

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SALTA
FACULTAD DE INGENIERIA



PROYECTO FINAL DE GRADO – INGENIERIA CIVIL

**“Diseño de un camino alternativo, desde la Circunvalación
Noroeste hasta la avenida costanera del Rio Vaqueros, Salta”**

ALUMNOS:

- MACEDO GAUFFIN, MARTIN
- PREMOLI VACA, MARTIN

Alumnos:



Macedo Gauffin, Martin



Premoli Vaca, Martin Ignacio

Profesor guía:



Ing. Macedo, Gonzalo

Tribunal Evaluador:

Ing. Merani, Celina Inés

Ing. Alarcón, Carla

Ing. Koziol, Ariel

Fecha de exposición: ____ / ____ / ____

Agradecimiento

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización del presente trabajo.

En primer lugar, al Ing. Ramiro Reyes, profesor de la cátedra de Carreteras, quien no solo nos acompañó en la resolución de cada duda a lo largo del proyecto, sino que también despertó en nosotros el interés y la motivación por el área vial, transmitiéndonos su conocimiento y pasión por la ingeniería.

A Jorge Saravia, laboratorista de la Dirección de Vialidad de Salta (DVS), por su excelente predisposición y dedicación al momento de enseñarnos y mostrarnos la ejecución de los distintos ensayos, tanto en laboratorio como in situ, aportando de manera fundamental a nuestra formación práctica.

Al agrimensor José Carletto, de la DVS, por su tiempo y compromiso al enseñarnos el manejo del GPS de obra para el relevamiento, así como también por su constante apoyo en la resolución de dudas relacionadas con el uso del software Civil 3D.

A nuestro profesor guía, Ing. Gonzalo Macedo, por su acompañamiento permanente durante todo el desarrollo de la tesis, brindándonos orientación, resolviendo nuestras inquietudes y acercándonos a la realidad de obra mediante visitas y explicaciones en campo.

Asimismo, queremos agradecer a todos aquellos compañeros y profesores que, con sus aportes y sugerencias, contribuyeron a la concreción de este proyecto.

Finalmente, extendemos un especial agradecimiento a nuestras familias y amigos, quienes nos acompañaron en todo momento, brindándonos su apoyo incondicional durante este proceso.

Contenido

Capítulo 1: Introducción.....	6
Objetivos Generales	10
Objetivos Específicos	11
Alcances	11
Capítulo 2: Transito	12
2.1 Información del Transito	12
2.2 Tasa de Crecimiento	14
2.3 Transito futuro	14
Capítulo 3: Geotecnia	17
3.1 Topografía del terreno	17
3.2 Trazado del camino	18
3.3 Estudio de Suelo	18
3.4 Conclusiones.....	31
Capítulo 4: Diseño Geométrico	33
4.1 Introducción.....	33
4.2 Parámetro de Diseño.....	33
4.3 Esquema General de la Traza	34
4.4 Perfil Transversal.....	35
4.5 Curvas Horizontales	36
4.6 Curvas Verticales.....	42
4.7 Conclusiones.....	46
Capítulo 5: Diseño del paquete estructural.....	47
5.1 Introducción: Tipo de pavimento	47
5.2 Diseño estructural	48
5.3 Método AASHTO	48
5.4 Método Shell	62
5.5 Comparación entre los métodos AASHTO y Shell	65
Capítulo 6: Intersecciones	67
6.1 Introducción	67
6.2 Justificación del Tipo de Intersección	68
6.3 Rotondas Modernas	70
6.4 Diseño Geométrico	71
6.5 Parámetros de la RM	74
6.6 Trayectorias de los vehículos y velocidad asociada	78

6.7 Visibilidad.....	79
6.8 Conclusión.....	81
Capítulo 7: Puente	82
7.1 Introducción.....	82
7.2 Hidrología del Rio Vaqueros.....	82
7.3 Consideraciones del Diseño	87
7.4 SUPERESTRUCTURA	89
7.5 SUBESTRUCTURA	91
7.6 Pre dimensionado de vigas	93
7.7 Conclusión.....	94
Capítulo 8: Impacto Ambiental	95
8.1 Introducción.....	95
8.2 Marco Legal.....	95
8.3 Determinación y Mitigación de posibles impactos ambientales	100
Capítulo 9: Computo y Presupuesto	103
Capítulo 10: Visualización del proyecto mediante Infra Works	110
ANEXO	114

Capítulo 1: Introducción

En la provincia de Salta se enfrentan desafíos significativos en materia de infraestructura vial, con un notable aumento del tráfico vehicular en puntos estratégicos que afecta la seguridad, la conectividad y el desarrollo económico de la región. Ante esta problemática, la presente tesis propone una solución innovadora que contribuye al descongestionamiento del tráfico, promueve el desarrollo turístico y económico, y mejora la infraestructura vial de la provincia.

El proyecto se centra en una carretera alternativa que conecta la nueva Circunvalación Noroeste con la Ruta Nacional N°9, abordando las deficiencias actuales del sistema vial en el noroeste de la ciudad de Salta.

La Circunvalación Noroeste, de aproximadamente 6 kilómetros de longitud, es un elemento clave del plan de desarrollo vial de la provincia, diseñada para mejorar la fluidez del tránsito, reducir los tiempos de viaje, y facilitar el transporte de mercancías hacia otras provincias y países vecinos.

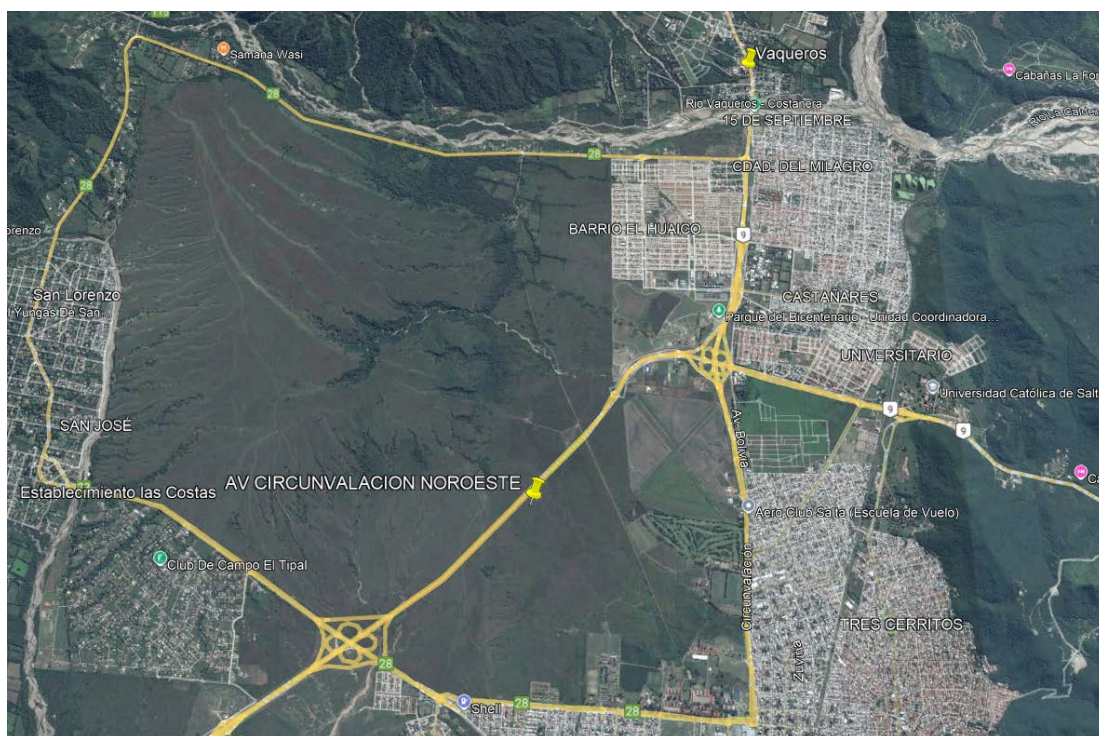


Ilustración I. Nuevo tramo circunvalación noroeste inaugurada en el año 2023

En el marco del fortalecimiento de la infraestructura vial del área metropolitana de Salta, se ejecutó recientemente una obra estratégica que vincula la Avenida de la Memoria, Verdad y Justicia donde se encuentra emplazado el Poder Judicial de la Provincia, con la nueva Circunvalación Noroeste. Esta obra fue inaugurada en marzo del año 2025 y representa un avance significativo en términos de conectividad y descongestión del tránsito urbano.

El nuevo tramo tiene una extensión total de aproximadamente 1.800 metros. Parte desde la colectora de la Circunvalación Noroeste y se desarrolla inicialmente en línea recta durante 1.200 metros bordeando el Parque Bicentenario, hasta llegar a una rotonda. A partir de allí, continúa 600 metros adicionales en dirección este, hasta empalmar con el tramo existente de la Avenida de la Memoria.

El diseño de la traza contempla una circulación fluida y segura, facilitando el acceso entre dos arterias viales de creciente importancia. La inclusión de una rotonda en lugar de una curva responde a una decisión estratégica de planificación: permite, a futuro, continuar el tramo recto más allá de su punto actual de finalización, posibilitando su prolongación hasta conectar con la ruta provincial 28. Esta previsión refuerza la flexibilidad del diseño vial y responde a una visión a largo plazo del desarrollo urbano y territorial de la región.

En conjunto, esta conexión mejora la accesibilidad en el sector norte de la ciudad, favorece la descongestión del tránsito en vías saturadas y constituye un complemento funcional a la nueva Circunvalación Noroeste, integrando coherentemente el trazado propuesto en esta tesis.

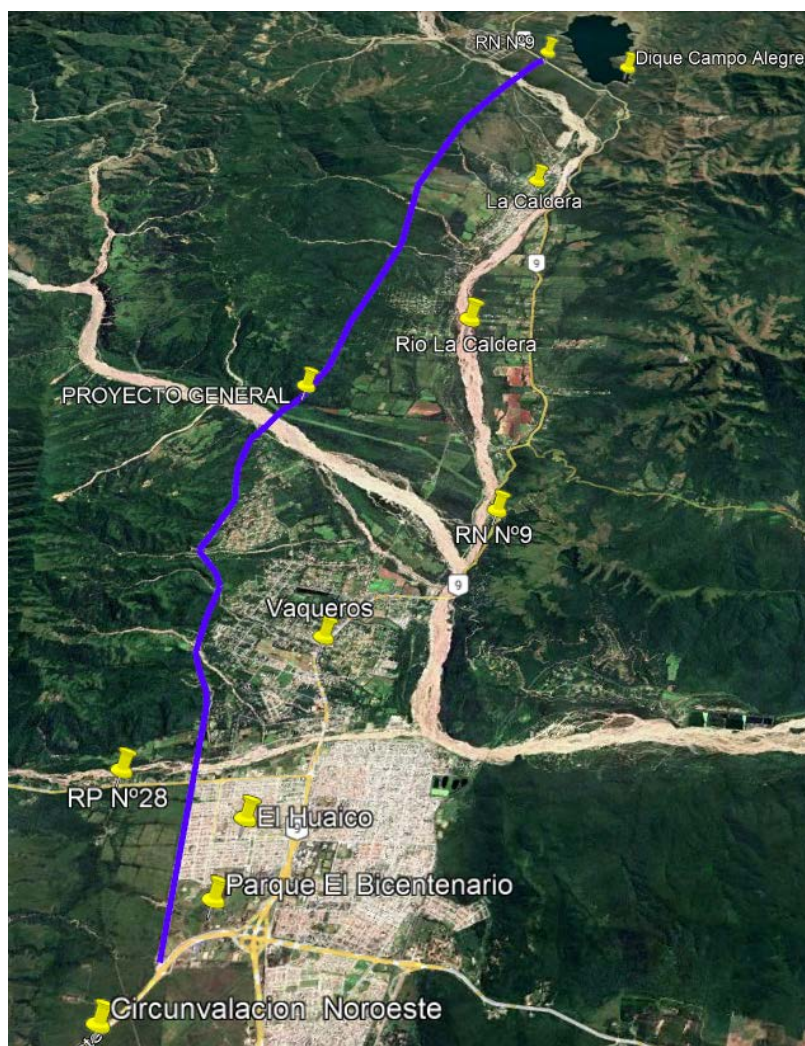


Ilustración II. Tramo inaugurado que conecta con la Avenida de la Memoria, Verdad y Justicia.

Por otro lado, la localidad de Vaqueros ha experimentado un notable crecimiento urbano en los últimos años, lo que ha generado una saturación vehicular cada vez más marcada en el sector de la Ruta Nacional N°9 que atraviesa la zona. En particular, el tramo correspondiente al puente sobre el río Vaqueros construido en 1913, que presenta un ancho de calzada de apenas 6 metros, insuficiente para la demanda actual de tránsito. Según datos de la Dirección de Vialidad de Salta, el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) en el tramo entre la Rotonda del Quirquincho (RP N°28) y Vaqueros es de 15.067 vehículos, con una composición del 92,92% correspondiente a automóviles y pick-ups, y un 7,07% a camiones pesados. Sin embargo, estos valores son menores en comparación con años anteriores, no debido a una menor movilidad general, sino como consecuencia de los reiterados embotellamientos y del mal estado de la Ruta Nacional N°9 en el tramo que va desde Vaqueros hasta Campo Alegre.

Dicho tramo presenta características propias de una ruta de cornisa, con una calzada estrecha de un solo carril para ambos sentidos, sin banquetas seguras, y con condiciones geométricas y de mantenimiento que limitan la seguridad y la fluidez del tránsito. Esta situación ha llevado a que cada vez más conductores, especialmente de vehículos de carga, opten por rutas alternativas como la RN N°34 a través de General Güemes, y posteriormente la RN N°66 en dirección a la provincia de Jujuy, donde se vuelve a unir con la RP N°9. De esta manera estamos desalentando el uso del tramo de la RP N°9 que va de Vaqueros a Jujuy, revelando una pérdida de funcionalidad de esta vía como corredor principal. (IMÁGENES EN ANEXO I)

En este contexto, la propuesta general plantea una solución vial concreta: un nuevo trazado de aproximadamente 17 kilómetros que vincule la Circunvalación Noroeste con la Ruta Nacional N° 9, a la altura del kilómetro 1629, en cercanías del Dique Campo Alegre. El corredor proyectado inicia en la Circunvalación Noroeste, bordea el Parque del Bicentenario y el barrio El Huaico, cruza la RP N° 28 y continúa hacia el norte, atravesando los ríos Vaqueros, Wierna y La Caldera mediante la construcción de nuevos puentes. Posteriormente recorre sectores de cornisa hasta empalmar con la RN N° 9 en las proximidades de Campo Alegre.



Ilustracion III. Propuesta General

Si bien la traza proyectada no atraviesa directamente la localidad de Vaqueros, su función no es sustituir completamente el trazado actual, sino brindar una opción más eficiente y segura para determinados flujos de tránsito. Por un lado, los vehículos livianos que requieran ingresar a Vaqueros o transitar por el camino de cornisa podrán seguir haciéndolo; por otro, los vehículos pesados o de tránsito pasante contarán con una vía alternativa de características adecuadas, evitando los cuellos de botella, disminuyendo el riesgo de accidentes y optimizando los tiempos de viaje. Esta segmentación funcional del tránsito contribuye directamente a descongestionar la RN N°9 en el área urbana, sin sacrificar la conectividad de la zona y fomentando el desarrollo regional.

En nuestro caso particular el estudio se centra solamente en el primer tramo de esta propuesta integral. Específicamente, se analiza el sector comprendido desde la Circunvalación Noroeste hasta el cruce del río Vaqueros, donde se proyectó una rotonda que permitirá la conexión con una nueva avenida costanera destinada a vincular este corredor con la localidad de Vaqueros. Esta etapa constituye el eslabón inicial de la alternativa completa y funciona como base para la expansión futura del resto del trazado propuesto.

Esta propuesta se enmarca también dentro de los lineamientos del Plan Integral de Desarrollo Urbano Ambiental (PIDUA II), vigente desde 2019, el cual promueve una ciudad compacta, integrada y multifocal, con énfasis en la sustentabilidad urbana y territorial. En este sentido, la nueva traza proyectada no solo contribuye a descongestionar sectores críticos del tercer anillo de circulación —como lo es la entrada a Vaqueros— sino que también mejora la articulación vial regional, reduce el impacto ambiental del tránsito pesado en zonas urbanizadas, y promueve un crecimiento ordenado de la periferia. Al ofrecer una infraestructura vial moderna y eficiente, se favorece la integración metropolitana, se optimiza la movilidad intermunicipal y se respalda el desarrollo económico y turístico de la región noroeste de Salta en concordancia con los principios rectores del PIDUA.



Ilustración IV. Anillos viales de la ciudad de Salta

En conclusión, la carretera proyectada no solo optimiza la infraestructura vial de la provincia, sino que también tiene un impacto positivo en la calidad de vida de los usuarios y el desarrollo económico y turístico de Salta, reafirmando el compromiso con un modelo de crecimiento sustentable y planificado.

Objetivos Generales

Desarrollar el diseño de una carretera que conecte la ciudad de Salta con la localidad de Vaqueros, destinada a mejorar la conectividad regional, optimizar la seguridad vial y garantizar condiciones adecuadas para el tránsito vehicular y peatonal.

Objetivos Específicos

- Elaborar el diseño geométrico del trazado principal conforme a la normativa vigente.
- Diseñar intersecciones mediante rotondas que optimicen la seguridad y fluidez del tránsito.
- Diseñar un puente sobre el río Vaqueros que cumpla con criterios estructurales e hidráulicos.
- El presente trabajo comprende el predimensionamiento y análisis funcional del puente sobre el río Vaqueros, considerando criterios estructurales e hidráulicos generales que aseguren su factibilidad y adecuación al entorno.
- Definir la obra básica y el paquete estructural acorde a las condiciones del terreno y al tránsito proyectado.
- Identificar los impactos ambientales asociados y proponer medidas de mitigación.
- Estimar costos de construcción a nivel de diseño mediante cómputo métrico y presupuesto.

Alcances

El alcance del presente proyecto se limita a la etapa de diseño. Comprende:

- Relevamiento topográfico parcial mediante técnicas GPS, complementado con modelación digital del terreno en CivilCad 3D e Infraworks.
- Desarrollo del diseño geométrico, limitado a planialtimetría, altimetría, parámetros de diseño y peraltes.
- Diseño preliminar de una rotonda dentro del trazado.
- Diseño preliminar del puente sobre el río Vaqueros, restringido al predimensionado de vigas principales y a la verificación de altura libre frente a crecidas y socavación.
- Estudio del suelo según la normativa de la Dirección Nacional de Vialidad, con ensayos de laboratorio representativos.
- Definición del paquete estructural (subrasante, subbase, base y carpeta asfáltica).
- Identificación de impactos ambientales y propuesta de medidas generales de mitigación.
- Elaboración de planos básicos y estimación de presupuesto de obra.

Capítulo 2: Transito

El objetivo de este capítulo es recopilar información relevante que sirva como base para el análisis, los cálculos y la interpretación de resultados.

2.1 Información del Transito

El tránsito es un elemento crucial en la realización de cualquier proyecto vial, dado que influye en el diseño y en la evaluación económica del mismo. Es fundamental caracterizar el tránsito en función de su magnitud y composición. Para llevar a cabo una evaluación económica adecuada, es esencial conocer el tránsito que se beneficiará de la mejora o proyecto en cuestión, ya que de esto dependerán los beneficios que experimentarán los usuarios al transitar por ese tramo en particular, y se podrá determinar si el proyecto es viable o no.

El volumen, la composición, la distribución y la velocidad del tránsito, junto con la topografía, influyen en varios aspectos del diseño geométrico de una carretera, como los radios y peraltes de las curvas horizontales, los parámetros de las curvas verticales, las pendientes y el ancho de la calzada, entre otros.

El Tránsito Medio Diario Anual es una medida fundamental del tránsito y en el sentido estricto se define como el volumen de tránsito total anual dividido por el número de días del año generalmente se abrevia T.M.D.A.

Presentamos los datos brindados por Vialidad de la provincia sobre el T.M.D.A.

Dirección de Vialidad de Salta
 Depto. Planificación Vial y Concesiones



Nº Ruta	Red	Jurisdicción	Límites del tramo	Progresiva Inicio	Progresiva Final	Progresiva Ubicación contador	TMDA Vehículos/día	Composición Vehicular %					Tipo calzada	Sentido tránsito	Observaciones	Longitud tramo (m)	Año
								Autos %	Bus %	Camión Liv. %	Camión con Acoplado %	Semi %					
Circunvalación N.O.	Primaria	Provincia de Salta	Avda. Bolivia a RP28	0	5.000	3.000	18.266	90,51%	1,27%	4,38%	2,74%	1,00%	Pavimentado	Ambas	Censo de 6 días	5.000	2025
RP 28	Primaria	Provincia de Salta	Castellanos - Vaqueros (Emp. Avda. Bolivia)	9.964	17.125	16.000	2.927	89,48%	0,47%	9,64%	0,05%	0,36%	Pavimentado	Ambas	Censo de 7 días	7.161	2025
Avda. Bolivia	Primaria	Provincia de Salta	Emp. R.P. Nº 28 - Vaqueros	0	-	1.608	15.067	92,92%	1,45%	5,01%	0,08%	0,54%	Pavimentado	Ambas	Censo de 5 días	-	2021

El volumen de tránsito influye directamente en la determinación del número de carriles de los caminos, ya sean urbanos o rurales.

Analizando la circulación del tránsito existente en el tramo comprendido entre la rotonda del Quirquincho y Vaqueros, el cual considera el aporte vehicular proveniente de la Circunvalación Noroeste, se estima que entre el 40 % y el 50 % del volumen total circulará por la nueva avenida a diseñar.

2.2 Tasa de Crecimiento

La proyección del incremento del tránsito durante el período de diseño se obtuvo a partir del análisis de las tasas de crecimiento del TMDA en los tramos de la RN N°9 de Rio Vaqueros (Fin Int) – Acceso a La Caldera (I) y Acceso a La Caldera (I) – Límite con Jujuy, utilizando la información registrada en las estaciones permanentes de la DNV, disponible en su sitio web oficial.

De manera complementaria, se consideraron también las tasas de crecimiento poblacional correspondientes a las localidades de La Caldera, Vaqueros y Salta Capital, con base en los datos publicados por el INDEC.

LOCALIDAD / TRAMO	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL
LA CALDERA	2,95%
VAQUEROS	5,21%
SALTA CAPITAL	1,36%
R.VAQUEROS (FIN INT.) - ACC.A LA CALDERA (I)	2,83%
ACC.A LA CALDERA (I) - LTE.C/JUJUY	2,34%
PROMEDIO	3%

2.3 Transito futuro

Para la determinación del flujo vehicular al fin del periodo de diseño partimos de los datos del TMDA del tramo de la rotonda del quirquincho a Vaqueros por ser el más representativo. El transito futuro es:

$$\text{TF} = \text{TA} + \text{IT}$$

Dónde:

- TF = Tránsito Futuro
- TA= Tránsito Actual
- IT= Incremento del Tránsito

El transito actual lo obtenemos mediante la suma del transito existente y el transito atraído inicial.

$$\text{TA} = \text{TE} + \text{TAi}$$

Dónde:

- TE= Tránsito Existente
- TAi= Tránsito Atraído

El Incremento del Tránsito (IT), está definido como el volumen del tránsito que posiblemente circulara en el año futuro seleccionado para el proyecto. El IT está formado por distintas variables, la primera es el Crecimiento Normal del Tránsito (CNT) y la segunda el Transito Generado (TG).

$$IT = CNT + TG$$

Dónde:

- IT= Incremento del Tránsito
- CNT= Crecimiento Normal del Tránsito

Para el CNT (cito párrafo de Ingeniería de tránsito, capítulo 8: Volumen de tránsito) “eventualmente podría utilizarse pronósticos de volúmenes de tránsito futuro con la tendencia exponencial, sobre todo en aquellos casos en que no existen series históricas de los volúmenes de tránsito promedio diario, pero donde se podría tener la posibilidad de realizar aforos y obtener un tránsito promedio diario (TPD) al inicio del proyecto. En estas situaciones se puede utilizar la siguiente expresión”:

$$CNT = TA \cdot (1+r)^n$$

Donde:

- TA = Transito Actual
- r = Tasa de Crecimiento Anual
- n = Periodo de Análisis

Luego tenemos:

$$TG = TA \cdot (1 + r)^n \cdot g\%$$

Dicho transito expresa la cantidad de viajes que se realizarían propiamente por la ejecución del tramo. La estimación de este se toma como una fracción en porcentaje (g%) del tránsito que ha sido alcanzado hasta ese momento, pero proyectado hasta el final del periodo de análisis.

Donde:

- TG= Tránsito Generado
- g% = Porcentaje adoptado
- r = Tasa de Crecimiento Anual
- n = Periodo de Análisis

En este caso, al tratarse de una nueva alternativa vial, no se dispone de un Tránsito Existente (TE) propio. Sin embargo, se estima que aproximadamente el 50% del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) correspondiente al tramo Rotonda del Quirquincho – Vaqueros será atraído hacia la nueva traza diseñada.

TMDA (año 2021) del tramo que va desde la Rotonda del Quirquincho (RP N°28) a Vaqueros:

- 15.067 vehículos por día.

