carbono de unos 2,7mm. Todas las aristas de los gaviones, deben ser reforzadas de igual modo con alambre de 3,4mm.



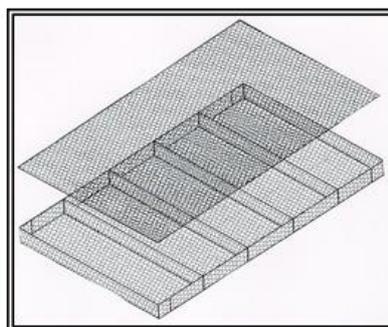
•DIAMETROS: de 2,00mm hasta 3,40mm

Ilustración 70: Ejemplo de mallas

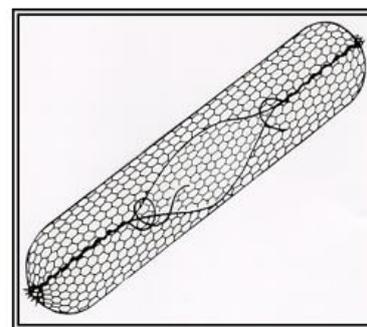
Estas construcciones poseen diferentes aspectos, por lo general aparecen en forma de cajas, las cuales pueden tener distintas longitudes que van desde 1 a 4 metros, ancho de 1 metro y una altura que oscila entre 0,5 y 1 metros.



GAVIÓN CAJA
LARGO: 1.5 - 2.0 - 3.0 - 4.0 m
ANCHO: 1.0 m
ALTO: 0.5 - 1.0 m



COLCHONETA
LARGO: 3.0 - 4.0 - 5.0 - 6.0 m
ANCHO: 2.0 m
ESPESOR: 0.17 - 0.23 - 0.30 m



GAVION SACO
LARGO: 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0 m
DIAMETRO: 0.65 m

Ilustración 71: Tipos de gaviones

Para nuestro proyecto se proponen gaviones tipo caja, y colchonetas, estas últimas se describen en el ítem a continuación.

El relleno se efectúa con cualquier tipo de medio mecánico o manual, usando guijarros o piedras de cantera que tengan unas dimensiones ligeramente superiores a las de la malla, de forma que se tenga al menos, porcentaje de vacíos. Hay que excluir materiales friables, aconsejándose el uso de material duro y de elevado peso específico, como es la piedra sana y compacta. El tamaño debe ser regular y tal que las medidas sean comprendidas entre la medida mayor de la malla y el doble, salvo en los colchones donde se conviene usar piedras mayores a la mitad de su espesor.

Puede aceptarse como máximo, el 5% del volumen de la celda del gavión de piedras de tamaño mayor al indicado. El relleno debe permitir la máxima deformación de la estructura, dejar el mínimo porcentaje de vacíos asegurando al máximo el buen peso de los elementos. Se deben colocar durante el relleno, en el interior de los gaviones, unos tensores horizontales, a $1/3$ y a $2/3$ de la altura del mismo, para conseguir que las paredes opuestas resulten solidarias entre sí. Los tirantes permiten un mejor alineamiento de las paredes en vista y evitan la deformación de los gaviones durante el relleno. La cantidad y disposición de los mismos están en función del tipo de trabajo.

4.4.3. Colchonetas

Las colchonetas cumplen las mismas funciones que las demás obras de protección, pero están diseñadas específicamente para proteger el cauce del río. Un aspecto importante a considerar en la protección de colchonetas es su comportamiento frente a flujos densos. Estos flujos, debido a su mayor densidad, pueden causar el desplazamiento por flotación de las protecciones basales. Para evitar este problema, se coloca un diente realizado con un gavión aja en el perímetro de la colchoneta. El mismo, se instala de manera que no interfiera con el funcionamiento normal de la colchoneta, al mismo tiempo que previene la flotación provocada por los flujos densos.

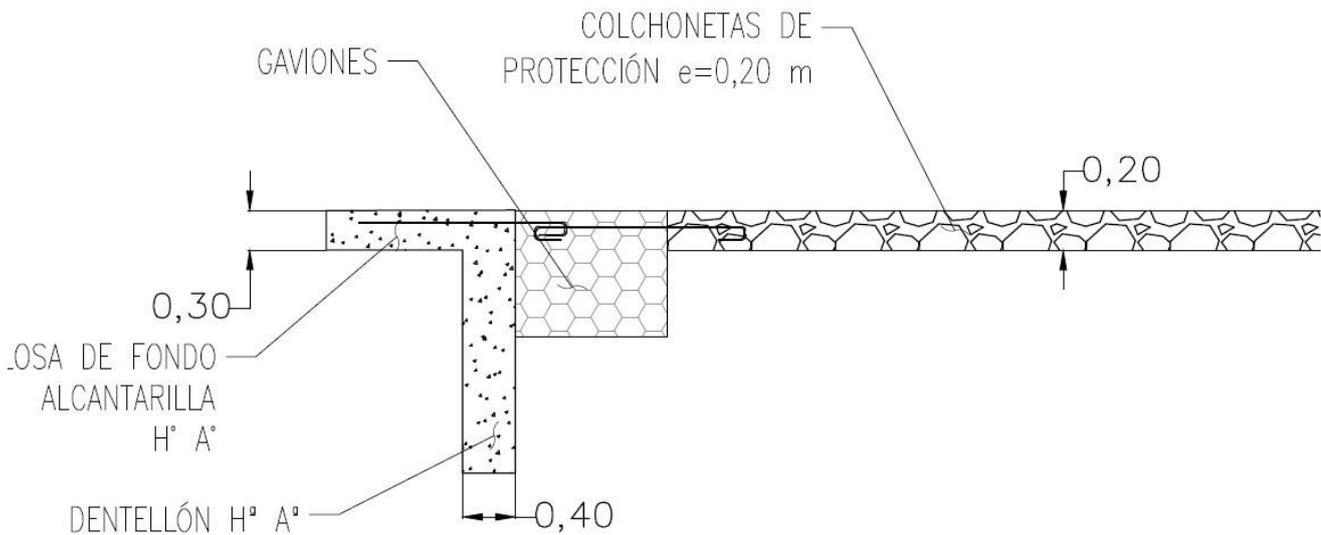


Ilustración 72: Detalle de armado de estructura de dissipación

El espesor de las colchonetas se obtiene mediante la velocidad de salida del agua y el tipo de suelo en el lugar de emplazamiento, se adopta el valor de la siguiente tabla:

Tabla 9: Tabla para la obtención de espesores de colchoneta

Tipo de suelo	Velocidad del flujo 2 m/s	Velocidad del flujo 3 m/s	Velocidad del flujo 4.5 m/s	Velocidad del flujo 5 m/s	Velocidad del flujo 6 m/s
	Espesor de la Colchoneta	Espesor de la Colchoneta	Espesor de la Colchoneta	Espesor de la Colchoneta	Espesor de la Colchoneta
Arcilla, suelo cohesivo duro	0.17	0.23	0.30		
Limo. arena fina	0.23	0.30			
Guijarros con gravas	0.17	0.17	0.20	0.23	0.30

De acuerdo a las velocidades obtenidas, las cuales se observan detalladamente en las distintas situaciones y escenarios descritos al inicio del capítulo, se deberán realizar colchonetas de espesor 0,20m

En el caso de revestimientos con colchonetas, los tensores deben colocarse verticalmente uniéndose base con tapa. Eventualmente pueden unirse las aristas superiores de los diafragmas con el paño base en el caso de revestimiento de superficies inclinadas. Pueden usarse normalmente un tirante vertical cada metro cuadrado, salvo casos donde exista intenso oleaje, donde pueden aumentarse la densidad de esos tensores. El alambre adoptado para los tirantes, de la misma manera que el que se utiliza para las ligaduras, presente las mismas características de los gaviones sólo que generalmente es un diámetro inferior. Terminado el relleno, se baja la cubierta de los gaviones y se la liga a lo largo de todos los bordes perimetrales y los interiores del diafragma

El relleno para colchonetas debe ser preferentemente pequeño, con un d_{50} inferior a la mitad del espesor del colchón y de dimensiones un tanto superior a la abertura de la malla hexagonal. Finalmente debería proveerse un cierto sobrellenado, no muy abundante, para que las tapas queden totalmente planas y tensadas luego que se produzca el normal reacomodamiento de la obra, en sí monolítica.



Ilustración 73: Ejemplificación de colchonetas

Todas las obras de protección descritas pueden verse de manera resumida en la *Ilustración 47*, y en el **Anexo C** puede observarse detalladamente los planos de la obra.

5. CAPÍTULO 5 - PROYECTO VIAL

5.1. Introducción

El conocimiento del tránsito, su influencia, frecuencia y variedad, es de vital importancia para poder dimensionar las capas estructurales del pavimento y además para poder estimar número de trochas, velocidades máximas y otros parámetros de diseño geométrico del proyecto.

Los vehículos, imponen al pavimento cargas cíclicas, de aplicación instantánea y corta duración, lo que se traduce en cargas dinámicas que generan compresiones, tracciones, flexiones y fatiga. Conociendo las leyes de fatiga de los materiales, es posible estimar el número de procesos de carga y descarga que es capaz de resistir cada una de las capas del paquete estructural, y, por tanto, su durabilidad y la del pavimento en conjunto.

Además, el estudio del tránsito también es preponderante en la determinación del Nivel de Servicio que presta la carretera, ya sea en el inicio de su vida útil o en el final de la misma. Este tipo de parámetro es una medida cualitativa de la calidad del flujo vehicular y describe la percepción de los usuarios respecto de las condiciones de operación, como ser, velocidad y tiempo de recorrido, demora, libertad para realizar maniobras etc.

En este capítulo, por tanto, se abordará el análisis de tránsito correspondiente, partiendo de datos obtenidos por Dirección Nacional de Vialidad y censos de tránsitos.

5.2. Censo de Tránsito

Con el propósito de adquirir conocimientos sobre el comportamiento del tráfico, se llevaron a cabo distintos censos con el objetivo de recopilar información para poder obtener, entre otras características, el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), composición del tránsito, línea de deseos de los usuarios, etc.

Se realizaron dos tipos de censos, por un lado, uno de tipo **origen, destino y propósito de viaje**, y con el segundo censo se busca determinar **volúmenes de circulación**.

A partir de los censos de origen y destino se busca conocer desde dónde proviene el usuario y hacia dónde se dirige. El propósito de este análisis es identificar las posibles rutas que podría tomar un conductor a la circular de un punto a otro. A modo de ejemplo, si consideramos a un usuario que vive en el Barrio Lihue de Bermejo y debe dirigirse a la Escuela Eliana Molinelli de El Plumerillo, en la actualidad se pueden plantear dos rutas (*Ilustración 74*). La primera ruta, sigue la RN°40, la cual tiene una menor demora, pero debido a sus características ruta nacional, es de conocimiento que tiene un volumen alto de vehículos, lo que se puede traducir en menor libertad de maniobras. La segunda opción es por Aristóbulo del Valle, generando un mayor tiempo de viaje y, por lo tanto, mayor gasto económico. Con la construcción del nuevo puente, se generaría

una tercera ruta alternativa, que no solo reduciría tiempos de viaje, sino que también, como se mencionó en capítulos anteriores, se descongestionaría las rutas actuales.

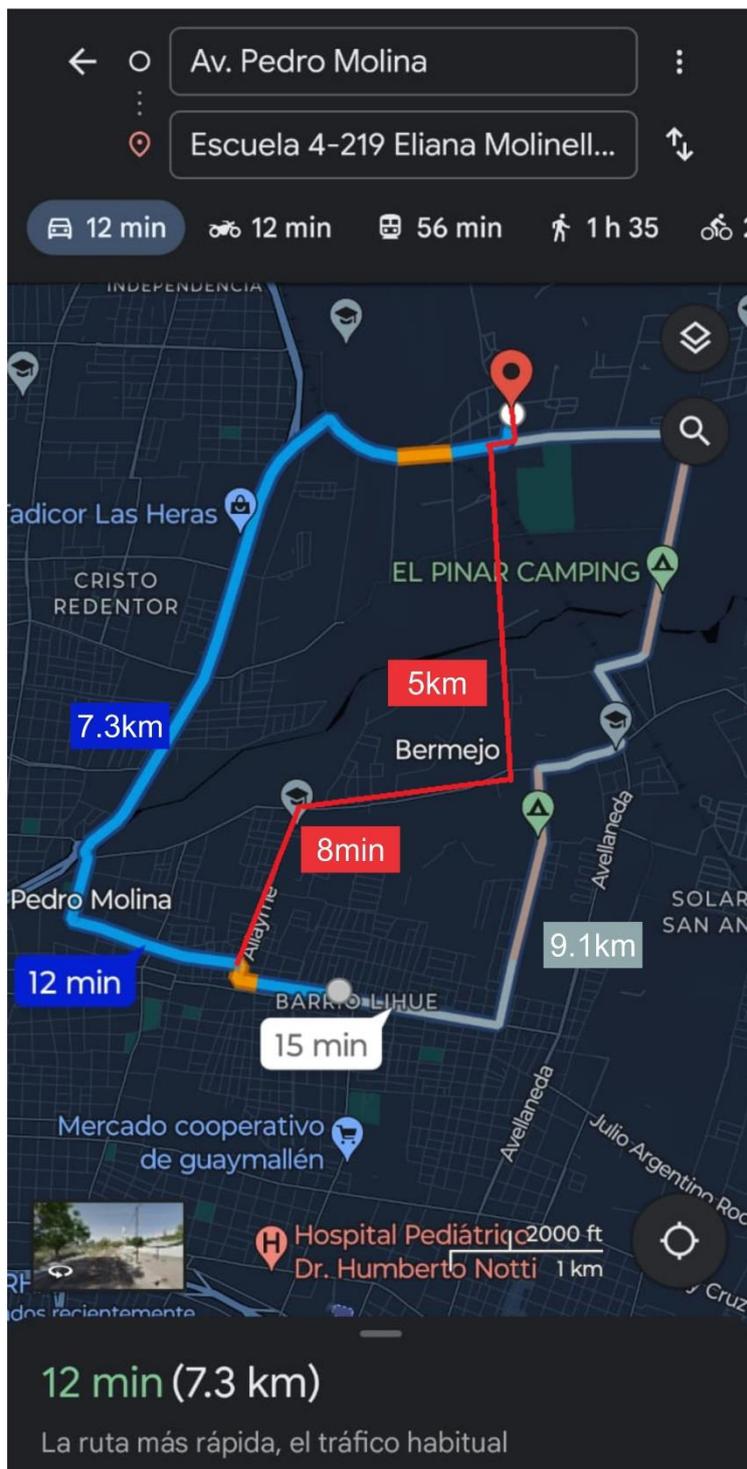


Ilustración 74: Ejemplo de viaje para censo de origen y destino

Los censos de propósito de viaje se utilizan para predecir la frecuencia con la que el usuario circula por esa ruta. Siguiendo el ejemplo anterior, si el propósito del viaje fuese llevar a los niños al colegio o trabajar en el colegio, el censista sabrá que estos conductores usarán la vía diariamente durante los días hábiles. En el caso de que la carretera tenga dos carriles en sentido contrario de circulación, se puede prever que el usuario utilizará la ruta al menos dos veces al día.

En conclusión, además de evaluar en una primera instancia la utilidad de la nueva obra de construcción propuesta, estos tipos de censos son importantes para obtener conocimiento cualitativo sobre la frecuencia del tránsito y el volumen que podría tener la ruta. Asimismo, permiten comenzar a comprender cómo será el funcionamiento de la vía, identificar posibles horarios de mayor o menor tránsito, y detectar períodos de congestión, entre otros aspectos.

En el **Anexo A** se presenta la encuesta realizada y los resultados obtenidos. Esta encuesta se llevó a cabo on-line y permite observar el destino de los usuarios, la frecuencia de uso que tendría la nueva vía, así como su utilidad y propósito de viaje.

Por otro lado, se llevó a cabo un censo de conteo vehicular en la intersección de Aristóbulo del Valle y Mathus Hoyos en Guaymallén. El objetivo principal es la de obtener conocimiento cuantitativo de los volúmenes de tránsito. El tipo de censo realizado fue un censo manual, el cual requiere colocar la cantidad de personas necesarias en la sección de la vía que se desea analizar, quienes se encargan de contar todos los vehículos que circulan por esa área.



Ilustración 75: Intersección de calles Aristóbulo del Valle y Mathus Hoyos en Guaymallén

Para este caso, al ser una intersección y donde ambas calles tienen dos trochas de circulación de sentido contrario, se utilizaron 3 censistas, los cuales fueron contando los vehículos en las distintas maniobras que pueden realizarse en el área. Se discriminaron tipos de vehículos y además los conteos se realizaron en intervalos de tiempos de 15min para tener conocimiento de aquellos posibles horarios de congestión.

En el **Anexo B** puede observar las planillas utilizadas y los resultados obtenidos.

Los datos obtenidos a partir de este tipo de censo serán de utilidad para plantear distintas hipótesis, y como se mencionó con anterioridad, son la base de partida para la obtención del TMDA y así poder proyectar a futuro.

5.3. Estudio de Tránsito, TMDA y Tránsito Futuro

En base a los datos del censo de tránsito explicado en el título anterior, se estimará el TMDA, que luego será utilizada para el cálculo de cada una de las capas de la carpeta asfáltica y para el diseño geométrico del camino.

El Tránsito Medio Diario Anual es un promedio de todos los vehículos que pasan durante un año dividido el número de días del mismo:

$$TMDA = \frac{\sum \text{tránsitos diarios censados}}{365 \text{ días}}$$

Sin embargo, como el proyecto es un nuevo camino, no se cuenta con conteos en la vía porque es inexistente. Por lo tanto, se debe partir de datos cercanos para poder extrapolar estos hacia la nueva construcción.

La forma de obtención de la TMDA es por correlación con tránsitos obtenidos de estaciones permanentes ubicadas en una Zona o Red Socioeconómica Homogénea, es decir, que tenga actividades, desarrollo social, viajes de origen y destino, composición vehicular, etc, similares a la del punto donde se desea conocer.

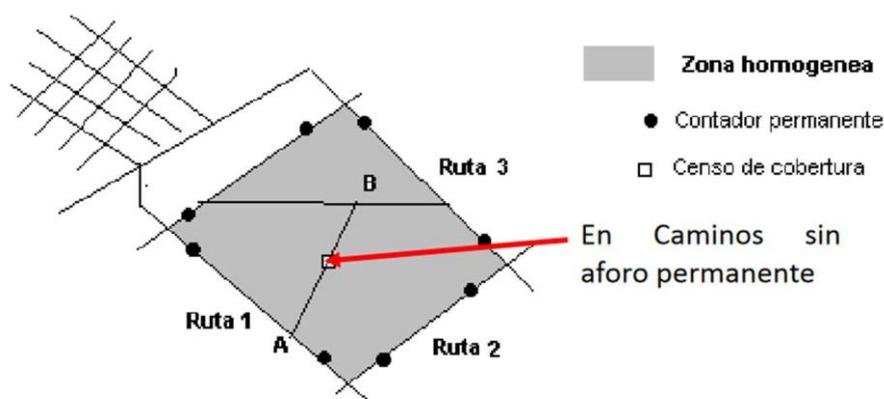


Ilustración 76: Esquema de extrapolación de TMDA

En la *Ilustración 76* se observa el concepto de zona homogénea y su aplicación. Se tienen contadores permanentes en las rutas 1, 2 y 3, que demarcan una zona sombreada. Dentro de esa zona, sobre un camino de puntos A y B, se realiza un censo de cobertura temporal. Los volúmenes censados en dicho puesto se pueden extrapolar a valores medios anuales gracias a los factores de conversión obtenidos en los puestos permanentes.

Para el caso en estudio, la RN°40 representaría las rutas 1,2 y 3, ya que cuenta con contadores permanentes, y el camino entre los puntos A y B se toma Aristóbulo del Valle, ya que tiene las mismas características que se plantean en el nuevo proyecto.

5.3.1. Determinación de TMDA

Como se pudo observar en el **Anexo B** a la hora de realizar el conteo, se discriminaron tipos de vehículos: Automóviles, Motos, Camiones, Micros y Bicicletas. Para poder tener en cuenta todos estos en un mismo cálculo, y considerando que la mayor cantidad de vehículos que circulan son automóviles, se realiza una conversión de vehículos pesados a livianos:

$$N^{\circ}automóviles = N^{\circ}automóviles\ censado + 1,5 * N^{\circ}Micros\ censados + 2 * N^{\circ}Camiones\ censados$$

Tabla 10: Conversión de vehículos pesados a livianos

CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS PESADOS EN VEHÍCULOS EQUIVALENTES AUTOMÓVILES						
EQUIVALENTE	MANIOBRA	12:30-12:45	12:45-13:00	13:00-13:15	13:15-13:30	TOTALxMANIOBRA
	O-E	40	57	78	59	234
	E-O	46	33	56	36	171
	E-N	26	33	29	33	121
	O-N	59	55	70	77	261
	N-O	63	58	67	44	232
	N-E	26	31	32	26	115
TOTALxHORARIO		260	267	332	275	1134

A partir de la conversión de vehículos se realiza la siguiente simplificación, se tendrán en cuenta sólo los vehículos que circulan sobre Aristóbulo del Valle, es decir, todos aquellos conductores que se dirigen de Norte a Sur y viceversa, ya que el proyecto a construir cumple el mismo objetivo que esta vía. Por lo tanto, las maniobras consideradas son las siguientes:

- ESTE-NORTE y OESTE-NORTE: Circulación por Mathus Hoyos y doblan hacia Aristóbulo del Valle
- NORTE-ESTE y NORTE-OESTE: Circulan por Aristóbulo del valle y doblan hacia Mathus Hoyos

Tabla 11: Datos de Censo manual realizado sobre Aristóbulo del Valle

VEHÍCULOS CIRCULANTES POR ARISTÓBULO DEL VALLE					
MANIOBRA	12:30-12:45	12:45-13:00	13:00-13:15	13:15-13:30	TOTAL
E-N	26	33	29	33	121
O-N	59	55	70	77	261
N-O	63	58	67	44	232
N-E	26	31	32	26	115

De los datos anteriores se obtiene el Tránsito Medio Horario, el cual es el número promedio de vehículos que pasan por el punto estudiado durante una hora (de 12:30 a 13:30)

Tabla 12: Tránsito Medio Horario

MANIOBRA	TOTAL	TMH
S-N	382	729
N-S	347	

Para poder extrapolar estos datos a TMDA se deben utilizar los factores de ajuste obtenidos de los censos permanentes de la RN°40, brindados por Vialidad Nacional (<http://transito.vialidad.gob.ar/>). Estos permiten calcular tanto el Tránsito Medio Diario (TMD), así como el Tránsito Medio Diario Mensual (TMDM), que representan el número promedio de vehículos que pasan por el punto en estudio en un día y en un mes en relación a la cantidad de días de ese mes, respectivamente. Al aplicar estos factores, se deben considerar las características específicas del día y mes en que se realizó presencialmente el censo:

- Hora: 13h
- Mes: Mayo
- Día: miércoles

El tramo de Ruta Nacional N°40 utilizado es desde el km:3300,17- Mendoza (Salida) – Acc. A Aeropuerto (Dirección). Se utiliza el año 2019 como referencia, ya que los años posteriores no son representativos debido a la variación en el volumen vehicular provocada por la pandemia de Covid-19.

A continuación, se presenta la obtención de los factores mencionados: factor de ajuste horario, f_{hp} , factor de ajuste diario mensual, f_{dm} , factor de ajuste mensual, f_m :

Factores Horarios Diarios

Expresión de cálculo:

$$F (\text{hora,día,mes,año}) = \text{TMD} (\text{día,mes,año}) / \text{TMH} (\text{hora,día,mes,año})$$

$$\text{Peso} (\text{hora,día,mes,año}) = 100 \times \text{TMH} (\text{hora,día,mes,año}) / \text{TMD} (\text{día,mes,año})$$

Día: miercoles

Tipo de Día: Todos

Ruta: 0040

Año: 2019

Mes: 5

Tramo: 1040200

Prog. Inicio: km: 3300.17

Prog. Fin: km: 3305.63

Descripcion: MENDOZA (SAL.) - ACC.A AEROPUERTO (D)

Distrito: DTO: 4

Ilustración 77: Obtención de TMD brindada por Vialidad Nacional

Hora	Factor Horario Diario
1	58,9
2	81,7
3	134,2
4	164,8
5	126,1
6	65,7
7	37,2
8	17,5
9	15,3
10	18,6
11	22,5
12	21,6
13	17,4
14	16,0

Ilustración 78: Factores de ajustes Horarios, fhd

Factores Diarios Mensuales

Expresión de cálculo: $F_{(\text{día, mes, año})} = \text{TMDM}_{(\text{mes, año})} / \text{TMD}_{(\text{día, mes, año})}$

Ruta: 0040 **Año:** 2019 **Mes:** 5 **Tipo de Día:** Todos
Tramo: 1040200 **Prog. Inicio:** km: 3300.17 **Prog. Fin:** km: 3305.63
Descripción: MENDOZA (SAL.) - ACC.A AEROPUERTO (D) **Distrito:** DTO: 4

Ilustración 79: Obtención de TMDM brindada por Vialidad Nacional

Día	Factor Diario Mensual
Lunes	0,943
Martes	0,977
Miercoles	1,075
Jueves	0,946
Viernes	0,877
Sabado	1,072
Domingo	1,214

Ilustración 80: Factor de ajuste diario mensual, fdm

Factores Mensuales

Expresión de cálculo: $F_{(\text{mes,año})} = \text{TMDA}_{(\text{año})} / \text{TMDM}_{(\text{mes,año})}$

Ruta: 0040 **Año:** 2019 **Tipo de Día:** Todos
Tramo: 1040200 **Prog. Inicio:** km: 3300.17 **Prog. Fin:** km: 3305.63
Descripción: MENDOZA (SAL.) - ACC.A AEROPUERTO (D) **Distrito:** DTO: 4

Ilustración 81: Obtención de TMDA brindada por Vialidad Nacional

Mes	Factor Mensual
1	1,018
2	0,987
3	0,973
4	1,001
5	1,022
6	0,831

Ilustración 82: Factor de ajuste mensual, f_m

$$TMD = fhd * TMH = 17,4 * 729 \frac{veh}{h} = 12685 \frac{veh}{día}$$

$$TMDM = f_{dm} * TMD = 1,075 * 12685 \frac{veh}{día} = 13636 \frac{veh}{día}$$

$$TMDA = f_m * TMDM = 1,022 * 13636 \frac{veh}{día} = 13936 \frac{veh}{día}$$

5.3.2. Tránsito Futuro

El TMDA calculado corresponde a la actualidad, es decir, al año 2024. Al realizar una nueva obra, se genera un tránsito atraído. Además, considerando el proceso de armado del proyecto final, licitación, construcción y puesta en operación, transcurren varios años. Durante este período, debido a la tendencia de crecimiento demográfico, se produce un aumento de población, lo que a su vez repercute en un incremento de automóviles, por lo tanto, es necesario proyectar el dato obtenido hacia el futuro, teniendo en cuenta los parámetros descriptos. Para el caso en estudio se proyectará el TMDA a 10 años.