Para el año 2027:

- $TMDA_n = TMDA_0 \times (1 + r)^n = 17.990$ vehículos por día.
 con $n=6$ y $r=3\%$

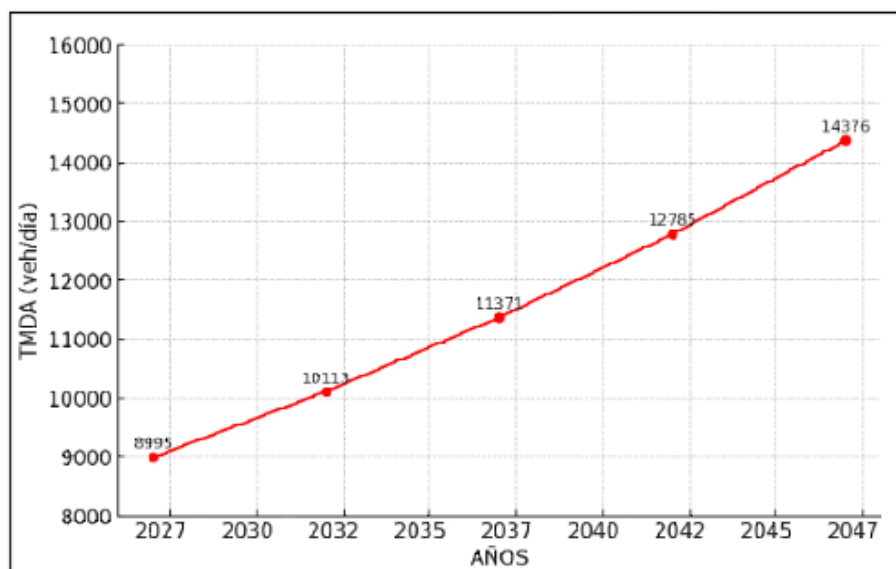
Por lo tanto

- $TA_i = TMDA_n \times 50\% = 8.995$ vehículos por día.

De esta manera obtenemos el siguiente grafico

TRANSITO FUTURO					Tasa de Crecimiento (%)
Tipo de Transito	Año Medicion	Inicio Obras	Puesta en Servicio	Año Proyectado	
	2021	2025	2027	2047	
TE	0	-	0	-	$r = 3\%$
TA i	-	-	8995	-	$n=20$
TA	-	-	8995	-	
CNT	-	-	-	4891	
TG	-	-	-	489	$g = 10\%$
IT	-	-	-	5381	
TF = TA + IT	-	-	-	14376	

El TMDA proyectado para el 2047 es de 14.376 vehículos por día.



Ilustracion V. Proyección del crecimiento del transito

Bibliografía: Ingeniería de Transito - Rafael Cal y Mayor R- James Cárdenas. 9na Edición. Capítulo 8: Volumen de Tránsito.

Capítulo 3: Geotecnia

3.1 Topografía del terreno

El relevamiento del terreno constituye una de las etapas más cruciales para garantizar la precisión en la planificación y ejecución de la obra. Este proceso permite obtener una representación fiel de las condiciones topográficas del área donde se desarrollará el proyecto, lo que a su vez facilita la toma de decisiones técnicas y constructivas.

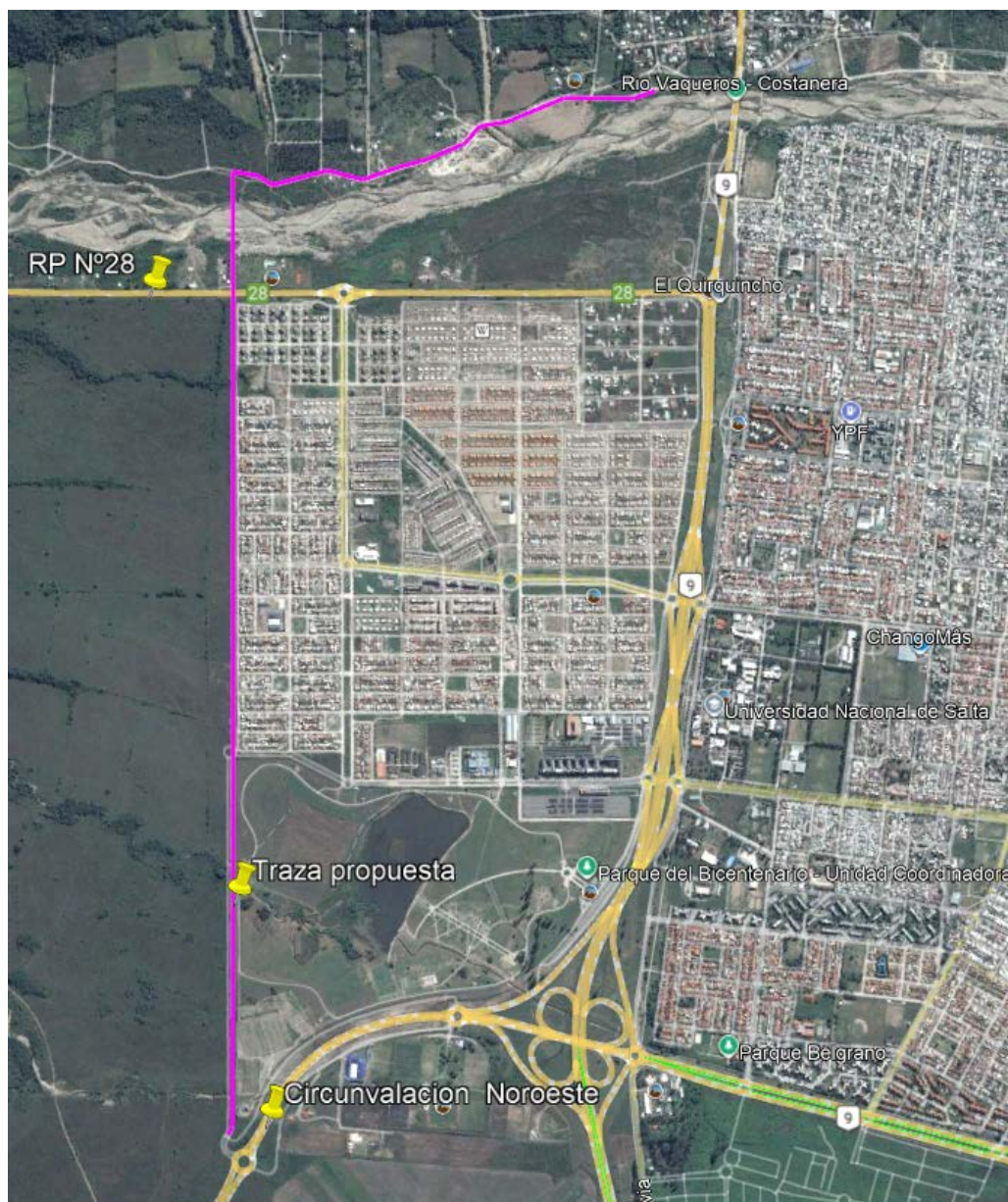
La modelación digital del terreno se realizó a través de softwares especializados como InfraWorks, Civil 3D y Google Earth y Global Mapper, con los cuales se obtuvieron cotas, curvas de nivel y elevaciones del terreno natural.

De forma complementaria, y con carácter académico, se utilizó un receptor GPS de alta precisión para practicar técnicas de relevamiento topográfico lo cual permitió fijar distintos puntos de control georreferenciados del primer tramo de obra, desde la rotonda de la Circunvalación Noroeste hasta la rotonda que empalmaría con la Avenida de la Memoria. Esta experiencia permitió comparar los datos de campo con los modelos digitales, verificando la ubicación y las cotas de la calzada ya construida respecto del terreno natural. (Fotos en anexo)

El uso de estas tecnologías modernas no solo mejora la exactitud del proyecto, sino que también optimiza el tiempo y los recursos empleados en la fase de diseño, asegurando que el trazado de la carretera se ajuste a las normativas vigentes y a las condiciones reales del terreno.

3.2 Trazado del camino

En la siguiente imagen observamos la traza propuesta.



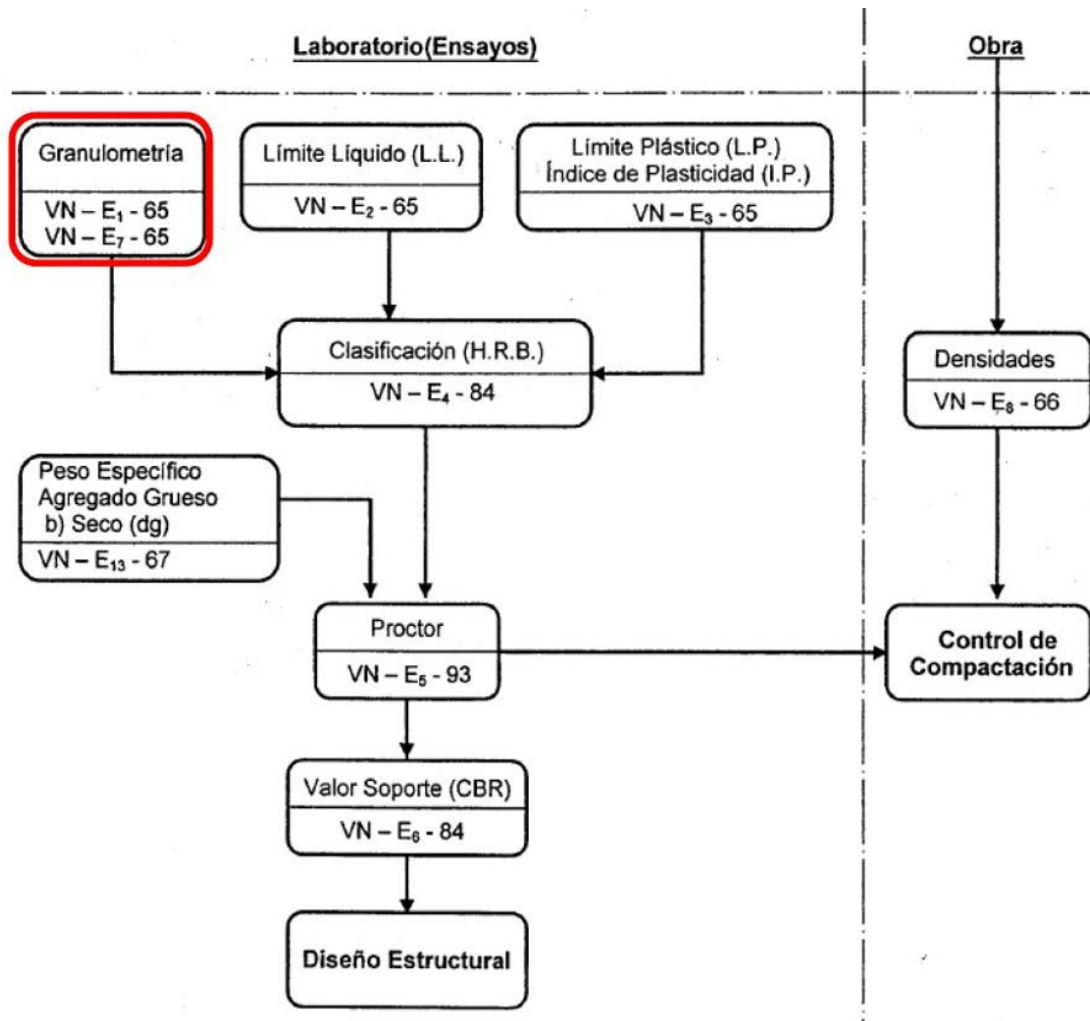
Ilustracion VI. Propuesta de trazado

3.3 Estudio de Suelo

El estudio de suelo se lleva a cabo tomando muestras de suelo que serán posteriormente ensayadas en el laboratorio para determinar así los valores de CBR (Valor Soporte Relativo), y la humedad óptima de compactación.

Para este proyecto, consideramos apropiado tomar muestras de 4 puntos ubicados en diferentes sectores donde se ejecutará parte del camino. Para los tramos del cauce y costanera del rio Vaqueros, Vialidad de la provincia nos brindó información sobre el tipo de suelo existente.

A continuación, podemos observar un esquema práctico, el cual indica todos los ensayos laboratorio (establecidos según DNV 1998) que anteceden al diseño estructural.



Granulometría

La granulometría puede definirse como la distribución de los distintos tamaños de partículas de un suelo y se expresa como un porcentaje con respecto al peso total de la muestra. Para ello se realiza una medición indirecta de las partículas por medio de una serie de tamices o cribas normalizadas.

Un suelo bien graduado es aquel en el cual el tamaño de las partículas va disminuyendo de manera tal que las de menor tamaño ocupan los huecos que dejan las de mayor tamaño.

Límites de Consistencia

También conocidos como límites de Atterberg sirven para caracterizar el comportamiento mecánico de los suelos finos. Se definen como un porcentaje de humedad.

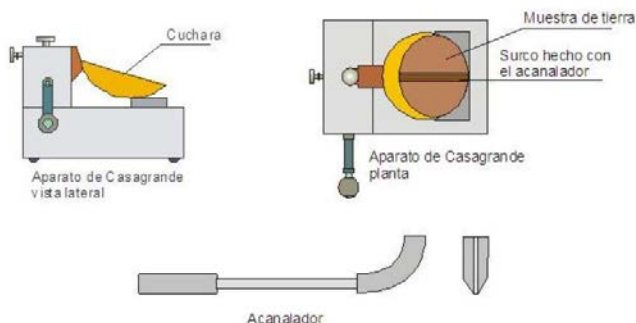
- El límite líquido (LL) es el contenido de agua expresado en porcentaje respecto del peso del suelo seco que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo amasado. El material no fluye, pero tampoco tiene un comportamiento frágil.
- El límite plástico (LP) es el porcentaje de humedad necesario en el que el suelo pasa de un estado plástico a uno sólido, es decir, el material pasa a tener un comportamiento frágil resquebrajándose al intentar moldearlo.
- El índice plástico (IP) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, nos indica la humedad necesaria para que el suelo mantenga un estado plástico.

$$IP = LL - LP$$

Para determinar estos límites debemos realizar los siguientes ensayos:

Límite Líquido (norma de ensayo VN-E2-65)

Es el contenido de agua necesaria para que la ranura de un suelo ubicado en la cuchara del Casagrande se cierre después de darle 25 golpes desde una altura de 10 mm. Utilizando 50 o 60 gr del pasante del tamiz N°40, mezclamos y agregamos agua. Pasamos una porción a la cuchara de bronce y le realizamos un surco con el acanalador. Accionando la manivela la cuchara golpea con la base hasta unir el material. Deben juntarse 12 mm y el número de golpes N debe estar comprendido entre 20 y 30, ya que el LL corresponde a un N = 25.



Al unirse el material, tomamos una porción de la muestra, la pesamos y determinamos el peso húmedo (Ph). Lo dejamos en la estufa hasta llegar a un peso constante obteniendo el peso seco (Ps). A partir de estos datos calculamos el porcentaje de humedad H (%) con la siguiente fórmula.

$$H (\%) = \frac{Ph - Ps}{Ps - Pf} \times 100$$

De allí pasamos a calcular el Límite Líquido

$$LL (\%) = \frac{H (\%)}{1.419 - 0.3 \log N}$$

La siguiente tabla nos muestra el factor de corrección del denominador para N comprendido entre 20 y 30 golpes.

N	$1,419 - 0,3 \log N$
20	1,029
21	1,023
22	1,017
23	1,011
24	1,005
25	1,000
26	0,995
27	0,990
28	0,985
29	0,980
30	0,976

Limite Plástico (norma de ensayo VN-E3-65)

Se toma una porción de la misma muestra pasante del tamiz N°40. Se humedece y se lo procesa sobre una superficie lisa no absorbente, hasta lograr formar cilindros de 3mm de diámetro. Si se rompe antes, es porque falta humedad. Se agrega agua y se repite el procedimiento hasta que aparezcan a los 3 mm, las primeras fisuras superficiales.

Luego se coloca en el pesafiltro y se determina su peso húmedo, se lleva a estufa, se pesa en el pesafiltro y se obtiene su peso seco.

$$LP = \frac{Ph - Ps}{Ps - Pf} \times 100$$

Clasificación H.R.B

Obtenidos ambos límites, calculamos el índice de plasticidad, y así poder clasificar el suelo según la clasificación de suelo H.R.B (Highway Research Board). (norma VN-E4-84)

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B, para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio fueron agrupados en siete grupos básicos, comprendidos desde el A-1 al A-7.

Los suelos de cada grupo comparten características similares hasta cierto punto. Sin embargo, es frecuente que dentro de un mismo grupo haya una considerable variación en las capacidades portantes, cuyos valores pueden coincidir con los de suelos pertenecientes a diferentes grupos.

Se ideó el índice de grupo para diferenciar algunos suelos dentro de cada grupo. Este índice aumenta su valor con la disminución de la condición del suelo para construir subrasantes. El crecimiento del índice de grupo, en cada grupo básico de suelos, refleja los efectos combinados de los crecimientos del límite líquido e índice de plasticidad, y el decrecimiento de los materiales gruesos en detrimento de la capacidad portante de las subrasantes.

La clasificación de suelos comprende dos grandes conjuntos, el de los materiales granulares con 35 % o menos pasando el tamiz IRAM 75 micrómetro (N° 200) y el de los materiales limo-arcillosos, conteniendo más del 35 % que pasa al tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200).

La fórmula para su determinación es la siguiente:

$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

F= por ciento de material que pasa por el tamiz IRAM 75 micrómetros (Nº 200), expresado como un número entero. Este por ciento se expresa en función del material que pasa por el tamiz de 75 mm. (3”).

LL = límite líquido

IP = índice plástico

Enseñamos los resultados de los ensayos mencionados:

		POZO 1		POZO 2		POZO 3		POZO 4	
PROGRESIVA		PROG. 200		PROG. 700		PROG. 1100		PROG. 1400	
PROFUNDIDAD		0,20 - 1,00 m		0,25 - 0,82 m		0,00 - 1,50 m		0,00 - 1,00 m	
Tamices y Aberturas en (mm)		PESOS (grs)	PASA (%)	PESOS (grs)	PASA (%)	PESOS (grs)	PASA (%)	PESOS (grs)	PASA (%)
2 1/2"	RETENE	0		0		625		2297	
53,8	PASA	100	100,0	11942	100,0	18395	96,7	16253	87,6
2"	RETENE	0		882		1163		344	
50,8	PASA	100	100,0	11060	92,6	17232	90,6	15909	85,8
1 1/2"	RETENE	0		980		1846		835	
38,1	PASA	100	100,0	10080	84,4	15386	80,9	15074	81,3
1"	RETENE	0		780		2153		1394	
25,4	PASA	100	100,0	9300	77,9	13233	69,6	13680	73,7
3/4"	RETENE	0		439		979		1025	
18,1	PASA	100	100,0	8861	74,2	12254	64,4	12655	68,2
3/8"	RETENE	0		1402		2785		3097	
9,63	PASA	100	100,0	7459	62,5	9469	49,8	9558	51,5
Nº 4	RETENE	0		1191		2133		3042	
4,76	PASA	100	100,0	6268	52,5	7336	38,6	6516	35,1
Cuarteo sobre		100		568		567		576	
Factor		1,00		11,04		12,94		11,31	
Nº 10	RETENE	0,16		76,0		145,0		2240,0	
2,00	PASA	100	99,8	5429	45,5	5460	28,7	4276	23,1
Nº 40	RETENE	1,14		107		178		2364	
0,42	PASA	99	98,7	4249	35,6	3157	16,6	1912	10,3
Nº 200	RETENE	2,59		176		134		1256	
0,074	PASA	96	96,1	2306	19,3	1423	7,5	656	3,5
PESO SECO INICIAL (grs)		100		11.942		19.020		18.550	
PLASTICIDAD		L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
PESA FILTRO N°		4	6	5	8	4	6		
P.F. + S.H = (a) grs		49,87	36,23	54,07	37,14	61,84	37,01		
P.F. + S.S. = (b) grs		43,66	35,23	50,28	36,34	57,01	36,36		
TARA PESA FILTRO = (c) grs		29,59	31,03	30,91	30,10	29,57	31,02		
AGUA = (a-b) = (d) grs		6,21	1	3,79	0,8	4,83	0,65		
SUELO SECO = (b-c) = (e) grs		14,07	4,2	19,37	6,24	27,44	5,34		
% DE HUMEDAD = (d/e) * 100 =		44,1		19,6		17,6			
N° DE GOLPES		25		25		25			
FACTOR = K		1		1		1			
LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLAS		44,1	23,8	19,6	12,8	17,6	12,2		
INDICE PLASTICO = (L.L. - L.P.		20,3		6,7		5,4		NO PLASTICO	
CLASIFICACION SEGUN H.R.E		A 7 - 6 (13)		A 2 - 4 (0)		A 1 a		A 1 a	

Observamos que el suelo no presenta uniformidad a lo largo del tramo, obteniendo diferentes clasificaciones.

Por un lado, los suelos A-7-6 (13) y A 2-4 (0), por otro lado, los A-1-a.

La norma de ensayo VN-E4-84 de clasificación de suelos indica las condiciones y características generales de los diferentes grupos:

- A-1-a.

Suelos bien graduados, en los que predominan fragmentos de piedra, o grava, con o sin material ligante bien graduado.

- A 2-4.

Los suelos A-2 son inferiores a los A-1 por su pobre gradación o inferior ligante, o ambas cosas a la vez. Pueden ser muy estables con drenaje satisfactorio, y en relación con la cantidad y calidad del ligante, pueden ablandarse con la humedad y presentarse sueltos y polvorientos en épocas de sequías; algunos son dañados por las heladas. Los A-2-4 y A-2-5, bien arenados y compactados, pueden servir de bases.

- A-7-6.

Suelos como los A-7 con altos índices de plasticidad con relación al límite líquido y sujetos a extremados cambios volumétricos. Suelos compuestos de turbas blandas y tierras abonadas que, tienen grandes cantidades de materia orgánica y humedad y no pueden ser usados en subrasantes y terraplenes o cualquier otro tipo de construcción.

Compactación: Proctor

Permite establecer la Humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del Peso unitario, llamado Densidad seca máxima. (norma VN-E5-93)

Mejoras de un suelo compactado:

- Incremento de la densidad seca (Ds)
- Aumento de resistencia al corte
- Aumento de capacidad portante
- Disminuye contracción por secado
- Disminución de la compresibilidad y permeabilidad

Cuando se compacta un suelo bajo condiciones de humedad y se relaciona las densidades secas con la cantidad de humedad respectiva, se obtiene la curva de compactación. El máximo en dicha curva de compactación define en abscisas el porcentaje óptimo de contenido de humedad y en ordenadas la densidad seca máxima (Ds).

En la rama seca a medida que aumenta el contenido de humedad también lo hace la densidad seca del suelo, esto se debe a que a medida que se aumenta agua al suelo la fricción disminuye y las partículas se reubican haciendo más compacta la masa de suelo y disminuyendo los espacios vacíos entre las partículas y mermando por consiguiente la capacidad de absorber agua.

Si se incrementa aún más el contenido de humedad (rama húmeda) ya no habrá vacíos a ocupar, el agua formará una capa más gruesa y las partículas comenzarán a separarse (proceso denominado hinchamiento). Si la humedad se sigue incrementando, llegará el momento en el que el suelo se sature, se presente agua libre y ya no sea posible la compactación.