El procedimiento para la obtención del Tránsito Futuro (TF) es el siguiente:

$$TF = TA + IT$$

$$TA = TE + Tat$$

$$IT = CNG + TG$$

Donde:

- $TA = TRÁNSITO ACTUAL$: Se refiere al volumen de tráfico registrado en el presente, es decir, el número de vehículos que circulan por la carretera en un momento dado.
- $TE = TRÁNSITO EXISTENTE$: Volumen de tráfico que ha sido registrado en la ruta. Por tratarse de un nuevo proyecto, para este caso, no se cuenta con tránsito existente.

- $Tat = TRÁNSITO ATRAÍDO$: Se refiere al incremento en el volumen del tráfico que resulta directamente de una nueva infraestructura o mejora vial. Por lo tanto, para el caso en estudio, el tránsito actual estará determinado en su totalidad por el Tránsito Atraído,
- $IT = INCREMENTO TRANSITO$: Aumento de vehículos por el paso del tiempo y por la nueva oportunidad que ofrece la vía.
- $CNG = CRECIMIENTO NORMAL TRANSITO$: Se refiere a la tasa de crecimiento del parque automotor
- $TG = TRÁNSITO GENERADO$: Referido al tránsito inducido por la nueva infraestructura y desarrollo que se genera alrededor de la nueva carretera. Este concepto abarca los viajes adicionales que no se habrían realizado si no se hubiera construido la vía.

Para obtener el TA, se considera, tal como se mencionó, que el tránsito existente es nulo, y el tránsito atraído es la TMDA obtenida para la actualidad:

$$TA = 13936 \frac{veh}{día}$$

La tasa de crecimiento del parque automotor es provisto por Todo Riesgo (<https://www.todoriesgo.com.ar/mendoza-parque-automotor>), la cual es un 1,77% anual para la provincia de Mendoza. Además, como ya se mencionó, se realizará la proyección a 10 años.

$$\frac{Veh}{día}(10 \text{ años}) = TMDA_{actual} * (1 + i)^n$$

Donde:

$i = \text{tasa de interés de crecimiento} = 1,77\%$

$n = \text{años de proyección} = 9 \text{ años}$

$$\begin{aligned} \frac{Veh}{día}(10 \text{ años}) &= 13936 \frac{veh}{día} * (1 + 0,0177)^9 = 16320 \frac{veh}{día} \\ \Rightarrow CNT &= \frac{veh}{día}(10 \text{ años}) - TMDA_{actual} = (16320 - 13936) \frac{veh}{día} \\ &\Rightarrow CNT = 2384 \frac{veh}{día} \end{aligned}$$

Por último, se calcula el tránsito generado, para el cual se estima en general entre un 5% y un 25%. Para el caso en estudio se considera un 10%:

$$\begin{aligned} TG &= TMDA_{actual} * 10\% = 13936 \frac{veh}{día} * 0,1 \\ \Rightarrow TG &= 1394 \frac{veh}{día} \end{aligned}$$

A partir de los datos anteriores obtenidos se calcula el incremento de tránsito:

$$IT = (2384 + 1394) \frac{veh}{día}$$

$$IT = 3777 \frac{veh}{día}$$

Por lo que el TF resultará:

$$TF = (13936 + 3777) \frac{veh}{día}$$

$$TF = 17713 \frac{veh}{día}$$

Se concluye que, aunque el método aplicado es correcto, al inicio del capítulo se mencionó que, para extrapolar datos de estaciones permanentes a sectores con poca información, estas deben ser zonas socioeconómicas homogéneas, con una composición vehicular, viajes y destinos similares, entre otros factores. Aunque partimos de los datos obtenidos en Aristóbulo del Valle, que tiene es una red vial similar a la nueva traza, los factores utilizados para proyectar la TMDA a futuro provienen de la RN°40, la cual presenta velocidades mayores al proyecto en estudio, distinta composición de tránsito, una jerarquía superior, y un volumen vehicular mayor. Por lo tanto, se optará por otros métodos para la obtención del TF y la TMDA actual, con el fin de obtener otros resultados y compararlos entre sí.

5.3.3. Método 1 – Obtención de TMDA y TF

Para este método se parte nuevamente de los datos obtenidos en el censo de Aristóbulo del Valle. Basándonos en el libro de Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola, J. C. (7ma Edición). *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones-Cap 8*. Universidad del Valle: Alfaomega, de donde:

$$TMH = k * TMDA$$

$$\Rightarrow TMDA = \frac{TMH}{k}$$

Donde:

k = valor esperado de la relación entre el TMH y el TMDA. Se recomiendan los siguientes valores:

Para carreteras suburbanas: $k=0,08$

Para carreteras rurales secundarias $k=0,12$

Para carreteras rurales principales $k=0,16$

Para el caso de estudio se toma el valor de k para carreteras suburbanas, por lo tanto:

$$\Rightarrow TMDA = \frac{729veh/h}{0,08} = 9113 \frac{veh}{día}$$

Nuevamente se aclara, esa es la TMDA actual, es decir para el año 2024. Posteriormente se debe proyectar a futuro, tomando en cuenta las hipótesis y aclaraciones mencionadas en el método anterior, el procedimiento de obtención de TF es el mismo:

$$TA = 9113 \frac{veh}{día}$$

$$\frac{Veh}{día}(10 años) = TMDA_{actual} * (1 + i)^n = 9113 \frac{veh}{día} * (1 + 0,0177)^9 = 10671 \frac{veh}{día}$$

$$CNT = \frac{veh}{día}(10años) - TMDA_{actual} = (10671 - 9113) \frac{veh}{día} = 1559 \frac{veh}{día}$$

$$TG = TMDA_{actual} * 10\% = 9113 \frac{veh}{día} * 0,1 = 912 \frac{veh}{día}$$

$$IT = (1559 + 912) \frac{veh}{día} = 2471 \frac{veh}{día}$$

$$TF_1 = (9113 + 2471) \frac{veh}{día}$$

$$TF_1 = 11583 \frac{veh}{día}$$

5.3.4. Método 2 – Obtención TMDA y TF

La hipótesis fundamental del método es que la cantidad de vehículos que utilizarán la vía será proporcional a aquellos que se verán directamente beneficiados. Para esto, se consideran distintas situaciones con el fin de identificar un área significativa de población directamente afectada. A partir de esta área, se calculan la cantidad de viviendas y, utilizando datos de censos, se estima la población y la cantidad de vehículos. Finalmente, al igual que en métodos anteriores, se realiza una proyección a futuro.

La importancia de la aplicación de este método, es que no se parte como base del conteo de Aristóbulo del Valle, es decir, se hace independiente de este.

Para comenzar con la proyección del área de influencia, se toma en cuenta la población que se encuentra entre las distintas rutas existentes, ya que, son los actuales cruces para poder dirigirse de un lado hacia el otro del canal.

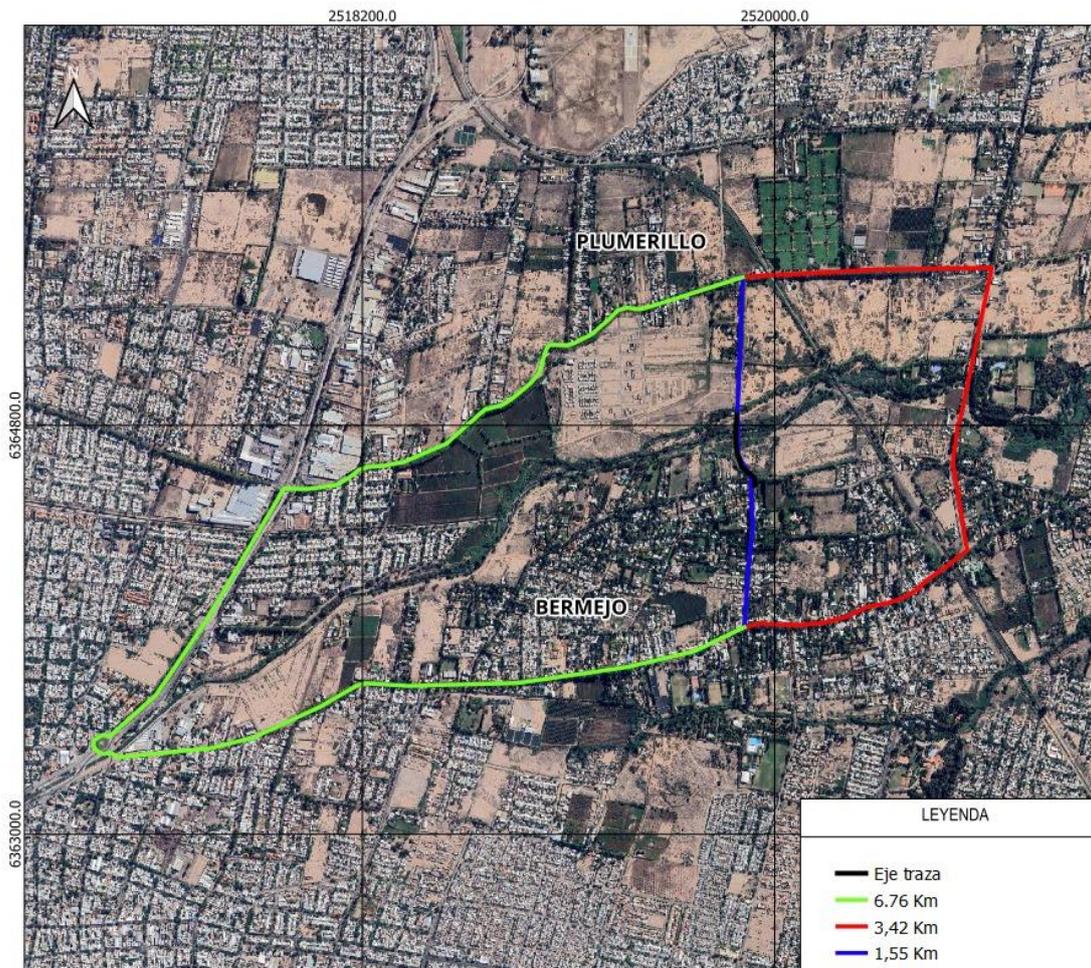


Ilustración 83: Área de influencia entre rutas existentes

En la *Ilustración 83* se observa lo siguiente:

- *Tramo azul*: Calle Aristóbulo del valle
- *Tramo rojo*: área de influencia la cual, en caso de que un usuario deba dirigirse de un lado del canal hacia el otro, es conveniente que utilice la calle Aristóbulo de valle, por lo tanto, no se vería beneficiado por la nueva ruta.

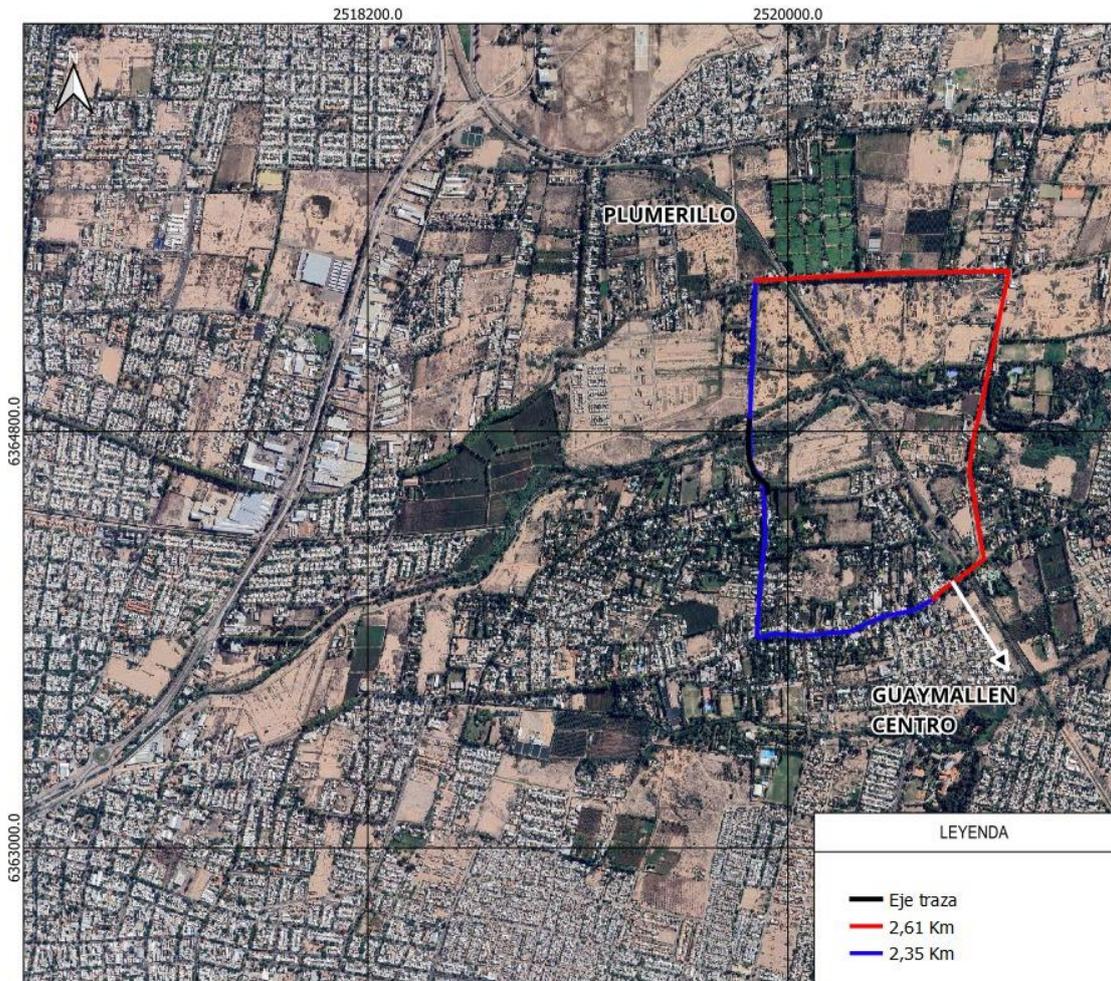


Ilustración 84: Área no beneficiada directamente con la nueva obra

- *Tramo verde*: área de influencia la cual, para el caso que un usuario deba atravesar el canal, a un sector le será conveniente dirigirse por RN°40, y el resto, se ven directamente beneficiados por la nueva obra, disminuyendo recorrido y tiempos de viajes.

De esta forma, se comienza a reformar el área de influencia. Se plantea el caso de que un conductor deba dirigirse a algún sector de Guaymallén Centro. Así, haciendo un análisis más exhaustivo de las vías existentes, teniendo en consideración recorridos más cortos y tiempos de viajes menores, se concluye en la siguiente área:

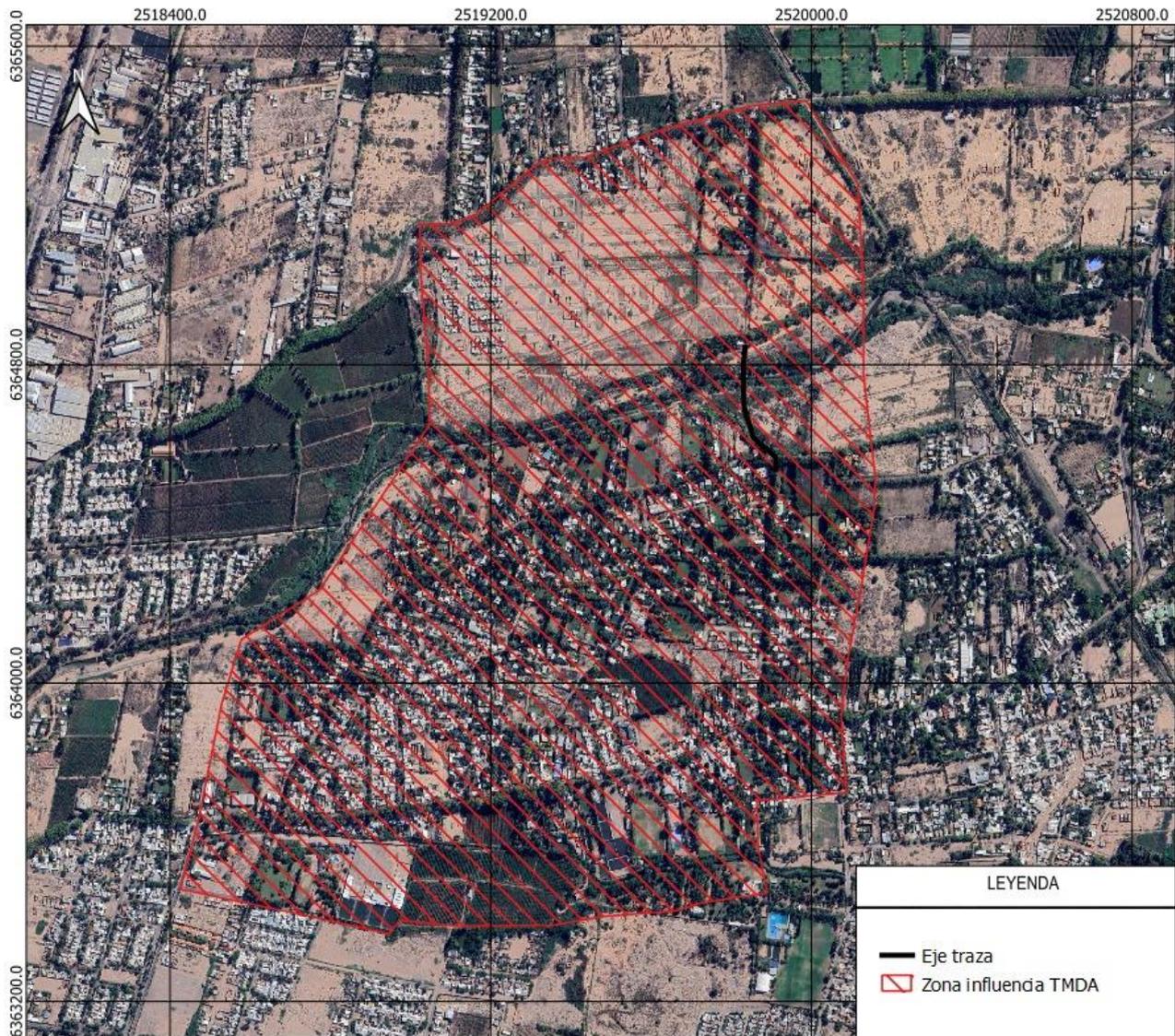


Ilustración 85: Área de influencia de población directamente beneficiada

Por último, teniendo en cuenta el análisis de riesgo y vulnerabilidad, en las cercanías del canal no es posible habitar, por lo tanto, quitando de la zona de influencia el área del canal no habitable, se concluye en la siguiente área:

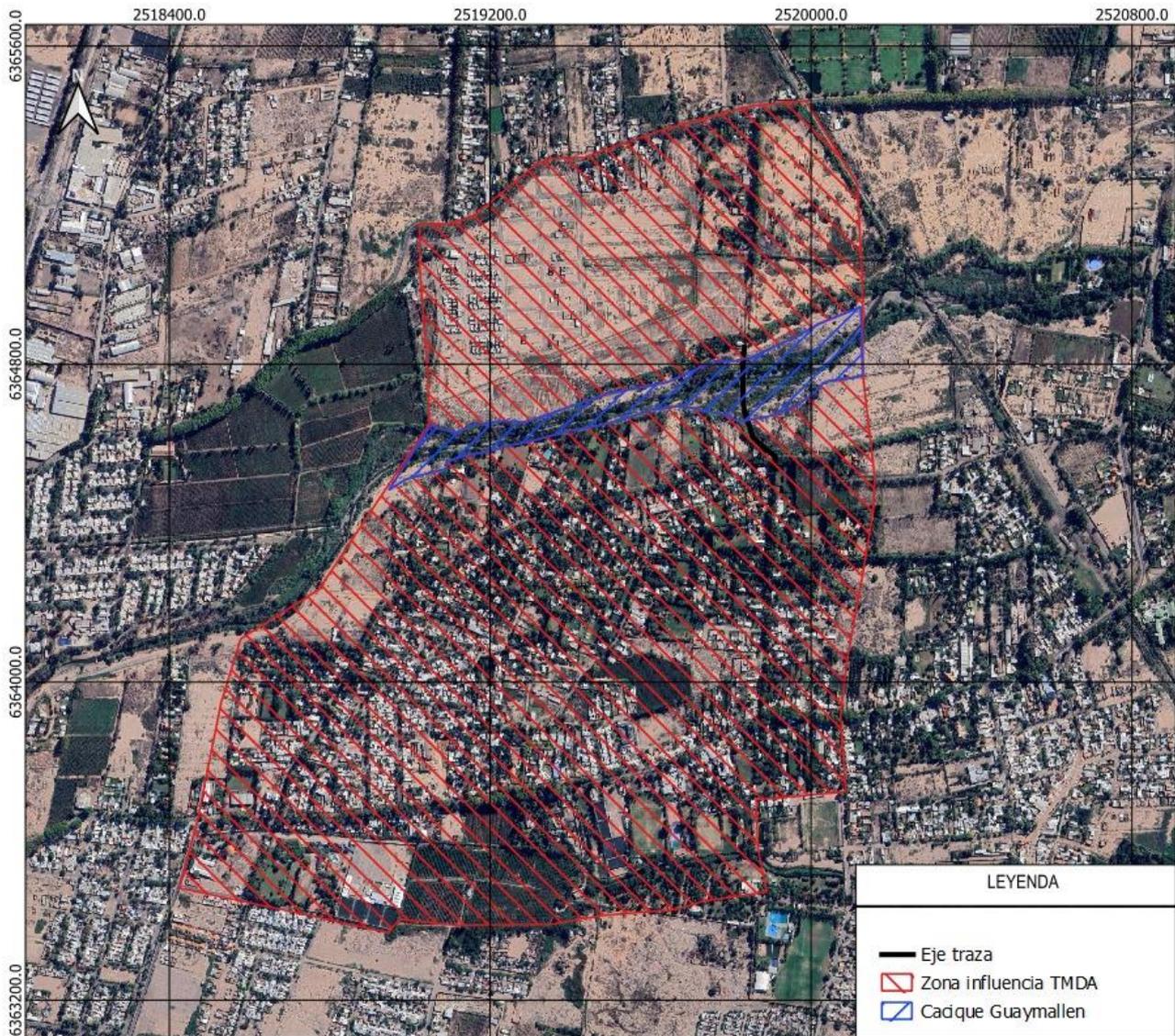


Ilustración 86: Zona de influencia de población directamente beneficiada, considerando zona no habitable

Una vez determinada el área, se debe estimar la cantidad de viviendas. En primer lugar, se realiza un conteo manual con el fin de estimar un promedio de viviendas por manzana o hectárea. Dado que la distribución de las manzanas varía considerablemente, con base en el conteo realizado, se estima la cantidad de casas por hectárea (ha). Luego, se mide el área total de influencia y se calcula la cantidad total de residencias.

A partir de los censos de la provincia (*Ilustración 87*), se obtiene el promedio de habitantes por vivienda y se calcula la población total en el área previamente demarcada. Esta información se utilizará para futuras proyecciones. También se estima la cantidad de vehículos por vivienda y se calcula la cantidad total de vehículos, lo cual representará la TMDA actual.

CUADRO II - PROMEDIO DE HABITANTES POR VIVIENDA

DEPARTAMENTO	1947	1960	1970	1980	1991	2001	2010	2022
PROVINCIA	4,96	4,69	4,32	3,96	3,71	3,8	3,22	2,83
ZONA I	4,74	4,7	4,38	4,03	3,79			
CAPITAL	5,87	4,62	4,07	3,38	3,01	3,11	2,23	1,97
GODOY CRUZ	5,32	4,41	4,26	4,02	3,85	3,68	3,2	2,70
GUAYMALLÉN	3,52	4,75	4,36	4,12	3,96	3,87	3,44	2,96
LAS HERAS	4,91	5	4,89	4,46	4,13	4,09	3,66	3,10
LAVALLE	5,3	4,93	4,44	4,24	3,96	4,3	3,61	3,23
LUJAN	4,03	4,8	4,45	4,01	3,59	4,01	3,16	2,84
MAIPU	4,86	4,79	4,55	4,32	4,15	4,01	3,62	3,16
ZONA II	5,11	4,9	4,34	4,04	3,67			
JUNIN	5,22	5,28	4,46	4,02	3,76	3,82	3,42	3,12
LA PAZ	5,32	4,72	4,26	4,07	3,57	3,97	3,2	2,71
RIVADAVIA	5,22	4,92	4,38	3,98	3,59	3,82	3,28	3,03
SAN MARTIN	4,92	4,82	4,3	4,08	3,72	3,84	3,45	3,10
SANTA ROSA	5,33	4,65	4,22	4,08	3,58	4,1	3,21	3,00
ZONA III	5,9	5,11	4,52	4,01	3,88			
SAN CARLOS	5,57	5,22	4,44	3,87	3,76	3,95	3,37	2,95
TUNUYAN	6,11	5,02	4,6	4,02	3,89	3,94	3,37	3,00
TUPUNGATO	6,14	5,1	4,51	4,19	3,99	4,21	3,64	3,12
ZONA IV	5,24	4,4	4,07	3,64	3,38			
GENERAL ALVEAR	4,96	4,44	3,87	3,51	3,18	3,45	2,76	2,48
MALARGÜE	-	5,06	4,67	4,22	3,4	3,8	3,19	2,68
SAN RAFAEL	5,32	4,34	4,09	3,62	3,44	3,6	2,92	2,52

Ilustración 87: Datos de censos de la Provincia de Mendoza

Para la estimación de habitantes por vivienda, se realiza un promedio entre los valores de los departamentos de Guaymallén y Las Heras del año 2022. Se resume a continuación los cálculos descriptos:

Promedio de habitantes por vivienda=	3,03
Promedio de viviendas por ha=	30
Ha totales=	237
Viviendas=	7110
Población (hab)=	21543
Vehículos x vivienda=	1,5
Vehículos total = TMDAactual (veh/día)	10665

$$\Rightarrow TMDAactual = 10665 \frac{veh}{día}$$

Se llevaron a cabo tres métodos distintos a la hora de obtener el TF.