En el laboratorio se obtuvo:

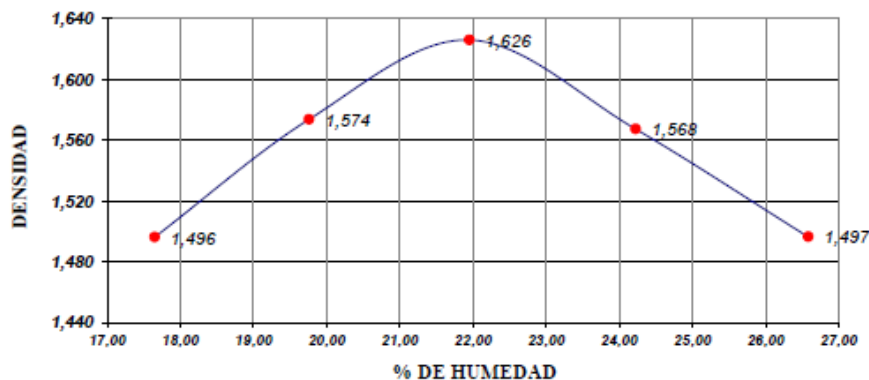
ENSAYO DE COMPACTACION (Norma de Ensayo VN - E5-93)

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE
TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA
PROG. : 200 - POZO ; 1
PROF- 0,20 - 1,00 m
TIPO DE MATERIAL : SUELO

PARAUSO EN : TERRAPLEN
GOLPES : 25
PISON : 2,5 kg
CAPAS : 3

PUNTO Nº	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente Kg/m3		GRANULOMETRIA		
		MOL + SH grs	MOLDE grs	SUELO SECO grs		HUMEDA	SECA	TAMICES	%	
1		4441	2772	1669	948	1,761	1,496	2"		
2		4559	2772	1787	948	1,885	1,574	1"		
3		4652	2772	1880	948	1,983	1,626	3/4"		
4		4618	2772	1846	948	1,947	1,568	3/8"		
5		4568	2772	1796	948	1,895	1,497	Nº 4		
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD									Nº 10	99,8
									Nº 40	98,7
									Nº 200	96,1
PUNTO Nº	PESO SUELO HUMEDO grs		PESO SUELO SECO grs		AGUA		% HUMEDAD	CLASIFICACION		
1	200		170,0		30		17,65	A 7-6 (13)		
2	200		167,0		33		19,76	D. MAXIMA		
3	200		164,0		36		21,95	1,626		
4	200		161,0		39		24,22	H. OPTIMA		
5	200		158,0		42		26,58	22,00		

GRAFICO DENSIDAD HUMEDAD



TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA

PROG. : 700

POZO : 2

PROF. : 0,25 - 0,82 m

MATERIAL : GRANULAR

PARA USO EN : TERRAPLEN

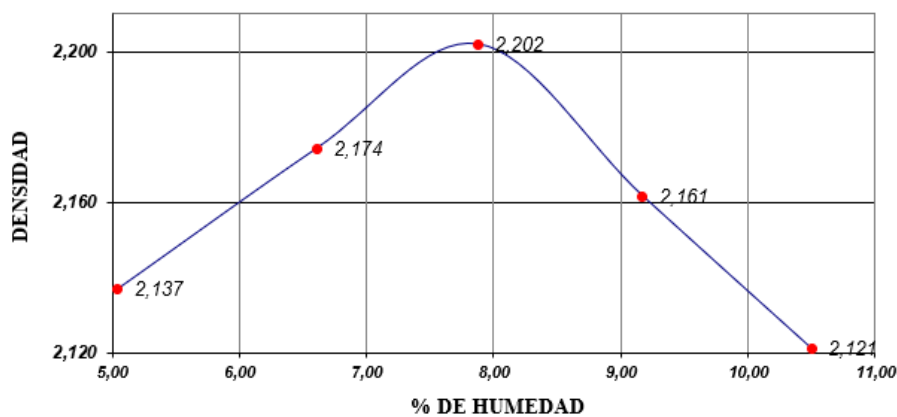
GOLPES : 56

PISON : 4,5 kg

CAPAS : 5

PUNTO N°	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente Kg/m3		GRANULOMETRIA	
		MOL + SH grs	MOLDE grs	SUELO SECO grs		HUMEDA	SECA	TAMICES	%
1		10157	5421	4736	2110	2,245	2,137	2"	
2		10312	5421	4891	2110	2,318	2,174	1 1/2"	
3		10433	5421	5012	2110	2,375	2,202	1"	
4		10400	5421	4979	2110	2,360	2,161	3/4"	
5		10366	5421	4945	2110	2,344	2,121	3/8"	
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD									
PUNTO N°	PESO SUELO HUMEDO grs	PESO SUELO SECO grs	AGUA	% HUMEDAD					
1	1000	952,0	48	5,04					
2	1000	938,0	62	6,61					
3	1000	927,0	73	7,87					
4	1000	916,0	84	9,17					
5	1000	905,0	95	10,50					
					CLASIFICACION				
					A 2 - 4 (0)				
					D . MAXIMA				
					2,202				
					H . OPTIMA				
					7,90				

GRAFICO DENSIDAD HUMEDAD



OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE
TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA
PROG. : 1100
POZO : 3
PROF. : 0,00 - 1,50 m

MATERIAL : GRANULAR
PARA USO EN : TERRAPLEN
 GOLPES : 56
 PISON : 4,5 kg
 CAPAS : 5

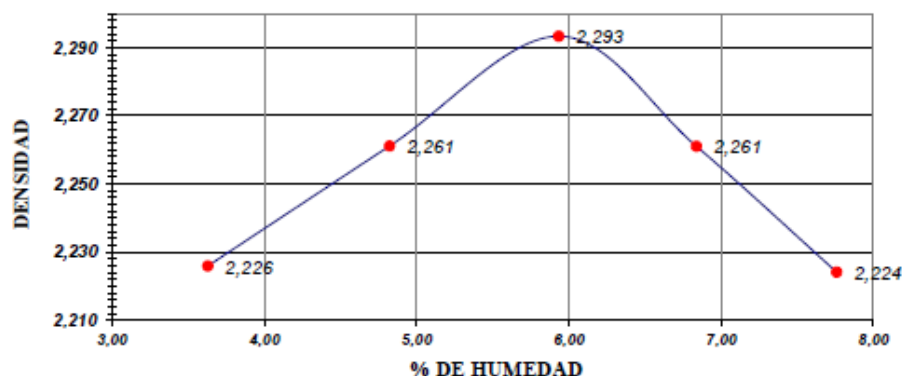
PUNTO N°	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente		GRANULOMETRIA		
		MOL + SH grs	MOLDE grs	SUELO SECO grs		Kg/m3	HUMEDA	SECA	TAMICES	%
1		10128	5421	4707	2110	2,231	2,157	2"		
2		10338	5421	4917	2110	2,330	2,207	1 1/2"		
3		10468	5421	5047	2110	2,392	2,234	1"		
4		10428	5421	5007	2110	2,373	2,188	3/4"		
5		10366	5421	4945	2110	2,344	2,133	3/8"		
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD									N° 4	
									N° 10	28,7
									N° 40	16,5
									N° 200	7,5
PUNTO N°	PESO SUELO HUMEDO grs	PESO SUELO SECO grs		AGUA		% HUMEDAD		CLASIFICACION		
1	1000	967,0		33		3,41		A 1 a		
2	1000	947,0		53		5,60		D . MAXIMA		
3	1000	934,0		66		7,07		2.234		
4	1000	922,0		78		8,46		H . OPTIMA		
5	1000	910,0		90		9,89		7,00		

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE
 TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA
 PROG. : 1400
 POZO : 4
 PROF. : 0,00 - 1,00 m

MATERIAL : GRANULAR
 PARA USO EN : TERRAPLEN
 GOLPES : 56
 PISON : 4,5 kg
 CAPAS : 5

PUNTO N°	APROX AGUA	PESO			VOLUMEN MOLDE Cm3	Peso Especifico Aparente Kg/m3		GRANULOMETRIA	
		MOL + SH grs	MOLDE grs	SUELO SECO grs		HUMEDA	SECA	TAMICES	%
1		10288	5421	4887	2110	2,307	2,226	2"	
2		10422	5421	5001	2110	2,370	2,261	1"	
3		10547	5421	5126	2110	2,429	2,293	3/4"	
4		10518	5421	5097	2110	2,416	2,261	3/8"	
5		10478	5421	5057	2110	2,397	2,224	N° 4	
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD									
PUNTO N°	PESO SUELO HUMEDO grs	PESO SUELO SECO grs	AGUA	% HUMEDAD	CLASIFICACION				
1	1000	965,0	35	3,63	A 1 a				
2	1000	954,0	46	4,82					
3	1000	944,0	56	5,93					
4	1000	936,0	64	6,84					
5	1000	928,0	72	7,76					
					D . MAXIMA				
					2,293				
					H . OPTIMA				
					5,93				

GRAFICO DENSIDAD HUMEDAD



C.B.R

El CBR (California Bearing Ratio) o VSR (Valor Soporte Relativo) de un suelo es la resistencia que ofrece al punzado una probeta de este, moldeada bajo ciertas condiciones de densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón que es la piedra partida. (VN-E6-84)

También se determinó el hinchamiento del suelo, es el aumento porcentual de altura, referido a la altura inicial, que experimente una probeta de suelo cuando la humedad de esta aumenta por inmersión, desde la humedad inicial de compactación hasta la alcanzada por la probeta al término del periodo de inmersión.

Los resultados obtenidos fueron:

ENSAYO VALOR SOPORTE

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE
 TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA
 POZO : 1
 PROG. 200
 PROFUND. : 0,20 - 1,00 m
 MATERIAL : SUELO

Aro de:	500	kg.	Sobrecarga	Altura probeta	11,66	11,66	11,66
Factor:	1,785	Kg/Div.	Hinchamiento	Penetración			
Defl. Max:	2,80	mm.	10 LB.	10 LB.			

PROCTOR	
D. MAX Tn/m ³	1,626
% H. O.	22,0%

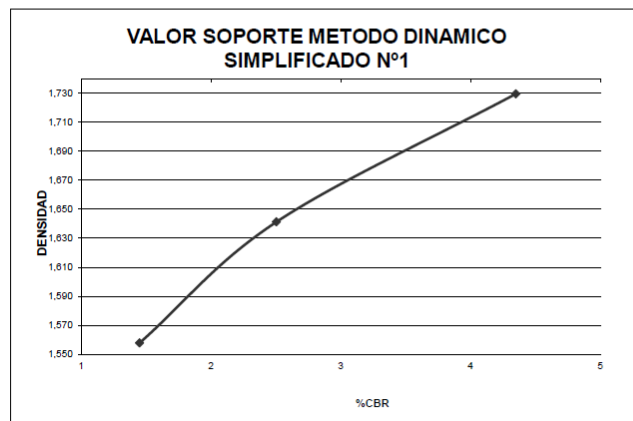
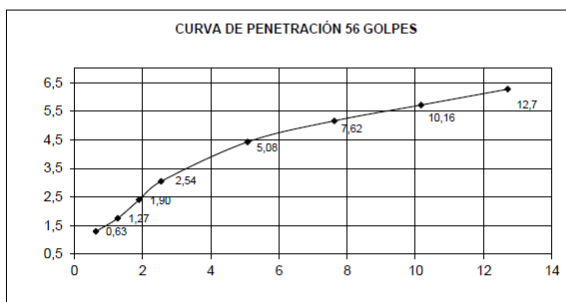
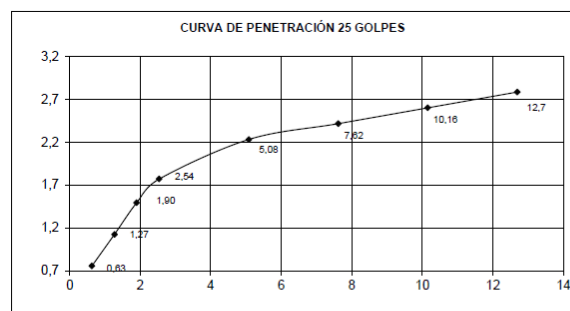
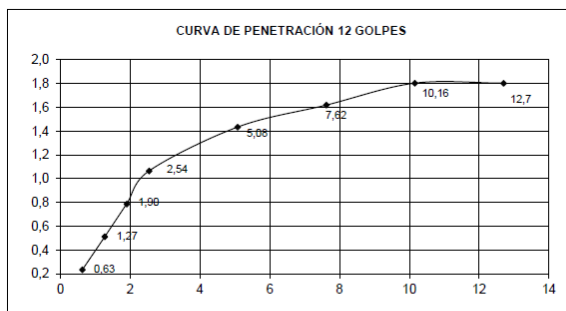
Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Probeta embebida	Densidad húmeda	Densidad seca	L E C T U R A				Hinchamiento %	Humedad final
										1º día	2º día	3º día	4º día		
12	1	8681	12618	3937	2075	21,8	12762	1,897	1,558						
25	5	8435	12629	4194	2098	21,8	12743	1,999	1,641						
56	6	8188	12612	4424	2100	21,8	12747	2,107	1,730	99	164	205	250	2,24	

Penetración [mm]		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S. corregido	V.S. adoptado
Standart kg/cm ²											
Nº molde	Nº de golpes	Lectura dial	2	5	8	11	15	17	19		
1	12	Carga total	4	9	14	20	27	30	34		
		Carlot/19,35cm ²	0,2	0,5	0,7	1,0	1,4	1,6	1,8		
		Carga correg.									
		% Standart				1,4	1,3	1,2	1,1		
											1,4
5	25	Lectura dial	8	12	16	19	24	26	28		
		Carga total	14	21	29	34	43	46	50		
		Carlot/19,35cm ²	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,4	2,6		
		Carga correg.									
		% Standart				2,5	2,1	1,8	1,6		
											2,5
6	56	Lectura dial	14	19	26	33	43	56	62		
		Carga total	25	34	46	59	86	100	111		
		Carlot/19,35cm ²	1,3	1,8	2,4	3,0	4,4	5,2	5,7		
		Carga correg.									
		% Standart				4,3	4,2	3,9	3,6		
											4,3

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE

TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA

POZO : 1 - PROG. 200 - 0,20 - 1,00 m



	12	25	56	100 %Dmax
DENSIDAD	1,558	1,641	1,730	1,626
CBR(%)	1,4	2,5	4,3	CBR : 4,3%

CBR : 4,3%

PARA EL 100 % DE LA Dmax PROCTOR

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE
TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA
POZO : 2
PROG. 700
PROFUND. : 0,25 - 0,82 m

SE REALIZO CON MATERIAL CON CORRECTOR

Aro de:	5000	kg.	Sobrecarga			
Factor:	13,812	Kg/Div.	Hinchamiento	11,66	11,66	11,66
Defl. Max:	3,62	mm.	Penetración			
			10 LB.			

PROCTOR	
D. MAX Tn /m3	2,202
% H. O.	7,9%

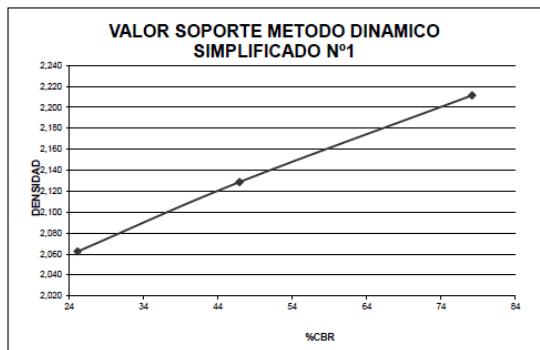
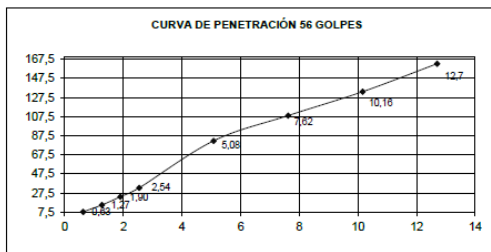
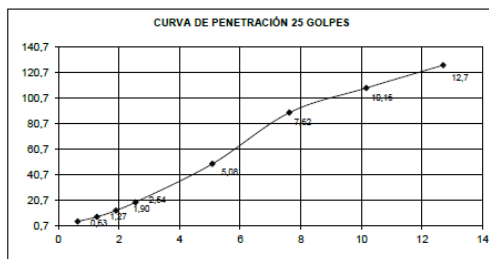
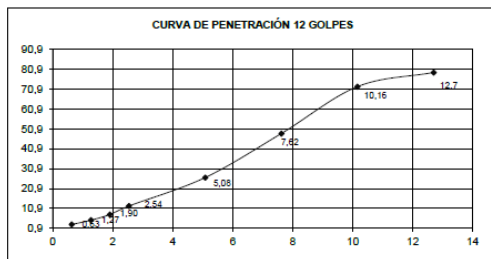
Nº de golpes	Molde N°	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Probeta embebida	Densidad húmeda	Densidad seca	L E C T U R A				Hinchamiento %	Humedad final
										1º día	2º día	3º día	4º día		
12	3	8215	12902	4687	2114	7,5	13025	2,217	2,062						
25	8	8398	13192	4794	2095	7,5	13248	2,288	2,129						
56	2	8055	13014	4959	2086	7,5	13055	2,377	2,211						

Penetración [mm]		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S	V.S
Standart kg/cm²										corregido	adoptado
Nº molde	Nº de golpe	Lectura dial									
3	12	Carga total	55	97	152	235	511	939	1395	1533	25,2
		Carga neto/19,35cm²	2,9	5,0	7,9	12,1	26,4	48,5	72,1	79,2	
		Carga correg									
		% Standart				17,3	25,2	36,5	44,8	43,3	
8	25	Lectura dial	6	11	18	27	69	125	152	177	46,9
		Carga total	83	152	249	373	953	1727	2099	2445	
		Carga neto/19,35cm²	4,3	7,9	12,8	19,3	49,3	89,2	108,5	126,3	
		Carga correg									
2	56	% Standart				27,5	46,9	67,1	67,4	69,0	78,2
		Lectura dial	11	21	33	46	115	152	187	228	
		Carga total	152	290	456	635	1588	2099	2583	3149	
		Carga neto/19,35cm²	7,9	15,0	23,6	32,8	82,1	108,5	133,5	162,7	
Carga correg											
% Standart					46,9	78,2	81,6	82,9	88,9		

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE

TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA

POZO : 2 - PROG.700 - 0,25 - 0,82 m



	12	25	56	100 %Dmax
DENSIDAD	2,062	2,129	2,211	2,202
CBR(%)	25,2	46,9	78,2	CBR : 78,2%

CBR : 78,2%

PARA EL100 % DE LA Dmax PROCTOR

POZO : 3
 PROG. 1100
 PROFUND. : 0,00 - 1,50 m

SE REALIZO CON MATERIAL CON CORRECTOR			
Aro de:	5000 kg.	Sobrecarga	Altura probeta
Factor:	13,812 Kg/Div.	Hinchamiento	11,66
Defl. Max.	3,62 mm.	Penetración	11,66
		10 LB.	10 LB.

PROCTOR	
D. MAX. Tn/m ³	2,234
% H. O.	7,0%

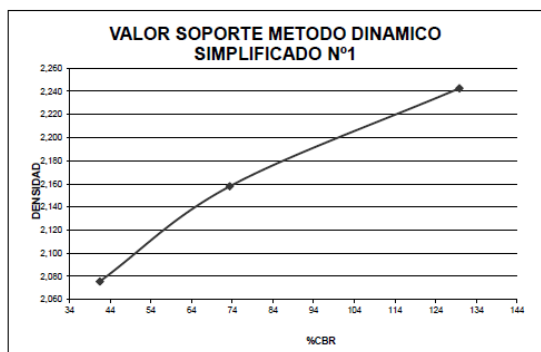
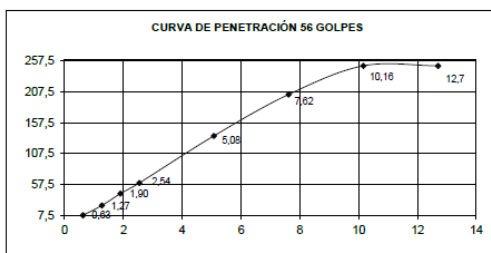
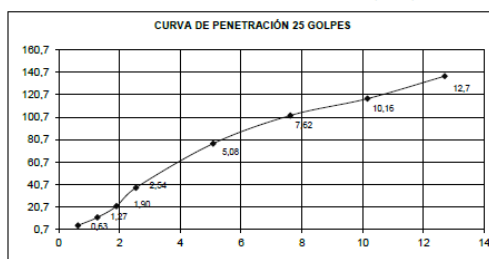
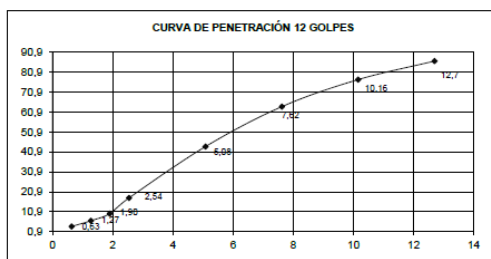
Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Probeta embebida	Densidad húmeda	Densidad seca	L E C T U R A				Hinchamiento %	Humdad final
1º día	2º día	3º día	4º día												
12	3	8215	12932	4717	2114	7,5	13045	2,231	2,076						
25	4	8719	13602	4883	2105	7,5	13676	2,320	2,158						
56	2	8055	13084	5029	2086	7,5	13121	2,411	2,243						

Penetración [mm]		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S	
Standart kg/cm ²										corregido	adoptado
Nº molde	Nº de golpes	Lectura dial	5	9	14	25	61	89	108	121	
3	12	Carga total	69	124	193	345	843	1229	1492	1671	
		Carga/10.35cm ²	3,6	6,4	10,0	17,8	43,5	63,5	77,1	86,4	
		% Standart				25,5	41,5	47,8	47,9	47,2	
											41,5
4	25	Lectura dial	6	16	30	53	108	143	164	192	
		Carga total	83	221	414	732	1492	1975	2265	2652	
		Carga/10.35cm ²	4,3	11,4	21,4	37,8	77,1	102,1	117,1	137,0	
		% Standart				54,0	73,4	76,7	72,7	74,9	
2	56	Lectura dial	11	33	60	84	191	295	350	350	
		Carga total	152	456	829	1160	2638	3936	4834	4834	
		Carga/10.35cm ²	7,9	23,6	42,8	60,0	136,3	203,4	249,8	249,8	
		% Standart				85,7	129,8	153,0	155,2	136,5	
											129,8

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE

TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA

POZO : 3 - PROG.1100 - 0,00 - 1,50 m



	12	25	56	100 %Dmax
DENSIDAD	2,076	2,158	2,243	2,234
CBR(%)	41,5	73,4	129,8	CBR : 129,8%

CBR : 129,8%

PARA EL100 % DE LA Dmax PROCTOR

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE
 TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA
 POZO : 4
 PROG. 1100
 PROFUND.: 0,00 - 1 m

										PROCTOR			
Aro de: 5000		kg.	Sobrecarga		Altura probeta			11,66	11,66	11,66	D. MAX. Tn (m3)		2,293
Factor: 13,812		Kg/Div.	Hinchamiento		Penetración						% H. O.		5,6%
Defl. Max. 3,62		mm.	10 LB.		10 LB.								

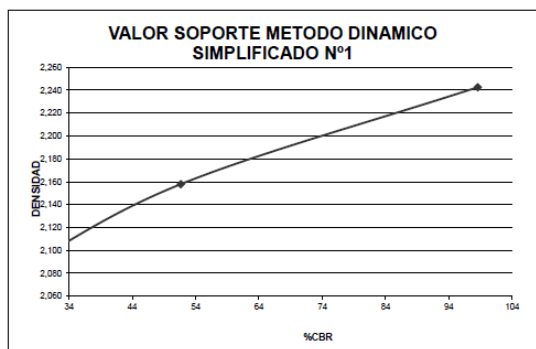
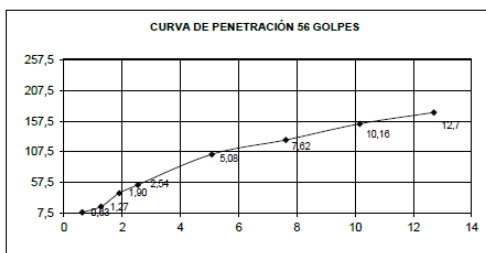
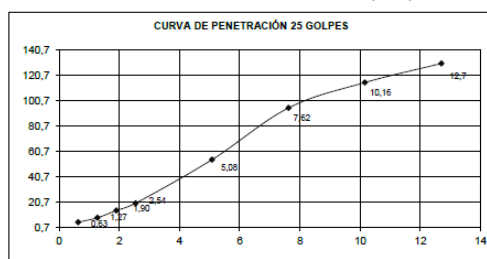
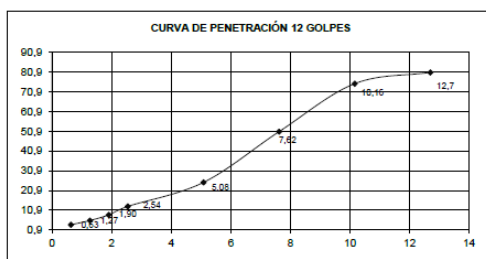
Nº de golpes	Molde Nº	Peso Molde M	Peso de M+SH	Peso de SH	Volumen del molde	Humedad real	Probeta embebida	Densidad húmeda	Densidad seca	L E C T U R A				Hinchamiento %	Humedad final
										1º día	2º día	3º día	4º día		
12	3	8215	12932	4717	2114	7,5	13045	2,231	2,076						
25	4	8719	13602	4883	2105	7,5	13676	2,320	2,158						
56	2	8055	13064	5029	2089	7,5	13121	2,411	2,243						

Penetración (mm)		0,63	1,27	1,9	2,54	5,08	7,62	10,16	12,7	V.S. corregido		V.S. adoptado		
Standard kg/cm²					70	105	133	161	183					
Nº de golpes	Lectura dial	5	8	12	18	35	71	105	113					
	Carga total	69	110	166	249	483	681	1450	1561					
	Carga (m3/cm²)	3,6	5,7	8,6	12,8	25,0	50,7	74,9	80,7					
	% Standard				18,4	23,8	38,1	46,0	44,1					
	% Standard													
3	12	Lectura dial	7	12	20	28	76	133	161	182				
		Carga total	97	166	276	387	1050	1837	2224	2614				
		Carga (m3/cm²)	5,0	8,6	14,3	20,0	54,2	94,9	114,9	129,9				
		Carga correg.												
		% Standard												
4	25	Lectura dial	12	25	56	75	145	178	215	241				
		Carga total	166	345	773	1036	2003	2459	2970	3329				
		Carga (m3/cm²)	8,6	17,8	40,0	55,5	103,5	127,1	163,5	172,0				
		Carga correg.												
		% Standard												
2	56	Lectura dial	12	25	56	75	145	178	215	241				
		Carga total	166	345	773	1036	2003	2459	2970	3329				
		Carga (m3/cm²)	8,6	17,8	40,0	55,5	103,5	127,1	163,5	172,0				
		Carga correg.												
		% Standard												

OBRA : CIRCUNVALACION NOROESTE

TRAMO : AVENIDA DE LA MEMORIA

POZO : 4 - PROG.1100 - 0,00 - 1,50 m



	12	25	56	100 %Dmax
DENSIDAD	2,076	2,158	2,243	2,293
CBR(%)	23,8	51,7	98,6	CBR : 98,6%

CBR : 98,6%

PARA EL100 % DE LA Dmax PROCTOR

3.4 Conclusiones

El estudio de suelos mostró que, en los primeros metros de la traza particularmente en los sectores con suelos clasificados como A-7-6 según el sistema AASHTO Soil Classification System se obtuvieron valores de soporte bajos, con CBR de 4,3% lo que indica una subrasante de baja capacidad portante.

En sectores donde se identificaron suelos A-2-4, el ensayo CBR arrojó valores significativamente mayores, del orden de 78,2 %, lo que refleja una capacidad de soporte buena a muy buena, acorde con las características granulares de este tipo de materiales.

En contraste, en la mayor parte del recorrido, correspondiente a suelos A-1-a, los valores de soporte resultaron elevados, alcanzando CBR de 98,6% y hasta 129,8%.

Si bien los tramos con CBR reducido se concentran en los primeros 200 a 500 metros, la heterogeneidad detectada puede generar problemas de asentamientos diferenciales. Por ello, se prevé en aquellos puntos puntuales donde se identifiquen suelos de muy baja calidad ($\text{CBR} \leq 7\%$), el retiro del material existente y su reemplazo por material estabilizado, conformando de esta manera una subrasante mejorada que asegure un adecuado desempeño estructural.

Adicionalmente, se consideró la proximidad del río Vaqueros, cuya explotación como fuente de suelos granulares resulta favorable desde el punto de vista técnico y económico. Según la información proporcionada por Vialidad Provincial, el material del cauce y costanera del río presenta una clasificación HRB del tipo A-1-a, con un CBR de 96%. No obstante, para mantener un criterio de diseño conservador y garantizar la seguridad estructural del pavimento, se adoptó un valor de CBR igual a 90%. Este material se utilizará en las capas estabilizadas previstas, tanto en el tramo inicial como en los sectores donde sea necesario reemplazar suelos inadecuados.

En el tramo correspondiente a la Costanera, los ensayos indicaron suelos de clasificación HRB tipo A-1-a, con un CBR del 96% según datos aportados por Vialidad Provincial. Debido a su buena calidad, no resulta necesario el reemplazo de este material. Sin embargo, siguiendo el mismo criterio conservador aplicado en el resto del proyecto, se adoptó un valor de CBR igual a 90% para su consideración en el diseño estructural.

No obstante, durante la etapa constructiva será fundamental verificar in situ que las condiciones del suelo coincidan con los parámetros adoptados en el diseño. Para ello se deberán realizar ensayos de control de calidad tales como: ensayo de densidad en obra como el Método de la Arena (VN-E8-66), determinación del contenido de humedad, ensayo Proctor (VN-E5-93) para verificar la densidad máxima y humedad óptima, y ensayo CBR (VN-E6-84) de laboratorio sobre muestras representativas del material compactado. Estos controles permitirán comprobar que la subrasante alcance el grado de compactación especificado y la capacidad portante considerada en el diseño.

En ANEXO II se encuentran los datos de estudio brindados por la DVS. Así mismo podrán encontrar las fotos de los diferentes trabajos realizados en obra como en laboratorio.

Capítulo 4: Diseño Geométrico

4.1 Introducción

El diseño geométrico de una carretera establece las características físicas y funcionales del trazado, con el propósito de garantizar la seguridad, comodidad y eficiencia en la circulación vehicular y peatonal. Este proceso constituye una de las fases más relevantes dentro de la ingeniería vial, ya que condiciona el desempeño operativo de la vía y su integración con el entorno.

El punto de partida es el análisis del tránsito proyectado, el cual determina el tipo de camino más adecuado y, a partir de ello, los parámetros de diseño fundamentales. Entre los más relevantes se encuentran el ancho de calzada, la velocidad directriz, los radios mínimos de curvatura, las pendientes máximas admisibles y los sobreanchos, los cuales influyen directamente en el trazado horizontal y vertical de la carretera.

Estos parámetros fueron definidos de acuerdo con la normativa vigente —principalmente las Especificaciones de la Dirección Nacional de Vialidad y las guías de la AASHTO—, considerando además las características topográficas del terreno y el contexto urbano-rural de la zona de estudio.

En este capítulo se presentan, entonces, los criterios y fundamentos adoptados para el diseño geométrico de la carretera, abarcando tanto el trazado en planta como el perfil longitudinal, las secciones transversales y las obras complementarias necesarias, con el fin de garantizar una solución vial eficiente, segura y acorde a las necesidades específicas de Salta Capital y la localidad de Vaqueros.

4.2 Parámetro de Diseño

El establecimiento de los parámetros de diseño constituye la base técnica para el desarrollo geométrico de la carretera proyectada. Dichos parámetros se definieron en concordancia con la normativa vigente (Dirección Nacional de Vialidad, 2018; AASHTO, 2011), la topografía del área de influencia y, principalmente, con el criterio de mantener la continuidad funcional y geométrica respecto de la Circunvalación Noroeste y la Costanera de Vaqueros, vías con las que conecta.

Se consideraron los siguientes parámetros de diseño:

- La vía proyectada se clasifica como autovía urbana de categoría I, esta categoría es la que corresponde de acuerdo con el TMDA obtenido, entrando en la tabla 3.21 según los criterios establecidos en el *Capítulo 3 “Elementos de diseño geométrico” del Manual de Diseño Geométrico de Caminos de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV, 2010)* destinada a cumplir funciones de conexión regional dentro del área metropolitana de Salta.
- Calzadas de 7.3 metros por sentido.
- Una mediana de 6 metros, cordón cuneta y veredas accesibles, lo cual garantiza condiciones de seguridad y continuidad operacional.
- Control parcial de accesos, concentrados en rotondas ubicadas en puntos estratégicos, lo que permite ordenar la circulación y reducir los conflictos de tránsito.
- Se adopta una velocidad directriz de 80 km/h debido al entorno urbano. En intersecciones la velocidad se reducirá a 30 – 40 km/h.
- Peralte máximo de 6%.

- Radio mínimo absoluto de 260m.
- Pendiente longitudinal máxima de 6%.
- Pendiente transversal de calzada de 2%.
- Talud 1:4.

4.3 Esquema General de la Trazas

En la presente sección se describe la traza adoptada para el proyecto vial, representada mediante un croquis en planta que permite visualizar la disposición general del eje, incluyendo la ubicación de las curvas horizontales, intersecciones y rotondas proyectadas.

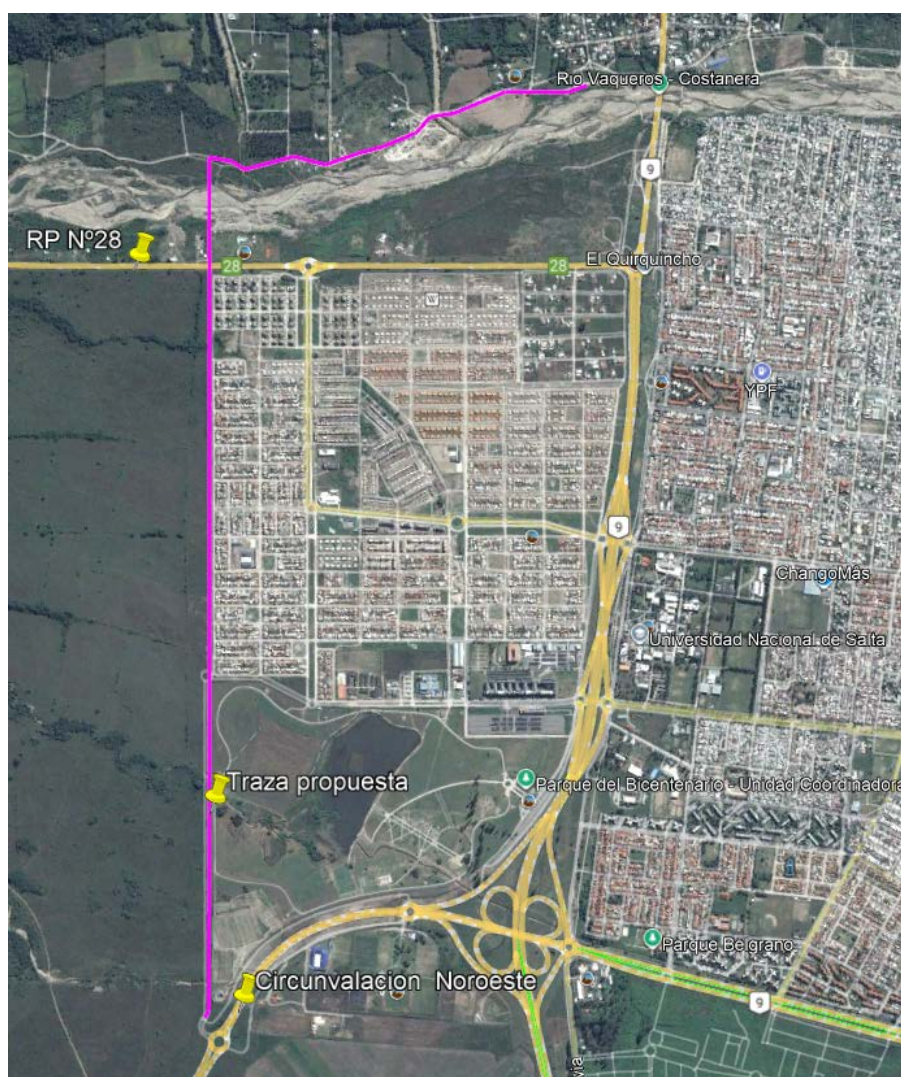


Ilustración VII. Trazas propuesta según Capítulo 3

En particular, sobre la traza correspondiente a la costanera se identifican las cuatro curvas horizontales diseñadas y verificadas en el presente estudio. Asimismo, en el sector de vinculación con la Circunvalación Noroeste se destaca el desarrollo del Ramal 1, el cual materializa la conexión entre ambas infraestructuras.

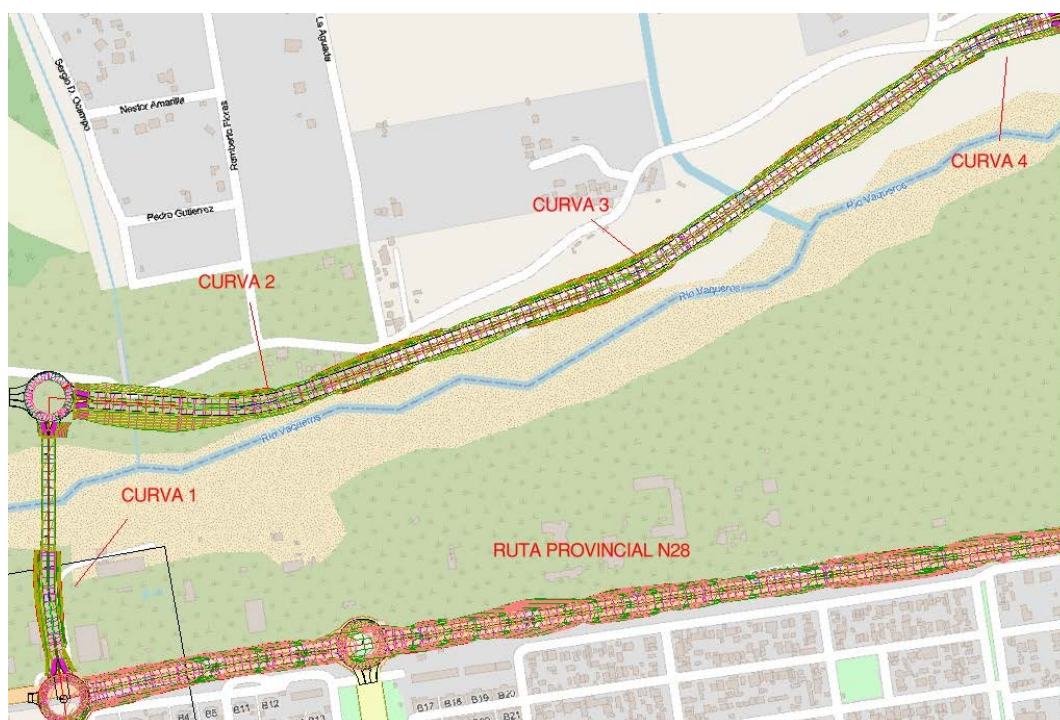


Ilustración VIII. Este esquema tiene como finalidad brindar una comprensión global del trazado, facilitando la interpretación de los elementos geométricos desarrollados en los apartados siguientes.

4.4 Perfil Transversal

El perfil transversal es el que se obtiene cortando la superficie con un plano vertical perpendicular al eje del camino.

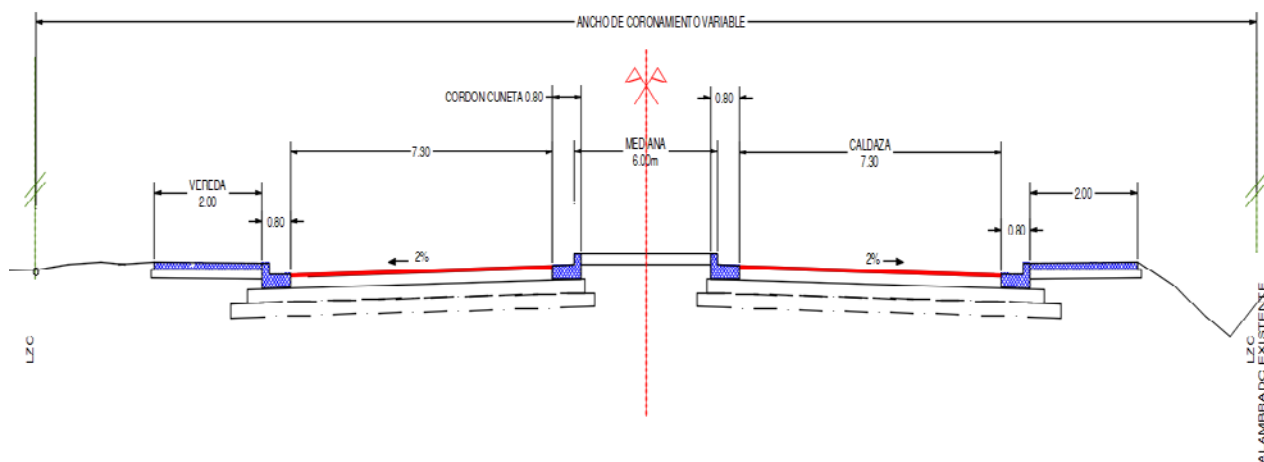
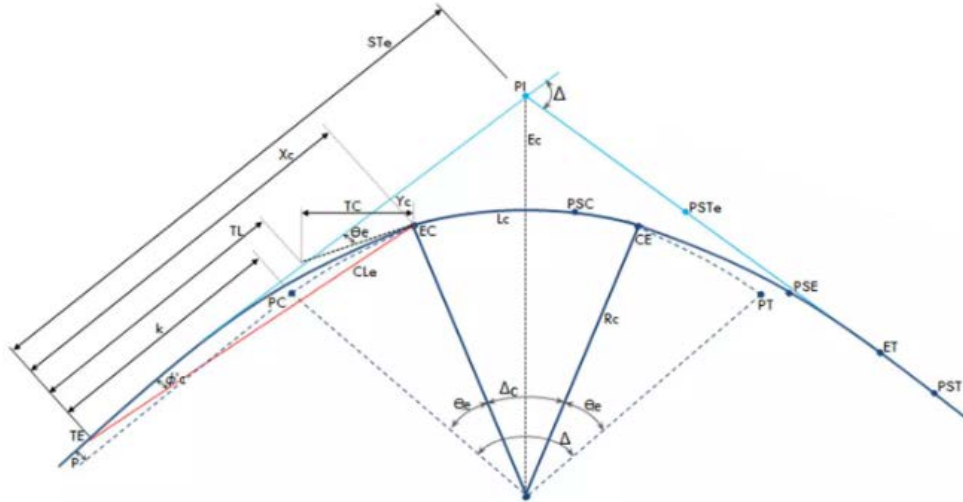


Ilustración IX. Perfil transversal tipo

Las características del paquete estructural serán vistas en el Capítulo 5 “Diseño del paquete estructural”.

4.5 Curvas Horizontales

Están compuesta por los siguientes elementos de la curva simple con transiciones.



Una vez que se ajustó la poligonal definitiva, se realizó el cálculo analítico de los elementos de una curva horizontal. Además, se incluye en los anexos una tabla correspondiente a las otras curvas que conforman el trazado vial en estudio. Estos cálculos detallados proporcionan una visión completa de la metodología aplicada y de los parámetros clave utilizados en el diseño de las curvas horizontales. Posteriormente, se procedió a verificar los valores obtenidos en los cálculos analíticos mediante el uso del software Civil 3D. Este proceso de verificación computacional aseguró la precisión y coherencia de los resultados con respecto a los estándares de diseño y las normativas vigentes.

Con la traza definida y establecidos los parámetros de diseño, radios mínimos, avanzamos con el cálculo de la primera curva, con su correspondiente peralte.

Procedimiento

Parámetros fijados por el proyecto:

$$V_d = 80 \text{ km/h}$$

$$e_{\max} = 6\% = 0,06$$

Radio mínimo Deseable y Radio mínimo Absoluto

Para la velocidad directriz y peralte máximo dados, el radio mínimo deseable es el valor del radio calculado con la velocidad media de marcha en flujo libre correspondiente a la velocidad directriz, para el cual el coeficiente de fricción transversal húmeda es nulo.

Velocidad directriz km/h	Peralte máximo 6%		Peralte máximo 8%		Peralte máximo 10%	
	Radios mínimos		Radios mínimos		Radios mínimos	
	Deseable m	Absoluto m	Deseable m	Absoluto m	Deseable m	Absoluto m
25	80	20	60	20	50	20
30	120	30	90	30	70	25
40	210	55	155	50	125	50
50	290	90	220	85	175	75
60	395	135	300	120	240	110
70	515	185	385	170	310	155
80	645	250	480	230	385	210
90	785	340	585	305	470	280
100	935	450	700	405	560	365
110	1095	585	820	520	655	470
120	1270	755	950	665	760	595
130	1450	970	1085	845	870	750
140	1640	1235	1230	1065	985	935

Justificación del radio adoptado en la Curva 1

Para la Curva 1 se adoptó un radio de $R = 525$ m. Si bien este valor resulta inferior n establecido por el Manual C3 de la DNV para una velocidad directriz de 80 km/h ($R_{\min,des} \approx 645$ m), se encuentra por encima del radio mínimo absoluto ($R_{\min,abs} \approx 250$ m), por lo que la curva es geoméricamente admisible.

La elección de este radio responde a una condición de trazado: se buscó compatibilizar la alineación de la ruta con la posición más conveniente para la futura construcción del puente sobre el río Vaqueros, optimizando la ubicación de los estribos, la longitud del tablero y el cruce en el sector de mayor estabilidad geotécnica. Un incremento del radio hasta el valor deseable implicaría desplazar significativamente el eje vial, generando mayores volúmenes de movimiento de suelo, interferencias con la traza existente y un incremento en los costos de la estructura del puente.

En este contexto, se consideró adecuado trabajar con un radio intermedio, comprendido entre el deseable y el absoluto, complementando el diseño con la aplicación del peralte máximo permitido, una señalización vertical y horizontal específica y, de ser necesario, la recomendación de una velocidad de operación menor en el entorno del puente, garantizando así niveles aceptables de seguridad y confort para los usuarios.

Longitudes mínimas

Para el cálculo de las longitudes de las espirales se determinó usando los diversos criterios: a) comodidad, b) apariencia general, c) apariencia de borde. En todos los casos, esa longitud no debería ser menor que 32 m. En el criterio de comodidad, la geometría se adopta a la espiral de Euler, en donde el peralte es proporcional al desarrollo de la curva.

Criterio de comodidad

$$L_{emin} = \frac{V^3}{28 * R} = 34,80 \text{ m}$$

Criterio de apariencia general

$$L_{emin} = \frac{V}{1,8} = 44,44 \text{ m} \geq 30$$

Criterio de apariencia de borde

$$L_{emin} = Des = \frac{c * e}{ib} = 39,34$$

donde

V = Velocidad directriz

R = Radio curva

Des = Longitud de desarrollo del peralte (m)

c = Ancho de carril (m)

e = Peralte (%)

ib = Pendiente relativa del borde respecto del eje de rotación

$$ib = 0,85 - \frac{V}{253} = 0,85 - \frac{100}{253}$$

Elementos de las curvas

VERTICE 1

Angulo de la tangente en los extremos de la espiral:

$$\theta_e = \frac{Le}{2 * R} = 0,0428 \text{ rad}$$

Tangente principal entre TE y V:

$$T_e = k + (R + p) * \tan \frac{\Delta}{2} = 54,0 \text{ m}$$

donde

$$k = \frac{L_e}{2} = 0,64 \text{ m}$$

$$p = \frac{L_e^2}{24 * R} = 0,16 \text{ m}$$

Externa:

$$E_e = (R + p) * \left[\sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right] + p = 2,87$$

Tangente Larga y Tangente Corta:

$$T_c = \frac{Le}{3} = 15,00 \text{ m}$$

$$T_l = \frac{2 * Le}{3} = 30,00 \text{ m}$$

Angulo al centro del arco circular:

$$\Delta_c = \Delta - 2 * \vartheta_e = 6,70^\circ$$

Para el ramal de ingreso a la traza principal

El sector comprendido entre la Circunvalación Noroeste y el inicio efectivo del tramo proyectado corresponde a un ramal de acceso posterior a la rotonda, cuya función es permitir la incorporación progresiva a la avenida mediante maniobras de baja velocidad. Este subtramo no integra el tronco principal de la vía, por lo que no se diseña con la Velocidad Directriz de 80 km/h, sino conforme a las condiciones reales de operación propias de un acceso urbano.

En estos sectores, la normativa vial admite la utilización de radios reducidos, dado que los vehículos circulan a velocidades operativas del orden de 30 a 40 km/h, producto del ingreso o egreso desde una rotonda. En tales casos, el criterio de diseño geométrico no se basa en el radio mínimo deseable del tramo principal, sino en la expresión que considera simultáneamente el peralte y la fricción transversal admisible:

$$R = \frac{V^2}{127 (e + f)}$$

Este enfoque es el recomendado para ramales, accesos, calles colectoras y zonas de maniobra, donde la longitud limitada del tramo y las bajas velocidades permiten radios significativamente menores, sin comprometer la seguridad del usuario.

A continuación, se adjuntan los correspondientes datos a las curvas del proyecto.

Nº de curva	A (°)	Radio (m)	Te (m)	Lc (m)	Ec (m)	Prog. EC	Prog. CE
Ramal 1	40°02'24"	50.00	18.20	34.90	3.20	0+003.20	0+031.70
Curva 1	11°36'15"	525.38	53.38	106.41	2.67	1+520.00	1+626.41
Curva 2	29°39'57"	351.24	92.53	181.86	12.99	0+940.00	1+121.86
Curva 3	19°44'56"	400.97	69.80	138.21	6.03	2+510.00	2+648.21
Curva 4	23°24'25"	356.26	73.81	145.54	8.44	3+000.00	3+145.54

Justificación de los radios del resto de las curvas

En el caso de las restantes curvas del tramo de estudio, los radios también se ubican entre el radio mínimo deseable y el mínimo absoluto para la velocidad directriz de 80 km/h. La elección de estos valores se encuentra condicionada principalmente por la necesidad de acompañar la traza de la costanera existente de Vaqueros, minimizando las expropiaciones, las afectaciones a frentistas, las intervenciones sobre obras y servicios existentes y el impacto sobre el entorno urbano y ambiental.

Modificar la traza para alcanzar radios estrictamente deseables implicaría alejarse significativamente del corredor actual, con el consiguiente aumento de costos de obra, movimientos de suelo y ocupación de nuevas áreas, sin un beneficio proporcional en términos funcionales. Por ello, se optó por mantener la compatibilidad con el trazado actual, asegurando en todos los casos el cumplimiento del radio mínimo absoluto, el uso de peraltes adecuados y la incorporación de medidas de seguridad vial (señalización, demarcación, defensas, etc.), lo que permite considerar las curvas proyectadas como técnicamente aceptables dentro de un contexto de traza restringida.

Cálculo de Sobreancho

El sobreancho es un ensanche adicional de la calzada que se incorpora en curvas horizontales para compensar la diferencia entre la trayectoria descrita por el eje delantero y la que sigue el eje trasero de un vehículo, especialmente en radios reducidos. Si bien en la calzada principal del proyecto los radios utilizados son suficientemente grandes para que la deriva lateral sea mínima, en el ramal de entrada ocurre exactamente lo contrario.

Se realizará el cálculo en la curva ramal, en el acceso del proyecto, donde se adoptó un radio en el orden de los 50 metros, lo cual implica giros marcados del eje delantero, desprendimiento significativo entre las trayectorias de las ruedas delanteras y traseras, tendencia del vehículo a “recortar” la curva hacia adentro del carril.

El sobreancho S , en metros, de un camino de 2 carriles para calzadas de 7,3m (3,65m x carril), siendo R el radio de la curva en metros, y V la velocidad directriz en km/h, es la siguiente expresión adoptada

$$S(m) = 2 * \left[R - \sqrt{R^2 - 105,9} \right] + \sqrt{R^2 + 13,4} - R + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

En el Proyecto, los datos que nos acompañan:

$$R_1 = 50m$$

$$V = 40km/h$$

por lo tanto

$$S_1 = 2 * \left[40m - \sqrt{40m^2 - 105,9} \right] + \sqrt{40m^2 + 13,4} - 40 + \frac{100}{10\sqrt{40}}$$

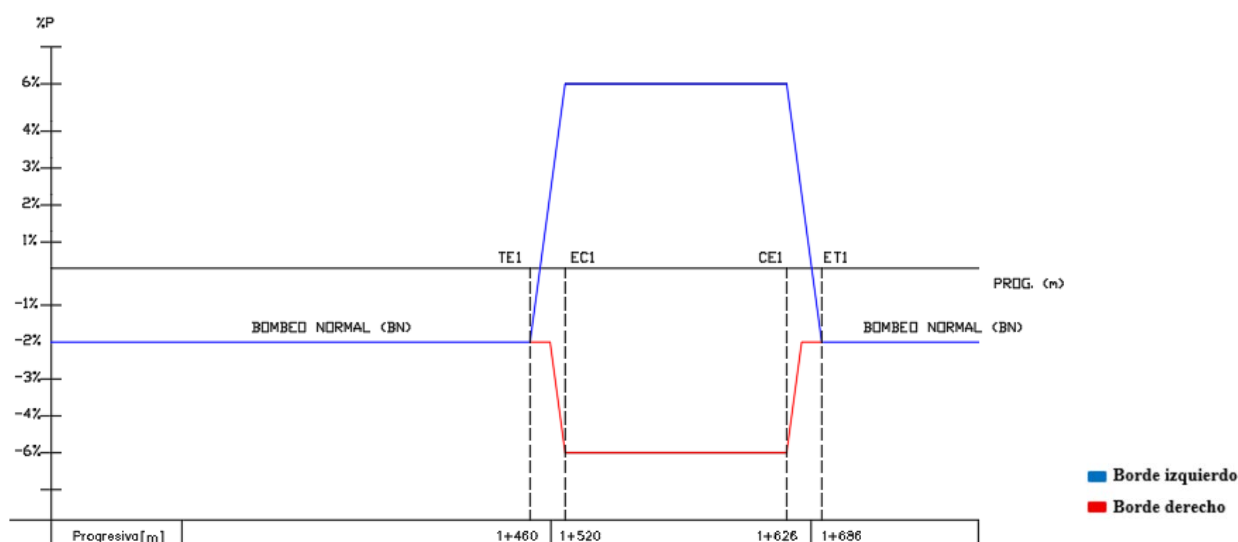
$$S_1 = 0,43m$$

Por razones prácticas constructivas no se proporciona sobreancho a las curvas horizontales, cuando por cálculo se obtiene un valor inferior a 0,5 metros.