5.3.4.a. Método 2.1 – obtención de tf

Para este primer método, se procede de la misma forma que las anteriores, teniendo en cuenta el tránsito existente, tránsito atraído, crecimiento del parque automotor, etc:

$$TA = 10665 \frac{veh}{día}$$

$$\frac{Veh}{día}(10 años) = TMDAactual * (1 + i)^n = 10665 \frac{veh}{día} * (1 + 0,0177)^9 = 12489 \frac{veh}{día}$$

$$CNT = \frac{veh}{día}(10 años) - TMDAactual = (12489 - 10665) \frac{veh}{día} = 1824 \frac{veh}{día}$$

$$TG = TMDAactual * 10\% = 10665 \frac{veh}{día} * 0,1 = 1067 \frac{veh}{día}$$

$$IT = (1824 + 1067) \frac{veh}{día} = 2891 \frac{veh}{día}$$

$$TF_1 = (10665 + 2891) \frac{veh}{día}$$

$$TF_2 = 13556 \frac{veh}{día}$$

5.3.4.b. **Método 2.2 – obtención de tf**

En este caso, se proyectará la población inicial a futuro considerando su crecimiento durante los próximos 10 años. A partir de esta proyección, y tomando en cuenta las consideraciones anteriores sobre la cantidad de vehículos por vivienda y cantidad de habitantes por vivienda, se calculará el total de vehículos. Este dato final representará el tránsito futuro.

Se calcula la población a 10 años, utilizando la tasa de crecimiento del último periodo conocido:

$$P_{10} = P_0 * (1 + i)^n$$

Donde:

P_0 = Población inicial, aquella calculada por el método de las áreas

i = Tasa de interés de crecimiento de la población

n = Número de años a proyectar

Para la obtención de la tasa de interés se aplica la siguiente expresión:

$$i = \sqrt[n]{\frac{P2}{P1}} - 1$$

Donde:

$P2$ = Población del penúltimo censo del departamento

$P1$ = Población del último censo del departamento

$n =$ Período de años entre el penúltimo y último censo

Partiendo de los datos censales de la provincia, se calcula un promedio de población entre los dos departamentos.

CUADRO I - POBLACION DE MENDOZA POR DEPARTAMENTOS EN LOS CENSOS NACIONALES

DEPARTAMENTO	1869	1895	1914	1947	1960	1970	1980	1991	2001	2010	2022
PROVINCIA	65.413	116.136	277.535	588.231	824.008	973.067	1.196.228	1.412.481	1.579.651	1.738.929	2.014.533
ZONA I	38.773	71.790	164.280	336.744	483.121	590.160	747.554	911.907	1.018.470	1.123.371	1.301.969
CAPITAL	8.124	28.602	58.790	97.496	109.122	118.560	119.088	121.620	110.993	115.041	122.840
CORDOBA CRUZ	4.439	6.011	15.566	54.480	85.588	112.481	142.408	179.588	182.977	194.003	195.183
GUAYMALLÉN	8.128	10.338	24.926	67.058	109.853	138.479	181.456	221.904	251.339	283.803	321.371
LAS HERAS	6.459	6.444	10.735	33.302	63.957	84.489	120.931	156.545	182.962	203.666	228.525
LAVALLE	2.060	4.097	6.858	12.431	17.256	17.478	24.325	26.967	32.129	36.738	47.529
LUJAN	4.960	7.464	19.004	27.807	38.584	47.074	62.118	79.952	104.470	119.888	172.109
MAIPU	4.603	8.834	28.401	44.170	58.761	71.599	97.228	125.331	153.600	172.332	214.412
ZONA II	18.598	26.270	60.306	90.855	127.689	142.355	177.941	195.995	221.438	238.838	279.005
JUNIN	7.495	6.237	12.867	17.189	20.927	22.052	25.366	28.418	35.045	37.859	45.673
LA PAZ	3.057	2.623	5.015	5.536	5.938	6.401	7.357	8.009	9.560	10.012	12.020
RIVADAVIA	-	7.036	17.112	24.522	34.312	37.369	42.907	47.033	52.567	56.373	63.473
SAN MARTIN	8.046	8.315	20.514	36.015	56.877	65.806	87.608	98.294	108.448	118.220	138.429
SANTA ROSA	-	2.059	4.798	7.593	9.635	10.727	14.703	14.241	15.818	16.374	19.410
ZONA III	6.181	8.230	13.873	37.826	50.433	58.680	67.303	82.232	99.005	114.613	139.765
SAN CARLOS	3.824	4.039	6.161	14.346	18.340	19.742	21.207	24.140	28.341	32.631	40.024
TUNUYAN	-	2.890	5.522	15.830	22.238	24.778	29.407	35.721	42.125	49.458	58.780
TUPUNGATO	2.357	1.301	2.190	7.650	9.855	14.160	16.689	22.371	28.539	32.524	40.961
ZONA IV	1.861	9.846	39.076	122.806	162.765	181.872	203.430	222.347	240.738	262.107	293.794
GENERAL ALVEAR	-	-	7.846	25.753	35.214	39.206	41.952	42.338	44.147	46.429	50.209
MALARGÜE	-	-	-	-	9.308	11.427	16.625	21.743	23.020	27.660	33.107
SAN RAFAEL	1.861	9.846	31.230	97.053	118.243	131.239	144.853	158.266	173.571	188.018	210.478

Ilustración 88: Población de Mendoza por departamentos

Dato	Pobl promedio	Año
P2	243735	2010
P1	274948	2022

$$n = 12 \quad i = 0,0101$$

$$P_{10} = 21543 * (1 + 0,0101)^9 = 23581hab$$

$$Viviendas\ totales = \frac{P_{10}}{habxvivienda} = \frac{23581hab}{3,03hab} = 7783viviendas$$

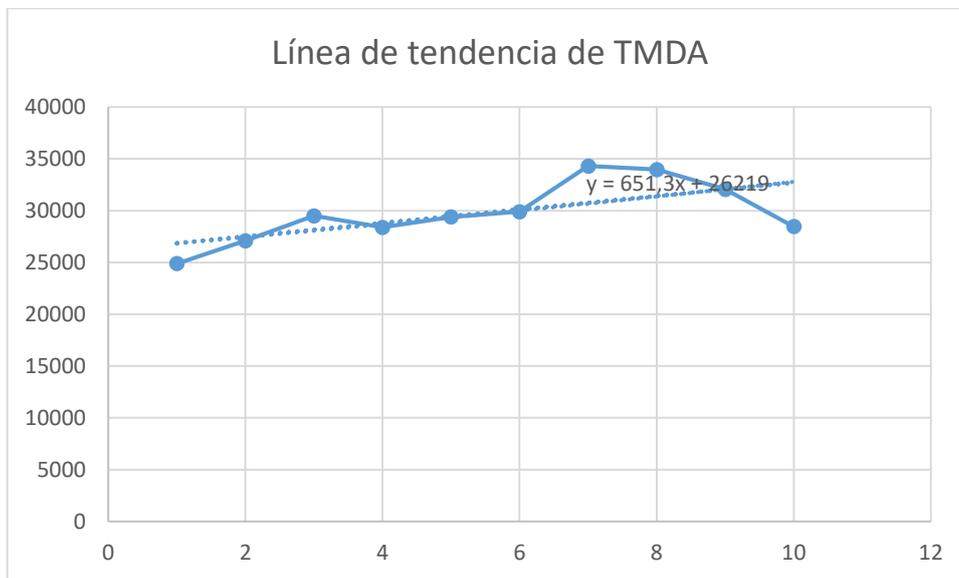
$$Veh\ totales = Viviendas\ totales * vehxvivienda = 7783 * 1.5 = 11674veh$$

$$TF_3 = 11674 \frac{veh}{día}$$

5.3.4.c. Método 2.3 – obtención de tf

Por último, para obtener el tránsito a futuro en este método, se realiza la línea de tendencia de crecimiento de la TMDA de RN°40. Los datos se obtienen de la página de vialidad nacional (<http://transito.vialidad.gob.ar>):

N	AÑO	TMDA	Crecim interanual
1	TMDA2011	24900	
2	TMDA2012	27100	0,088
3	TMDA2013	29500	0,089
4	TMDA2014	28400	-0,037
5	TMDA2015	29400	0,035
6	TMDA2016	29900	0,017
7	TMDA2017	34309	0,147
8	TMDA2018	33976	-0,010
9	TMDA2019	32061	-0,056
10	TMDA2022	28470	-0,112
Promedio interanual			1,79%



A partir de la ecuación de la recta obtenida, se proyecta el TMDA para el año 2034 y se calcula, como se procedió en el método anterior, la tasa de interés de crecimiento para ese año.

22	TMDA2034	40548
----	----------	-------

n= 11 i= 3%

Nuevamente, aplicando la fórmula de interés compuesto para 10 años, y utilizando como dato base la TMDA calculada por el método de las áreas:

$$TF_4 = 14243 \frac{veh}{día}$$

Aunque para este método utilizamos nuevamente los datos de la RN°40, mencionamos anteriormente que al no ser una ruta homogénea no eran representativos, sin embargo, se hizo con el objetivo de comparar y contrastar resultados.

A continuación, se puede ver un resumen de los resultados obtenidos por los distintos métodos

Método	TMDA actual (veh/día)	TF (veh/día)
MÉTODO 0	13936	17713
MÉTODO 1	9113	11583
MÉTODO 2.1	10665	11674
MÉTODO 2.2	10665	13556
MÉTODO 2.3	10665	14243

Para obtener el TF definitivo se realiza un promedio de los métodos que no involucren la RN°40, obteniendo como resultado:

$$TF = 12271 \frac{veh}{día}$$

Se observó que, al tener en cuenta los resultados de los TF donde sí se ha involucrado la RN°40, no existe una gran diferencia en el resultado, teniendo en cuenta la envergadura de obra y las hipótesis consideradas. Por lo tanto, se llega finalmente al siguiente valor de Tránsito Futuro, proyectado a 10 años:

$$TF = 13754 \frac{veh}{día}$$

A partir de este dato, como se indicó al inicio del capítulo, se procederá a calcular y diseñar la carpeta estructural y el diseño geométrico del camino.

5.4. PROYECTO GEOMÉTRICO

El diseño geométrico del proyecto vial se diseña a partir del software Civil 3D. En el mismo se define rasante, ancho de camino, perfiles transversales, longitudinales, progresivas, etc.

En el **Anexo C** se presentan los planos correspondientes, donde puede observarse detalladamente perfiles, obras de protección, vistas, plantas, etc.

5.4.1. **Categorización de camino**

De acuerdo a los datos obtenidos, por medio de las tablas brindadas por la DNV (Dirección Nacional de Vialidad) del año 2010, podemos adoptar la categorización de camino, y diseñar geoméricamente.

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CAMINOS RURALES

CAMINOS		CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				DISTANCIA VISUAL MÍNIMA			PLANIMETRÍA ④						ALTIMETRÍA			
TIPOS	CATEGORÍA	CONTROL DE ACCESO	NÚMERO DE CARRILES	VELOCIDAD DIRECTRIZ ①	DETECCIÓN ②	ADELANTAMIENTO ③	DECISIÓN	RADIOS MÍNIMOS emáx 6%		RADIOS MÍNIMOS emáx 8%		RADIOS MÍNIMOS emáx 10%		PENDIENTES MÁXIMAS		VALOR K BÁSICOS		
								DESEABLE	ABSOLUTO	DESEABLE	ABSOLUTO	DESEABLE	ABSOLUTO	DESEABLE	ABSOLUTO	CONVEJA	CÓNCAVA	
				km/h	m	m	m	m	m	m	m	m	m	%	%	m/%	m/%	
AUTORISTA	ESPECIAL	TOTAL	≥(2+2)	130	339	-	410	1450	970	1085	845	870	750	2	3	226	88	
				120	290	-	380	1270	755	950	665	760	595	3	3	165	75	
				110	246	-	340	1095	585	820	520	655	470	3	4	119	62	
AUTOVÍA	I	TOTAL O PARCIAL	2+2	120	290	-	380	1270	755	950	665	760	595	3	3	165	75	
				110	246	-	340	1095	585	820	520	655	470	3	4	119	62	
				80	138	-	230	645	250	480	230	385	210	4	6	38	32	
CARRETERA	II	PARCIAL	2	120	290	800	380	1270	755	950	665	760	595	3	3	165	75	
				100	206	680	320	935	450	700	405	560	365	3	5	84	51	
				70	110	470	200	515	185	385	170	310	155	5	7	24	24	
				50	63	330	150	290	90	220	85	175	75	7	9	8	12	
COMÚN	III	PARCIAL O SIN CONTROL	2	110	246	740	340	1095	585	820	520	655	470	3	5	119	62	
				90	170	610	280	785	340	585	305	470	280	4	6	57	41	
				60	85	400	180	395	135	300	120	240	110	5	7	15	18	
				40	45	260	110	210	55	155	50	125	50	7	9	4	8	
BAJO VOLUMEN	IV	SIN CONTROL	2	100	206	680	320	935	450	700	405	560	365	4	6	84	51	
				70	110	470	200	515	185	385	170	310	155	5	7	24	24	
				50	63	330	150	290	90	220	85	175	75	6	8	8	12	
				30	30	190	80	120	30	90	30	70	25	7	9	4	4	
	V	SIN CONTROL	2	90	170	610	280	785	340	585	305	470	280	5	6	57	41	
				50	63	330	150	290	90	220	85	175	75	6	8	8	12	
				30	30	190	80	120	30	90	30	70	25	7	10	4	4	
				25	24	160	60	80	20	60	20	50	20	8	11	4	4	

Ilustración 89: Resumen de características de diseño geométrico de caminos rurales

CAMINOS		CARACTERÍSTICAS BÁSICAS				SECCIÓN TRANSVERSAL												
TIPOS	CATEGORÍA	CONTROL DE ACCESO	NÚMERO DE CARRILES	VELOCIDAD DIRECTRIZ	ANCHO DE CORONAMIENTO								TALUD TERRAPLEN	ZONA DESPEJADA	NIVEL DE PRUEBA DE BARRERA	ANCHO PUENTE ENTRE GUARDARRUEDAS	ZONA CAMINO	
					CALZADA	BANQUINA EXTERNA		MÉDIA		CANTERO		TOTAL						
				km/h	m	m	m	m	m	m	m	m	m	VH	m	Tl	m	m
AUTOPISTA	ESPECIAL	TOTAL	(2+2)	130	7,3	2,5	0,5	3	1	2	10	16	36,8	1,4	10	3	11,3 (2)	150
				120	7,3	2,5	0,5	3	1	2	10	16	36,6	1,4	10	3	11,3 (2)	
				110	7,3	2,5	0,5	3	1	2	10	16	36,6	1,4	10	3	11,3 (2)	
AUTOVÍA	I	TOTAL O PARCIAL	2+2	120	7,3	2,5	0,5	3	1	2	5	11	31,6	1,4	10	3	11,3 (2)	120
				110	7,3	2,5	0,5	3	1	2	5	11	31,6	1,4	10	3	11,3 (2)	
				80	7,3	2,5	0,5	3	1	2	5	11	31,6	1,4	6	3	11,3 (2)	
CARRETERA	II	PARCIAL	2	120	7,3	1	2	3					13,3	1,4	10	3	13,3	100
				100	7,3	1	2	3					13,3	1,4	9	3	13,3	
				70	6,7	1	1	2					10,7	1,4	5	2	10,7	
				50	6,7	0,5	1,5	2					10,7	1,4	3	2	10,7	
COMÚN	III	PARCIAL O SIN CONTROL	2	110	7,3	0,5	2,5	3					13,3	1,4	8	3	13,3	70
				90	7,3	0,5	2,5	3					13,3	1,4	5	3	13,3	
				60	6,7	0,5	1,5	2					10,7	1,4	3	2	10,7	
				40	6,7	0,5	1	1,5					9,7	1,4	2	2	9,7	
BAJO VOLUMEN	IV	SIN CONTROL	2	100	7,3	-	3	3					13,3	1,4	6	3	13,3	70
				70	6,7	-	3,3	3,3					13,3	1,4	4	2	13,3	
				50	6,7	-	2	2					10,7	1,4	3	2	10,7	
				30	6,7	-	1,5	1,5					9,7	1,4	2	2	9,7	
	V	SIN CONTROL	2	90	7,3	-	2	2					11,3	1,4	4	3	11,3	50
				50	6,7	-	2	2					10,7	1,4	3	2	10,7	
				30	6,7	-	1,5	1,5					9,7	1,4	2	2	9,7	
				25	6,7	-	0,5	0,5					7,7	1,4	2	2	7,7	

Ilustración 90: Resumen de características de diseño geométrico de caminos rurales

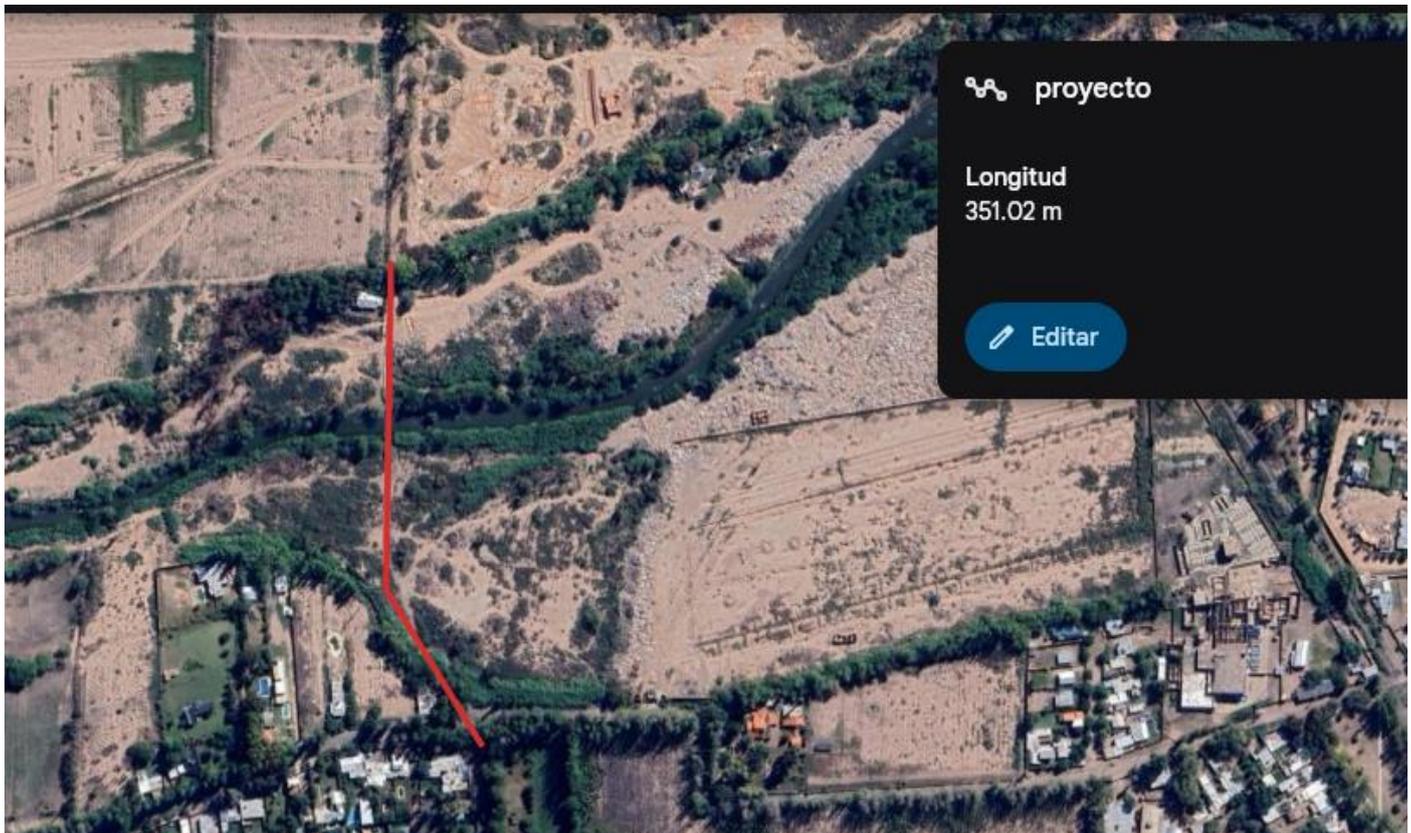


Ilustración 91: Ejemplo poligonal de camino

De acuerdo a lo que se observa en las ilustraciones anteriores, el camino de 350m de longitud aproximadamente, será de dos trochas donde cada una tendrá un ancho de 3,5m. La vía se clasifica de bajo volumen y categoría IV, siendo la velocidad directriz o de diseño de 50km/h. Además, contará con una ciclovía y espacio para la circulación de peatones, la cual estará correctamente separada de la vía para la seguridad de los usuarios.

5.4.2. Vehículo de diseño

Las características físicas y las proporciones de los diversos tamaños de los vehículos que circulan en un camino son controles positivos del diseño, y definen varios elementos del diseño geométrico como ser intersecciones, anchos de calzada, anchos de carriles auxiliares, configuraciones de accesos y aplicaciones especializadas tales como vías para camiones (DNV 2010).

La definición de un vehículo de diseño conlleva a establecer parámetros a priori que luego intervienen en consideraciones de diseño planaltimétrico del proyecto. En el mismo se elige como vehículo de diseño el automóvil liviano (P), según su importancia en la composición del TMDA dato.

Las dimensiones correspondientes para el tipo de vehículo elegido son:

Tabla 2.1 Dimensiones de los vehículos representativos

Vehículo representativo	Dimensiones de los vehículos (m)		
	Altura	Ancho	Longitud
Vehículo de pasajeros (P)	1,3	2,1	5,8
Omnibus interurbano (BUS-14)	3,7	2,6	13,7
Ómnibus urbano (CITY-BUS)	3,2	2,6	12,2
Camión unidad simple (SU)	4,1	2,4	9,2
Camión semirremolque (WB-12)	4,1	2,4	13,9
Camión semirremolque (WB-15)*	4,1	2,6	16,8
Camión semirremolque (WB-19)	4,1	2,6	20,9
Casa rodante (MH)	3,7	2,4	9,2
Coche y remolque caravana (P/T)	3,1	2,4	14,8
Coche y remolque bote (P/B)	-	2,4	12,8

Tabla 13: Vehículos representativos según Norma DNV 2010

5.4.1. Peralte

El peralte es utilizado para colaborar con la condición de equilibrio dinámico del vehículo al circular por una curva. Este es la inclinación de la calzada sobre el borde externo con un ángulo determinado (β), con el fin de disminuir la fuerza centrípeta que arrastra al vehículo al ingresar a la curva.

Los criterios para fijar el peralte, entre otros, son la condición topográfica, las condiciones climáticas y las condiciones de operación. En nuestro caso se resolvió trabajar con un peralte del 8%

pmáx	Condición
10%	Zona montañosa con heladas y nevadas poco frecuentes
8%	Zona rural llana con heladas o nevadas poco frecuentes
6%	Zonas con vehículos pesados que operan a baja velocidad sujetos a heladas y nevadas frecuentes.

Ilustración 92: Elección de peralte

5.4.2. Curvas Horizontales

Como se puede observar en los planos adjuntos, se cuenta con dos curvas horizontales denotadas como C1 y C2.

En la siguiente ilustración se observan los distintos elementos que posee una curva horizontal sin transición, como es el caso en estudio:

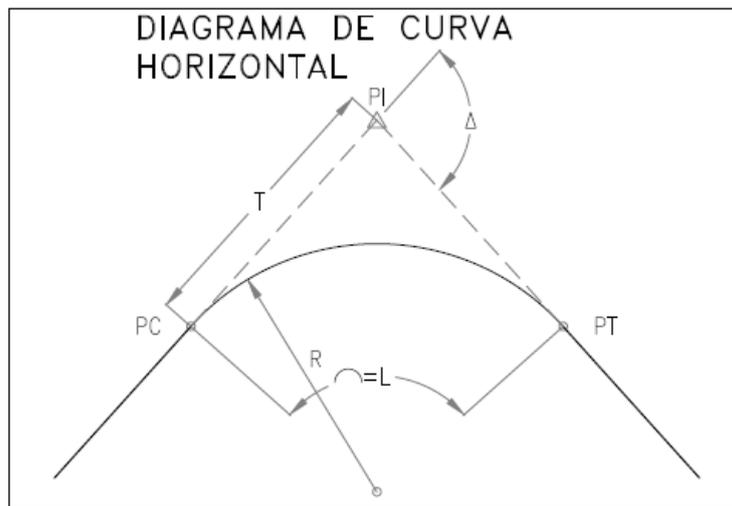


Ilustración 93: Elementos de una curva horizontal

De acuerdo a la DNV, según el máximo peralte adoptado, se obtienen los valores de radios mínimos absolutos y mínimo deseable:

- **Radio mínimo Absoluto:** Para la velocidad directriz y peralte máximo dados, es el valor del radio correspondiente a la condición límite de seguridad contra el deslizamiento lateral (fricción transversal húmeda máxima). Ningún conductor se sentirá seguro al viajar a la velocidad directriz. Esta condición se reserva para casos excepcionales donde el proyectista tiene la obligación de eludir tanto como sea posible y práctico. El diseño de curvas con el radio mínimo absoluto requiere la introducción de curvas de transición para introducir gradualmente la incomodidad dinámica.

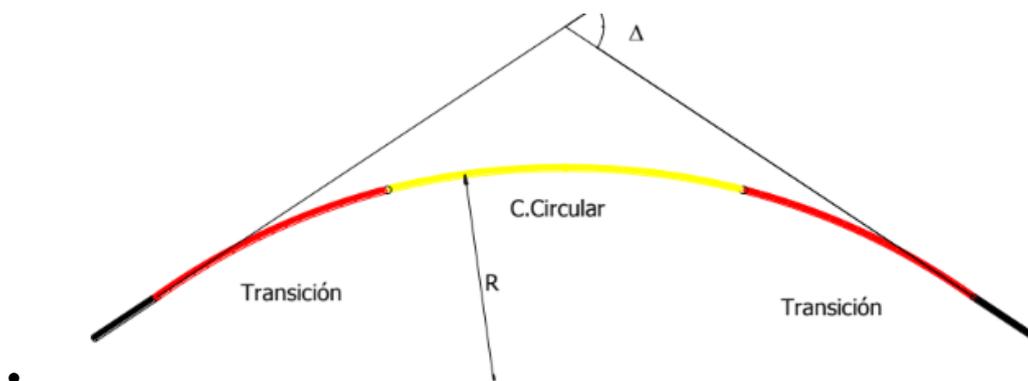
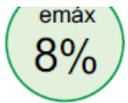


Ilustración 94: Esquema de curva circular con transición

- **Radio mínimo Deseable:** Para la velocidad directriz y peralte máximo dados, es el valor del radio calculado con la velocidad media de marcha en flujo libre correspondiente a la velocidad directriz, para cuando el coeficiente de fricción transversal húmedo es nulo.



**ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CURVAS HORIZONTALES PARA CAMINOS RURALES
EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ PARA PERALTES MÁXIMOS DEL 8%**

R m	V = 25 km/h VMM = 25 km/h			V = 30 km/h VMM = 30 km/h			V = 40 km/h VMM = 40 km/h			V = 50 km/h VMM = 47 km/h			V = 60 km/h VMM = 55 km/h			V = 70 km/h VMM = 63 km/h			V = 80 km/h VMM = 70 km/h			R m
	e %	Lemin m	S m	e %	Lemin m	S m	e %	Lemin m	S m	e %	Lemin m	S m	e %	Lemin m	S m	e %	Lemin m	S m	e %	Lemin m	S m	
	RminAbs = 20 RminDes = 60			RminAbs = 30 RminDes = 90			RminAbs = 50 RminDes = 155			RminAbs = 85 RminDes = 220			RminAbs = 120 RminDes = 300			RminAbs = 170 RminDes = 385			RminAbs = 230 RminDes = 480			
20	8	35	6,6																			20
30	8	35	4,3	8	35	4,4																30
40	8	35	3,3	8	35	3,3																40
50	8	35	2,6	8	35	2,7	8	45	2,8													50
60	8	35	2,2	8	35	2,3	8	40	2,4													60
70	7	30	1,9	8	35	2	8	40	2,1													70
80	6,2	30	1,7	8	35	1,7	8	40	1,9													80
90	5,5	30	1,5	7,9	35	1,6	8	40	1,7	8	50	1,8										90
100	4,9	30	1,4	7,1	30	1,4	8	40	1,5	8	45	1,6										100
110	4,5	30	1,3	6,4	30	1,3	8	40	1,4	8	40	1,5										110
120	4,1	30	1,2	5,9	30	1,2	8	40	1,3	8	40	1,4	8	65	1,5							120
130	3,8	30	1,1	5,5	30	1,1	8	40	1,2	8	40	1,3	8	60	1,4							130
140	3,5	30	1	5,1	30	1,1	8	40	1,1	8	40	1,2	8	55	1,3							140
150	3,3	30	1	4,7	30	1	8	40	1,1	8	40	1,2	8	50	1,2							150
175	2,8	30	0,8	4	30	0,9	7,2	35	0,9	8	40	1	8	45	1,1	8	70	1,2				175
200	2,5	30	0,7	3,5	30	0,8	6,3	30	0,8	8	40	0,9	8	45	1	8	60	1,1				200
250	BR	30	0,6	2,8	30	0,6	5	30	0,7	7	35	0,8	8	45	0,8	8	50	0,9	8	75	1	250
300	BR	30	0,5	2,4	30	0,5	4,2	30	0,6	5,8	30	0,7	7,9	45	0,7	8	50	0,8	8	60	0,8	300
400	BN		0,4	BR	30	0,4	3,1	30	0,5	4,4	30	0,5	6	35	0,6	7,7	45	0,6	8	55	0,7	400
500	BN			BN			2,5	30	0,4	3,5	30	0,4	4,8	35	0,5	6,2	40	0,5	7,7	50	0,6	500
600	BN			BN			2,1	30	0,4	2,9	30	0,4	4	35	0,4	5,1	40	0,5	6,4	45	0,5	600
700	BN			BN			BR	30		2,5	30		3,4	35	0,4	4,4	40	0,4	5,5	45	0,5	700
800	BN			BN			BR	30		2,2	30		3	35	0,4	3,9	40	0,4	4,8	45	0,4	800
900	BN			BN			BN			BR	30		2,6	35		3,4	40	0,4	4,3	45	0,4	900
1000	BN			BN			BN			BR	30		2,4	35		3,1	40		3,9	45	0,4	1000
1200	BN			BN			BN			BR	30		BR	35		2,6	40		3,2	45		1200
1300	BN			BN			BN			BR	30		BR	35		2,4	40		3	45		1300
1400	BN			BN			BN			BR	35		BR	35		2,2	40		2,8	45		1400
1500	BN			BN			BN			BR	35		BR	35		2,1	40		2,6	45		1500
2000	BN			BN			BN			BN			BN			BR	40		BR	45		2000
2500	BN			BN			BN			BN			BN			BR	40		BR	45		2500
3000	BN			BN			BN			BN			BN			BN			BR	45		3000
3500	BN			BN			BN			BN			BN			BN			BN			3500
4000	BN			BN			BN			BN			BN			BN			BN			4000

Ilustración 95: Radios mínimos absoluto y deseable según DNV2010

A continuación, se presentan los valores de los elementos de la curva del proyecto:

TABLA 01 ELEMENTOS DE CURVA				
ID	R	Δ	T	L
C1	60,00	50°24'16"	28,24	52,78
C2	100,00	47°16'02"	43,76	82,50

Ilustración 96: Elementos de curvas del proyecto

Según se observa en las tablas anteriores y conforme al camino diseñado, no se cumple con el radio mínimo deseable. En una curva específica, incluso se utilizó un radio menor al radio mínimo absoluto. Aunque sería ideal aumentar los radios o implementar una curva con transición, la topografía no lo permite. Por lo tanto, se deberán adoptar las medidas de seguridad necesarias, tales como señalización, cartelería, y establecer velocidades mínimas, entre otras.

5.5. Diseño de Pavimento

Se desarrollará el cálculo del paquete estructural de la vía planteada, teniendo en cuenta como punto de partida el dato de TMDA calculado con anterioridad. Se propone una utilidad de 20 años para proyectos de la envergadura de la obra planteada, teniendo en cuenta que las características de serviciabilidad para los últimos años sea aceptable.

El método AASHTO 93 propone que los pavimentos resistan un determinado número de cargas durante su vida útil, pero debido a que el tránsito se compone por distintos vehículos, el peso y número de ejes será de gran variabilidad, por lo que establece que se tomará una cantidad equivalente de ejes de peso igual a 8,2 ton (80 KN), que es típicamente una carga de eje sencillo. Esta equivalencia permite simplificar el proceso de análisis y diseño de pavimentos al tener una única carga de referencia. El método descrito se conoce como ESAL, Equivalent Single Load, o Carga Equivalente de Ejes Sencillos.

Estos ejes transformados deberán producir las mismas deformaciones y daño que producían los diversos ejes con su correspondiente peso. Este resultado será de vital importancia para en el capítulo siguiente poder determinar los espesores del pavimento flexible que tendrá la primera parte del trazado de nuestro proyecto. A continuación, se procede a su determinación, paso a paso.

5.5.1. Resultados obtenidos del estudio de tránsito

Para la determinación del número de ejes equivalentes (ESAL), disponemos de los datos obtenidos del estudio de tránsito. La TMDA es fundamental para el diseño de caminos, recordando que se obtuvo con anterioridad:

$$TMDA = 13754 \frac{veh}{día}$$

5.5.2. Composición vehicular

De acuerdo a los datos obtenidos del censo de conteo vehicular realizado se obtuvo la siguiente composición:

Vehículos	%
Automóvil	50%
Camioneta	31%
Camión 11	8%
Camión 12	2%

Ilustración 97: Composición del tránsito

Para la determinación de los ESALs se desprecian las motocicletas y se consideran los buses como camiones 11. Además, se adopta un valor de camionetas, que en este caso, aporta las mismas cargas que un automóvil.

Como se mencionó con anterioridad, se estima una vida útil de la vía de 20 años, con una tasa de crecimiento interanual de 1.77% de acuerdo a lo determinado en títulos anteriores.

5.5.2.a. **Factor de distribución por dirección (DD)**

Este factor hace referencia a la cantidad de vehículos que circulan en un sentido y otro. De acuerdo al censo de tránsito realizado (*Tabla 14*) se observa que tienen una distribución similar en uno y otro sentido, por lo tanto, para nuestro caso particular se adopta el reparto por sentido 50/50.

Tabla 14: Distribución de vehículos según censo de tránsito

MANIOBRA	TOTAL	%
S-N	382	52
N-S	347	48

5.5.2.b. **Factor de distribución por trocha (DF)**

Este factor será igual a 1 cuando sea un camino monotrocha, es decir, que los vehículos sólo pueden solicitar una única trocha. Para casos multitrocha (2 o más), esta solicitud podrá ser mayor en una trocha que en la/las otra/s. Esto se traduce como el mayor número de ESALs que utilizan una trocha considerada como la de diseño.

Nº DE TROCHAS P/DIRECCION	FACTOR	
1	1,00	La trocha de diseño es aquella que recibe el mayor número de ESALs. Para caminos multitrocha la trocha de diseño es la más extrema debido a que los camiones y los ESALs, usan esa trocha
2	0,80-1,00	
3	0,60-0,80	
4	0,50-0,75	

Ilustración 98: Factor de distribución por trocha

Dado que el camino proyectado es monotrocha, el valor de distribución por trocha es igual a 1.

5.5.2.c. **Configuración y carga máxima legal por eje (según DNV)**

Se presenta una tabla resumen de la configuración y carga para cada uno de los vehículos: que transitarán por la vía proyectada:

Tabla 15: Resumen de configuración y carga máxima legal por vehículo

VEHÍCULO CARGADO 100% CON CARGA LEGAL (ton/eje)		
Categoría	1º eje	2º eje
Automóvil	1	1
Camioneta	1	2.5
Camión 11	6	10.5
Camión 12	6	18

CONFIGURACIÓN		SUSPENSIÓN MECÁNICA [toneladas]
EJE SIMPLE. -Ruedas Individuales, (neumáticos no superanchos)		6 SEIS
EJE SIMPLE. -Ruedas superanchas		6 SEIS (8 ocho - maquinaria especial)
EJE SIMPLE. -Ruedas dobles		10,5 DIEZ COMA CINCO
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas individuales		10 DIEZ (5 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas dobles		18 DIECIOCHO (9 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas y ruedas dobles		15 QUINCE (9 eje con ruedas doble y 6 eje de ruedas superanchas)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas individuales y ruedas dobles		14 CATORCE (9 eje con ruedas doble y 5 eje de ruedas individuales)
CONJUNTO (TÁNDEM) DOBLE DE EJES. - Ruedas superanchas.		12 DOCE (6 por eje)
CONJUNTO (TÁNDEM) TRIPLE DE EJES. - Ruedas dobles.		25 VEINTICINCO COMA CINCO (8,5 por eje)

Ilustración 99: Configuración y carga máxima legal por vehículo

Considerando que el proyecto hidráulico se ha diseñado para vehículos livianos, se ha asignado un porcentaje reducido para vehículos pesados, en previsión de circunstancias excepcionales que pudieran implicar la presencia de estos últimos, como buses o camiones, en la vía. Conforme a esta premisa, se ha adoptado una única hipótesis de carga para el cálculo de los ejes equivalentes, suponiendo que estos están sometidos a la carga máxima legal, como se detalla en la *Tabla 15*.

5.5.3. Cálculo de número de ejes equivalentes (ESAL)

Se procede a calcular el número de ejes equivalentes del tránsito de nuestro camino, utilizando los datos del apartado anterior. A continuación, se presentan los valores que se utilizarán en la hipótesis de cálculo.

5.5.3.a. Cálculo de tránsito en carril de diseño

$$\text{Transito carril de diseño} = TMDA \cdot DD \cdot FC = 13754 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \cdot 0,5 \cdot 1$$

$$\Rightarrow \text{Transito carril de diseño} = 6877 \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

5.5.3.b. Cálculo de cantidad de vehículos

$$\text{Cantidad} = \text{Trans. carril de diseño} \cdot \% \text{composición}$$

$$\text{Cant. Automóviles} = 6877 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \cdot 50\% = 3439 \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

$$\text{Cant. Camionetas} = 6877 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \cdot 31\% = 2132 \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

$$\text{Cant. Camiones 11} = 6877 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \cdot 8\% = 550 \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

$$\text{Cant. Camiones 12} = 6877 \frac{\text{veh}}{\text{día}} \cdot 2\% = 138 \frac{\text{veh}}{\text{día}}$$

Teniendo en cuenta, que se adopta en esta hipótesis de carga, que los vehículos se encuentran cargados al 100% de la carga legal, la cantidad de vehículos obtenidos son la cantidad de vehículos definitivos.

5.5.3.c. Cantidad de ejes por día de cada vehículo

Tabla 16: Cálculo de ejes por día

Categoría	%	Cant. [veh/día]	Vehíc. 100% carga [veh/día]	Cargas por eje								
				1 ton	2,5 ton	6 ton	9,7 ton	10,5 ton	14,2 ton	18 ton	21 ton	25,5 ton
				2,2 kip	5,5 kip	13,2 kip	21,3 kip	23,1 kip	31,2 kip	39,6 kip	46,2 kip	56,1 kip
Automóvil	50	3439	3439	6877	-	-	-	-	-	-	-	-
Camioneta	31	2132	2132	2132	2132	-	-	-	-	-	-	-
Camión 11	8	550	550	-	-	550	-	550	-	-	-	-
Camión 12	2	138	138	-	-	138	-	-	-	138	-	-

5.5.3.d. Cálculo de ejes por día de cada vehículo en el primer año

Para la obtención de la cantidad de ejes en el primer año se multiplica la cantidad de ejes por día por 365 días, correspondientes a un año corrientes

Tabla 17: Cálculo de ejes por año

Categoría	%	Cant. [veh/día]	Vehíc. 100% carga [veh/día]	Cargas por eje								
				1 ton	2,5 ton	6 ton	9,7 ton	10,5 ton	14,2 ton	18 ton	21 ton	25,5 ton
				2,2 kip	5,5 kip	13,2 kip	21,3 kip	23,1 kip	31,2 kip	39,6 kip	46,2 kip	56,1 kip
TOTAL	100	6259	-	9009	2132	688	0	550	0	138	0	0

EJES EN EL RPIMER AÑO												
TOTAL	100	6259	-	3288285	778133	251011	0	200808	0	50202	0	0

5.5.3.e. Cantidad de ejes proyectados a 20 años

Para determinar este valor se calcula el coeficiente de paso, el cual me permite determinar cuál es el crecimiento de tránsito por año. En este caso para una tasa de crecimiento anual del 1,01%, y con una vida útil de 20 años:

$$\text{Coef. De paso} = \sum(1 + i)^n$$

Tabla 18: Cálculo de coeficiente de paso

Año	Crecimiento del tránsito por año
0	0
1	1.010
2	1.020
3	1.031
4	1.041
5	1.052
6	1.062
7	1.073
8	1.084
9	1.095
10	1.106
11	1.117
12	1.128
13	1.140
14	1.151
15	1.163
16	1.174
17	1.186
18	1.198
19	1.210
20	1.223

5.5.3.f. Cálculo del Factor equivalente de cargas, LEF

Este valor nos permite llevar los ejes obtenidos a un solo eje patrón (80 KN), que producirán un daño equivalente al producido por los originales. Estos factores se sacan de tablas y es función de la serviciabilidad final (pt), del tipo de pavimento (en nuestro caso flexible), del peso del eje y el número estructural (SN) de la carretera, el cual se deberá suponer y luego verificarlo cuando se calculen los espesores de las distintas partes componentes.

- **Serviciabilidad al final del proyecto:** Se adopta una serviciabilidad para caminos de menor tránsito

PT=2

- **Numero estructural:**

SN=3

Usando las siguientes tablas, se elige la correspondiente según los factores mencionados con anterioridad: el tipo de eje (simple, tándem, triple), SN y Pt.

Tabla 2.1
 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2.0

Carga p/eje (kips) ¹	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.035	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.080	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.364	0.350	0.338	0.331
16	0.569	0.590	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.69	1.66	1.66	1.67	1.69
22	2.40	2.44	2.38	2.31	2.36	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.5
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.8
50	113.	106.	97.	86.	81.	82.

¹ AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1,993, tablas D-1 a D-18
² Kip = 1,000 kgs. = 10 kN

Tabla 2.2

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.025	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.045	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.106
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.820	0.810
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.36
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.19	2.13	2.16	2.16
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.6	36.4	33.0	30.0	29.4	30.6
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Tabla 2.3
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Ft = 2,0

Carga p/eje (kps)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
6	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
8	0,0009	0,0010	0,0009	0,0008	0,0007	0,0007
10	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001
12	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,003
14	0,006	0,007	0,007	0,005	0,006	0,005
16	0,010	0,012	0,012	0,010	0,009	0,009
18	0,016	0,019	0,019	0,017	0,015	0,015
20	0,024	0,029	0,029	0,025	0,024	0,023
22	0,034	0,042	0,042	0,038	0,035	0,034
24	0,049	0,058	0,058	0,055	0,051	0,049
26	0,068	0,080	0,083	0,077	0,071	0,068
28	0,093	0,107	0,113	0,105	0,096	0,094
30	0,126	0,140	0,140	0,140	0,131	0,126
32	0,164	0,182	0,194	0,184	0,173	0,167
34	0,213	0,233	0,246	0,235	0,225	0,217
36	0,273	0,294	0,313	0,303	0,288	0,279
38	0,346	0,368	0,390	0,381	0,364	0,353
40	0,434	0,466	0,481	0,473	0,454	0,443
42	0,538	0,560	0,587	0,580	0,561	0,548
44	0,662	0,682	0,710	0,705	0,686	0,673
46	0,807	0,825	0,852	0,849	0,831	0,818
48	0,976	0,992	1,015	1,014	0,999	0,987
50	1,17	1,18	1,20	1,20	1,19	1,18
52	1,40	1,40	1,42	1,42	1,41	1,40
54	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
56	1,98	1,98	1,93	1,93	1,94	1,94
58	2,29	2,27	2,24	2,23	2,25	2,27
60	2,67	2,64	2,59	2,57	2,60	2,63
62	3,10	3,05	2,98	2,95	2,99	3,04
64	3,59	3,53	3,41	3,37	3,42	3,49
66	4,13	4,06	3,90	3,83	3,90	3,99
68	4,73	4,63	4,43	4,34	4,42	4,54
70	5,40	5,28	5,03	4,90	5,00	5,15
72	6,15	6,00	5,68	5,52	5,63	5,82
74	6,97	6,79	6,41	6,20	6,33	6,56
76	7,88	7,67	7,21	6,94	7,08	7,36
78	8,88	8,63	8,09	7,75	7,90	8,23
80	9,98	9,69	9,05	8,63	8,79	9,18
82	11,2	10,8	10,1	9,6	9,8	10,2
84	12,5	12,1	11,2	10,6	10,8	11,3
86	13,9	13,5	12,5	11,8	11,9	12,5
88	15,5	15,0	13,8	13,0	13,2	13,8
90	17,2	16,6	15,3	14,3	14,5	15,2

Ilustración 100: Tablas brindadas por Norma AASHTO

Debido a que, para el caso en estudio, no son valores directos existentes en las tablas, se procede a interpolar los valores de los factores:

- LEF eje simple 1 tn (1000Kg) (2,2 kip) = **0,00038**
- LEF eje simple 2,5 tn (2500Kg) (5,5 kip) = **0,00875**
- LEF eje simple 6 tn (6000Kg) (13,2 kip) = **0,288**
- LEF eje simple 10,5 tn (10500Kg) (23,1 kip) = **2,944**
- LEF eje tándem 18 tn (18000Kg) (39,6 kip) = **2,066**

5.5.3.g. Cálculo del número de ejes equivalentes de 8,2 ton (ESALs)

Para el cálculo de los ejes equivalente de 80 KN se deberá multiplicar por los factores obtenidos de las tablas mencionadas anteriormente.

$$\text{Ejes equivalentes de 8,2 tn} = \text{cantidad de ejes en 20 años} \times \text{LEF}$$

$$\text{Ejes equivalentes total de 8,2 tn} = \text{Ejes equivalentes de 8,2 tn}$$

A continuación, se presenta una tabla resumen con los datos obtenidos mediante la aplicación de esta metodología.

Tabla 19: Resumen de obtención de resultados

Categoría	%	Cant. [veh/día]	Vehíc. 100% carga [veh/día]	Cargas por eje								
				1 ton	2,5 ton	6 ton	9,7 ton	10,5 ton	14,2 ton	18 ton	21 ton	25,5 ton
				2,2 kip	5,5 kip	13,2 kip	21,3 kip	23,1 kip	31,2 kip	39,6 kip	46,2 kip	56,1 kip
EJES POR DÍA												
TOTAL	100	6259	-	9009	2132	688	0	550	0	138	0	0
EJES EN EL RPIMER AÑO												
TOTAL	100	6259	-	3288285	778133	251011	0	200808	0	50202	0	0
EJES A 20 AÑOS												
				73206221	17323610	5588261	0	4470609	0	1117652	0	0
			LEF para SN=3	0,00038	0,00875	0,288	0	2,944	0	2,066	0	0
			Ejes equivalentes de 80kN	27818	151582	1609419	0	13161473	0	2309069	0	0
			ESALs TOTAL	17259361								

5.5.4. Cálculo de espesores del paquete estructural

Investigadores viales de Estados Unidos crearon pistas de prueba donde pusieron a transitar camiones del ejército cargados con alta precisión. Las pistas fueron variando sus espesores cada 30 m de muchas formas distintas, obteniendo un total de 468 combinaciones.

Como ellos conocían el TMDA, la carga y los espesores y secciones del camino, sólo tenían que medir las tensiones y deformaciones, y para ello diseñaron el índice de serviciabilidad PSI, predefinido numéricamente para el capítulo anterior.

Crearon una escala PSR (Present Serviciability Raiting) del 1 a 5 siendo pésimas condiciones el número más bajo y perfectas condiciones, el número más alto, que condicionaba la calzada en base a la opinión de los conductores de los camiones de prueba. En base a la calificación de los conductores, la cual calificaba la condición del pavimento en base a parámetros como la varianza del perfil (SD), la profundidad del ahuellamiento medio (RD), la presencia de fallas tipo “piel de cocodrilo” (C) y la presencia de parches (P), fueron los investigadores correlacionando los

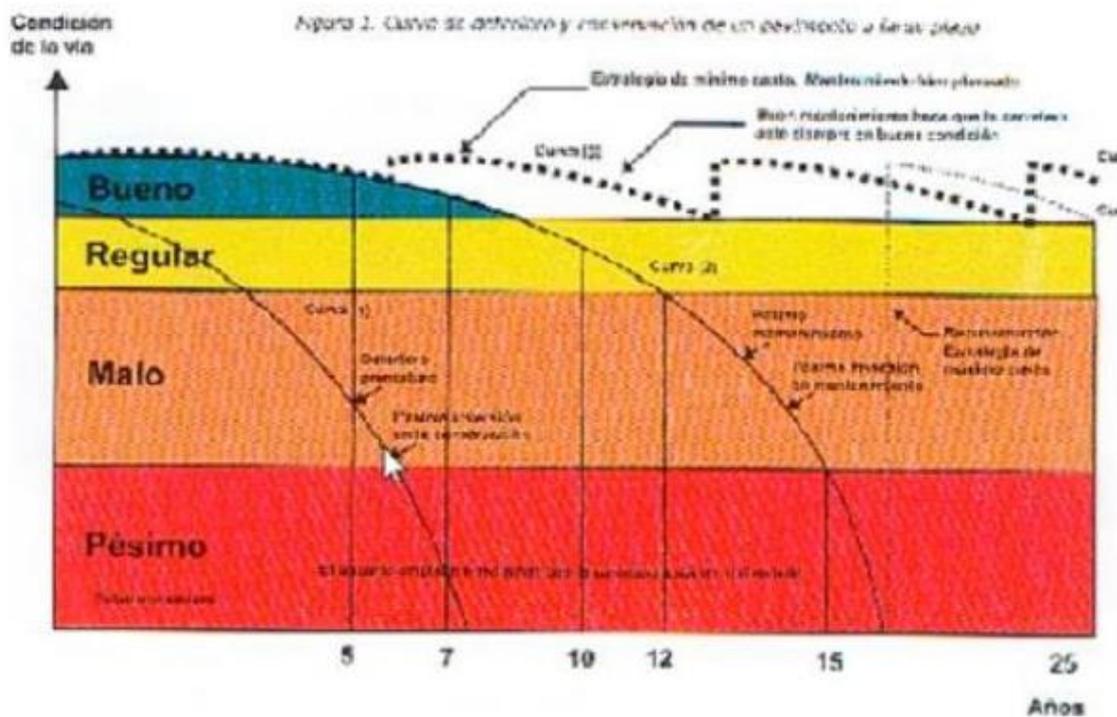
valores, hasta alcanzar valores empíricos lo más parecidos a los obtenidos cuantitativamente por los usuarios, intentando buscar el porqué de sus calificaciones, pudiendo así a futuro poder variar las variables para conseguir exactamente el PSI buscado.

La metodología AASHTO-93 para diseño de pavimentos asfálticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica, la capa de base y la capa de subbase. Como se dijo anteriormente, esta ecuación está en función de variables de diseño tales como el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad entre otros.

Con ese estudio alcanzaron encontrar una ecuación que involucraba estas variables:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \cdot \text{Log}(1 + SD) - 1,38 \cdot RD2 - 0,01 \cdot (C + P) 0,5$$

Como los conductores no podían calificar las 468 secciones, lo que se hizo fue tomar la expresión empírica y evaluarla en el tiempo (años), obteniendo resultados cada vez más desfavorables con el paso de los años (desde que se construyó la pista hasta un año determinado).



Se adoptan $P_t > 0$ ya que la serviciabilidad se debe considerar como final (dejar en desuso) antes de que la carretera esté destruida ($P_t=0$).

Con el paso del tiempo fueron los investigadores correlacionando más variables y así consiguieron determinar una expresión teórico-empírica, que contemplaba las repeticiones de carga de ejes equivalentes (W_{18}), el grado de confiabilidad (R) que queremos darle al pavimento

en función de la importancia de la carretera (procurar que siempre sea alta), la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI), módulo resiliente de la capa granular (MR) (características de la subrasante) (en psi), los distintos espesores por medio de un número estructural (SN) (en pulgadas) y el número de desviaciones estándar (SD) de las variables en estudio para el diseño del paquete (humedad, densidad, CBR, censos de composiciones, etc.). Esta es:

$$\log(W) = ZR \cdot So + 9,36 \cdot \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,3}\right)}{0,40 + \frac{1,094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log(MR) - 8,07$$

Debido a la complejidad que resulta para despejar la variable SN, existen tres formas para poder resolver la ecuación implícita:

- Iteraciones en planillas de cálculo hasta conseguir que ambos miembros se igualen;
- Ábacos;
- Softwares.

En cuanto al valor de repeticiones de carga W_{18} , éste se corresponde al hallado en el capítulo 8, que se desarrolló para ambas hipótesis de carga, y cuyo procedimiento se corresponde al presente método. Recopilando los datos, tenemos:

- Hipótesis A \rightarrow 17.434.960 ESALs
- SD = 0,45
- ZR = 0,841
- $P_0 = 4,2 \rightarrow$ Serviciabilidad inicial para pavimentos flexibles
- $P_t = 2,0 \rightarrow$ Serviciabilidad final para caminos de menor tránsito
- $\Delta PSI = 2,2$
- $SN_{preadoptado} = 3'' \rightarrow$ A VERIFICAR

Por último, se necesita verificar el valor de SN pre-adoptado de 3'', el cual es el Módulo Resiliente de la subrasante.

Teniendo en cuenta, el análisis realizado mediante perfiles transversales del proyecto se llega a la conclusión que este mismo está por encima del terreno natural y se considera la conformación de terraplenes para la ejecución de la calzada. Se propone levantar la cota natural de terreno en la mayoría de la traza, por lo tanto, se utilizará material estabilizado el cual deberá tener una granulometría de grava bien graduadas.

La compactación para la conformación del terraplén deberá realizarse en capas sucesivas no mayores a 0,30 m de espesor, logrando densidades relativas del 98% o más. Se toma la decisión de reemplazar todo el terreno natural del sector debido a que se caracteriza por tener bajas prestaciones para la construcción de una carretera y además que el proyecto es de poca longitud.

Considerando entonces, que el suelo de apoyo será de buena calidad, según las tablas de clasificación AASHTO las gravas bien graduadas se clasifican como A-1-a y se adopta un valor soporte relativo de 75%, se induce un valor del módulo resiliente mediante el uso del ábaco que se presenta a continuación.

Tipo de suelo AASHTO	Descripción	SUCS	γ_d (kN/m ³)	VRS %	Valor K (MPa/m)	Módulo resiliente (MPa)
Suelos de grano grueso						
A-1-a , bien graduado	Grava	GW, GP	19.6-22	60 - 80	81.44-122.16	70.37-140.74
A-1-a , mal graduado			18.9-20.4	35 - 60	81.44-108.58	70.37-140.74
A-1-b	Arena gruesa	SW	17.3-20.4	20 - 40	54.29-108.58	42.23-105.55
A-3	Arena fina	SP	16.518.9	15 - 25	40.72-81.44	35.18-14.07
Suelos A-2 (materiales granulares con alto porcentaje de finos)						
A-2-4 , gravosa	Grava limosa	GM	20.422.8	40 - 80	81.44-135.73	70.37-211.11
A-2-5 , gravosa	Grava areno limosa					
A-2-4 , arenosa	Arena limosa	SM	18.9-21.2	20 - 40	81.44-108.58	70.37-140.74
A-2-5 , arenosa	Arena limosa con grava					
A-2-6 gravosa	Grava arcillosa	GC	18.9-22.0	20 - 40	54.29-122.16	56.29-140.74
A-2-7 gravosa	Grava arcillosa con arena	SC	16.5-20.4	10 - 20	40.72-95.00	35.18-105.55
A-2-6 arenosa	Arena arcillosa					
A-2-7 arenosa	Arena arcillosa con grava					
Suelos de grano fino *						
A-4	Limo	ML , OL	14.1-16.5	4 - 8	6.79-44.79	14.07-42.22
	Grava-arena-limo		15.7-19.6	5 - 15	10.86-59.72	28.14-56.29
A-5	Limo alta compresibilidad	MH	12.6-15.7	4-8	6.79-51.58	14.07-42.22
A-6	Arcilla plástica	CL	15.7-19.6	5-15	6.79-69.22	14.07-70.37
A-7-5	Arcilla baja compresibilidad	CL, OL	14.1-19.6	4-15	6.79-58.36	14.07-70.37
A-7-6	Arcilla alta compresibilidad	CH, OH	12.6-17.3	3-5	10.86-59.73	28.14-70.37

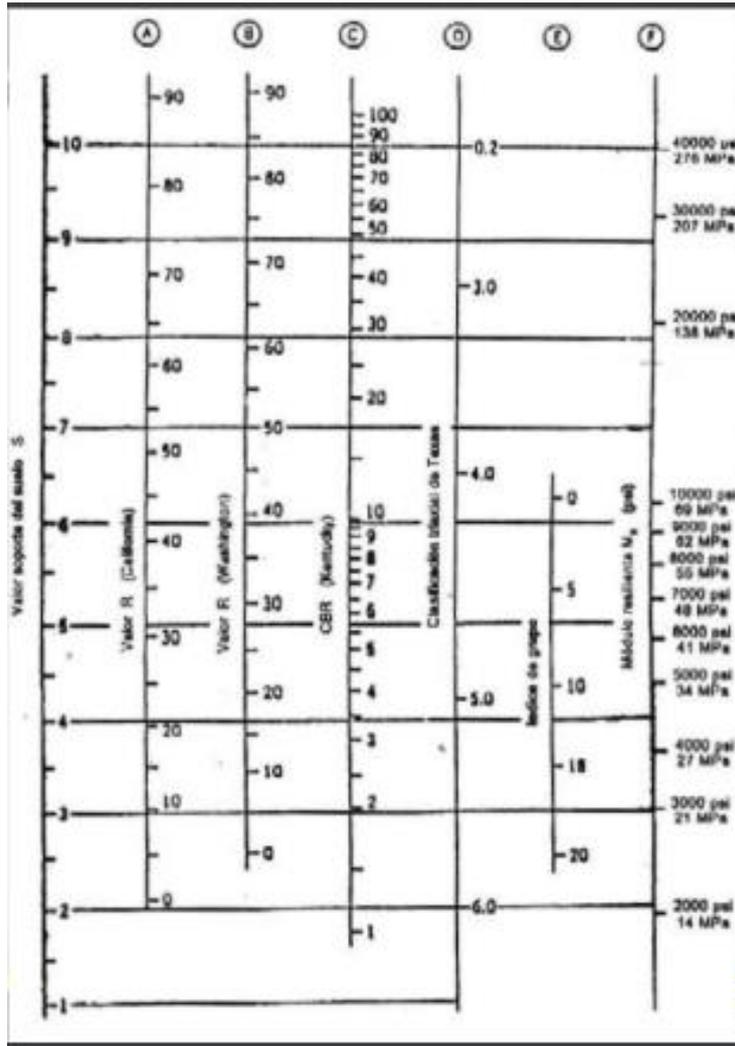


Ilustración 101: Tabla de clasificación de suelos según AASHTO

De adopta un módulo resiliente de 30000 PSI, este dato será introducido en el programa de la AASHTO 93 para el cálculo del valor SN del número estructural.

Ilustración 102: Verificación de SN mediante software AASHTO 93

Verificado el valor de SN, se procede al cálculo de las capas necesarias para cumplir con este Numero estructural. La expresión que liga el número estructuras con los espesores de capa es la que sigue:

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

Donde:

- a_1, a_2, a_3 son los coeficientes estructurales o de capa (adimensionales).
- m_2, m_3 son los coeficientes de drenaje, (adimensionales).
- D_1, D_2, D_3 son los espesores de capas, (en pulg o cm).

La ecuación de SN no tiene una única solución, sino que existen muchas combinaciones de espesores que la satisfacen. Por lo tanto, se presentan normativas tendientes a dar espesores de capas que puedan ser ejecutadas en obra y protegidas de las deformaciones permanentes por las capas superiores más resistentes.

Figura esquema de paquete estructural a dimensionar y sus variables de cálculo.

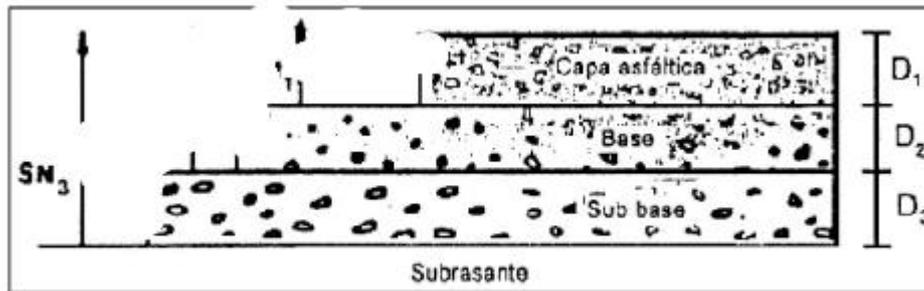


Ilustración 103: Esquema de paquete estructural

5.5.4.a. Coeficiente "a"

Es muy conocida la influencia de la calidad de los materiales en la eficacia del pavimento. Cada vez está tomando más consenso el uso de módulos elásticos para caracterizar los materiales.

Aparecen entonces los Coeficientes estructurales o de capa, que son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material.

No obstante, estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes. Para su utilización se emplean nomogramas ingresando con un valor de resistencia conocido determinado en laboratorio y se obtiene directamente el coeficiente "a".

En las siguientes figuras se muestran los nomogramas a emplear, válidos cada uno para la capa correspondiente. Para capas de concreto asfáltico, los coeficientes "a" están en función de la estabilidad Marshall, del cohesiómetro de Hveem y del módulo resiliente. Para las bases granulares lo hace en función de C.B.R., Valor R, Ensayo Triaxial de Texas y Modulo Resiliente (M.R.).

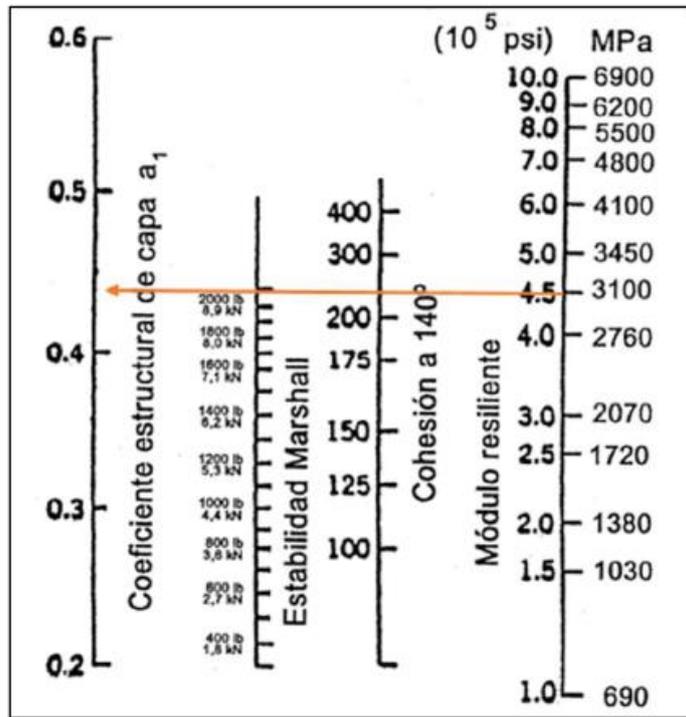


Ilustración 104: Coeficiente estructural para capas asfálticas

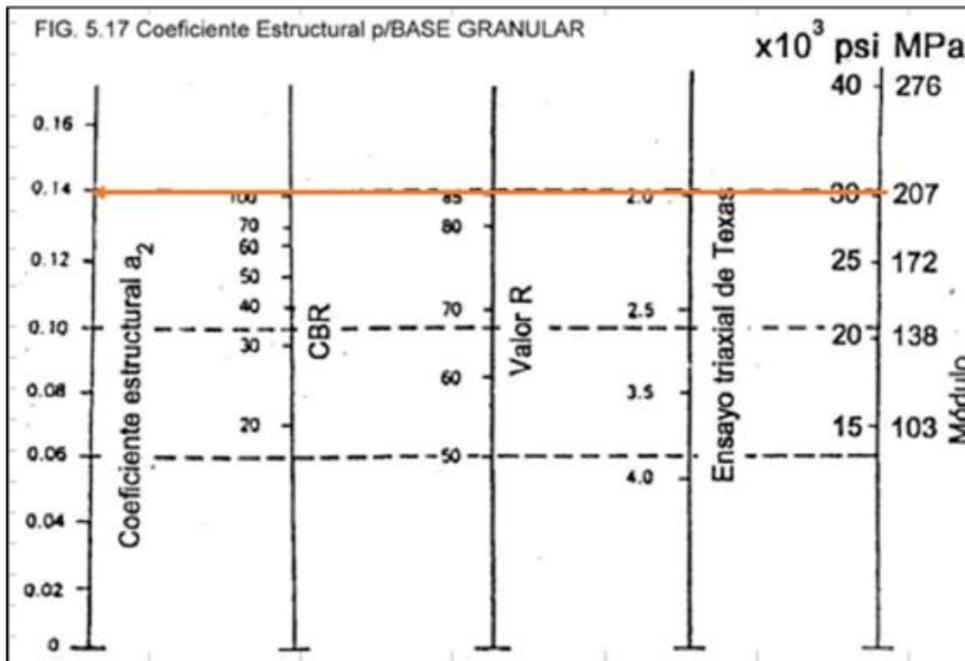


Ilustración 105: Coeficiente estructural para base granular

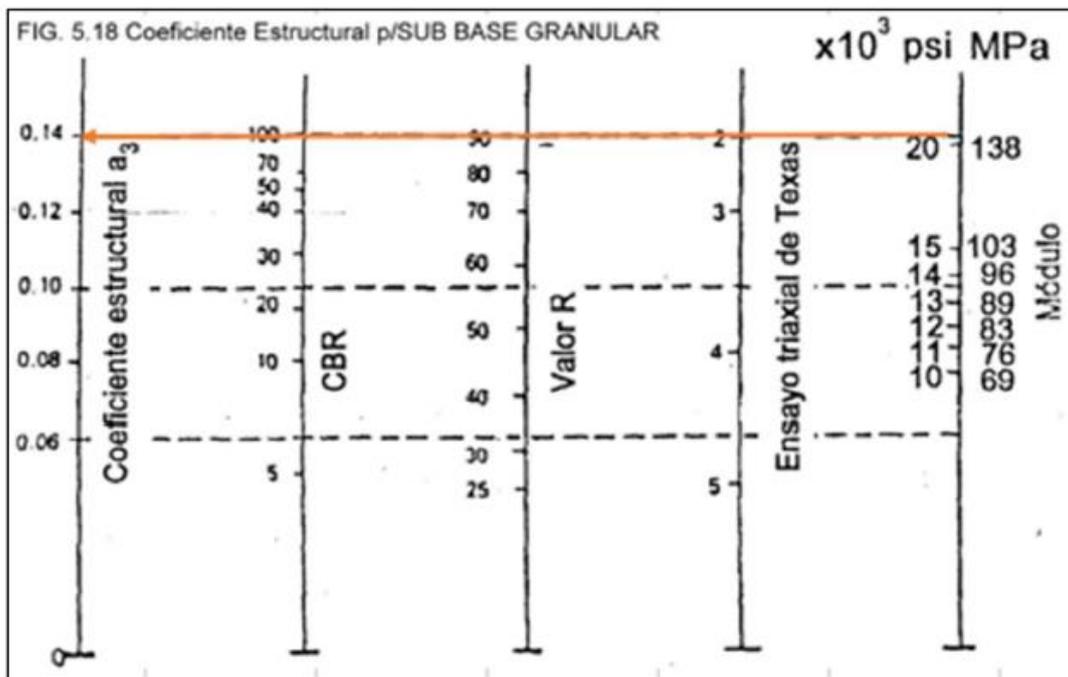


Ilustración 106: Coeficiente estructural para sub base granular

5.5.4.b. Coeficiente de drenaje, m

La humedad tiene una gran influencia sobre las propiedades de los materiales que constituyen el paquete estructural y sobre el comportamiento de los pavimentos en general. La presencia del agua juega un papel muy importante. El agua presente en los pavimentos puede provocar diversos daños, por lo que es importante conocer las características del lugar para determinar la probabilidad de saturación del terreno natural.

El factor de ajuste (m) es función de las características de drenaje del suelo de fundación, y del tiempo durante el cual la sub-rasante podrá estar en condiciones de saturación.

En base a datos del Servicio Meteorológico Nacional respecto a la precipitación anual en la zona se obtiene una precipitación total media anual de 250 mm (más desfavorable). La probabilidad es que en 10 días que recibirá el pavimento esa intensidad al año, lo que equivale a un porcentaje de exposición anual de:

$$\% \text{ de tiempo de exposición} = 46 \text{ días} / 365 \text{ días} \cdot 100 \% \text{ de tiempo de exposición} = 12,60 \%$$

Mes	Temperatura media °C		Lluvia total media (mm)	Número medio de días de lluvia
	Mínima diaria	Máxima diaria		
Ene	18.4	32.0	48.2	7
Feb	17.5	30.8	38.0	6
Mar	14.9	27.2	34.7	5
Abr	10.6	23.4	13.4	3
May	5.7	19.0	7.9	2
Jun	2.6	15.5	3.6	2
Jul	2.4	14.7	12.2	4
Ago	4.4	18.0	5.3	2
Sep	6.4	20.4	13.2	4
Oct	11.6	25.6	8.2	3
Nov	14.8	29.2	15.2	4
Dic	17.8	31.7	23.3	4

Ilustración 107: Información climatológica de Mendoza

Luego, definimos una calidad Buena para Mendoza, lo que, según la siguiente tabla, podremos determinar los siguientes tiempos de saturación:

Calidad del drenaje	Reducir hasta un 50% de saturación en:	Reducir hasta 85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 hs
Pobre	1 mes	Más de 10 hs
Muy Pobre	No drena	Mucho más de 10 hs

Ilustración 108: Tiempos de saturación

Con estos dos parámetros ingresamos a la tabla de doble entrada y determinamos el valor de los coeficientes de drenaje (adoptando intermedio):

Calidad del Drenaje	% de tiempo de exposición del pavimento a niveles próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Ilustración 109: Coeficiente de drenaje

$$m2=m3=1,10$$

5.5.4.c. **Espesores de capas**

Una vez determinados todos los coeficientes se procede a la determinación de los espesores en función de su tapada, o número estructural. Esto se basa en el concepto de que las capas granulares deben estar protegidas por las capas superiores a éstas de las cargas que sobrepasan las tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes. Para esto, se trata a cada capa granular como una subrasante (reemplazando el MR) para obtener el SN que puede llegar a la capa sin producir deformaciones permanentes, dicho SN, además, será el que le transfieran las capas superiores y dependerá de sus espesores, coeficientes estructurales y de drenaje.

$$SN = 0,45 * 1,97'' + 0,14 * 1,10 * 5,91'' + 0,14 * 1,10 * 7,87'' = 3,01$$

$$3,01 \approx 3,00$$

Se adoptan los siguientes espesores en centímetros, para los cuales se verifica el valor del numero estructural calculado mediante el software:

Base	Espesor [cm]
Carpeta asfáltica	5
Base	15
Sub-base	20
TOTAL	40

Considerando la hipótesis de carga para la cual se calculó el valor del Numero Estructural SN=3 adoptado previamente, se logra verificar que cumple por lo que no se deberá recalculan los valores de los LEFs adoptados inicialmente.

5.5.4.d. Determinación de D

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
 Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
Reliability (R) So 0.45

Serviciabilidad inicial y final
PSI inicial 4.2 PSI final 2

Módulo de reacción de la subrasante
k 30000 pci

Información adicional para pavimentos rígidos
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) 3121885 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 3.2
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) 465.47 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1.1

Tipo de Análisis
 Calcular D **W18 = 17.434.960**
 Calcular W18

Espesor de losa (plg)
D = 10.4

Calcular Salir

Ilustración 110: Determinación del valor D según software AASHTO 93

Una vez determinado los parámetros a utilizar en el punto anterior a la hora de obtener el valor de SN, se agrega 3 parámetros más para determinar D.

5.5.4.e. Coeficiente de transferencia de carga, J

Es la capacidad que tiene la losa de transmitir fuerzas cortantes a las losas adyacentes, lo que repercute en minimizar las deformaciones y los esfuerzos. La AASSTHO recomienda un valor de 3,2 para pavimentos rígidos.

5.5.4.f. Módulo de elasticidad del hormigón, E

Se denomina módulo de elasticidad del concreto a la capacidad que obedece la ley de Hooke, es decir, la relación de la tensión unitaria a la deformación unitaria, se puede estimar a partir de la resistencia a la compresión a la que era diseñada la mezcla de concreto, para el caso se utilizará un H21 equivalente a un $F'c=210\text{kg/cm}^2$

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{F'c} = 21526\text{MPa} = 3121885\text{Psi}$$

5.5.4.g. Módulo de rotura del hormigón, Sc

Es una propiedad del concreto que influye notablemente en el índice de pavimentos rígidos de concreto. Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión, es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el índice se

considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión $S'c$ o módulo de rotura normalmente especificada a los 28 días

$$S'c = 0,7 * \sqrt{F'c} = 3,21 \text{Mpa} = 465,47 \text{Psi}$$

Una vez determinados la totalidad de los parámetros, se obtiene que la losa deberá tener un espesor de 10,4 pulgadas lo que equivale a 26 cm, adoptando así, un espesor de losa de 30 cm.

Teniendo en cuenta que para el ancho de la calle 9,50 m se distribuyen en 2 losas de 3,50m y una de 2,50 m de 4 m de largo.

5.5.5. Diseño de Juntas

5.5.5.a. Estados tensionales

Debido a las diferentes tensiones que se producen dentro del hormigón utilizado para la construcción del pavimento rígido, se diseñan juntas entre losas con el objetivo de disminuir la fisuración del material, aumentando su vida útil.

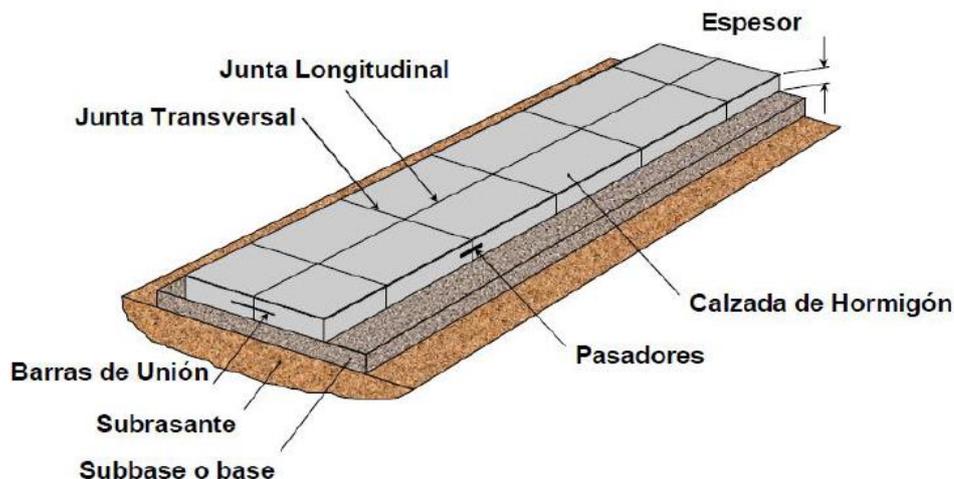


Ilustración 111: Elementos de un pavimento rígido

Los distintos estados tensionales que se producen en el hormigón son:

- **Contracción:** La disminución del volumen se ve impedido por la fricción con la superficie de apoyo provocando tensiones de tracción en las losas fisurándolas transversalmente.

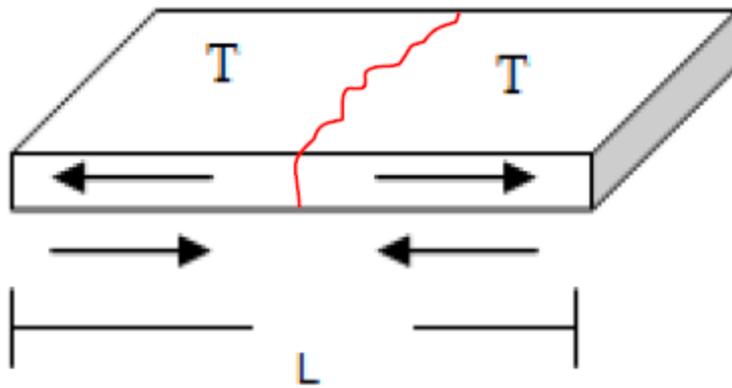


Ilustración 112: Tensiones debido a la contracción

- **Alabeo:** Es producido por la diferencia de temperatura entre las caras superficiales del hormigón armado. Este alabeo combinado con el paso de cargas pesadas produce tensiones que fisuran las losas.

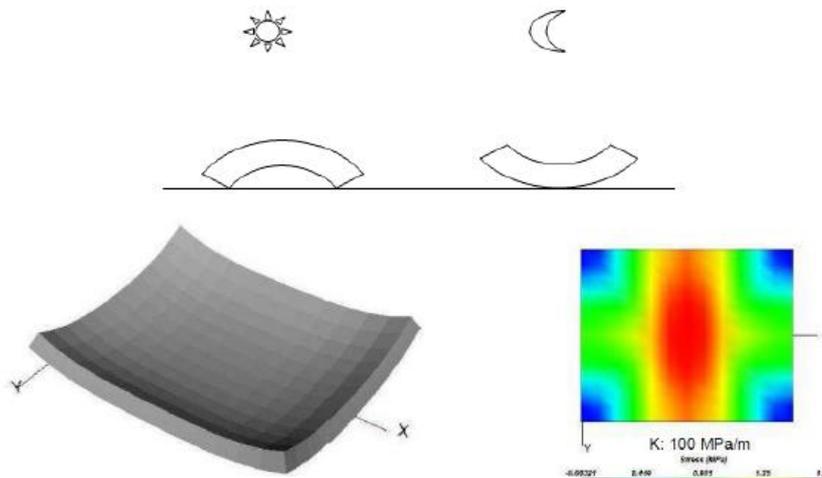
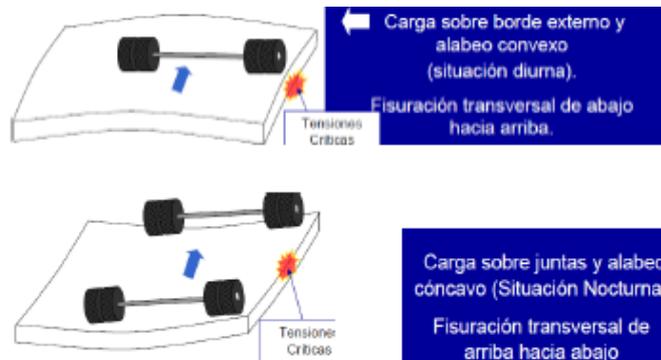


Ilustración 113: Tensiones por alabeo

- **Cargas:** La acción de las cargas y su posición relativa producen estados tensionales críticos.