Transición del Peralte en la curva 1

La transición del peralte es el proceso mediante el cual se modifica progresivamente el perfil de la sección transversal de la calzada desde el bombeo normal (BN) en recta hasta el perfil peraltado en curva, y viceversa. Toda curva que requiera peralte debe contar con transiciones tanto en la entrada como en la salida, con el objetivo de acompañar la variación de la curvatura y favorecer una adecuada adaptación del vehículo, en correspondencia con la variación del peralte y del sobreancho

En el siguiente diagrama se representa la variación del peralte a lo largo de la transición de entrada y salida de la curva 1. Se presenta el desarrollo completo de la transición del peralte únicamente para esta curva, ya que el procedimiento de cálculo y verificación es análogo para las restantes curvas del trazado.



Punto	Descripción	Progresiva [m]	Peralte e [%]
1	Inicio transición de peralte de entrada	1+460.00	0
2	1/3 de transición de entrada	1+480.00	2
3	2/3 de transición de entrada	1+500.00	4
4	Fin transición / peralte completo (PC)	1+520.00	6
5	Punto medio de la curva (opcional)	1+573.20	6
6	Inicio transición de salida (PT)	1+626.41	6
7	1/3 de transición de salida	1+646.41	4
8	2/3 de transición de salida	1+666.41	2
9	Fin transición de peralte de salida	1+686.41	0

Cálculo de Distancia de Frenado y de Sobrepaso

La expresión para calcular la distancia visual de frenado que nos da la norma es la siguiente:

$$DVD = DPR + Df$$

Siendo:

DVD: Distancia Visual de Detención

DPR: Distancia de Percepción y Reacción

DF: Distancia de Frenado

$$DPR = \frac{V}{1.44}$$

$$DF = \frac{V^2}{254 * fl}$$

Teniendo en cuenta estos datos podemos calcular la distancia visual de detención:

Tabla 3.1
fl función de V

V km/h	fl -
25	0,42
30	0,40
40	0,37
50	0,35
60	0,33
70	0,32
80	0,31
90	0,30
100	0,29
110	0,28
120	0,27
130	0,27
140	0,26

Coefficiente de fricción longitudinal húmeda (fl)

Velocidad Directriz del proyecto (V):

Según V=100km/hs, adoptamos un fl: 0,31

Entonces remplazamos:

$$DVD = DPR + Df$$

$$DVD = \frac{80 \frac{km}{h}}{1,44} + \frac{(80 \frac{km}{h})^2}{254 * 0,31} = 136,8m$$

A efectos de diseño se adopta DVD = 138 m, correspondiente al valor tabulado por la normativa para V = 80 km/h, por tratarse de un valor normativo de referencia.

4.6 Curvas Verticales

Calculamos a continuación, las longitudes de todas las curvas verticales en los vértices de la rasante y el cálculo de cotas y progresivas de los puntos principales de todas las curvas:

Criterio de diseño

Se tomo como pendiente máxima un 6% en curvas verticales

Criterios de longitudes mínimas

Los criterios que afectan la curvatura de la rasante son:

- Seguridad de operación (DVD)
- Apariencia estética de la rasante ($L \geq V$)
- Comodidad de los viajeros (Aceleración centrífuga vertical)
- Drenaje superficial ($i \geq 0,35\%$ a 15m del vertice)

Los criterios de comodidad de los viajeros y drenaje superficial generan parámetros superiores a los parámetros de los otros dos criterios. Para cada velocidad directriz se determinan los K(m/%) mínimos que satisfagan los siguientes criterios:

- Seguridad de operación (DVD)
- Apariencia estética de la rasante ($L \geq V$)

Longitudes mínimas de curvas verticales convexas y cóncavas

La mayor de las Lmin siguientes:

- Seguridad de operación

Para cualquier $\Delta i(\%)$ e $im(\%)$:

$$Lmin(m) = Kbasico \times \Delta i \times Fim$$

Fim: factor de corrección por im (según tabla convexas o cóncavas)

V km/h	Kbásico (m/%)	Pendiente media			
		0 - 2%	2 - 4 %	4 - 7 %	7 - 10 %
25	4	1	1	1	1
30	4	1	1	1	1
40	4	1	1,1	1,2	1,3
50	8	1	1,1	1,2	1,3
60	15	1	1,1	1,2	1,3
70	24	1	1,1	1,3	1,5
80	38	1	1,2	1,3	1,5
90	57	1	1,2	1,4	1,6
100	84	1	1,2	1,4	1,7
110	119	1	1,2	1,4	1,7
120	165	1	1,2	1,4	1,8
130	226	1	1,2	1,5	1,9
140	300	1	1,3	1,5	1,9

Ilustracion X. Factores (Fim) para aplicar al K en función de la V e im en bajada de curvas convexas

- Apariencia estética de la rasante Para que la curva vertical parezca una curva y no un quiebre se adopta la ecuación empírica y subjetiva:

$$Lmin(m) = V(Km/h)$$

- K mínimo

Independientemente de V se adopta $K \geq 4 \text{ m/\%}$:

Con el objeto de verificar el cumplimiento de los parámetros geométricos establecidos para la velocidad de proyecto, se realizó el cálculo de los elementos de las curvas horizontales del trazado.

A modo ilustrativo se desarrolla a continuación el cálculo completo correspondiente a la Curva 1, mostrando el procedimiento adoptado.

Las restantes curvas fueron calculadas aplicando el mismo criterio de diseño, por lo que sus resultados se presentan de manera sintética en una tabla resumen con sus respectivos parámetros geométricos.

Curva 1 Convexa

Para el cálculo, se adoptaron los siguientes valores según modelo AASTHO – Alturas DNV

- Altura ojos; $h_1 = 1,1 \text{ m}$
- Altura faros delanteros: $h_1 = 0,6 \text{ m}$
- Altura objeto:
 o Operación diurna: $h_2 = 0,3 \text{ m}$ (absoluta) / $0,15 \text{ m}$ (normal) / 0 m (deseable)
 o Operación nocturna: $h_2 = 0,6 \text{ m}$ (altura faros traseros)
- Altura vehículo = $1,3 \text{ m}$
- Ángulo del haz luminoso sobre el eje longitudinal $\alpha = 1^\circ$

Datos según proyecto curva 1:

$$\Delta i(\%) = 0,8\%$$

$$im = 1,1\%$$

$$L_{min}(m) = K_{basico} \times \Delta i \times Fim$$

$$DVD = 138m$$

Para una curva vertical convexa, K es igual:

$$K = \frac{DVD^2}{100 * (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = CA * DVD^2$$

CA: Coeficiente de alturas de curvas convexas

La visibilidad nocturna con $h_1 = 0,6 \text{ m}$ (altura de los faros delanteros) y $h_2 = 0,6 \text{ m}$ (altura de los faros traseros) es similar a la visibilidad diurna con $h_1 = 1,1 \text{ m}$ y $h_2 = 0,3 \text{ m}$. Para el cálculo se adopta la operación diurna

Remplazando datos de proyecto

$$K = \frac{138^2}{100 * (\sqrt{2 * 1,1} + \sqrt{2 * 0,3})^2} = 37,36m/\%$$

$$K = 38m/\%$$

A efectos de diseño se adopta $K = 38m/\%$, redondeando al valor entero superior y verificando que coincide con el valor tabulado para una velocidad de proyecto de 80 km/h, presentado en la *Ilustración VIII*.

El *Fim*, para una pendiente media de 1%, será:

$$Fim = 1$$

Por lo tanto:

$$Lmin(m) = K_{basico} \times \Delta i \times Fim$$

$$Lmin(m) = 38m/\% \times 0.8\% \times 1 = 30,4m$$

• Apariencia estética de la rasante. Para que la curva vertical parezca una curva y no un quiebre se adopta la ecuación empírica y subjetiva:

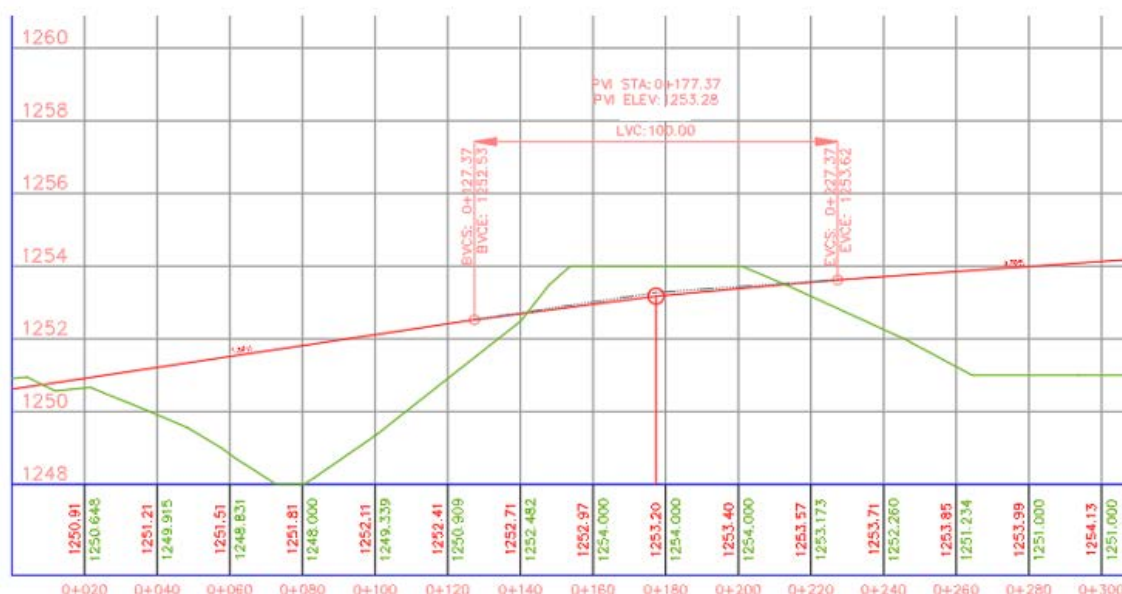
$$Lmin(m) = V (km/h) = 80m$$

• K mínimo

Independientemente de V se adopta $K \geq 4 m/\%$:

Finalmente, adoptamos la mayor: $Lmin(m) = 80 \cong 100$

Calculo a detalle Curva 1 cóncava con sus respectivas progresivas, cotas, punto inicio y punto final:

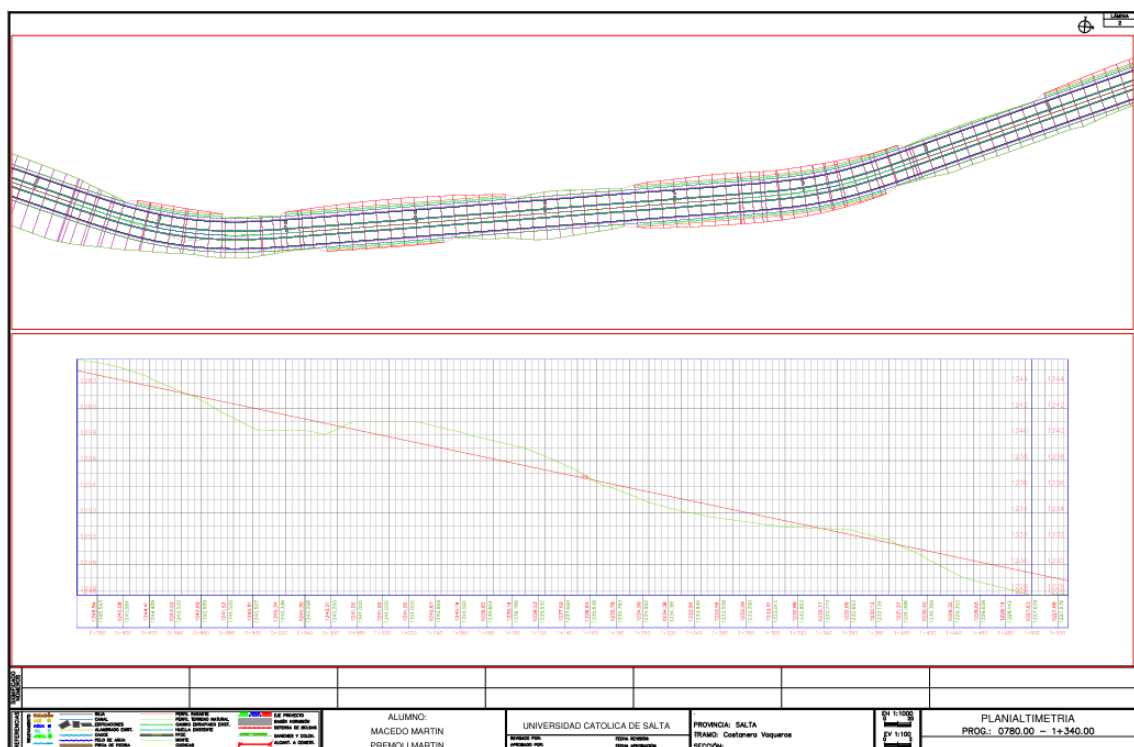


Curva	Vertice		Pendientes		Δi (%)	i_m (%)	K básico (m/%)	Longitud mínima		L adoptada (m)
	Progresiva	Cota (m)	i_1 (%)	i_2 (%)				Seguridad	Estética (rKmin (m))	
1	0+177,37	1253,28	1,5	0,7	0,8	1,1	38	30,4	50	38
2	0+374,86	1254,65	0,7	2,23	1,53	1,47	38	58,14	50	38
3	0+559,31	1258,77	2,23	-0,3	2,53	0,97	38	96,14	50	38
4	1+812,15	1253,27	-0,3	-2,12	1,82	-1,21	38	69,16	50	38
5	1+940,66	1220,01	-2,12	-0,1	2,02	-1,11	38	76,76	50	38

Altimetría

La altimetría es la rama de la topografía que se ocupa de medir y representar las alturas y desniveles de un terreno. A diferencia de la planimetría, que proyecta el terreno en forma horizontal, la altimetría permite conocer su relieve, pendientes y diferencias de nivel.

La altimetría es esencial en el diseño de carreteras, vías y caminos, ya que permite definir el perfil longitudinal y transversal de la vía, calcular cortes y terraplenes, y planificar obras de drenaje y superaleación. Además, proporciona información fundamental para el análisis hidráulico e hidrológico, asegurando que la vía se construya de forma segura y funcional.



4.7 Conclusiones

En este capítulo se desarrolló el diseño de la planimetría, la sección transversal y el alineamiento vertical del proyecto, aplicando los parámetros geométricos establecidos por la normativa vigente para una velocidad directriz de 80 km/h. El trazado propuesto permitió definir una rasante continua y funcional.

Las pendientes longitudinales adoptadas se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la norma, asegurando un adecuado comportamiento operativo y un drenaje eficiente de la calzada. Se verificaron las longitudes mínimas requeridas para cada curva vertical, tanto por criterio de seguridad de operación como por apariencia estética de la rasante.

En términos funcionales, el trazado ofrece en todo su desarrollo distancias de visibilidad superiores a las distancias de visibilidad de detención, cumpliendo así con los criterios de seguridad vial esperados para la velocidad de proyecto. Asimismo, la

combinación entre el alineamiento en planta y el perfil longitudinal asegura una circulación confortable y coherente con los estándares de diseño vial.

En conjunto, el alineamiento resultante satisface los requisitos normativos y presenta un comportamiento geométrico adecuado, quedando únicamente las curvas mencionadas como aspectos a optimizar para alcanzar un diseño completamente conforme en términos de seguridad y estética vial.

Capítulo 5: Diseño del paquete estructural

5.1 Introducción: Tipo de pavimento

Para el presente proyecto, se optó por la implementación de un pavimento del tipo flexible, es decir, aquel cuyo material cementante es el cemento asfáltico. Se eligió este tipo de pavimento, principalmente por razones económicas, considerando que se cuenta con una buena calidad de suelo en el camino existente.



Ilustración XI. Estructura típica de un pavimento flexible

Las tres primeras capas que se pueden apreciar en el esquema, en conjunto se denominan paquete estructural. La carpeta de concreto asfáltico, también denominada capa de rodamiento será la que esté sometida a mayores exigencias. Esto debido a que:

- 1. Soporta la carga de forma directa de los vehículos, por lo cual tiene mayor presión.
- 2. Soporta la acción abrasiva del tránsito, es decir frenadas, derrapes, giros, etc.
- 3. Sufre los efectos de la intemperización, es decir que está sometido a la acción de los distintos fenómenos climáticos, como la lluvia, el sol, el viento y su efecto abrasivo, cambios de temperatura, etc.
- A su vez la capa de rodamiento ha de contar con las siguientes propiedades:
 - 1. Estabilidad: entendida como la resistencia a la deformación plástica.
 - 2. Flexibilidad: es la capacidad de deformarse elásticamente sin agrietarse y recuperar su

- forma original, cuando la carga cesa.
- 3. Durabilidad: la capa de rodamiento debe ser resistente a los agentes climáticos.
- 4. Antideslizante: debe tener buena adherencia entre la superficie del pavimento y los neumáticos, por cuestiones de seguridad y confort.
- 5. Compactibilidad: debe ser de fácil distribución y densificación.
- 6. Económico: como ingenieros, nuestro objetivo es utilizar los materiales más baratos disponibles y en la menor cantidad posible, siempre que cumplan con las exigencias técnicas.

5.2 Diseño estructural

Cuando hablamos de diseñar un pavimento, hacemos referencia a determinar los espesores de las distintas capas que componen el paquete estructural. Existen dos métodos para el diseño: por un lado, el método Shell, un método científico que hace uso de las leyes de la física. Por otro lado, el método AASHTO, método empírico y de uso muy extenso en el mundo.

Como vimos, el paquete estructural consta de tres capas:

1. Una capa o capas con ligante asfáltico.
2. Una capa o capas granulares no cementadas: Consiste en una o más capas compactas de material granular o estabilizado.
3. Suelo natural o subrasante: es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en su valor soporte

5.3 Método AASHTO

Se basa en un método empírico, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

El Método de Diseño de AASHTO introdujo el concepto de falla funcional de un pavimento, en oposición a los métodos tradicionales a la fecha, los cuales se fundamentaban exclusivamente en los conceptos de falla estructural. Para cuantificar esta descripción funcional se introdujeron varios conceptos fundamentales. El primero de ellos se refiere a la "servicapacidad", es decir a la habilidad que tiene un pavimento para servir al tráfico para el cual fue diseñado. Otro concepto fue el del "comportamiento" del pavimento, que puede ser definido como su habilidad para servir al tráfico a lo largo del tiempo.

Se ha elegido este método, porque a diferencia de otros, introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

Para establecer los distintos deterioros que se producen, se define como PSI (índice de serviciabilidad presente) o simplemente "p".

Procedimiento. La ecuación por resolver que plantea el método AASHTO*93 es la siguiente:

$$\log W_{18} = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log M_R - 8,07$$

Donde las variables que intervienen son:

- W18: número de ejes equivalentes a 18.000 lb. (8.2 Tn) que solicitarán al tramo durante el período de vida útil previsto.
- ZR: desviación normal estándar para el grado de confiabilidad R elegido.
- So: error estándar combinado de las predicciones de tránsito y de comportamiento.
- ΔPSI: pérdida de serviciabilidad al final del período de estudio.
- MR: módulo resiliente de la subrasante.
- SN: número estructural total del pavimento.

El valor de SN que satisfaga la igualdad planteada por la ecuación del método será el Número Estructural necesario para satisfacer las posibles alternativas de diseño dadas por la expresión:

$$SN_{\text{proy}} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \geq SN_{\text{nec}}$$

Donde:

- ai: coeficiente de aporte estructural o de capa, para cada uno de los espesores que componen el paquete estructural.
- Di: espesor de cada capa
- mi: coeficiente que refleja las condiciones de drenaje generales y las correspondientes a cada capa.

Cálculo de W18

La obtención de W18 se logra mediante la siguiente expresión matemática:

$$W18 = GF \times ESALs \times DD \times LD \quad GF = \frac{[(1 + g)^n - 1]}{g}$$

Donde:

- GF: factor de crecimiento

- g: tasa de crecimiento anual prevista para el tránsito
- n: número de años de vida útil proyectada
- ESALs cantidad de ejes equivalentes que actuarán a lo largo de la vida útil proyectada.
- DD: distribución direccional
- LD: distribución por trocha

AASHTO utiliza el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 kN u 8,2 toneladas) denominados ESALs (equivalent simple axial load - carga axial simple equivalente). La conversión de una determinada carga por eje a ESAL se hace a través de los factores equivalentes de carga F_c (LEF load equivalent factor).

A continuación, explicaremos a detalle cómo se obtuvieron estos valores, a excepción de g, que se obtuvo por las mediciones de **TMDA**, y **n**, dado que es una decisión de proyecto.

LEFS y ESALs

AASHTO incorpora una serie de tablas con LEFs variando en función a la carga aplicada, la serviciabilidad final y el SN del pavimento. Es necesario entonces, previo a encontrar los LEFS, definir el nivel de serviciabilidad final que se espera obtener al término del período de vida útil proyectado. Ingresando en las tablas del Anexo IV, para la serviciabilidad final fijada, con la carga en kips para cada tipo de eje, se obtienen los LEFs para un dado número estructural supuesto, y por interpolación se ajustan como ilustran las planillas siguientes:

EJES SIMPLES						
Carga/eje	SN					
Kips	1	2	2.8	3	4	5
2	0.0004	0.0004		0.0004	0.0004	0.0004
2.2	0.00066	0.00076	0.00077	0.00076	0.00066	0.00056
4	0.003	0.00076		0.004	0.003	0.002
12	0.168	0.004		0.229	0.213	0.176
13.23	0.4281	0.4532	0.326	0.485	0.478	0.440
14	0.591	0.613		0.646	0.645	0.606
22	2.48	2.38		2.17	2.09	2.3
23.15	3.175	3.018	2.763	2.699	2.55	2.857
24	3.69	3.49		3.09	2.89	3.27
EJE TANDEM						
22	0.16	0.198		0.229	0.207	0.18
24	0.231	0.273		0.315	0.292	0.26
38	1.75	1.73		1.69	1.68	1.7
39.68	2.136	2.091	2.019	2	1.974	2.019
40	2.21	2.16		2.06	2.03	2.08

Factor de distribución por dirección (DD)

En general es 0.5, es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debería deducirse del censo de tránsito. Quizás es más importante la diferencia en peso entre los vehículos que van en una y otra dirección, como puede ser por la cercanía de una fábrica, una mina, un puerto, etc. En carreteras que tienen una diferencia notable en las cargas de ida o vuelta también puede utilizarse el factor 0.6.

En este caso adoptamos $DD = 0.5$

Factor de distribución por carril (LD)

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección

forzosamente se canaliza en ese carril. Para caminos multicarril, el carril de diseño es el más externo, dado que los camiones y, por lo tanto, la mayor parte de los ESALs, usan ese carril. En este caso LD puede variar entre 0.8 y 1 de acuerdo con esta tabla:

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Adoptamos $LD = 0.8$

Para resolver el segundo miembro de la igualdad que plantea la fórmula del método AASHTO 93 se deben conocer las siguientes variables:

Confiabilidad

AASHTO ha introducido el concepto de Confiabilidad (R), que en última instancia es un coeficiente de seguridad, cuyo propósito es considerar la incertidumbre y variabilidad en el diseño, la construcción y la determinación de las cargas.

Atento a ello, Confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista, dentro de la vida útil, y bajo las condiciones ambientales que tienen lugar en ese lapso.

Así, por ejemplo, una Confiabilidad del 70% indica que hay un 30% de probabilidad que el pavimento comience a fallar antes de completar su período de diseño. En cambio, con una Confiabilidad del 90 % existirá solo un 10% de probabilidad que el pavimento falle antes de su vida de diseño.

Por ello, AASHTO advierte que "un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costoso y por lo tanto mayores costos iniciales, pero también pasará más tiempo hasta que ese pavimento necesite una reparación, y por ende los costos de mantenimiento serán menores. Por el contrario, un nivel de confiabilidad bajo da pavimentos más económicos, pero con un mayor costo de mantenimiento".

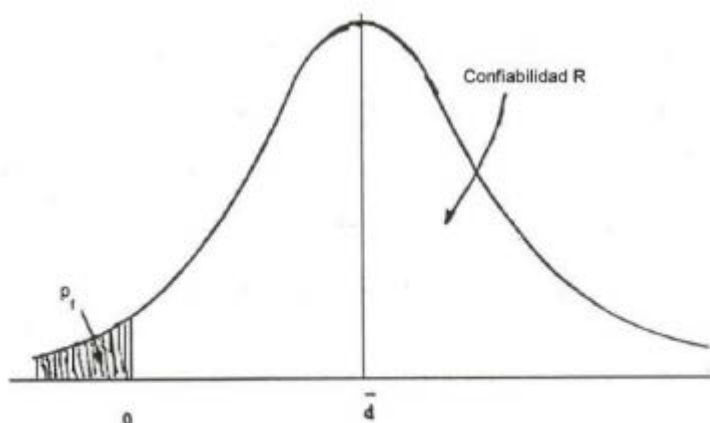


Ilustración de los conceptos de probabilidad de falla y de confiabilidad

El método AASHTO 93 recomienda valores de confiabilidad en función del tipo de camino:

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad Recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas y Carreteras Interestatales	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Calles locales	50-80	50-80

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_R
50	0.000
60	0.253
70	0.524
75	0.674
80	0.841
85	1.037
90	1.282
91	1.340
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99.9	3.090
99.99	3.750

El tramo en cuestión se consideró como una arteria principal en un entorno tanto urbano como rural, por ello adoptamos una confiabilidad $R = 90\%$, correspondiente a una desviación normal estándar $Z_R = 1,282$.