Posición crítica de ejes cargados:

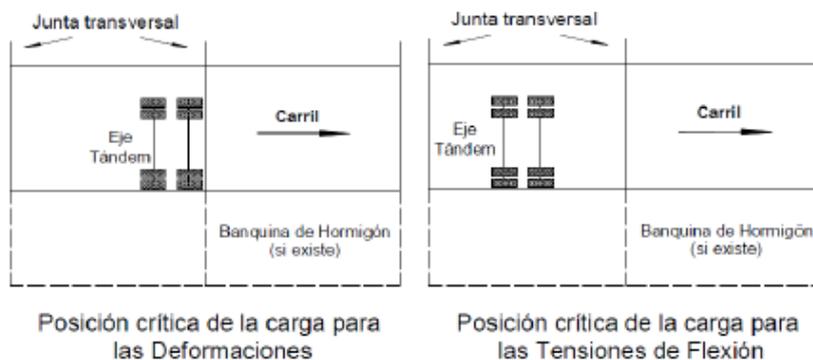


Ilustración 114: Tensiones debida a cargas de vehículos

- **Tensiones en la subrasante:** La rigidez del pavimento de hormigón hace que este transmita tensiones muy reducidas a la subrasante. Se hicieron experimentos en un pavimento de 20cm de espesor. La baja presión indica que la calidad de la subrasante no debe ser elevada, pero si debe ser uniforme, dado que la carga se distribuye en un diámetro de 4,8m

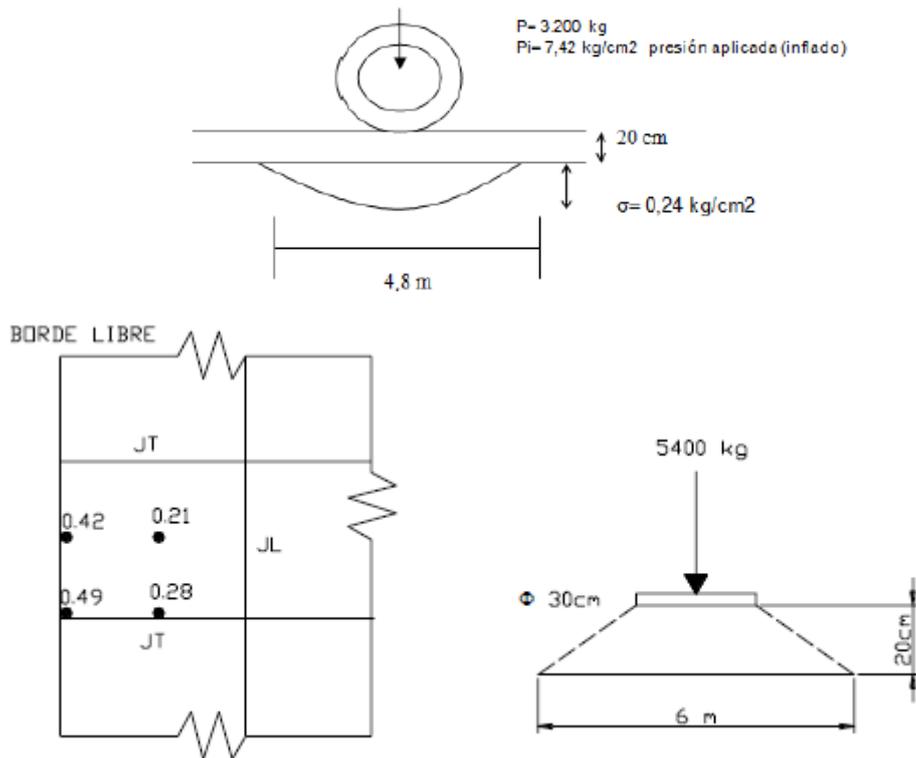


Ilustración 115: Experimentos realizados sobre subrasante

Como se mencionó al inicio, debido a las diferentes tensiones se diseñan juntas para disminuir inconvenientes en el hormigón, y que este tenga un mejor funcionamiento. El objetivo es copiar el patrón de fisuración que naturalmente se desarrolla en el pavimento en servicio, mediante un adecuado diseño y ejecución de juntas transversales y longitudinales, incorporando mecanismos de transferencia de cargas.

Un adecuado diseño de juntas permitirá prevenir la formación de fisuras, proveer transferencia adecuada y permitir el movimiento de las losas contra estructuras fijas o intersecciones.

5.5.5.b. **Distribución de losas y juntas**

La distribución de losas se puede observar en la siguiente ilustración:

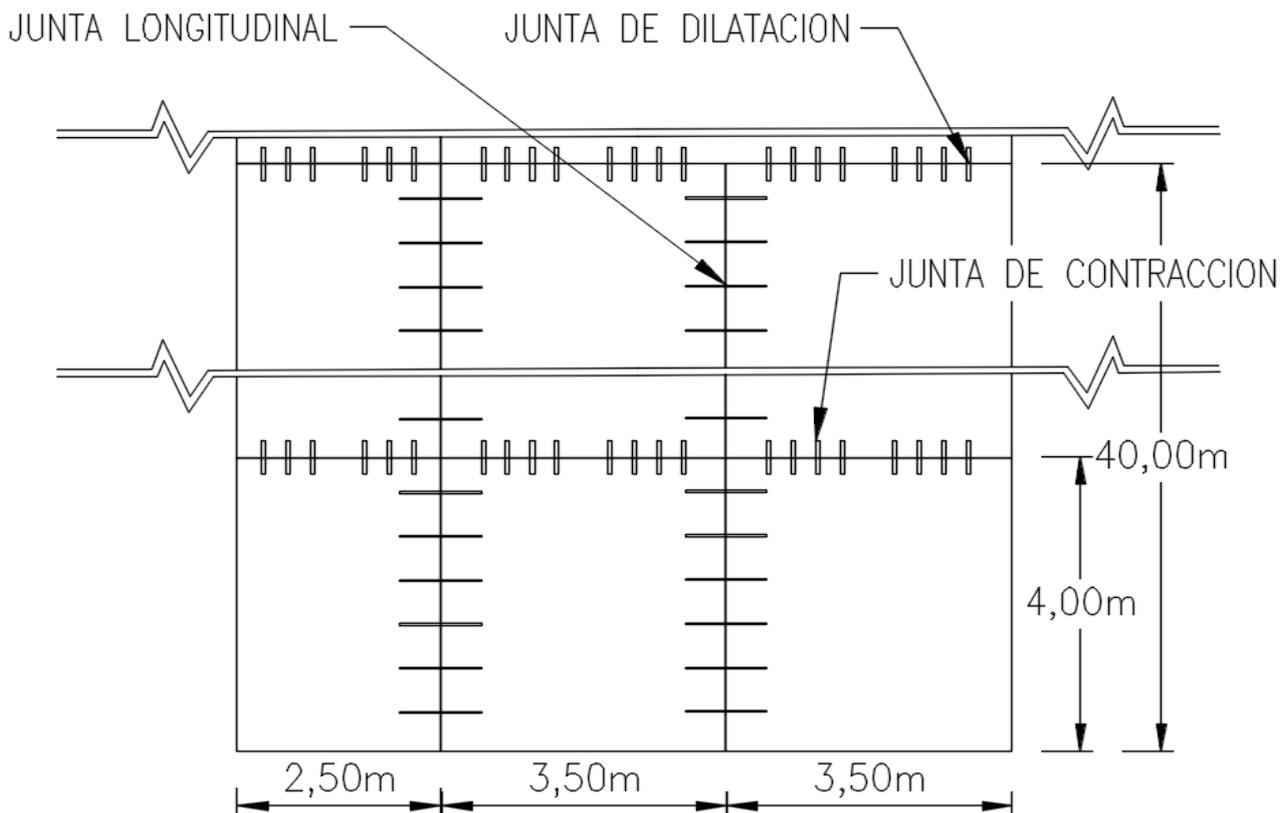


Ilustración 116: Distribución de losas y juntas

Como se observa en la *Ilustración 116*, se colocará tres tipos de juntas: juntas longitudinales, transversales de contracción y transversales de dilatación. A continuación, se presentan detalles de las mismas:

- **Junta Longitudinal**

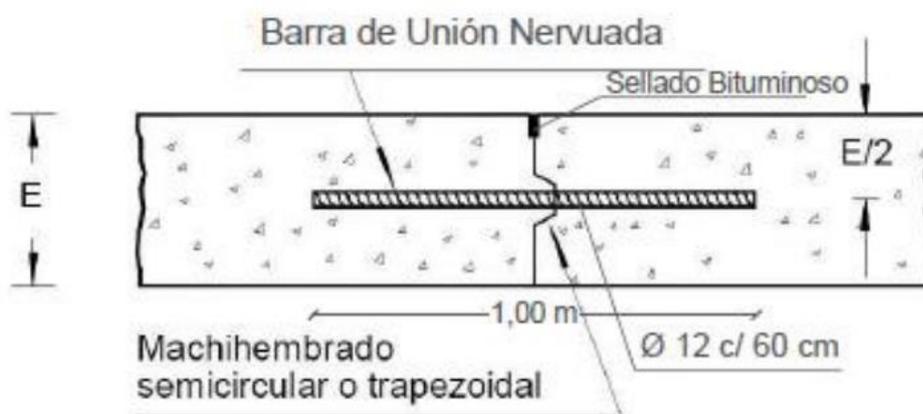


Ilustración 117: Junta Longitudinal

- **Junta transversal de contracción**

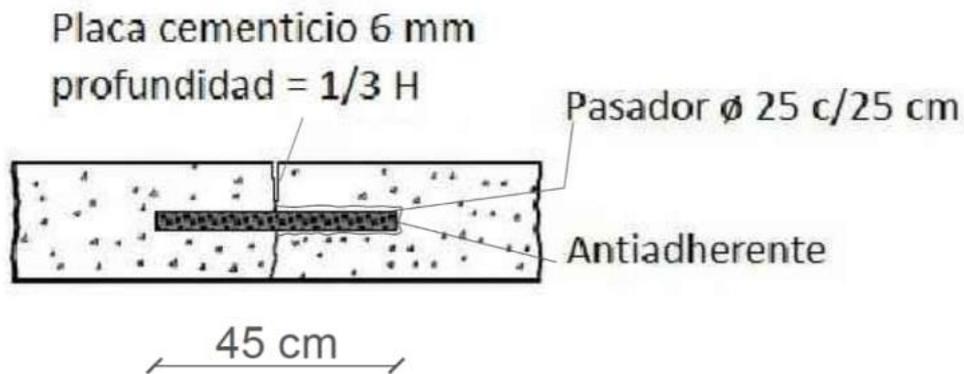


Ilustración 118: Junta Transversal de contracción

- **Junta transversal de dilatación**

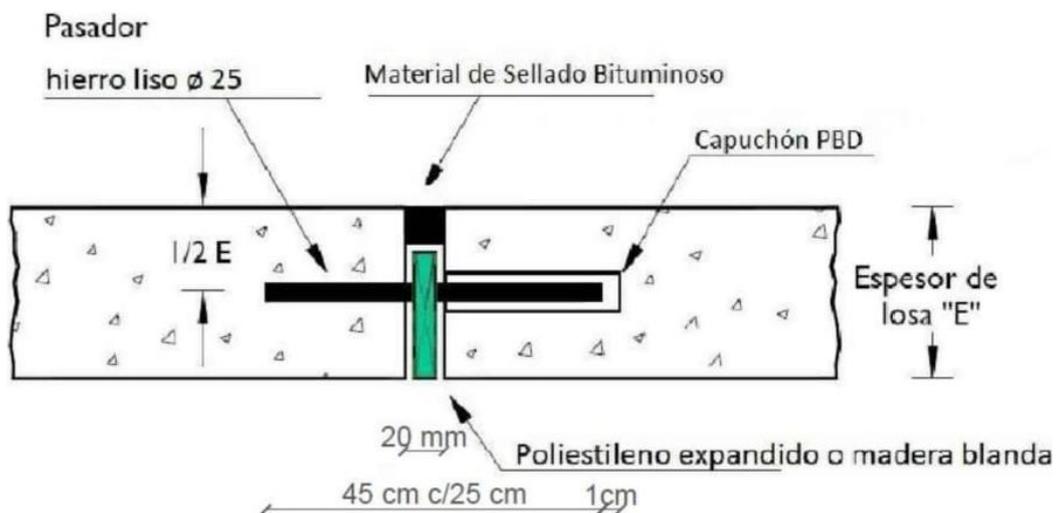


Ilustración 119: Junta Transversal de dilatación

5.6. **Señalización**

5.6.1. **Señalización Horizontal**

La señalización horizontal corresponde a la aplicación de marcas pintadas sobre el pavimento ya sean líneas, símbolos, flechas, letras, etc. Su objetivo es regular y canalizar el tránsito, e indicar la presencia de obstáculos. Para realizar la misma, nos basaremos en el Manual de Señalización Horizontal-2012 de la DNV.

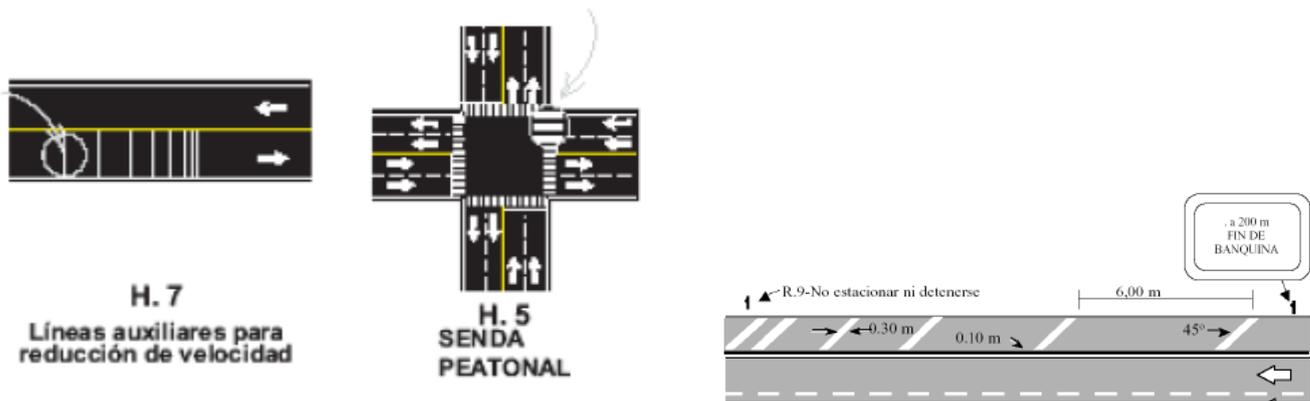


Ilustración 120: Ejemplificación de señalización horizontal

La señalización consiste en líneas longitudinales y transversales, las primeras corresponden a líneas paralelas al eje de la carretera, constituyen guías positivas al delinear las áreas seguras para circular de la calzada y guías negativas cuando no es seguro viajar o está prohibido. Estas se clasifican en:

- *Líneas centrales o eje:* indican la separación entre corrientes de tránsito e incluyen zonas con y sin prohibición de adelantamiento
- *Línea de borde de calzada:* indican el fin de la calzada
- *Línea de carril:* indican la separación entre carriles.

A su vez se pueden clasificar según su textura, planas y conformadas; y según su forma:

- *Simple línea continua:* indica que no debe ser traspasada ni circular sobre ella.
- *Doble línea continua:* refuerza el concepto anterior y se utiliza como línea central o separadora de sentidos de circulación.
- *Línea discontinua:* posibilidad de ser traspasada
- *Doble línea mixta:* indica la posibilidad de ser traspasada del lado discontinuo mientras que para el lado continuo está prohibido hacerlo.

Por otro lado, las líneas transversales se ubican de manera perpendicular a la carretera y tienen distintos usos, como ser, la delimitación de líneas de paso peatonal, reductoras de velocidad, detención, senda para ciclistas.

Se pueden clasificar según los colores, siendo predominantes el color blanco y amarillo, el primero corresponde a separación de corrientes de tránsito del mismo sentido, líneas transversales y líneas espaciales, y separación central en zonas de prohibición de sobrepaso. El segundo color se utiliza a la hora de separar corrientes de tránsito de distinto sentido con

prohibición de sobrepaso. Además, se utiliza para delimitar el borde de calzada en autopistas y autovías.

5.6.1.a. Líneas Longitudinales

Estas deben tener uniformidad de colores, diseño y tamaño.

Tabla 20: Ancho de líneas longitudinales

ANCHO DE LAS LÍNEAS LONGITUDINALES		
ANCHO TOTAL DE CALZADA	BORDE	EJE
En carreteras de dos carriles indivisos		
< 4,80 m	No se marcan ^[7]	No se marca
≥ 4,80 m Y < 6,00 m	No se marcan	0,15 m ^[8]
≥ 6,00 m Y < 6,30 m	0,10 m	0,15 m ^[8]
≥ 6,30 m Y < 6,70 m	0,10 m	0,10 m ^[9]
≥ 6,70 m Y < 7,30 m	0,15 m	0,10 m ^[9]
≥ 7,30 m	0,15 m	0,15 m ^[10]

Tabla 21: Valores de módulos y relación de marca/módulo

VALORES DE MÓDULOS Y RELACION MARCA/MÓDULO PARA LINEA DISCONTINUA				
	SITUACIÓN	MÓDULO	RELACIÓN	BASTÓN / VACÍO
Autopistas y Semiautopistas	Líneas de carril	12,00 m	0,25 m	3,00 m / 9,00 m
	Transición a Carril de aceleración y desaceleración	2,00 m	0,5 m	1,00 m / 1,00 m
Carreteras Convencionales	Líneas de carril y separación de carriles	12,00 m	0,25 m	3,00 m / 9,00 m
	Carril de aceleración y desaceleración,	2,00 m	0,5 m	1,00 m / 1,00 m
Calles y Avenidas	Líneas de carril	2,66 m	0,375 m	1,00 m / 1,66 m
	Ejes Reversibles (doble línea discontinua)	2,00 m	0,5 m	1,00 m / 1,00 m
	Ejes de Bicisendas	2,50 m	0,6 m	1,50 m / 1,00 m

La *Tabla 20* nos indica que las líneas de borde serán de **0.15m** y las de eje serán de **0.10m**; *la Tabla 21* nos dice que las líneas de eje de trazado discontinuo serán de **3m pintadas y 9m sin pintar**.

Para nuestro proyecto usaremos diferentes tipos de líneas centrales:

- *Trazo discontinuo*: Se usan para dividir el carril separando los flujos de tránsito, formada por bastones pintados blancos con una separación entre sí, la cual indica que está permitido el sobre paso.

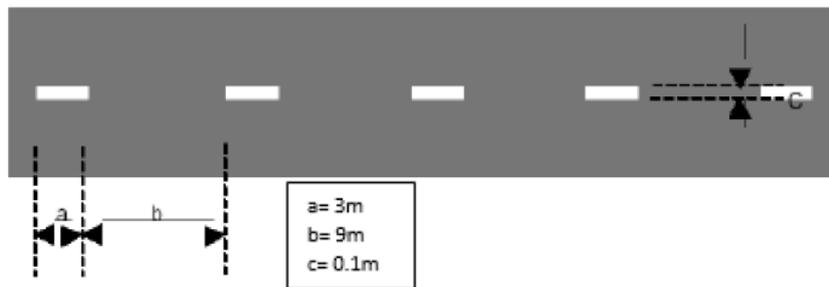


Ilustración 121: Trazado discontinuo

- *Trazo continuo:* Se utiliza una doble línea de color amarilla, que sirve para dividir flujos de sentidos opuestos e indica que está prohibido el sobre paso.
- *Trazo mixto:* Se trata de una línea amarilla continua de un lado y una línea blanca de trazos en el otro, indica que puede sobre pasar el vehículo que circula por el lado de la línea de trazos. Es utilizada en salidas de curvas como también en pendientes longitudinales.

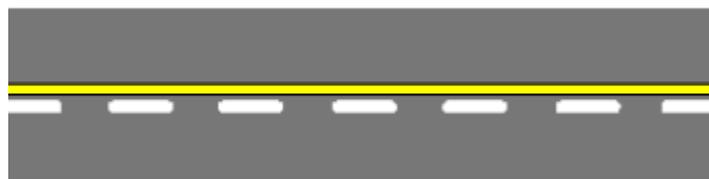


Ilustración 122: Trazado mixto

También usaremos líneas de borde, que son líneas continuas o en ocasiones de trazo (para que fluya el agua) que demarcan la separación entre la calzada y las banquetas pintadas de color blanco.

5.6.1.b. **Señalización Vertical**

Este tipo de señalación va colocado en el lado derecho de la carretera y de ambos lados si la calle es ancha y con mucho tráfico, también son colocados sobre elevados.

Este tipo de cartelería es de preferencia ubicarse dentro del ángulo de visión de 12 grados hacia los lados. Al igual que en la señalización horizontal hay un tipo de distancia, colores y tamaño que deben ser respetados. Se distinguen diferentes tipos de señales:

- *Prevención:* Proximidad a una circunstancia, son romboidales, rectangulares o triangulares de colores amarillos con negro o blanco con rojo



Ilustración 123: Ejemplo de cartelaría vertical de prevención

- **Informativos:** Carecen de consecuencias jurídicas. Son para orientar y hacer referencia a servicios y lugares, tienen 2 líneas de leyenda como máximo. Son de colores verde con blanco/ azules con blanco y negro / negro con blanco.



Ilustración 124: Ejemplo de cartelaría vertical informativa

- **Reglamentarias:** Transmiten ordenes específicas de cumplimiento obligatorio, en ella se destacan 3 sub grupos:



Ilustración 125: Ejemplo de señalización vertical reglamentaria

- **Transición:** Señalan la ejecución de trabajos de construcción o mantenimiento en la vía, para que los vehículos opten desviarse para evitar accidentes. Son de color naranja con letras negras.

Prevención

Información



Ilustración 126: Ejemplo de señalización vertical de transición

5.6.1.c. Localización

- *En zonas rurales:* La DNV adopta 4 metros del borde de la calzada. La altura entre el filo inferior de la señal y la rasante será entre 1.3 a 1.5 metros. Estas tienen una pequeña inclinación entre 8 a 15 grados respecto de la perpendicular al eje de la calzada.
- *En zonas urbanas:* La DNV adopta entre 0.30 a 0.5 metros del borde de la calzada. La señal sobre elevada debe disponerse en una altura entre 4.80 a 5.50 metros con una inclinación menor a 12 grados respecto de la vertical.

Se debe posibilitar el siguiente proceso:



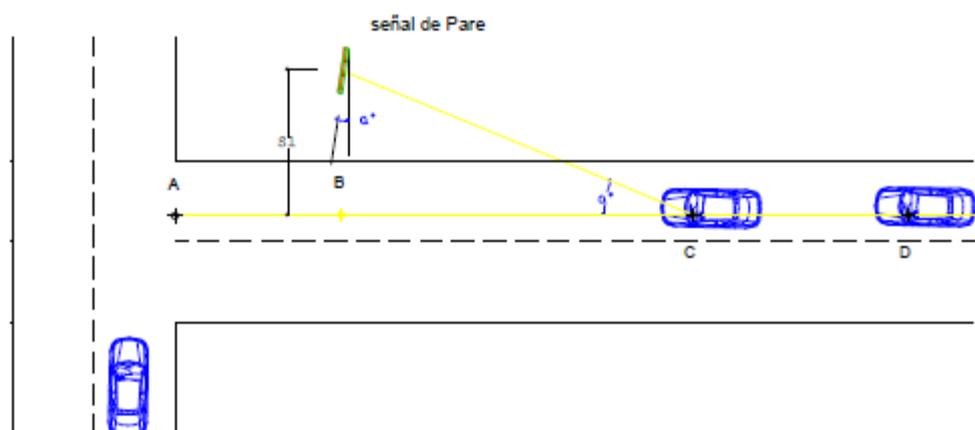
Punto D: Lugar de percepción
 Distancia CD: Lectura y Comprensión
 Distancia AC: Reacción y Frenado
 $\alpha^\circ =$ Límite de reflexión

$$AB = AC - BC$$

Pero: $AC = Df = \frac{Vxt}{3.6} + \frac{V^2}{254(f \pm i)}$ y $BC = \frac{Sl}{\text{tg}.a^\circ}$

Por lo tanto:

$$AB = \frac{Vxt}{3.6} + \frac{V^2}{254(f \pm i)} - \frac{Sl}{\text{tg}.a^\circ}$$



6. CAPÍTULO 6 – CÓMPUTO DE MATERIALES

Para finalizar el estudio del presente proyecto, se realiza el cómputo métrico de los materiales necesarios para la construcción del mismo. Es necesario aclarar que el mismo se realiza en términos de “anteproyecto” con fines académicos y con la información disponible al momento del estudio, la cual será necesaria profundizar en caso de realizar un cómputo para proyecto ejecutivo

La determinación de un cómputo requiere medir áreas, longitudes y volúmenes de la obra que permitan determinar la cantidad de materiales. Generalmente el cómputo se realiza midiendo sobre planos de proyecto y contrastando con la realidad, así como también conociendo el proceso y técnicas constructivas para la ejecución del mismo. Además de hacer una medición de los materiales intervinientes en la construcción de ciertas cantidades de cada tarea o ítem, se debe tener en cuenta los porcentajes de desperdicio o de imprevistos de dichos materiales por roturas, prácticas rutinarias de traslado desde la fábrica, por prácticas del proveedor, su depósito en obra y por su colocación definitiva. El porcentaje asignado dependerá de la economía del material y de la exactitud de los procesos empleados para construir dicho ítem (tecnología disponible).

6.1. Itemizado de tareas y materiales

Se definirán materiales y tareas generales intervinientes que serán necesarias para la construcción de la obra como se la proyectó. Se reitera que los ítems enlistados a continuación tienen carácter de anteproyecto con fines académicos, por lo que están sujetos a un mayor estudio pormenorizado al momento de desarrollarse como proyecto ejecutivo.

La información básica descriptiva de cada ítem será distinta para cada tramo de la obra, se consideran dos secciones tipo que se computará en volumen por metro lineal [m^3/m], y las alcantarillas se computarán por unidad.

6.1.1. Excavaciones

Este trabajo consiste en toda excavación necesaria para la construcción del camino, remoción de plantas y arbustos, pastos, yuyos, cañaverales, desmonte, etc. Toda maleza y suelo extraído en las excavaciones ejecutadas no serán utilizadas para terraplenes, por lo que, a la hora de ejecutar el proyecto, se deberá tener en cuenta la correcta disposición del material.

6.1.2. Terraplén

Como se puede observar en los planos adjuntos, toda la obra vial se encuentra sobre terraplenes. Estos se construirán con material estabilizado correspondiente.

6.1.3. Bases y sub-bases estabilizadas

Corresponde a la construcción de bases y sub-bases de acuerdo al cálculo estructural ejecutado en el Capítulo 5, con los espesores correspondientes. Constituida con agregados pétreos con o

sin incorporación de suelo cohesivo y con la compactación que será indicada en el pliego correspondiente.

6.1.4. Carpeta de concreto asfáltico en caliente, incluido riego de liga.

Cómputo de la superficie que representa la capa de concreto asfáltico a lo largo del trazado proyectado, en el área que corresponda. Su medición surge del ancho y espesor especificado en el Capítulo 5.

6.1.5. Pavimento de hormigón H-21

Cómputo de la superficie que representa la capa de concreto rígido a lo largo del puente badén. Su medición surge del ancho y espesor especificado en el Capítulo 5. La resistencia del hormigón (H-21) deberá cumplir o superar la resistencia mecánica indicada en el cálculo según Reglamento CIRSOC.

6.1.6. Hormigón H-21- Alcantarillas y elementos de protección de ribera

Se contabilizan los volúmenes de hormigón requerido para la construcción de las alcantarillas bajo el puente badén, previstas en el Capítulo correspondiente. La resistencia del hormigón (H-21) deberá cumplir o superar la resistencia mecánica indicada en el cálculo según Reglamento CIRSOC.

6.1.7. Hormigón de elementos de protección de ribera

Se considera el hormigón utilizado para la construcción de las alas a los laterales del puente badén como protección de ribera. Para las mismas se tendrá en cuenta el área considerada según lo proyectado con hormigón H-21, y los sectores donde se dispondrá de hormigón ciclópeo.

La resistencia del hormigón (H-21) deberá cumplir o superar la resistencia mecánica indicada en el cálculo según Reglamento CIRSOC.

6.1.8. Cordones de hormigón

Se computan los cordones de hormigón que se dispondrán como cordón banquina, y además, los bloques de este material que se utilizarán como separadores de seguridad para la ciclovía proyectada.

6.1.9. Acero ADN 420

Se consideran todos los aceros, ya sea en barras o mallas, utilizadas en las obras a construir de hormigón armado: Alcantarillas y Pavimento rígido principalmente.

La forma y distribución de las barras de armaduras que se consignan en los planos respectivos, corresponden a las mínimas secciones del material requeridas.

6.1.10. Baranda peatonal metálica, acero flexible

Comprende la ejecución de una baranda peatonal lineal bordeando principalmente la superficie sobre el puente badén, para la protección de caídas de transeúntes y ciclistas.

6.2. Tablas resúmenes de computo

Los precios se toman a junio del 2024 como mes de referencia.

Tabla 22: Cómputo y precio de paquete estructural de pavimento asfáltico por metro lineal

COMPUTO SECCION TIPO 1 PAVIMENTO ASFÁLTICO					
ITEM		UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDADES	\$/Km
N°	DESIGNACIÓN DE LAS OBRAS				IMPORTES/Km
1	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA				
1.1	a) Suelo	m ³ /m	\$ 2,000.00	23.25	\$ 1,888,808.22
2	TERRAPLEN NO CLASIFICADA				
2.1	a) Suelo	m ³ /m	\$ 23,519.38	7.10	\$ 1,888,808.22
3	BASE DE ESTABILIZADO				
3.1	a) Espesor 0,15m	m ³ /m	\$ 23,519.38	1.05	\$ 730,264.99
4	SUB-BASE DE ESTABILIZADO				
4.1	a) Espesor 0,20m	m ³ /m	\$ 23,519.38	1.46	\$ 717,697.68
5	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO INCLUIDO RIEGO DE LIGA				
5.1	a) Espesor 0,05m	m ² /m	\$ 1,611.96	6.70	\$ 2,468,860.00
				TOTALES	\$ 7,694,439.11

Tabla 23: Cómputo y precio de paquete estructural de pavimento rígido

COMPUTO SECCION TIPO 2 PAVIMENTO RIGIDO					
ITEM		UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDADES	\$/Km
N°	DESIGNACIÓN DE LAS OBRAS				IMPORTES/Km
1	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA				
1.1	a) Suelo	m ³ /m	\$ 2,000.00	23.25	\$ 46,506.67
2	TERRAPLEN NO CLASIFICADA				
2.1	a) Suelo	m ³ /m	23519.38	7.10	\$ 167,066.00
3	BASE DE ESTABILIZADO				
3.1	a) Espesor 0,15m	m ³ /m	\$ 23,519.38	1.05	\$ 24,695.35
4	SUB-BASE DE AGREGADO PÉTREO Y SUELO				

4.1	a) Espesor 0,20m	m ³ /m	\$ 23,519.38	1.46	\$ 34,338.29
5	PAVIMENTO DE HORMIGÓN				
5.1	a) Espesor 0,30m H21	m ³ /m	\$ 100,000.00	2.01	\$ 201,000.00
6	CONSTRUCCIÓN DE CORDONES DE HORMIGÓN				
6.1	a) Cordón Banquina	m ³ /m	\$ 100,000.00	0.69	\$ 69,000.00
6.2	b) Cordón para Protección de Borde de Pavimento	m ³ /m	\$ 100,000.00	0.04	\$ 4,000.00
7	ACERO ESPECIAL ADN 420 COLOCADO				
7.2	a) Acero lisio Ø32	Kg/m	\$ 1,780.00	2.74	\$ 4,870.08
8	DISPOSITIVO DE PROTECCION				
8.1	a) Barrera metálica flexible	m/m	\$ 58,786.00	2.00	\$ 117,572.00
				TOTALES	\$ 669,048.39

Tabla 24: Cómputo y precio de alcantarilla

COMPUTO ALCANTARILLA						
N°	ITEM DESIGNACIÓN DE LAS OBRAS	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDADES	UNIDADES	\$
						IMPORTES
1	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA					
1.1	a) Suelo	m ³ /unidad	\$ 2,000.00	53.47	1	\$ 106,940.00
2	TERRAPLEN NO CLASIFICADA					
2.1	a) Suelo	m ³ /unidad	\$ 23,519.38	16.33	1	\$ 384,071.48
3	HORMIGON					
3.1	a) alcantarillas H21	m ³ /unidad	\$ 100,000.00	11.20	10	\$ 11,196,000.00
3.1	b) alas H21	m ³ /unidad	\$ 100,000.00	1.54	4	\$ 616,000.00
3.1	c) Bases alas H ciclópeo	m ³ /unidad	\$ 70,000.00	1.62	4	\$ 453,600.00
4	ACERO ADN 420 COLOCADO					
4.1	b) Acero AND Ø12	Kg/unidad	\$ 1,780.00	716.08	10	\$ 12,746,280.96
					TOTALES	\$ 25,502,892.44

Dando un total de 1.982.565.089 pesos argentinos lo que equivale aproximadamente al día de la fecha a 1.525.050 de dólares.

Haciendo un estudio de diversas obras realizadas en la provincia de Mendoza, se determinó que el costo de la reconstrucción del puente en la RN°40 es de USD \$6,363,636.00. Se observa que esto representa un ahorro de hasta cuatro veces en comparación con la construcción de un puente tradicional.

7. CAPÍTULO 7- CONCLUSIONES

A lo largo de todo el informe se abordó el estudio, proyecto y cálculo de un puente Badén sobre el canal Cacique Guaymallén con el objetivo de realizar una nueva alternativa de vinculación entre los departamentos de Guaymallén y Las Heras, ubicados en la Provincia de Mendoza, Argentina.

De forma secuencial se han descrito y desarrollado los pasos para la generación de un anteproyecto, con fundamentos teóricos y empíricos que dan sustento al resultado obtenido.

Se destaca una vez más, que el estudio responde a los alcances académicos de un trabajo de tesis de grado, por lo que se recuerda que muchos aspectos que completan el proyecto, principalmente vial e hidráulico, deben ser evaluados y estudiados con mayor énfasis y detalle, lo cual excede el planteo de los autores.

Queda abierta la posibilidad de analizar otras soluciones que satisfagan la necesidad que dio inicio a esta propuesta.

En conclusión, este estudio proporciona una base sólida para la toma de decisiones en relación a la necesidad de generar una mayor cantidad de alternativas viales y peatonales para comunicar un departamento con otro.

Desde el punto de vista de los autores, vemos de forma positiva la posibilidad de haber finalizado con un proyecto de esta envergadura, pudiendo aplicar todos los conocimientos adquiridos a lo largo de los años de estudio. Además, esperamos que el desarrollo del mismo, sea un gran aporte socioeconómico para los habitantes de Guaymallén y las Heras, así como para toda la población de la Provincia.

8. BIBLIOGRAFÍA

Espinoza, E. et al (2020). Apuntes teóricos – Modelo AASHTO ‘93, cátedra Vías de Comunicación II. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. República Argentina.

Espinoza, Edgardo (2020). Apuntes sobre diseño de pavimentos flexibles, basados en el curso dictado por el Ing. Oscar Cordó, de la EICAM - UNSJ. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. República Argentina.

Toledo, Marcelo (2020). Apuntes teóricos – Cátedra de Hidrología y obras hidráulicas, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. República Argentina.

Palencia, Juan Carlos (2022). Apuntes teóricos – Cómputo métrico – Cátedra de Organización y Conducción de Obras, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. República Argentina.

Dirección Nacional de Vialidad – DNV 2010 – Norma de diseño geométrico de caminos rurales

American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – Green Book, 6th Edition. Estados Unidos de América.

American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). A Guide for Design of Pavement Structures. Estados Unidos de América.

Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola, J. C. (7ma Edición). Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones-Cap 8. Universidad del Valle: Alfaomega

REFERENCIAS DIGITALES Y WEB

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INDEC

<https://www.indec.gob.ar/>

Diario Mendoza

<https://www.diariomendoza.com.ar/mendoza/el-historico-aluvion-1970-imagenes-una-tragedia>

Cuyo Noticias

<https://cuyonoticias.com/contenido/7521/a-53-anos-del-aluvion-con-24-muertos-y-perdidas-millonarias>

Diario El Sol

<https://www.elsol.com.ar/mendoza/graves-danos-causo-la-tormenta/>

Diario Clarín

https://www.clarin.com/sociedad/fuerte-temporal-lluvia-viento-granizo-mendoza-zonas-inundadas-servicios-interrumpidos_0_JAiktIMn9.html

Vialidad Nacional

[http://transito.vialidad.gob.ar:8080/SeICE_WEB/variaciones temporales.html](http://transito.vialidad.gob.ar:8080/SeICE_WEB/variaciones_temporales.html)

Todo Riesgo

<https://www.todoriesgo.com.ar/mendoza-parque-automotor>

Wikipedia

<https://es.wikipedia.org>

ANEXO A- CENSO DE ORIGEN Y DESTINO



ENCUESTA PROYECTO FINAL UTN-FRM

B *I* U  

Hola, somos alumnos de la Universidad Tecnológica Nacional, actualmente estamos cursando la última materia de la carrera Ingeniería Civil, la cual se trata de realizar un proyecto que sea útil o de ayuda a la sociedad. Nuestro trabajo se trata de realizar el levantamiento de un puente que una las localidades de El Plumerillo y El Bermejo en los departamentos de Las Heras y Guaymallén respectivamente. Para esto necesitamos conocer los intereses de las personas de esa región... Nos ayudas?

Localidad dónde recibis *

Texto de respuesta corta

¿Frecuentas las localidades de El Plumerillo y El Bermejo? *

- Sí, todos los días
- Usualmente
- Nunca o muy ocasionalmente

¿Circulas por Aristóbulo del Valle? *

- Si, todos los días
- Usualmente
- No o muy ocasionalmente

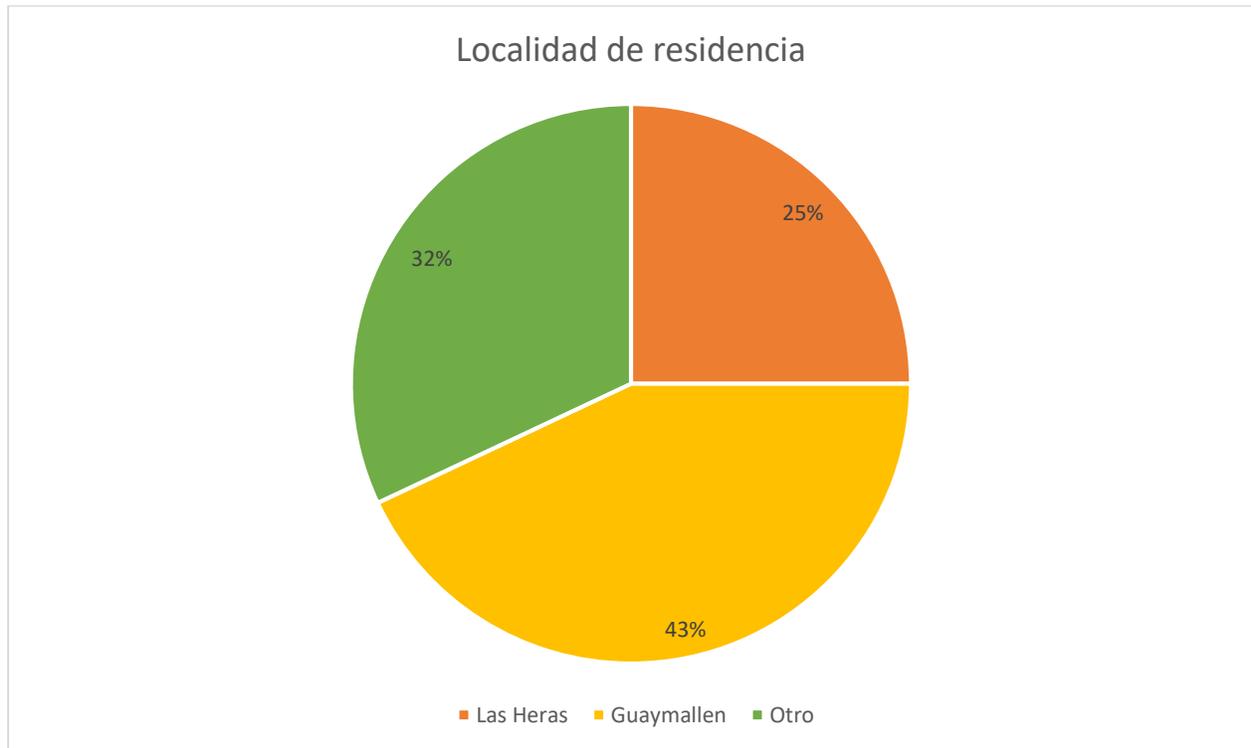
¿Por qué te dirigís por el camino de Aristóbulo del Valle? *

- Trabajo
- Recreación
- Escuela u otras obligaciones
- Otro

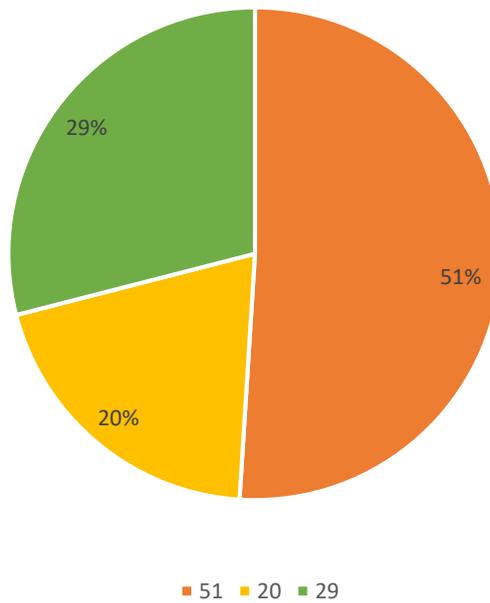
¿Sería de ayuda en tu vida cotidiana, si se realizase otra obra de intersección sobre el Cacique Guaymallén?

- Sí
- No

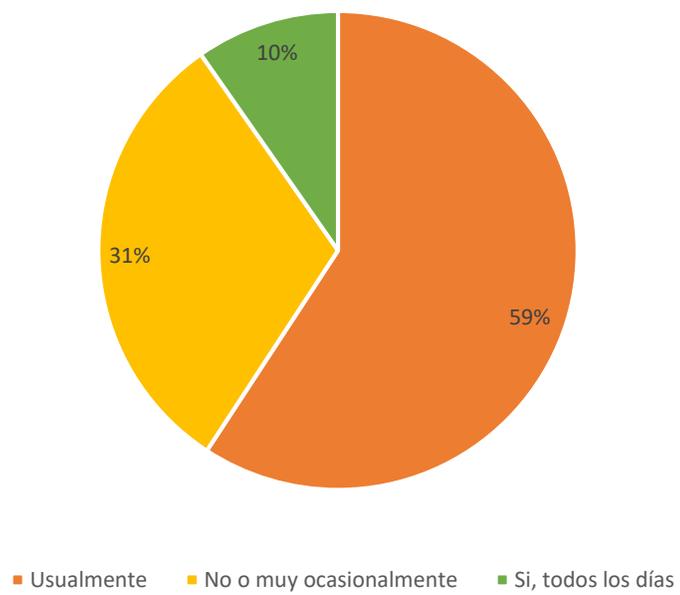
RESULTADOS OBTENIDOS



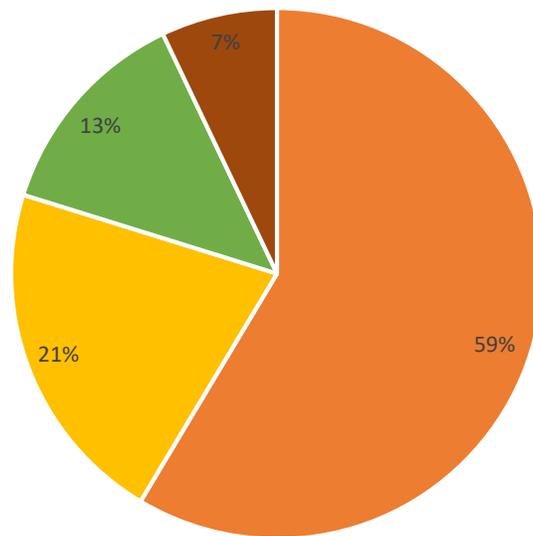
¿Frecuentas las localidades de El Plumerillo y El Bermejo?



¿Circulas por Aristóbulo del Valle?

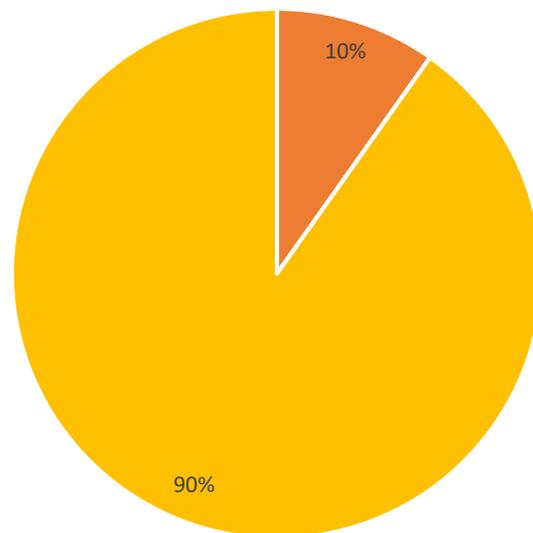


¿Por qué te dirigís por el camino de Aristóbulo del Valle?



■ Otro ■ Recreación ■ Trabajo ■ Escuela u otras obligaciones

¿Sería de ayuda en tu vida cotidiana, si se realizase otra obra de intersección sobre el Cacique Guaymallén?



■ No ■ Sí

PLANILLA DE CONTEO VEHICULAR



CALLE:	A. del Valle - M. Hayes	Esquema
INTERSECCIÓN Nº:		
TIEMPO DE SEMÁFORO:		
PARADA DE COLECTIVO (DESCRIPCIÓN):	Indicadas (.)	
LARGO DE COLA:	0 a 3 autos	
CONFLICTO CON PEATONES:	<input checked="" type="checkbox"/> No Observaciones	
DESCRIPCIÓN DE LA INTERSECCIÓN:	Semaforizada - Normal - Rotonda	
DÍA Y FECHA:	Tiempo de conteo 26.04.23	

Horario: 12:30 - 12:45

	C	A	Mo	
	C	A	Mo	Mi

Horario: 12:45 - 13:00

	C	A	Mo	Mi	B
	C	A	Mo		B

Horario: 13:00 - 13:15

	C	A	Mo	Mi	B
	C	A	Mo		B

Horario: 13:15 - 13:30

	C	A	Mo	Mi	B
	C	A	Mo		B

Código de Clasificación Vehicular

- I Auto, Pick up
- Moto
- X Bicicleta
- M Bus
- C Camión

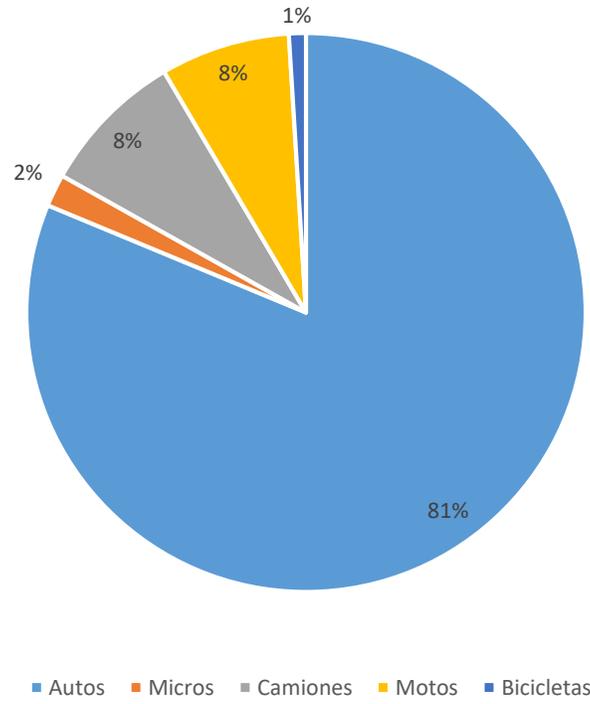
En caso de utilizar otro código de identificación aclararlo

CONTEO VEHICULAR: Aristóbulo del Valle y Mathus Hoyos

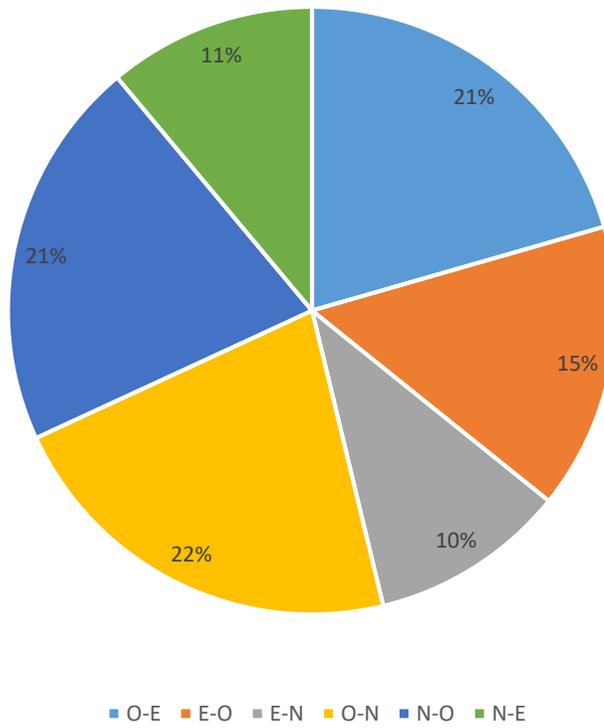
Fecha: 3/05/2023 (Miércoles)
 Horario inicio 12:30 Horario final: 13:30

MANIOBRA	VEHÍCULOS	12:30-12:45	12:45-13:00	13:00-13:15	13:15-13:30	TOTAL
O-E	Autos	35	55	65	50	205
	Micros	2	0	2	3	7
	Camiones	1	1	5	2	9
	Motos	3	1	3	3	10
	Bicicletas	1	0	0	0	1
E-O	Autos	42	29	47	34	152
	Micros	1	0	2	1	4
	Camiones	1	2	3	0	6
	Motos	2	0	6	1	9
	Bicicletas	1	0	0	0	1
E-N	Autos	20	29	23	23	95
	Micros	0	0	0	0	0
	Camiones	3	2	3	5	13
	Motos	1	2	3	2	8
	Bicicletas	0	2	0	0	2
O-N	Autos	37	42	54	48	181
	Micros	1	2	1	2	6
	Camiones	10	5	7	13	35
	Motos	6	4	9	3	22
	Bicicletas	0	1	2	0	3
N-O	Autos	45	42	52	42	181
	Micros	1		3		4
	Camiones	8	8	5	1	22
	Motos	5	4	13	3	25
	Bicicletas	0	2	1	0	3
N-E	Autos	20	27	28	22	97
	Micros	0	0	0	0	0
	Camiones	3	2	2	2	9
	Motos	5	5	3	5	18
	Bicicletas	0	0	1	0	1
Totales Horarios		252	262	339	265	1118

Composición de tránsito



Tipos de Maniobras



CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS PESADOS EN VEHÍCULOS EQUIVALENTES AUTOMÓVILES						
EQUIVALENTE	MANIOBRA	12:30-12:45	12:45-13:00	13:00-13:15	13:15-13:30	TOTALxMANIOBRA
	O-E	40	57	78	59	234
	E-O	46	33	56	36	171
	E-N	26	33	29	33	121
	O-N	59	55	70	77	261
	N-O	63	58	67	44	232
	N-E	26	31	32	26	115
TOTALxHORARIO		260	267	332	275	1134