Desviación Estándar

La varianza o desviación estándar (S_o) del comportamiento del pavimento y el tránsito estimado en el período de diseño puede ser obtenida de la tabla siguiente, según los valores recomendados por AAHSTO.

Condición de diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.34 (pav. Rígidos)
	0.44 (pav. Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.39 (pav. Rígidos)
	0.49 (pav. Flexibles)

Adoptamos $S_o = 0,44$.

Serviciabilidad

Mientras que las fallas, la condición estructural y la fricción superficial son importantes indicadores ingenieriles de las condiciones de un pavimento, los usuarios juzgan el estado de un pavimento en términos de calidad para circular sobre ellos.

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. En el procedimiento de diseño AASHTO, la serviciabilidad está calificada en términos de Clasificación de Serviabilidad Presente (PSR=Present Serviceability Rating) y los niveles de serviciabilidad se encuentran tabulados:

PSR	Condición
0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

En los pavimentos flexibles estudiados por la AASHTO, el pavimento nuevo alcanzó un valor medio de $p_o = 4,2$. El índice de servicio final p_t representa al índice más bajo capaz de ser tolerado por el pavimento, antes de que sea imprescindible su rehabilitación mediante un refuerzo o una reconstrucción. El valor asumido depende de la importancia de la carretera y del criterio del proyectista, se sugiere para carreteras de mayor tránsito un valor de $p_t \geq 2,5$ y para carreteras de menor tránsito $p_t = 2,0$. En este caso se adoptó $p_t = 2,5$.

Por lo tanto:

$$\Delta PSI = p_o - p_t = 1,7$$

Módulo Resiliente de la Subrasante

En el nuevo método AASHTO 1993, el Módulo Resiliente MR reemplaza al CBR (Valor Soporte Relativo) como variable para caracterizar la subrasante, sub-bases y bases.

Para Bases y Sub-bases granulares, que por condición de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad deben tener CBR >80% y >40% respectivamente, se emplea la siguiente correlación para obtener el MR asociado a esas capas:

$$MR = 130 \times (CBR)^{0.717} [=] \text{ kg/cm}^2 \text{ (Dividir por 0.0704 para pasar a psi).}$$

De esta manera obtenemos:

$$MR = 130 \times (90)^{0.717} = 46.511 \text{ psi}$$

Resultado de la ecuación

Operando en un proceso iterativo a partir de suponer un valor para SN, se efectúan aproximaciones sucesivas hasta lograr un valor de SN que haga cumplir la igualdad de la ecuación del método. Dicho valor resulta ser el Número Estructural "Necesario" SN_{nec}.

Adoptamos un SN_{proy} = 2,5.

Caracterización del Tránsito	Config. Ejes	Esquema	Distribución de Cargas: Ejes Simples - Tandem - Tridem			Carga Total Tn	LEFs para SN=2,5 y P1=2,5	Factor equivalente	Distribución del tránsito	Volumen Anual	N° ESALs para diseño
			N°	(Tn)	Kips						
Autos	S-1		1	1	2,2	2	0,000769	0,002	92,2	3.027.087	4.656
	S-1		1	1	2,2		0,000769				
BUS	S-1		1	6	13,23	16,5	0,314975	3,174	2,5	82.079	260.486
	D-1		1	10,5	23,15		2,858625				
Cam. Liviano 3-ejes (S/A)	S-1		1	6	13,23	24	0,314975	2,361	4,5	147.743	348.818
	D-2		2	18	39,68		2,046				
Cam. Pesado 5-ejes (C/A)	S-1		1	6	13,23	37,5	0,314975	8,891	0,1	3.283	29.189
	D-1		1	10,5	23,15		2,858625				
	D-1		1	10,5	23,15		2,858625				
	D-1		1	10,5	23,15		2,858625				
Cam. Pesado 5-ejes (SEMI)	S-1		1	6	13,23	45	0,314975	8,078	0,7	22.987	185.694
	D-1		1	10,5	23,15		2,858625				
	D-1		1	10,5	23,15		2,858625				
	D-2		2	18	39,68		2,046				
					TOTAL EJES EQUIVALENTES DE 8,16 TN POR AÑO						828.842

Por lo tanto

$$ESALS = 828.842$$

El GF obtenido para un g del 0.03 y n de 20 (años) es:

$$GF = 26,870$$

Conocidas todas las variables se calcula W18 para el SN supuesto de partida.

$$W18 = GF \times ESALS \times DD \times LD = 8.908.392,98.$$

(Operaciones de cálculo en el Anexo V)

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$\log(W_{18}, 10) = 6,950$$

$$Z_n * S_o + 9,36 * \log((S_n + 1), 10) - 0,2 + \frac{\log\left(\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log(Mr, 10) - 8,07 = 6,988$$

Por lo tanto, **SN_{nec}=2,5**.

Dimensionamiento de las capas

Conocido el valor de SN_{nec} que satisface la igualdad planteada por la ecuación del método debe cumplirse:

$$SN_{proy} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \geq SN_{nec}$$

Siendo:

- a_i : coeficiente de aporte estructural o de capa, para cada uno de los espesores que componen el paquete estructural.
- D_i : espesor de cada capa.
- m_i : coeficiente que refleja las condiciones de drenaje generales y las correspondientes a cada capa.

Los valores adoptados para a_i son:

$$- a_1 = 0,42 \frac{1}{pulg} = 0,165 \frac{1}{cm}$$

$$- a_2 = 0,14 \frac{1}{pulg} = 0,055 \frac{1}{cm}$$

$$- a_3 = 0,135 \frac{1}{pulg} = 0,053 \frac{1}{cm}$$

$$m_2 = m_3 = 1$$

Estos valores se obtienen como se explica a continuación:

Coeficientes de Drenaje m_i

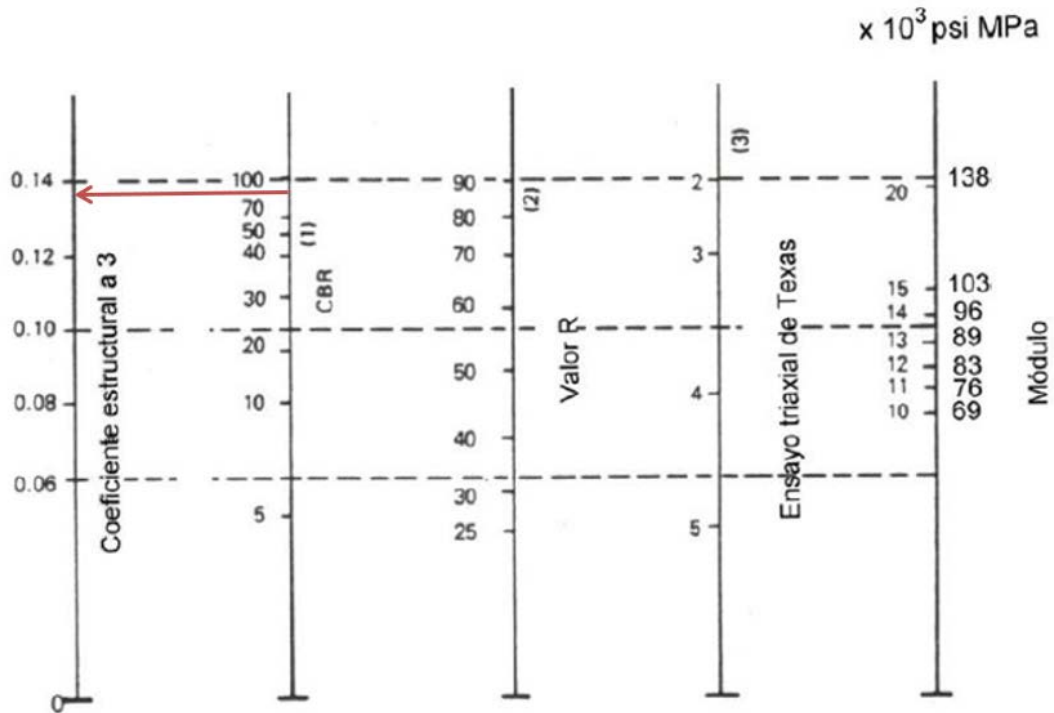
Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Si no se tiene mayor información, el criterio conservador es adoptar $m_2 = m_3 = 1$.

a) Subbase Granular.

Para la capa de Subbase granular, la exigencia es $CBR > 40\%$. Se adopta un valor $CBR = 90\%$ para un $M_R = 46.511 \text{ psi}$, AASHTO 93 brinda un ábaco para subbases granulares de donde se obtiene a_3 :

$$a_3 = 0.135 \frac{1}{\text{pulg}} = 0.053 \frac{1}{\text{cm}}$$

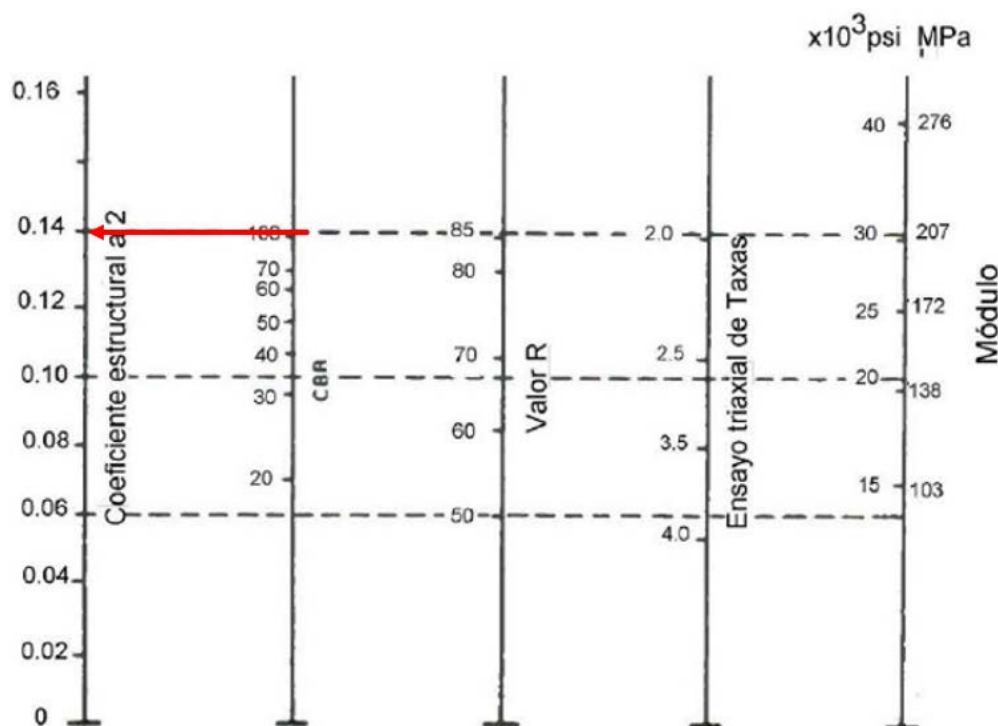


Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes.

b) Base Granular.

Para la capa de Base granular, la exigencia es $CBR \geq 80\%$. Se adopta un valor $CBR = 100\%$ para un $M_R = 50.161 \text{ psi}$, AASHTO 93, brinda un ábaco para bases granulares de donde se obtiene a_2 :

$$a_2 = 0.14 \frac{1}{\text{pulg}} = 0.055 \frac{1}{\text{cm}}$$



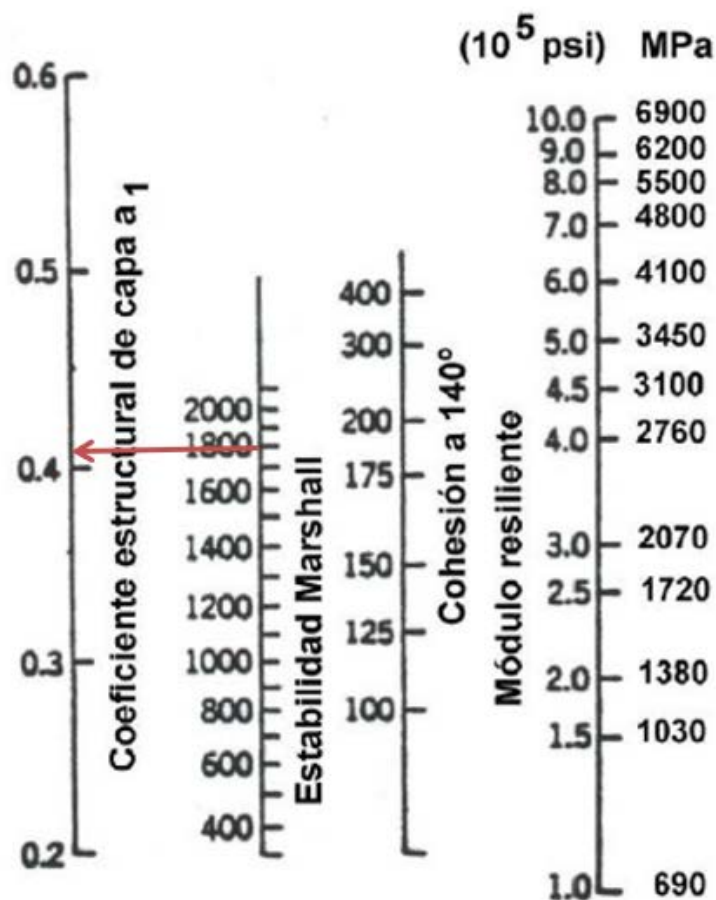
Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.

c) Capas de Concreto Asfáltico

Para establecer el coeficiente de aporte estructural para las mezclas asfálticas, se utiliza el ábaco de correlación con la Estabilidad Marshall (en libras) provisto por la metodología de diseño AASHTO 93, adoptándose finalmente:

Estabilidad mínima de la mezcla por PETG. DNV: 800 kg $\approx$ 1800 lb.

$$a1 = 0.42 \frac{1}{pulg} = 0.165 \frac{1}{cm}$$

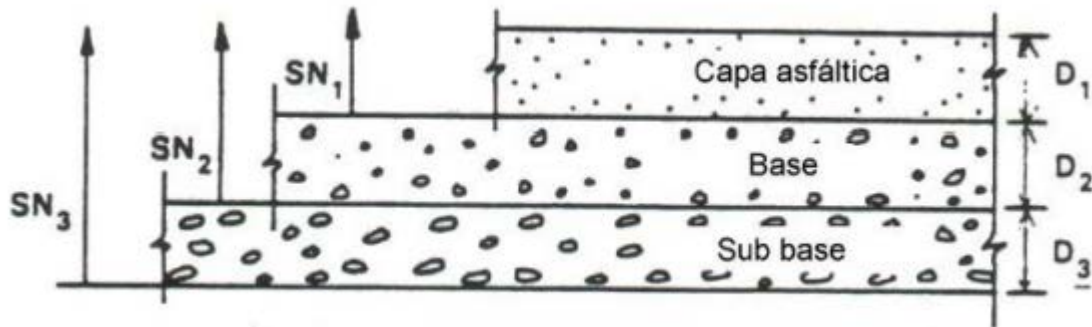


Coefficientes estructurales para capas asfálticas relacionados con varios ensayos

Propuesta de Paquete Estructural

Determinados los coeficientes a_1 y m_i , la determinación de los espesores de cada capa se efectúa siguiendo el criterio de los espesores mínimos.

Esta metodología se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes. El proceso de cálculo se describe a continuación:



$$D_1^* \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad SN_1^* = a_1 D_1^* > SN_1$$

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

$$D_3^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3}$$

Resolviendo la formula general, se pueden determinar los números estructurales requeridos para proteger cada capa no tratada reemplazando el módulo resiliente de la subrasante por el módulo resiliente de la capa que está inmediatamente abajo. Así para determinar el espesor D₁ de la capa de concreto asfáltico se supone un MR igual al de la base y así se obtiene el SNI que debe ser absorbido por el concreto asfáltico. El espesor D₁ debe ser:

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

Se adopta un espesor, D₁^{*}, ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN_1^* = a_1 D_1^*$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el MR de subbase y entonces se obtiene el SN₂ a ser absorbido por concreto asfáltico y base. Así:

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

Se adopta un espesor ligeramente mayor, D₂^{*}, y el número estructural absorbido será:

$$SN_2^* \geq a_2 m_2 D_2^*$$

Por último, para la subbase se entra con el MR correspondiente a subrasante y se obtiene $SN_3 = SN$ para todo el paquete estructural ya calculado. En este caso el espesor es:

$$D_2 \geq \frac{SN - (SN_1 * + SN_2 *)}{a_3 m_3}$$

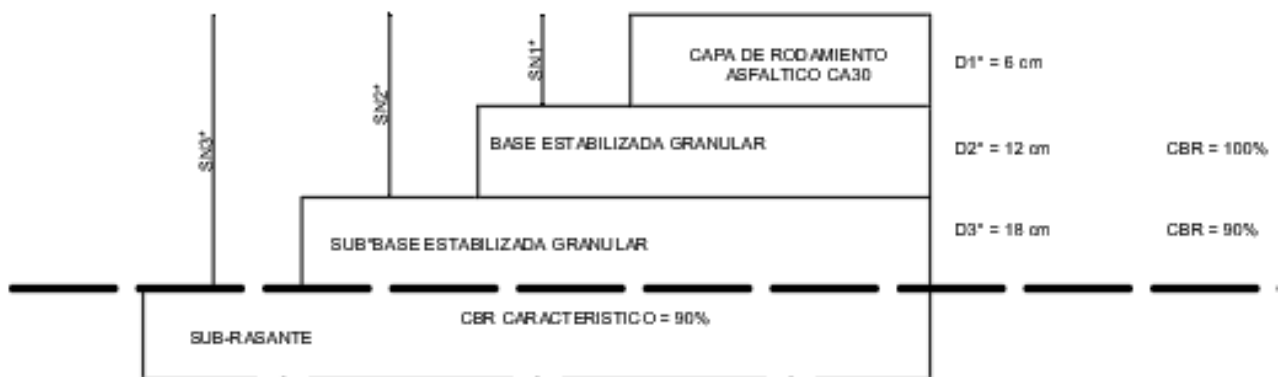
Se adopta un espesor ligeramente mayor D_3^* y se obtiene el número estructural absorbido por la subbase:

$$SN_3 * \geq a_3 m_3 D_3 *$$

Con este criterio cada etapa del paquete estructural resulta protegida.

Debe verificarse que
 $SN'_1 + SN'_2 + SN'_3 \geq SN$

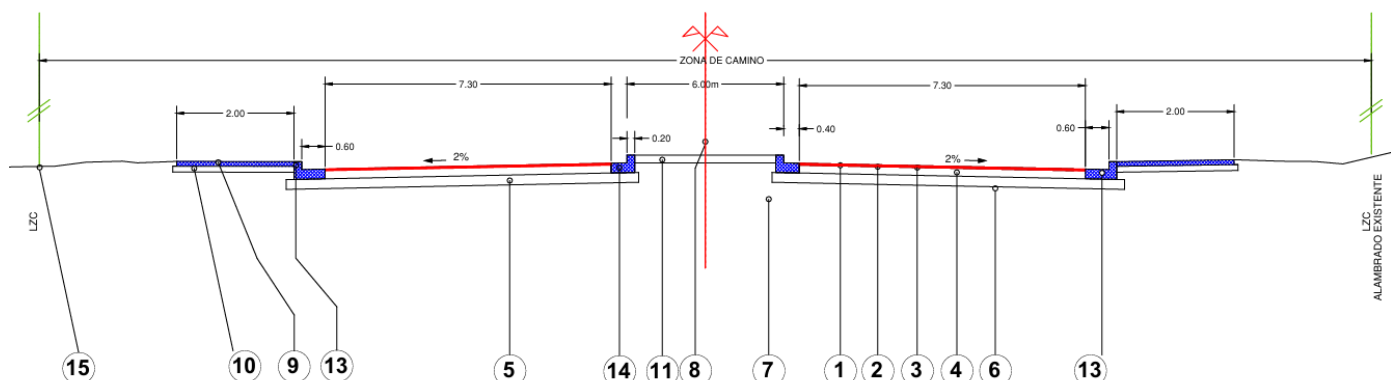
Los cálculos se encuentran en el anexo y los resultados obtenidos fueron los siguientes



Ilustracion XII. Paquete estructural

Si bien el dimensionamiento del paquete estructural determina espesores mínimos para las capas granulares, por criterios constructivos y de trabajabilidad en obra se adoptaron espesores de 15 cm tanto para la base como para la subbase, a fin de garantizar una correcta ejecución y compactación de los materiales.

PERFIL TIPO N° 1



- ① CARPETA DE RODAMIENTO CON MEZCLA BITUMINOSA TIPO CONCRETO ASFALTICO EN 0.06 M DE ESPESOR Y 7.30 M DE ANCHO A CADA LADO
- ② RIEGO DE LIGA CON E.R.1 EN 7.30 M DE ANCHO A CADA LADO A RAZON DE 0,0004 M3 X M2
- ③ IMPRIMACION BITUMINOSA CON E.M.1 EN 7.30 DE ANCHO A CADA LADO A RAZON DE 0.0013 m3/m2
- ④ BASE ESTABILIZADA GRANULAR EN 7.30 m DE ANCHO Y 0,15 m DE ESPESOR A CADA LADO
- ⑤ SUB BASE ESTABILIZADA GRANULAR EN 8.70 m DE ANCHO Y 0.15 m DE ESPESOR A CADA LADO
- ⑥ PREPARACION DE LA SUBRASANTE EN SECTORES NECESARIOS
- ⑦ TERRAPLEN CON COMPACTACION ESPECIAL
- ⑧ ILUMINACION SEGUN DISEÑO EN EJE CANTERO CENTRAL
- ⑨ HORMIGON H-17 PARA VEREDAS EN 2.00m DE ANCHO Y 0.12m DE ESPESOR A CADA LADO.
- ⑩ BASE ESTABILIZADA GRANULAR EN 2.10 m DE ANCHO Y 0,12 m DE ESPESOR A CADA LADO
- ⑪ RELLENO DE CANTERO CENTRAL Y VEREDAS CON SUELO ORGANICO Y SIEMBRA CESPED
- ⑫ TRES CONDUCTOS DE PVC DIAM. 0.100 PARA SERVICIOS TRANSVERSALES AL EJE, CADA 200 M
- ⑬ CORDON CUNETA EXTERNO DE HORM H-21 S/PLANO TIPO I DE 0.20 x 0.25 DE ESP Y 0.60 m DE ANCHO.
- ⑭ CORDON CUNETA INTERNO DE HORM H-21 S/PLANO TIPO I DE 0.20 x 0.25 DE ESP Y 0.40 m DE ANCHO.
- ⑮ ALAMBRADO OLIMPICO CON POSTES DE HORMIGÓN SEGÚN ESPECIFICACIONES

Ilustracion XIII. Perfil Transversal con su respectivo glosario

5.4 Método Shell

Introducción

En esta sección vamos a presentar la teoría, fundamentos y ecuaciones principales del método Shell, estableciendo el procedimiento de cálculo y los criterios de falla empleados, para posteriormente comparar sus resultados con los obtenidos mediante el método AASHTO, evaluando la coherencia y diferencias entre ambos enfoques de diseño estructural de pavimentos flexibles.

Procedimiento para el diseño:

1) Caracterización de la Subrasante:

- Determinación del Módulo de Elasticidad de la Subrasante: Dada la dificultad de su obtención, se lo calcula empíricamente con la siguiente Formula correlacionándolo con el Valor Soporte de la Subrasante (CBR)

$$E = 100 \times CBR$$

Donde:

E = Modulo de Elasticidad de la Subrasante (Kg/cm^2)

CBR = Valor Soporte Relativo

$$E = 100 \times 90 = 9000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Valor que luego será utilizado para la utilización del Abaco del método shell

2) Caracterización del Tránsito:

• El tránsito es heterogéneo y se deben considerar todas las combinaciones posibles, por consiguiente, se hace necesario establecer un eje determinado cuyo peso se designa “Eje Equivalente”. Considerándose como si el tránsito fuese homogéneo y estuviera constituido por vehículos todos iguales cuyo peso por eje fueran del eje equivalente.

Surge el concepto de N = Número de Repeticiones de Cargas:

Es el Número de repeticiones de cargas de ejes equivalentes de 10 toneladas (22.000 lbs) para los cuales se diseña un pavimento flexible:

• Determinación de los “Ejes Equivalentes”

Según el Capítulo 2 Tránsito: el TMDA en el año 2047 será de unos 8995veh/día que representa un porcentaje de la suma total de los tramos que se consideraron que aportarían tránsito al nuevo proyecto.

Los ejes equivalentes (o ESAL — Equivalent Single Axle Load) son una forma de convertir el efecto de distintos vehículos sobre el pavimento en una carga estándar común, para poder comparar y diseñar el espesor del paquete estructural.

Esto se realiza ya que no todos los vehículos dañan el pavimento igual, por ejemplo un auto liviano produce un daño mínimo, mientras que un camión de 5 ejes puede generar miles de veces más daño.

3) Distribución del tránsito

El volumen total de tránsito estimado se compone aproximadamente por un 91,8% de vehículos livianos y un 8,2% de vehículos pesados, distribuido de la siguiente manera:

- **S1-S1 (Autos y camioneta): 92,2%**
Vehículo liviano destinado principalmente al transporte de personas. Incluye automóviles particulares, utilitarios pequeños y camionetas sin carga.
- **S1-D1 (Bus): 2,5%**
Vehículo de transporte público o privado de pasajeros, con una unidad motriz y un eje trasero doble. Corresponde a ómnibus urbanos, interurbanos o de turismo.
- **S1-D1-D1-D2 (Camión pesado 5 ejes con semirremolque): 0,7%**
Conjunto articulado compuesto por un camión tractor (3 ejes) y un semirremolque de 2 ejes. Se utiliza para el transporte de cargas pesadas o voluminosas en larga distancia.