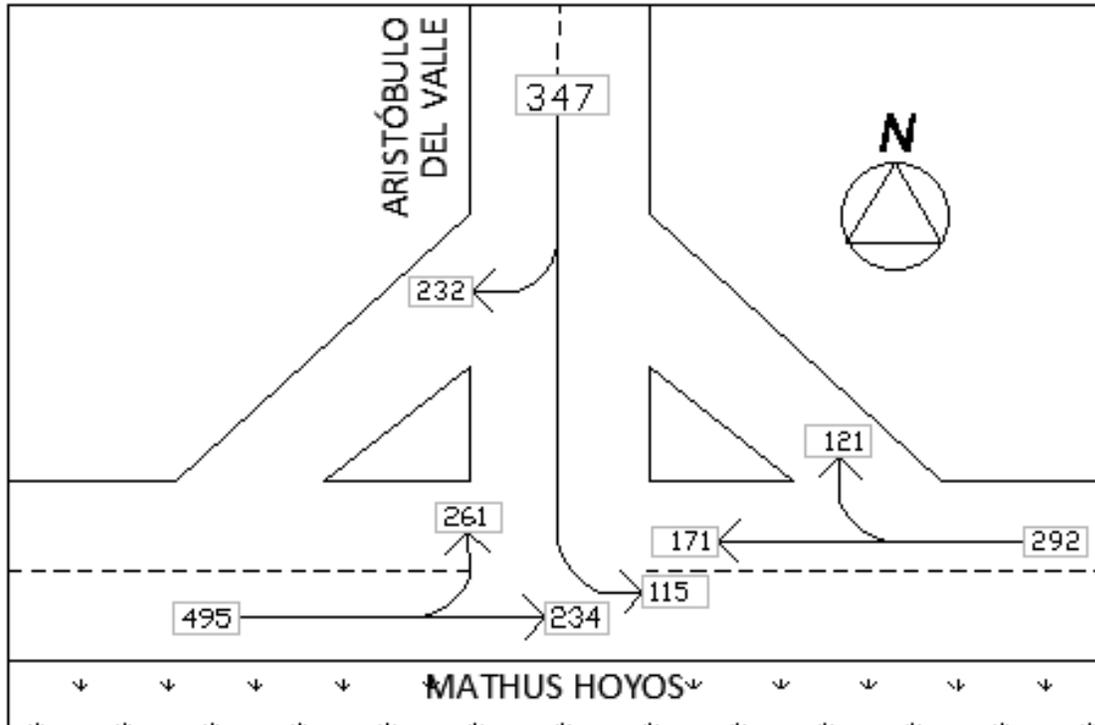
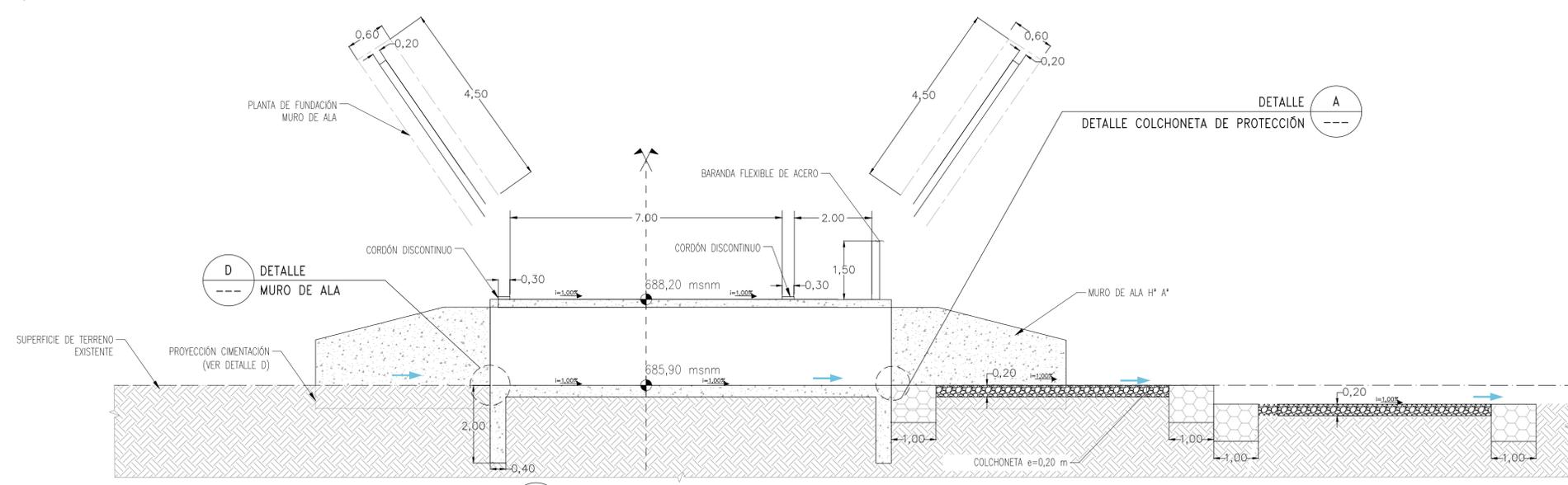


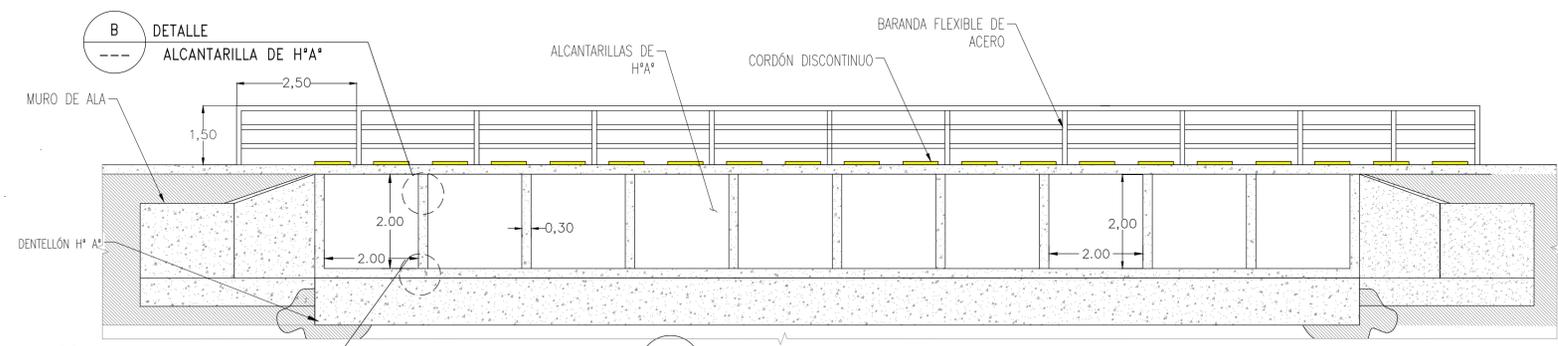
Figura 1: Flujo de vehículos



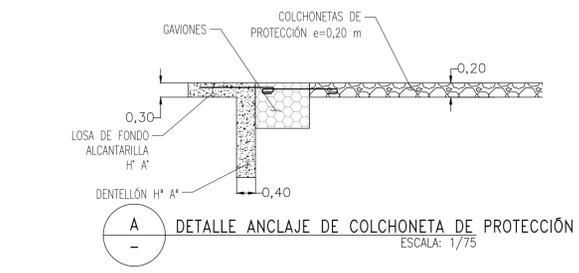
3 SECCIÓN TÍPICA PUENTE-BADÉN
PL-001 ESCALA: 1/75

LEYENDA	
	SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
	COLCHONETAS DE PROTECCIÓN
	TERRENO EXISTENTE
	CONCRETO ARMADO H= 25
	GAVIONES DE PROTECCIÓN
	GEOTEXTIL DE 300 g/m ²
	HORMIGÓN CICLOPEO f'c=13 MPa
	SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE
	ACERO ESTRUCTURAL f'y = 420 MPa (4 200 Kg/cm ²)
	FLUJO DE AGUA
	PUNTO DE CONTROL

- NOTAS:
- LA BASE TOPOGRÁFICA FUE OBTENIDA MEDIANTE PROGRAMAS COMPUTACIONALES SIG
 - TODO MATERIAL INADECUADO DEBERÁ SER REMOVIDO.
 - EL ÁREA ESTÁ UBICADA EN LA FAJA 2 DEL SISTEMA DE COORDENADAS REFERENCIA WGS-84
 - LA INFORMACIÓN PARA EL REPLANTE DEBERÁ SER APROBADA POR EL INGENIERO EN CAMPO ANTES DEL INICIO DE LA CONSTRUCCION Y VERIFICANDO LA EXISTENCIA DE INSTALACIONES NO INDICADAS EN LOS PLANOS
 - NOMENCLATURA:
e = ESPESOR EN METROS.
C = CURVAS
L = LONGITUD DE TRAMOS RECTOS
 - LA DENSIDAD IN SITU A OBTENERSE MEDIANTE LA COMPACTACION NO PODRA SER INFERIOR AL 95% O MAS DEL PROCTOR MODIFICADO.
 - EL MATERIAL DEBERÁ SER COMPACTADO EN CAPAS HORIZONTALES DE 0,15 m DE ESPESOR FINAL.
 - TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN METROS (m) SALVO QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.



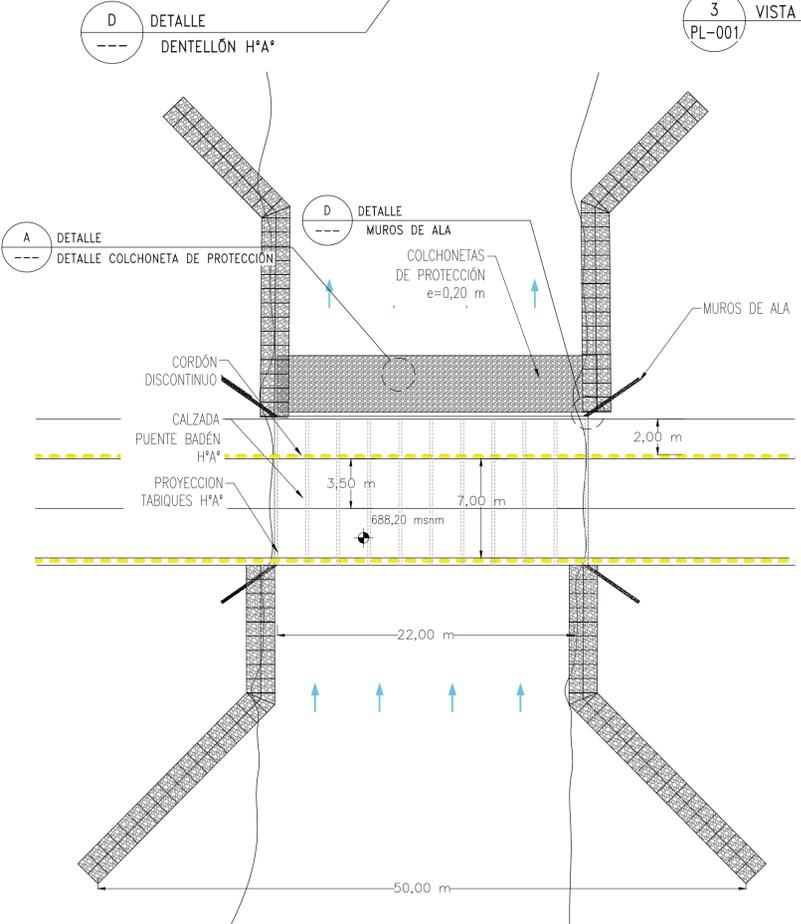
3 VISTA FRONTAL PUENTE-BADÉN
PL-001 ESCALA: 1/75



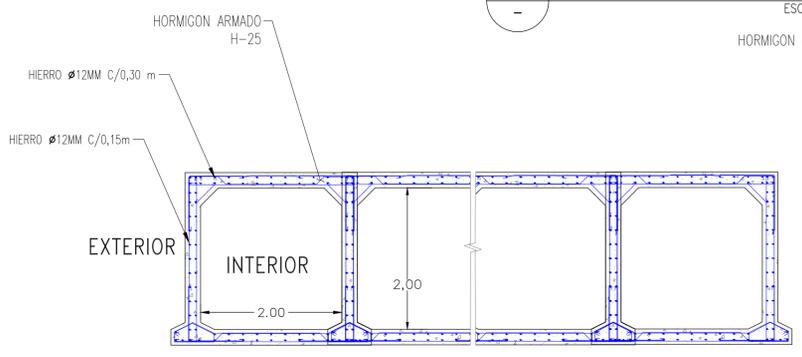
DETALLE ANCLAJE DE COLCHONETA DE PROTECCIÓN
ESCALA: 1/75



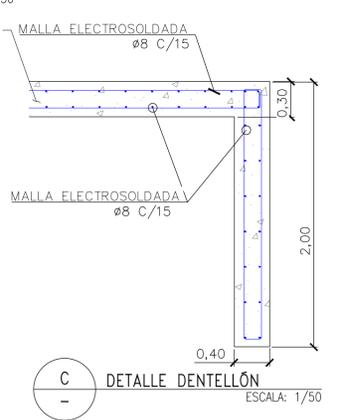
DETALLE COLCHONETA DE PROTECCIÓN
ESCALA: 1/50



DETALLE MURO DE ALA
ESCALA: 1/50

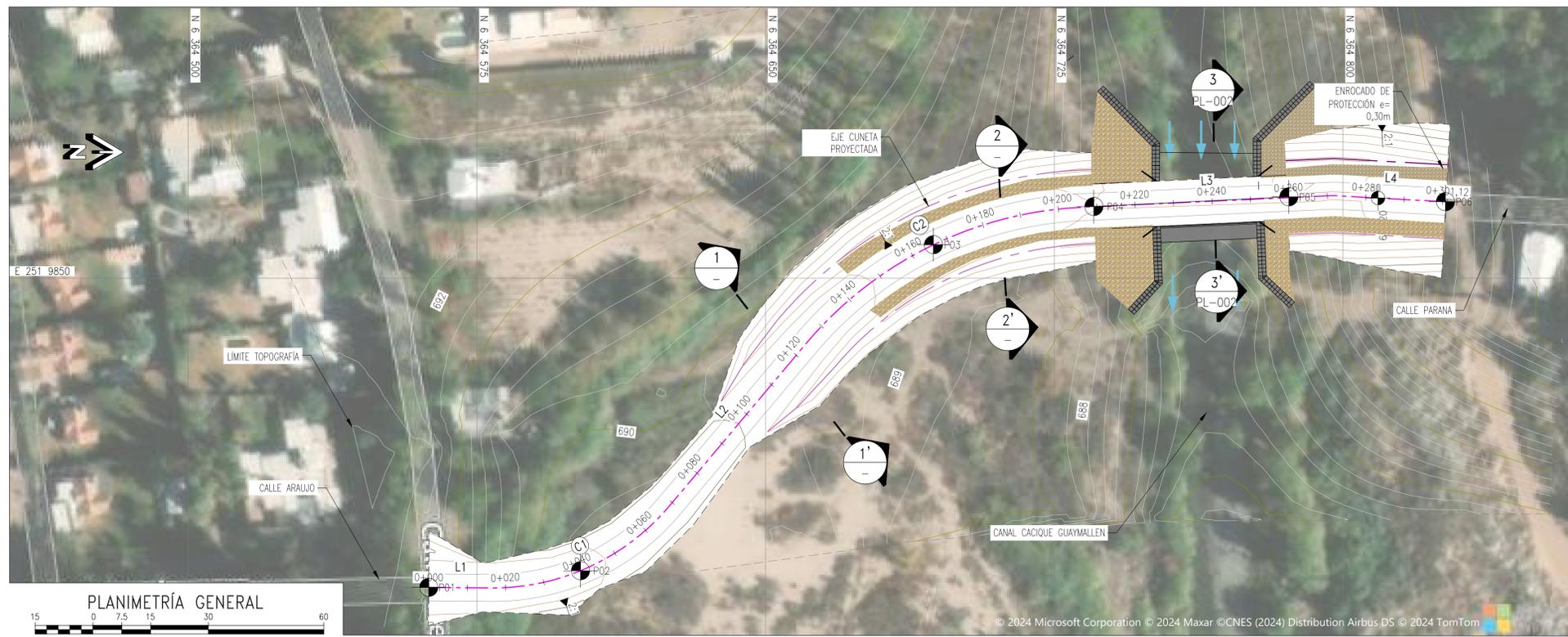


DETALLE ALCANTARILLA H*A*A*
ESCALA: 1/50



DETALLE DENTELLÓN
ESCALA: 1/50

CATEDRÁ:	PROYECTO FINAL	INTEGRANTES:	UTN FACULTAD REGIONAL MENDOZA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
TUTOR:	HELVIO GRILI	1. Pagliofora Juan 2. Bianco, Juan Pablo 3. Massuzo, Macarena 4. Alvarez, Renzo	
ESCALA:	INDICADA	NOMBRE DEL PROYECTO:	
GRUPO N°1	AÑO: 2024	NÚMERO DE PLANO: PL-002	
5° AÑO			SECCIONES Y DETALLES TIPO DE PUENTE-BADEN
			REV. 0



PLANIMETRÍA GENERAL
ESCALA 1 : 750

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE (VER NOTAS 1)
	EJE DE PROYECTO
	EJE DE PROYECTO
	SUPERFICIE DE TERRENO EXISTENTE (EN PERFIL)
	SUPERFICIE DE RASANTE DE CAMINO (EN PERFIL)
	FLUJO DE AGUA
	CARPETA ASFALTICA
	TERRENO EXISTENTE
	COLCHONETAS DE PROTECCIÓN
	ENROCADOS DE PROTECCIÓN
	CONCRETO ARMADO H- 25
	ESTABILIZADO
	PUNTO DE CONTROL

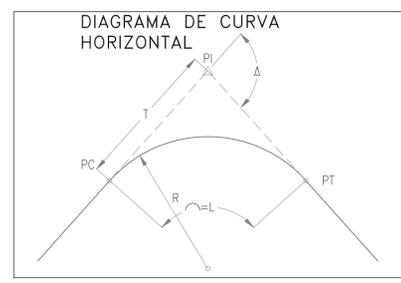
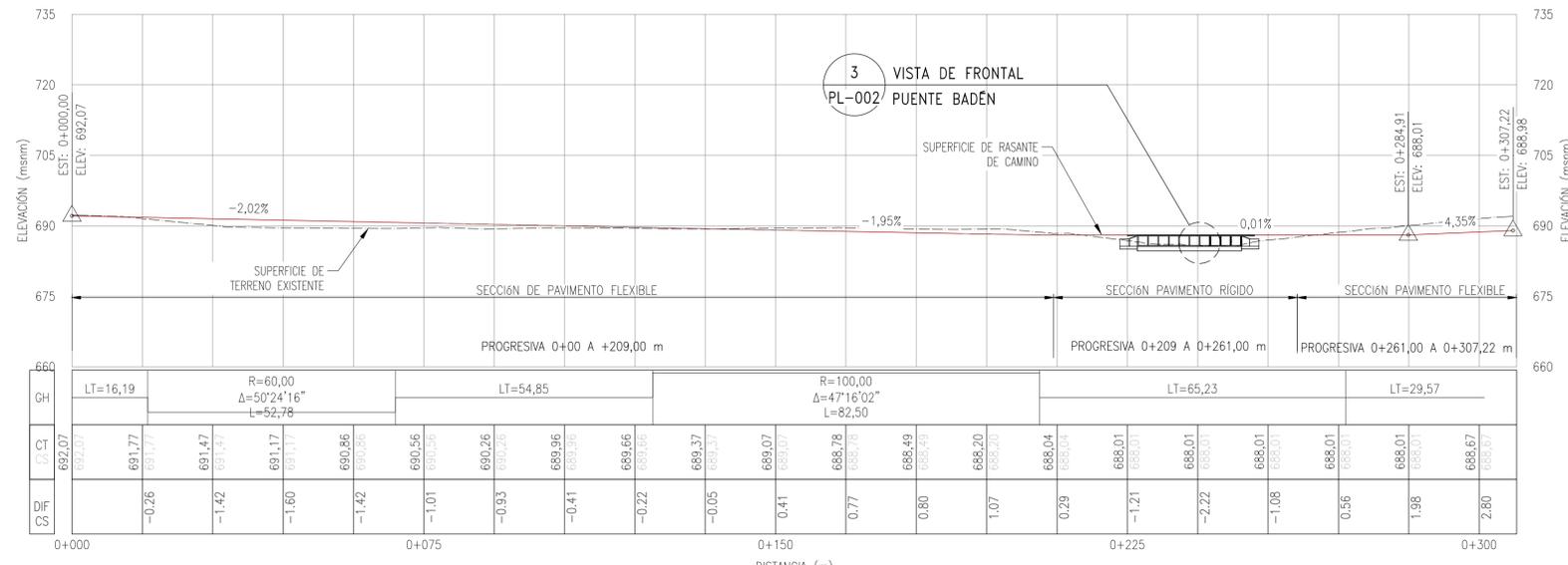


TABLA 01
ELEMENTOS DE CURVA

ID	R	Δ	T	L
C1	60,00	50°24'16"	28,24	52,78
C2	100,00	47°16'02"	43,76	82,50

TABLA 02
COORDENADAS DE PUNTOS DE CONTROL

PUNTO	NORTE	ESTE
P01	6 364 562	2 519 905
P02	6 364 602	2 519 900
P03	6 364 694	2 519 816
P04	6 364 735	2 519 806
P05	6 364 786	2 519 803
P06	6 364 827	2 519 805

TABLA 03
CONTROL HORIZONTAL DEL EJE

LÍNEA	LONGITUD	PUNTO INICIAL	PUNTO FINAL
L1	16,19	0+000,00 PROG. 2 519 904,69 E 6 364 562,49 N	0+016,19 PROG. 2 519 904,83 E 6 364 578,68 N
L2	54,85	0+068,97 PROG. 2 519 883,48 E 6 364 625,10 N	0+123,82 PROG. 2 519 841,52 E 6 364 660,43 N
L3	65,23	0+206,32 PROG. 2 519 806,04 E 6 364 732,33 N	0+271,55 PROG. 2 519 803,04 E 6 364 797,49 N
L4	29,57	0+271,55 PROG. 2 519 803,04 E 6 364 797,49 N	0+301,12 PROG. 2 519 804,66 E 6 364 827,01 N

- NOTAS:**
- LA BASE TOPOGRÁFICA FUE OBTENIDA MEDIANTE PROGRAMAS COMPUTACIONALES SIG
 - TODO MATERIAL INADECUADO DEBERÁ SER REMOVIDO.
 - EL ÁREA ESTÁ UBICADA EN LA FAJA 2 DEL SISTEMA DE COORDENADAS REFERENCIA WGS-84
 - LA INFORMACIÓN PARA EL REPLANTEO DEBERÁ SER APROBADA POR EL INGENIERO EN CAMPO ANTES DEL INICIO DE LA CONSTRUCCIÓN Y VERIFICANDO LA EXISTENCIA DE INSTALACIONES NO INDICADAS EN LOS PLANOS
 - NOMENCLATURA:
e = ESPESOR EN METROS.
C = CURVAS
L = LONGITUD DE TRAMOS RECTOS
 - LA DENSIDAD IN SITU A OBTENERSE MEDIANTE LA COMPACTACIÓN NO PODRÁ SER INFERIOR AL 95% O MÁS DEL PROCTOR MODIFICADO.
 - EL MATERIAL DEBERÁ SER COMPACTADO EN CAPAS HORIZONTALES DE 0.15 m DE ESPESOR FINAL.
 - TODAS LAS DIMENSIONES SE ENCUENTRAN EN METROS (m) SALVO QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.

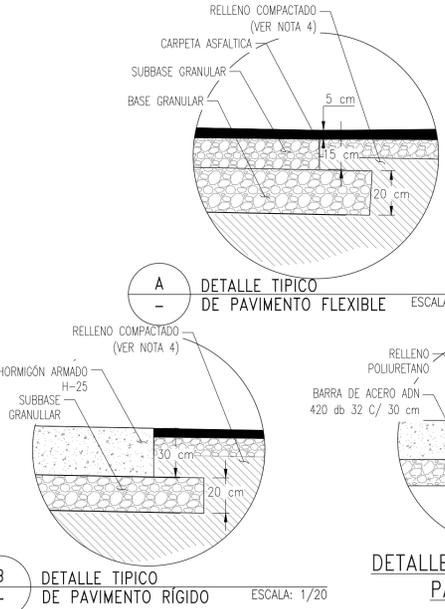
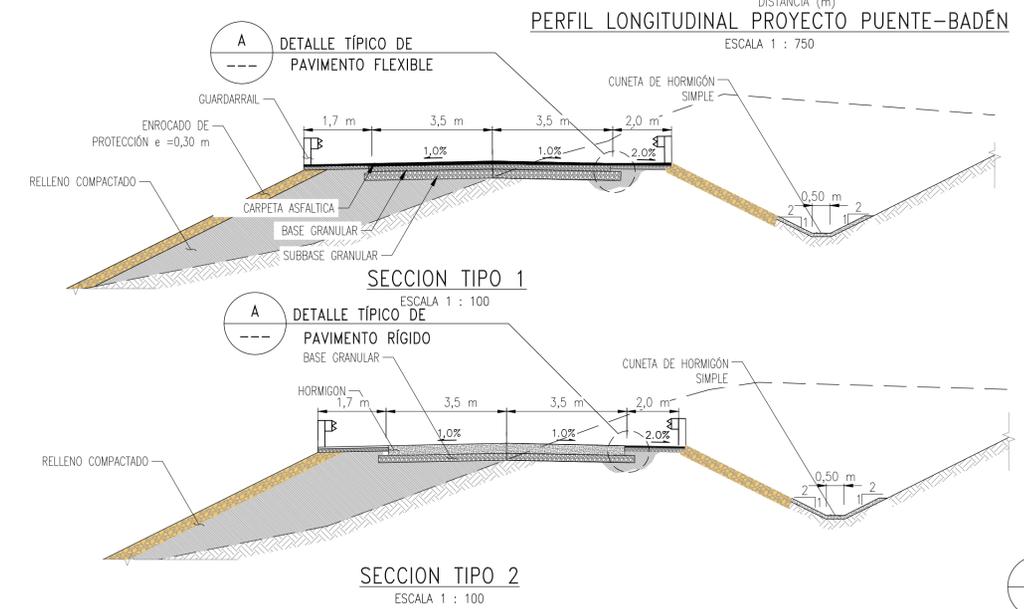


TABLA 04
MOVIMIENTO DE TIERRAS

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (m³)
MATERIAL EN CORTE	6747
MATERIAL DE RELLENO	2132
ENROCADOS DE PROTECCIÓN	122

CATEDRA:	PROYECTO FINAL	INTEGRANTES:	1. Pagliaro Juan 2. Bianco, Juan Pablo 3. Massuzo, Macarena 4. Alvarez, Renzo
TUTOR:	HELVIO GRILI	NOMBRE DEL PROYECTO:	CONEXIÓN GUAYMALLÉN - LAS HERAS PUENTE - BADÉN PLANTA Y SECCIONES
ESCALA:	INDICADA	NÚMERO DE PLANO:	PL-001
GRUPO N°1	5° AÑO	AÑO:	2024
			REV. 0