- **S1-D1-D1-D1 (Camión pesado 5 ejes rígido): 0,1%**
Camión de estructura rígida con cinco ejes, destinado al transporte de materiales de gran peso, comúnmente usado en actividades industriales y de construcción.
- **S1-D2-D2 (Camión liviano 3 ejes): 4,5%**
Camión rígido de tres ejes, utilizado para el transporte de carga media o distribución urbana. Combina buena capacidad de carga con maniobrabilidad en zonas urbanas o periurbanas.

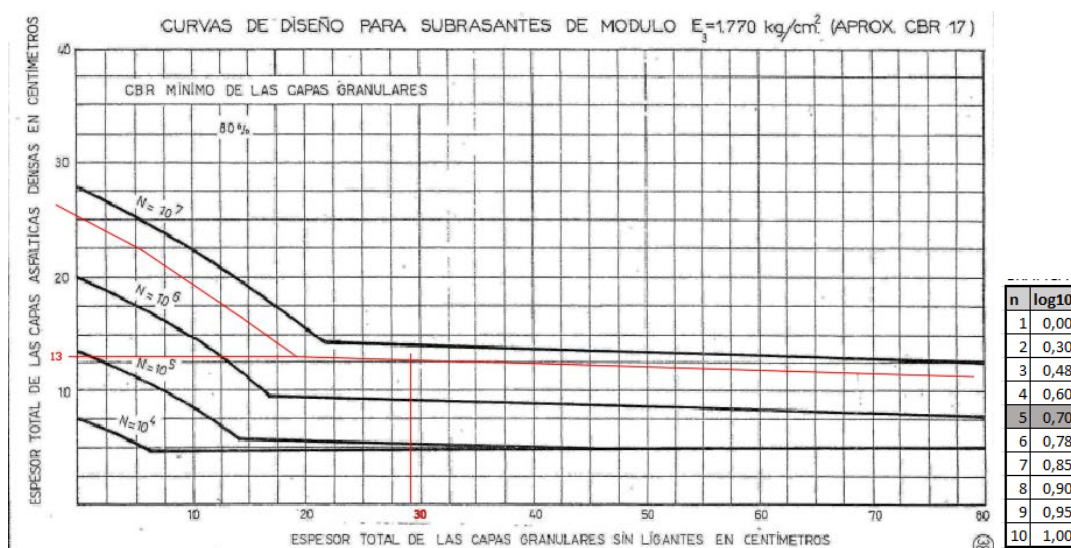
1) Calculo según el método SHEL

Se continuará con la resolución mediante el formato de tabla establecido por el método SHEL, tomando como referencia el siguiente glosario de variables y parámetros de diseño:

- o f_d → Factor Direccional: porcentaje de vehículos que circulan por el carril de diseño.
- o Vida útil: $n = 20$ años.
- o Tasa de crecimiento anual: $r = 3\%$.
- o TMDA0: 9.000 vehículos/día.
- o TMDAn: *para el año $n = TMDA_0 \times (1 + r)^n$*
- o TMDAdiseño : $\frac{TMDA_0 + n}{2}$
- o Distribución del tránsito:
- o FDC → Factor de Distribución de Cargas: coeficiente que considera la participación de los distintos tipos de ejes en la carga total transmitida al pavimento.

DATOS		
CBR	90%	
r	3%	
n	20	años
fd	0,5	
TMDA0	9000	veh/dia
TMDAn	16255	veh/dia
TMDAdis	12628	veh/dia

Tipo Veh	Configuracion	FDC	Distribucion	Total Vehiculos	Ejes equivalentes	Ejes equivalentes redondeado
Auto - Camioneta	S1-S1	0,0032	0,922	42.495.327,62	135.985,05	135.986,00
Bus	S1-D1	1,34510625	0,025	1.152.259,43	1.549.911,36	1.549.912,00
Camion Pesado 5 ejes (SEMI)	S1-D1-D1-D2	3,2167125	0,007	322.632,64	1.037.816,44	1.037.817,00
Camion Pesado 5 ejes	S1-D1-D1-D1	3,77611875	0,001	46.090,38	174.042,74	174.043,00
Camion Liviano 3 ejes	S1-D2-D2	1,4418	0,045	2.074.066,97	2.990.389,75	2.990.390,00
		9,7829375	1,00	46.090.377,03	5.888.145,34	5,89E+06
				N=	5.888.145,34	5888148,00



Cualquier punto perteneciente a la curva interpolada verifican las tensiones de tracción en la cara inferior de la capa asfáltica y la compresión en la subrasante

Por una cuestión de efectividad en los procesos constructivos y de la compactación de las capas, se recomiendan los siguientes espesores

- Capa Bituminosa
 - Carpeta Asfáltica: $4 \text{ cm} < e_1 < 7 \text{ cm}$
 - Base Negra: $6 \text{ cm} < e_2 < 10 \text{ cm}$
- Capa Granular
 - Base Granular: $10 \text{ cm} < e_3 < 20 \text{ cm}$
 - Sub-Base Granular: $12 \text{ cm} < e_4 < 25 \text{ cm}$

Paquete estructural adoptado, teniendo en cuenta lo máximos y mínimos

CAPA	TIPO	espesores mínimos (cm)		espesor adoptado	¿CUMPLE?
Capa bituminosa	Carpeta asfáltica	4	7	5	SI
	Base negra	6	10	7	SI
Capa granular	Base granular	10	20	15	SI
	Sub base granular	12	25	15	SI

5.5 Comparación entre los métodos AASHTO y Shell

Ambos métodos fueron desarrollados empleando los mismos datos de base obtenidos del estudio de tránsito y del análisis geotécnico, lo que permite una comparación directa de los resultados. Se utilizó un Tránsito Medio Diario Anual proyectado al año 2027 de 9.000 vehículos por día, una tasa de crecimiento anual del 3%, una vida útil de diseño de 20 años y un valor de CBR adoptado del 90 %.

El **método AASHTO 1993** arrojó un Número Estructural necesario de $SN = 2,5$ que se traduce en un paquete estructural compuesto por:

- Carpeta asfáltica: 6 cm
- Base granular: 15 cm
- Subbase granular: 15 cm

Por su parte, el **método Shell**, determinó los espesores a partir del análisis de las tensiones admisibles de tracción en la capa asfáltica y de compresión en la subrasante. El resultado fue un paquete estructural dentro de los rangos recomendados por la normativa:

- Carpeta asfáltica: 5 cm
- Base negra: 7 cm
- Base granular: 15 cm
- Subbase granular: 15 cm

Al comparar ambos resultados se observa que los espesores obtenidos son coherentes y compatibles entre sí. El diseño propuesto mediante el método AASHTO se encuentra dentro de los rangos admisibles establecidos por el método Shell, presentando únicamente diferencias menores en el espesor de la carpeta de rodamiento, del orden de 1 a 2 cm.

En términos conceptuales, el método AASHTO se basa en un enfoque empírico que relaciona el desempeño del pavimento con un Número Estructural global, lo que tiende a generar soluciones ligeramente más conservadoras. Por otro lado, el método Shell adopta un enfoque mecanicista basado en el análisis de tensiones y deformaciones dentro de la estructura del pavimento.

Considerando que ambos métodos verifican la aptitud estructural del pavimento propuesto y que el método AASHTO es ampliamente utilizado en el diseño de pavimentos flexibles y proporciona soluciones de carácter conservador, se adoptó este último como base para el diseño final del paquete estructural del proyecto. De esta manera, se garantiza un comportamiento adecuado del pavimento frente al tránsito proyectado y las condiciones geotécnicas del sitio.

Capítulo 6: Intersecciones

6.1 Introducción

Las intersecciones son áreas de uso compartido donde dos o más caminos se encuentran o cruzan, incluyendo tanto las calzadas como las zonas laterales adyacentes. Constituyen puntos críticos en una red vial, ya que en ellas se concentran los cambios de trayectoria, velocidades y prioridades, lo que incrementa la probabilidad de conflictos y accidentes si no cuentan con un diseño adecuado.

Para ordenar el tránsito y reducir riesgos, se emplean distintas estrategias:

- **Reglas fijas de prioridad** (por ejemplo, prioridad a la derecha).
- **Señalización de prioridad** (Ceda el paso o Pare), que es efectiva con volúmenes moderados de tránsito.
- **Semáforos**, adecuados para zonas urbanas de alta demanda, aunque en entornos rurales pueden ser inesperados y peligrosos.
- **Rotondas modernas**, que separan los flujos mediante un anillo de circulación y la regla general de ceder el paso a quienes ya circulan en él.

En el diseño de la **Avenida de la Verdad y la Memoria** se han identificado las intersecciones clave que requieren un tratamiento especial:

1. Acceso a Ciudad Judicial: con altos flujos en horas pico y gran variabilidad horaria. 18.000
2. Conexión con Ruta Provincial N.º 28: vía interurbana con tránsito mixto, que requiere una transición segura y fluida hacia la nueva avenida. 3.000 TMDA
3. Conexión Costanera Vaqueros: principalmente para futuros proyectos y ampliaciones

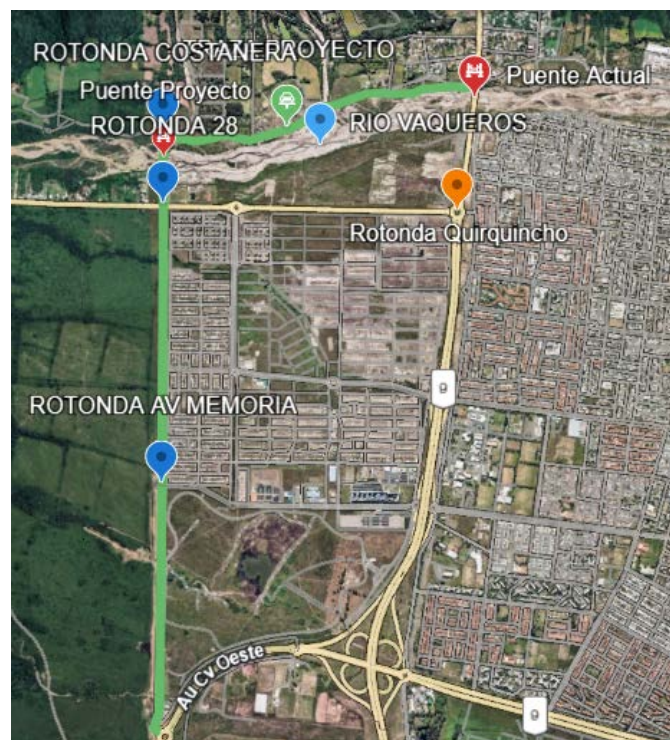


Ilustración XIV. Localización de las rotondas del proyecto vial

6.2 Justificación del Tipo de Intersección

El presente capítulo se ocupa del Diseño Geométrico de las Rotondas 1, 2 y 3, que constituyen los puntos de articulación más relevantes dentro del trazado proyectado. En el Capítulo 2 se expusieron los resultados del estudio de tránsito, incluyendo el TMDA considerado para este proyecto.

En esta sección se fundamenta la elección de Rotondas Modernas como solución para las cuatro intersecciones previstas. La decisión se apoya en los lineamientos de la *Norma de Diseño Geométrico y Seguridad Vial – Edición 2010 de la DNV*, en particular lo indicado en el *Capítulo 5: Intersecciones*, utilizando como herramienta el diagrama de selección del tipo de intersección, elaborado en función de los volúmenes de tránsito actuales y proyectados tanto en la vía principal como en la secundaria.

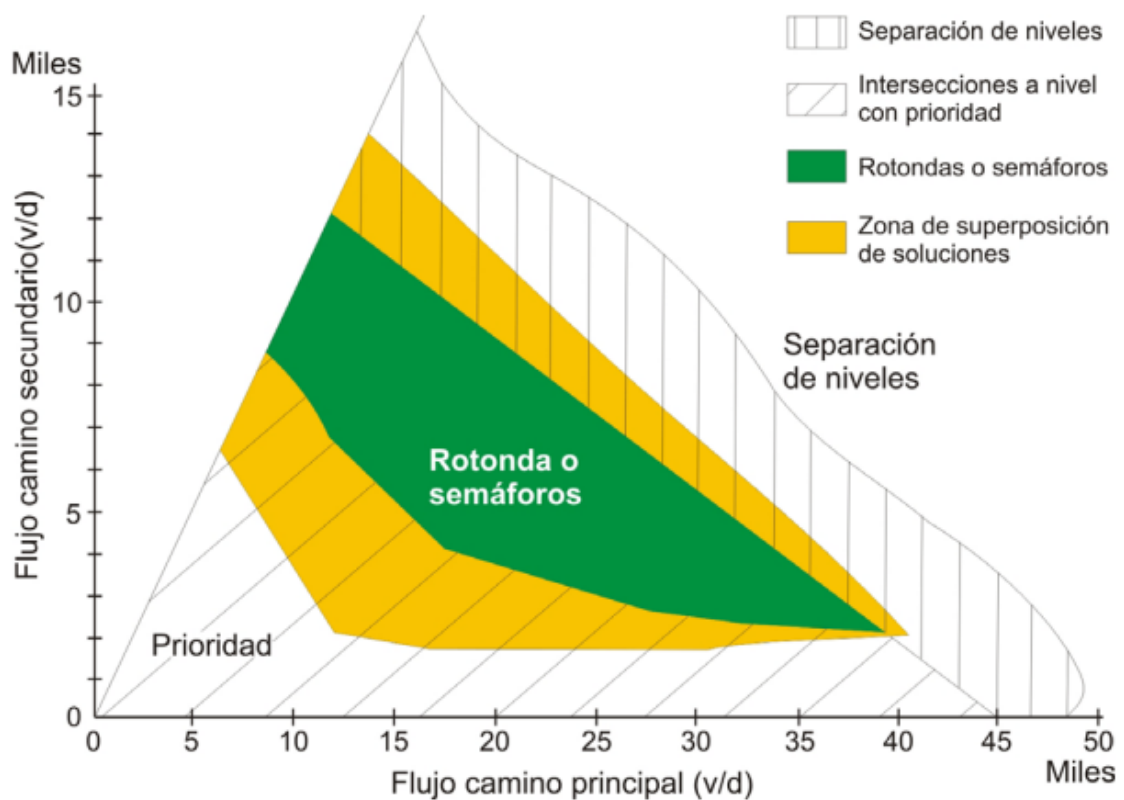


Ilustración XV. Figura 5,2, C5 Diagrama de flujo

Intersección 1 – Acceso a Ciudad Judicial

- **Vía principal:** Avenida de la Verdad y la Memoria – TMDA proyectado: 8995 veh/día.
- **Vía secundaria:** Acceso a Ciudad Judicial – TMDA estimado: 5.200 veh/día

Según el Gráfico 5.2 del Capítulo C5 de la DNV, la ubicación del punto correspondiente a esta cae dentro de la zona de superposición de soluciones. En esta región del diagrama, la norma indica que pueden ser técnicamente viables tanto las intersecciones a nivel con prioridad como las intersecciones canalizadas e incluso las rotondas. Es decir, no existe una solución única obligatoria, sino que la selección final queda supeditada al análisis de seguridad, operación y características específicas del sitio.

Se adopta una Rotonda Moderna por su desempeño claramente superior en el contexto específico del proyecto. En primer lugar, brinda mayor seguridad vial, reduciendo las velocidades relativas y eliminando los conflictos de cruce, tal como indica la DNV para rotondas bien diseñadas. Además, el acceso al Poder Judicial genera una alta proporción de giros, que se resuelven de manera más eficiente y segura en una circulación giratoria que en una intersección de prioridad. A ello se suma la variabilidad horaria del flujo, que penaliza soluciones con prioridad fija, mientras que la rotonda se adapta naturalmente a cambios de demanda. Finalmente, su incorporación mantiene la uniformidad geométrica del corredor, que emplea rotondas en todas sus intersecciones principales, favoreciendo la operación del conductor y la coherencia del diseño.

Intersección 2 – Conexión con Ruta Provincial 28

- Vía principal: RP N.º 28 – TMDA estimado: 3000 veh/día.
- Vía secundaria: Avenida de la Verdad y la Memoria – TMDA proyectado: 8995 veh/día.

El punto correspondiente a la Intersección 2 se ubica sobre las líneas diagonales asociadas a intersecciones a nivel con prioridad. Es decir, según el diagrama, una solución convencional de prioridad sería suficiente desde el punto de vista estrictamente volumétrico.

Sin embargo, la elección de una Rotonda Moderna se justifica por razones operativas y de seguridad. En este punto del corredor se produce la transición hacia el puente, donde la geometría exige un control de velocidades más estricto y una reducción de los conflictos de cruce. La rotonda garantiza velocidades de ingreso más bajas y regulares, evitando situaciones de alta severidad que suelen ocurrir en accesos laterales priorizados. Además, la existencia de múltiples giros y la necesidad de ordenar los flujos provenientes de la RP28 hacen que la rotonda brinde una operación más estable y segura, eliminando conflictos directos y simplificando la toma de decisiones del conductor. Finalmente, mantener el mismo esquema de control giratorio utilizado en las otras intersecciones del corredor mejora la uniformidad y coherencia del diseño, favoreciendo la operación global del sistema

Intersección 3 – Intersección intermedia norte costaneras vaqueros

- Vía principal: Avenida de la Verdad y la Memoria – TMDA proyectado: 8995 veh/día.
- Vía secundaria: Accesos barriales / calles internas – TMDA estimado: 1.500 veh/día.

Se ubica también en la zona inferior del diagrama, donde la norma admite que una intersección a nivel con prioridad sería suficiente desde el punto de vista del volumen vehicular. Sin embargo, las condiciones geométricas y operativas del sitio tornan inapropiada una solución convencional.

La salida inmediata del puente implica limitaciones de visibilidad y de distancia para maniobras de frenado, y a la vez introduce flujos vehiculares que requieren redistribución hacia el área urbana de Vaqueros. En este contexto, una intersección de prioridad generaría conflictos de cruce y diferencias bruscas de velocidad, aumentando el riesgo de colisiones. La Rotonda Moderna, en cambio, permite reducir y homogeneizar la velocidad, canalizar eficazmente los movimientos de giro y ordenar el ingreso a la trama urbana, evitando la acumulación de vehículos en un punto crítico. Además, mantiene la coherencia operativa con las otras intersecciones del corredor, ofreciendo al conductor un comportamiento uniforme y predecible.

6.3 Rotondas Modernas

Las rotondas modernas constituyen un tipo de intersección a nivel basado en el principio de ceder el paso al anillo, lo que permite separar los movimientos conflictivos y controlar las velocidades de aproximación mediante la geometría. Según la Norma de Diseño Geométrico y Seguridad Vial – DNV 2010, este tipo de intersección presenta una reducción significativa de los conflictos de cruce, que son los de mayor severidad, y permite operar con velocidades más uniformes y controladas en todos los accesos.

Para el diseño, se utilizó como referencia el *Diseño Geométrico y Seguridad Vial Edición 2010 de la DNV*, en su “Capítulo 5: Intersecciones”. La ideología básica de diseño de las RM es limitar físicamente las velocidades de los vehículos mediante la deflexión de la trayectoria.

Si ocurre un choque, será a baja velocidad y en un bajo ángulo de impacto. Las RM reducen los accidentes y las demoras de tránsito.

Las velocidades más bajas dan a los conductores más tiempo para tomar decisiones y, si toman una mala, pueden recobrarse y corregirla. También pueden tener un efecto apaciguador del tránsito, logrando una importante ventaja en seguridad y disminución de accidentes respecto de otros tipos de intersecciones a nivel. La disminución de velocidad al tránsito entrante sumado a la regla de “ceder el paso” permite la prioridad al anillo con alta capacidad.

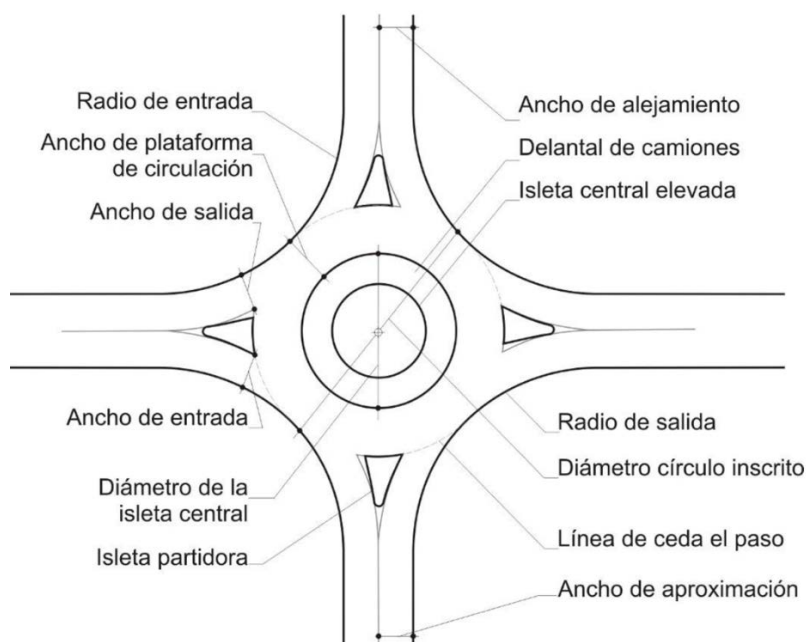


Ilustración XVI. Elementos de una RM

6.4 Diseño Geométrico

Se mantendrá una continuidad del diseño general a lo largo del mismo, no habrá reducciones en el perfil transversal en ningún momento, por lo tanto, nos encontramos en el caso de rotondas multicarriles, donde su complejidad del diseño de este nivel implica rotondas donde una o más ramales tienen dos (o más) carriles de entrada, y una parte de la rotonda debe tener al menos un ancho de dos carriles para satisfacer la demanda de tránsito prevista.

Los pasos que se siguieron para el diseño tuvieron el siguiente carácter

1. Elegir el radio de la isleta central, según recomendaciones.

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

2. Determinar el ancho de la calzada anular, según radio y vehículo tipo usual (SU).

Determinar el ancho del delantal para camiones, usando el semirremolque tipo (WB-15).

Características del vehículo de diseño

Las características físicas de los vehículos y la composición del tránsito son factores que controlan el diseño geométrico.

Como mínimo, se utilizarán los siguientes vehículos tipo:

- WB-15 (semirremolque grande 18,60 m) en todas las intersecciones sobre rutas nacionales, sea con otras rutas nacionales, con rutas provinciales y accesos a localidades (admitiendo su circulación con espacios laterales algo reducidos).
- SU: en intersecciones entre caminos locales de muy poco tránsito.

El diseño debe garantizar que los vehículos de mayor porte que transitaran habitualmente por la red vial puedan maniobrar de forma segura, sin invadir sectores indebidos ni comprometer la seguridad vial.

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

Ilustración XVII. Mínimos radios de giro para vehículos tipo

- Elegir el radio del borde exterior de la rama de salida, tangente al borde exterior del anillo y al borde de la calzada anular [5.7.8].
- Fijar el ancho en el punto de contacto con el anillo; luego diseñar el borde interior (tangente al eje de la rama de entrada y al borde interior del anillo).
- Elegir el radio o combinación de radios del borde exterior de la rama de entrada, en el retranqueo del eje respecto al borde del acceso [5.7.8].
- Fijar el ancho en el punto de contacto con el anillo; luego diseñar el borde interior.
- Verificar el ángulo de entrada [5.7.2].
- Ubicar las narices de la isleta partidora (radio 0,5 m o 1 m), con retranqueo para aquellas que tomen el tránsito en contra de frentes.
- Fijar los cordones de la isleta partidora, con terminación en las narices.
- Verificar el tamaño de la isleta partidora [5.7.8].

11. La isleta central será elevada, con relleno convexo.
12. Definir la terminación de los bordes exteriores:
 - En zona urbana, generalmente será con cordones - cuneta.
 - En zona rural, con banquetas amplias (pavimentadas al menos 1 m, con color o textura diferente a la calzada), y con taludes tendidos (1:6).

Ubicación de la intersección

Para la ubicación de las cuatro intersecciones a proyectar se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

Se evita posicionarlas antes y después curvas horizontales

Al ubicar una intersección en una curva:

- Se dificulta la visibilidad a los conductores en los caminos secundarios sobre el interior de la curva, porque el tránsito que se aproxima está parcialmente detrás de ellos, formando un ángulo artificial de oblicuidad
- Parte del triángulo de visibilidad puede quedar fuera de los límites de la zona de camino.

En pendiente (curvas verticales)

Se procuró evitar pendientes pronunciadas en la zona de la intersección, con el fin de:

- Facilitar las maniobras de giro, y
- Facilitar las maniobras de aceleración y de frenado de los vehículos, con una conveniente evaluación de tales maniobras por parte de los conductores.
- Según normativa vigente se recomienda:
- Pendiente deseable del camino principal 3% o menos.
- Pendiente máxima aceptable 6%.

En estructuras

Las intersecciones deben ubicarse por lo menos a 50 m de cualquier puente según recomienda la norma, para dar:

- adecuada distancia visual de intersección,
- espacio adecuado para el eficaz comportamiento de la defensa que se instale en los bordes del puente como protección para los usuarios accidentalmente desviados.

Ángulo de intersección

Para dar a los conductores una adecuada visibilidad en el cruce y facilitar su reacción ante las decisiones que deban tomar, se recomienda proyectar las intersecciones con:

- Ángulo deseable de intersección 90°.
- Ángulo mínimo aceptable 60°.

6.5 Parámetros de la RM

ROTONDA 1 Acceso a Ciudad Judicial

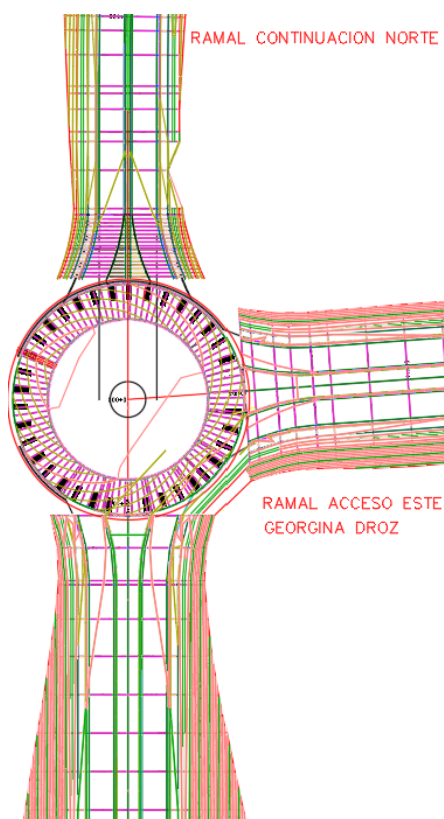
Progresiva del centro	1+234
Diámetro de la isla central	42,00 m
Ancho de plataforma o delantal	1,70 m
Peralte de plataforma	4,00 %
Desfase del carril interior	0,00 m
Nº Carril de circulación	2 n°
Ancho del carril 1	3,65 m
Ancho del carril 2	3,65 m
Ancho total de calzada anular	7,30 m
Diámetro de la circunferencia inscrita	60,00 m
Cota del centro	1225
Inclinación del plato	0,00 %

Rama Acceso Georgina Droz (ESTE)

Velocidad de diseño	40km/hs
Ancho del separador central	11m
Ancho de carril de entrada	3,65
Nº de Carriles de entrada	2
Ancho de carril de salida	3.65
Nº de Carriles de salida	2
Construcción de borde separador	Cordon de hormigon
Radio de entrada	46 m
Radio de salida	46 m
Construcción de borde exterior	Cordon de hormigón
Radio de entrada	46 m
Radio entre ramales	46 m
Radio de salida	46 m
Angulo fi entre ruta de entrada y ciculacion	30°
Angulo fi/2 entre ruta de entrada y salida	180°
E / V	0,2

Rama Continuación (NORTE)

Velocidad de diseño	40 km/h
Ancho del separador central	11,00 m
Ancho de carril de entrada	3,65 m
Nº de Carriles de entrada	2 n°
Ancho de carril de salida	3,65 m
Nº de Carriles de salida	2 n°
Construcción de borde separador	Cordón de hormigón
Radio de entrada	46,00 m
Radio de salida	46,00 m
Construcción de borde exterior	Cordón de hormigón
Radio de entrada	46,00 m
Radio entre ramales	46,00 m
Radio de salida	46,00 m
Angulo fi entre ruta de entrada y ciculacion	30°
Angulo fi/2 entre ruta de entrada y salida	180°
E / V	0,20



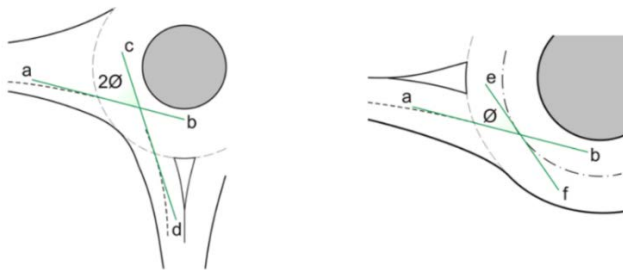
Ilustracion XVIII. Rotonda proyectada: configuración general y accesos. Las características geométricas detalladas pueden consultarse en los planos adjuntos.

Ángulo de Entrada, $\emptyset$ (Phi)

El ángulo de entrada $\emptyset$ lo forman el eje de la entrada en el Ceda el Paso y la tangente al eje de la calzada circular en el punto donde se cruza con el anterior es el parámetro de mayor importancia en la disposición de una entrada.

No debe ser demasiado grande, porque provocaría maniobras incómodas para acceder a la plataforma circulatoria y podrían producirse accidentes graves con ángulos próximos a los 90° .

Tampoco demasiado pequeño, porque supondría una incorporación próxima a la tangencial, que favorece las altas velocidades de incorporación y dificulta la visibilidad hacia la izquierda, obligando al conductor a girar demasiado la cabeza.



Ilustracion XIX. Angulo de entrada phi

El ángulo $\emptyset$ es uno de los parámetros fundamentales del diseño de las RM. El valor conveniente es entre 40° y 40° grados, con un óptimo de 30° grados. Este ángulo es importante para la capacidad y la seguridad de las rotondas.

La Rotonda 3, ubicada luego del cruce sobre el río Vaqueros y que constituye el acceso principal a la localidad de Vaqueros a través de la Avenida Costanera, responderá a los mismos parámetros geométricos y de diseño que la Rotonda 1, asociada al acceso a Ciudad Judicial.

En ambos casos, los ramales presentan dos carriles por sentido, lo que permite aplicar criterios de diseño homogéneos.

ROTONDA 3 Acceso a Vaqueros

Progresiva del centro	1+770
Diámetro de la isla central	42,00 m
Ancho de plataforma o delantal	1,70 m
Peralte de plataforma	4,00 %
Desfase del carril interior	0,00 m
Nº Carril de circulación	2 n°
Ancho del carril 1	3,65 m
Ancho del carril 2	3,65 m
Ancho total de calzada anular	7,30 m
Diámetro de la circunferencia inscrita	60,00 m
Cota del centro	1225
Inclinación del plato	0,00 %

En cambio, la Rotonda 2, correspondiente a la intersección con la Ruta Provincial 28, no comparte esta configuración, ya que los ramales Oeste y Este poseen únicamente un carril, por lo cual sus parámetros geométricos —tales como radios de entrada y salida, separadores y dimensiones generales— deberán ajustarse a dicho esquema funcional.

ROTONDA 2 INTERSECCION RUTA PROVINCIAL 28

Progresiva del centro	1+427
Diámetro de la isla central	42,00 m
Ancho de plataforma o delantal	1,70 m
Peralte de plataforma	4,00 %
Desfase del carril interior	0,00 m
Nº Carril de circulación	2 n°
Ancho del carril 1	3,65 m
Ancho del carril 2	3,65 m
Ancho total de calzada anular	7,30 m
Diámetro de la circunferencia inscrita	60,00 m
Cota del centro	1225
Inclinación del plato	0,00 %

RAMA ESTE – RUTA PROVINCIAL 28 (sentido Este)

Velocidad de diseño	40,00 km/h
Ancho del separador central	0,00 m (sin isleta central)
Ancho de carril de entrada	3,65 m
Nº de carriles de entrada	1 n°
Ancho de carril de salida	3,65 m
Nº de carriles de salida	1 n°
Construcción de borde separador	No aplica
Radio de entrada	46,00 m
Radio de salida	46,00 m
Construcción de borde exterior de la calzada	Cordón de hormigón
Radio entre ramales	46,00 m
Radio de isleta	46,00 m
Ángulo ϕ_1 (entre rama y circulatorio)	30°
Ángulo $\phi_{1/2}$ (entre entrada y salida)	180°
E / V	0,20

RAMA OESTE – RUTA PROVINCIAL 28 (sentido Oeste)

Velocidad de diseño	40,00 km/h
Ancho del separador central	0,00 m (sin isleta central)
Ancho de carril de entrada	3,65 m
N° de carriles de entrada	1 n°
Ancho de carril de salida	3,65 m
N° de carriles de salida	1 n°
Construcción de borde separador	No aplica
Radio de entrada	46,00 m
Radio de salida	46,00 m
Construcción de borde exterior de la calzada	Cordón de hormigón
Radio entre ramales	46,00 m
Radio de isleta	46,00 m
Ángulo ϕ_1 (entre rama y circulatorio)	30°
Ángulo $\phi_{1/2}$ (entre entrada y salida)	180°
E / V	0,20

RAMA NORTE – CONTINUACION

Velocidad de diseño	40,00 km/h
Ancho del separador central	11,00 m
Ancho de carril de entrada	3,65 m
N° de carriles de entrada	2 n°
Ancho de carril de salida	3,65 m
N° de carriles de salida	2 n°
Construcción de borde separador	Cordón de hormigón
Radio de entrada	46,00 m
Radio de salida	46,00 m
Construcción de borde exterior de la calzada	Cordón de hormigón
Radio entre ramales	46,00 m
Radio de isleta	46,00 m
Ángulo ϕ_1 (entre rama y circulatorio)	30°
Ángulo $\phi_{1/2}$ (entre entrada y salida)	180°
E / V	0,20

6.6 Trayectorias de los vehículos y velocidad asociada

Para determinar la velocidad de operación en una rotonda moderna se utilizan las trayectorias más rápidas permitidas por su geometría, para los tránsitos directos y de giro. Se dibujan las trayectorias de los tres movimientos principales: el de atravesar la rotonda moderna continuando por el ramal opuesto, el giro a la derecha y el giro a la izquierda. La velocidad de diseño de la rotonda moderna está dada por el radio más pequeño de la trayectoria más rápida posible, utilizando la relación:

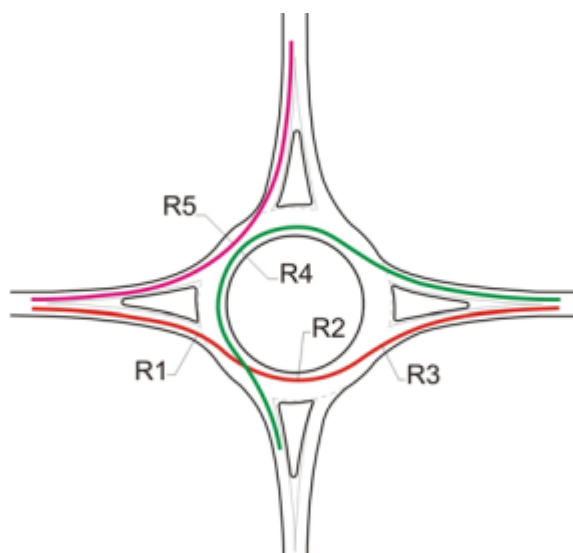
$$V = \sqrt{127 \times R(e + ft)}$$

Con esta misma ecuación se determinan las velocidades específicas intervinientes en los tres movimientos, puesto que al diseñar se debe tender a minimizar los siguientes aspectos:

- a diferencia de velocidad entre elementos geométricos consecutivos
- la diferencia de velocidad entre corrientes vehiculares conflictivas.

Entre ellos se plantean las siguientes relaciones:

- Es deseable que la velocidad asociada al radio de entrada R1 sea igual o menor que la de R2, o al menos que la diferencia sea menor que 20 km/h.
- La velocidad asociada a R3 en general será mayor que la de R2, salvo que la presencia de peatones sea importante en cuyo caso R3 no debe ser muy grande para desalentar las altas velocidades.
- La velocidad relativa entre R1 y R4 (corrientes vehiculares en conflicto) debe ser también menor que 20 km/h.
- La velocidad relativa entre R5 y R4 también debe mantenerse debajo de los 20 km/h



Rotonda	Ramal	Velocidad máx. (km/h)
1	1	33,3
	2	31,12
	3	33,3
	4	31,12
2	1	33,3
	2	31,12
	3	33,3
	4	31,12
3	1	33,3
	2	31,12
	3	33,3
	4	31,12

El tramo principal se diseñó con una velocidad directriz de 40 km/h. A partir de los radios de las trayectorias más rápidas de cada rotonda y aplicando la expresión $V = \sqrt{127 \cdot R(e + f_t)}$, se obtuvieron velocidades de operación del orden de 30–33 km/h. Estas son **inferiores a la velocidad directriz del tramo**, lo que resulta coherente con el objetivo de que la rotonda actúe como elemento de moderación de velocidad.

Asimismo, las diferencias de velocidad entre trayectorias conflictivas resultaron menores a 20 km/h, cumpliendo con los criterios de seguridad recomendados.”

6.7 Visibilidad

La buena percepción de una rotonda moderna depende de que el conductor disponga de niveles mínimos de visibilidad al aproximarse a la intersección. La Norma DNV–C5 recomienda verificar dos tipos de visibilidad:

- Visibilidad lejana hacia la izquierda (visión adelantada)
- Visibilidad inmediata en la línea de CEDA EL PASO (cuña despejada)

Estas áreas deben mantenerse libres de obstáculos, de manera de permitir la correcta apreciación del vehículo que circula por el anillo y garantizar la toma de decisiones en condiciones seguras.

1) Visibilidad Lejana hacia la Izquierda

Según la DNV, el conductor que se aproxima debe poder ver al menos 50 m hacia la izquierda, medidos desde la línea de CEDA EL PASO, lo que permite detectar con anticipación al vehículo que circula dentro del anillo.

Visibilidad mínima recomendada $\geq 50 \text{ m}$

Aplicación a las Rotondas del Proyecto

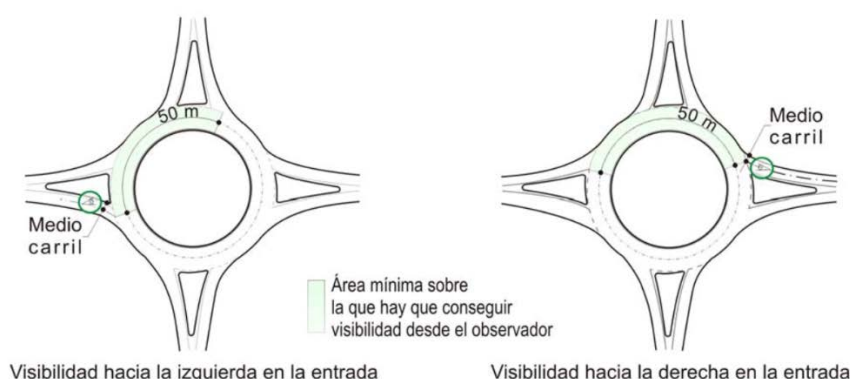
Las tres rotondas (1: Ciudad Judicial, 2: RP28, 3: Costanera Vaqueros) presentan:

- Alineaciones rectas o suavemente curvas en los últimos 40–60 m antes del ingreso.
- Isletas y bordes laterales bajos (cordón), sin barreras rígidas ni taludes significativos.
- Ausencia de vegetación densa o elementos opacos en la aproximación.
- Por lo tanto, **todas las rotondas garantizan más de 50 m de visibilidad hacia la izquierda**, cumpliendo con la recomendación normativa.

2) Visibilidad Inmediata en la Línea de CEDA EL PASO

- La DNV exige que se mantenga despejada un área triangular definida por:
- Un punto situado a **2 m del borde derecho del ramal**,
- Una distancia sobre la línea de CEDA EL PASO igual a la **distancia de detención**,

Esta visibilidad “lejana” debe ir acompañada de una buena visibilidad en la propia entrada, donde se sitúa el CEDA EL PASO. La recomendación es que desde la entrada a una rotonda moderna se garantice la visibilidad de los conductores hasta la entrada anterior, o una distancia mínima de 50 m hacia la izquierda si dicha entrada está a más distancia. Igual visibilidad se recomienda hacia la derecha.

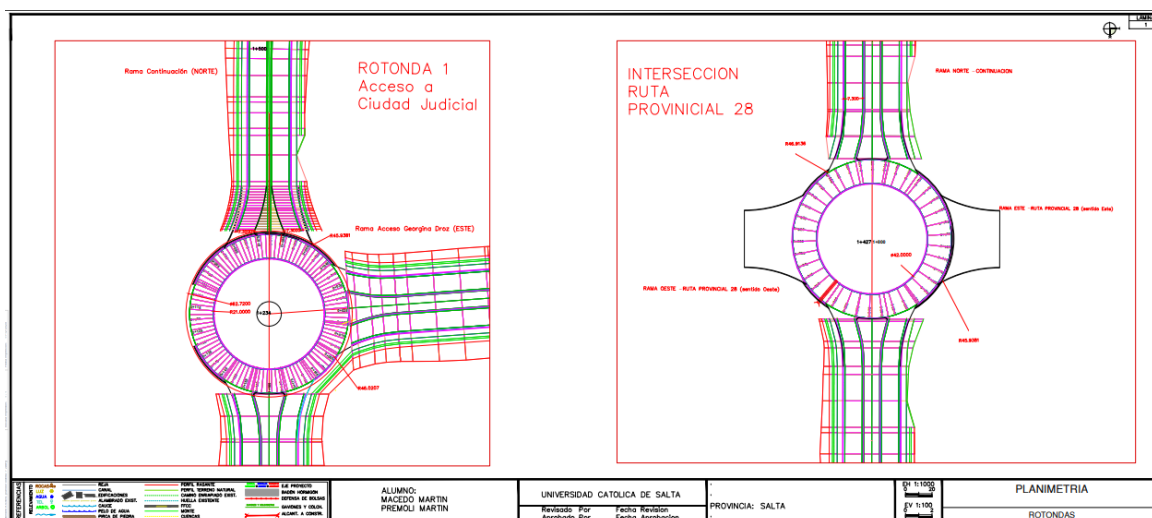


3) Recomendaciones de Diseño Paisajístico.

- Utilizar vegetación baja en isletas y zonas próximas a las entradas.
- Evitar postes, gabinetes o señalización de gran porte dentro de los 2 m desde el borde del ramal o del anillo.
- Mantener periódicamente la poda y limpieza del área triangular de visibilidad.

En el presente capítulo se desarrolló el análisis y diseño geométrico de las intersecciones proyectadas a lo largo del trazado de la *Avenida de la Verdad y la Memoria*, adoptando como solución principal la implementación de intersecciones del tipo rotonda, en concordancia con los criterios establecidos por la normativa de la ciudad de Salta.

El diseño de las intersecciones consideró como parámetros fundamentales las velocidades directrices adoptadas, los volúmenes de tránsito estimados (TMDA), la jerarquía funcional de cada vía y las condiciones de seguridad vial, priorizando la reducción de conflictos, la moderación de velocidades y la mejora de la fluidez del tránsito



La figura presenta la planimetría general de las intersecciones proyectadas, destacándose la *Rotonda de Acceso a la Ciudad Judicial* y la *Intersección con la Ruta Provincial N.º 28*. En dicha figura se aprecia la correcta vinculación geométrica entre los ramales de acceso, la continuidad de los alineamientos principales y la adecuada inserción de las rotondas en el trazado general, permitiendo una lectura clara del funcionamiento vial propuesto y de las trayectorias de circulación vehicular.

Capítulo 7: Puente

7.1 Introducción

El presente capítulo contiene la memoria descriptiva del diseño para la construcción del puente el cual vinculara la ciudad de Salta con la localidad de Vaqueros. El puente es un elemento fundamental para la ejecución de la traza, diseñado para mejorar la circulación, descongestionando el tránsito.

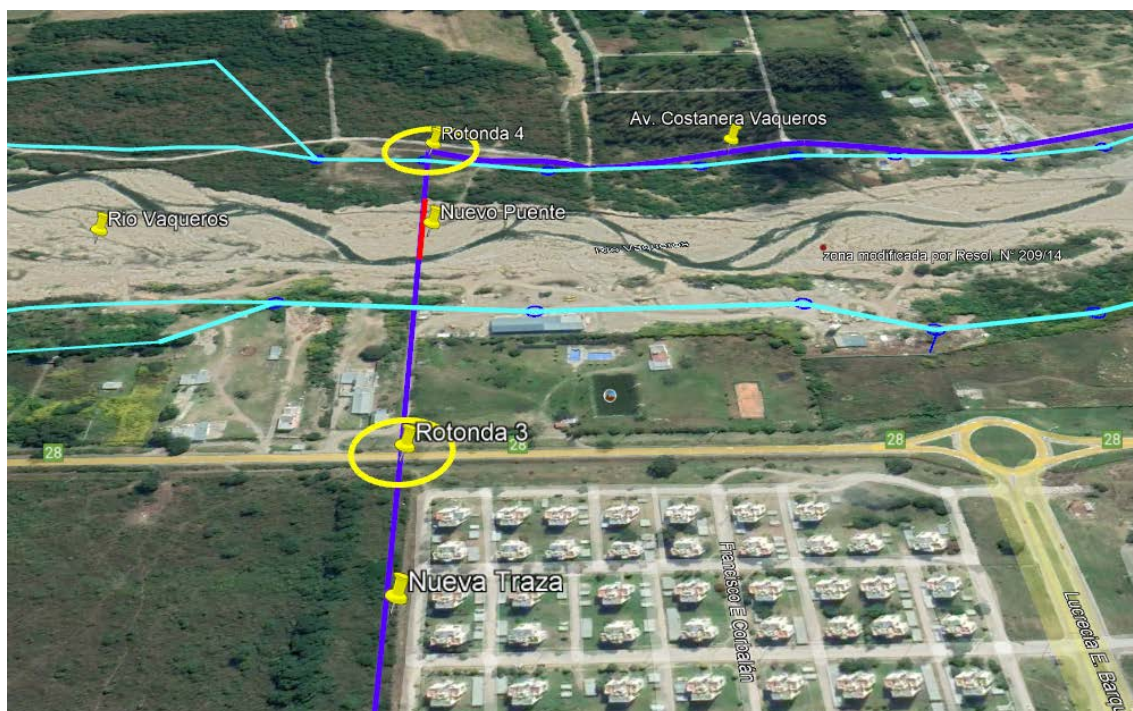


Ilustración XX. Ubicación del puente a diseñar. Google Earth Pro

El mismo responderá ante la necesidad de optimizar la conectividad, agregando una nueva intersección, evitando sobrecargar la actual entrada a Vaqueros, facilitando un tránsito seguro y fluido para vehículos y personas. Asimismo, busca reducir los tiempos de viaje, mejorar las condiciones de seguridad vial y promover el desarrollo socioeconómico mediante una infraestructura moderna y eficiente.

7.2 Hidrología del Rio Vaqueros

Importancia del estudio hidrológico en obras viales

El análisis hidrológico constituye un aspecto esencial en el diseño de obras de infraestructura vial que atraviesan cauces fluviales. En particular, el dimensionamiento de un puente depende directamente de la capacidad de la estructura para resistir los efectos de las crecidas, garantizar la estabilidad de sus fundaciones y mantener la transitabilidad en condiciones de seguridad. La determinación de caudales máximos de diseño, la verificación de la altura libre (freeboard) y la estimación de la socavación son parámetros indispensables para definir la geometría y las condiciones de apoyo de la obra.

Caracterización de la cuenca del río Vaqueros

El río Vaqueros forma parte de la cuenca alta del río Mojotoro, localizada al norte de la ciudad de Salta. Presenta un régimen pluvial, con crecidas concentradas durante la temporada de verano. La cuenca de aporte posee una superficie aproximada de 138 km², con pendientes marcadas en su sector superior que favorecen respuestas rápidas a las precipitaciones intensas.

Para este trabajo, se utilizaron los resultados obtenidos en una tesis de referencia de carácter hidrológico “*Proyecto Final Estudio hidrológico de un cruce sobre el río Vaqueros*” en la cual se analizaron los caudales de crecida del río Vaqueros y se ajustaron distribuciones de probabilidad en función de registros históricos de precipitaciones y caudales.



Ilustración XXI. Imagen de las subcuencas en google earth, fue extraído del estudio hidráulico citado como bibliografía

Régimen de crecidas y caudales de diseño

Se presentan imágenes extraídas de la bibliografía de referencia donde se muestran los hidrogramas resultantes del modelado hidrológico de la cuenca. A partir de dichos resultados es posible identificar los caudales pico generados para distintos períodos de retorno.

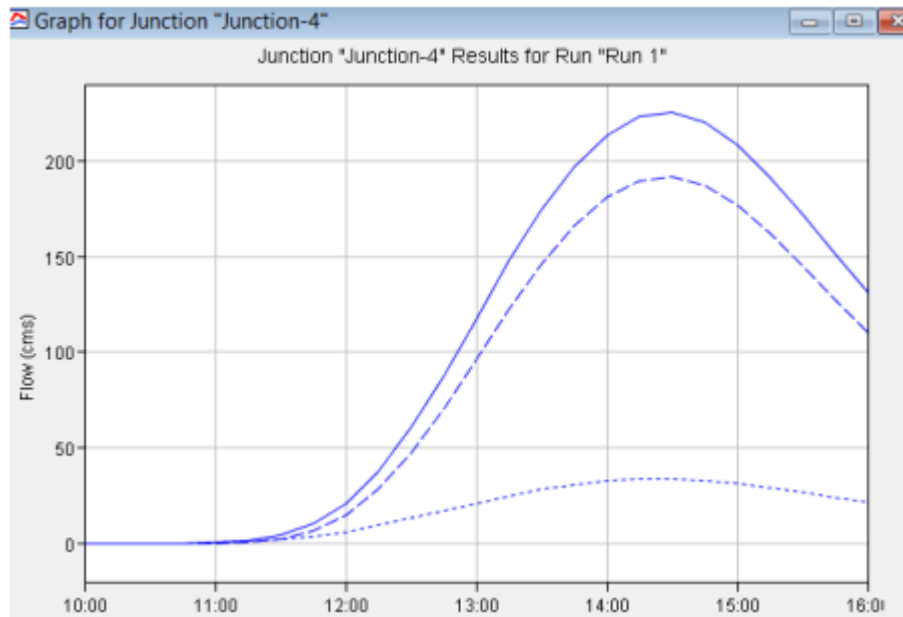


Ilustración XXII. Hidrograma resultante para $t=25$ años

La imagen presenta el hidrograma resultante correspondiente al período de retorno de 25 años, donde se observa el caudal máximo estimado en la sección de análisis.

De manera análoga, para el período de retorno de 50 años, se incluye el hidrograma correspondiente.

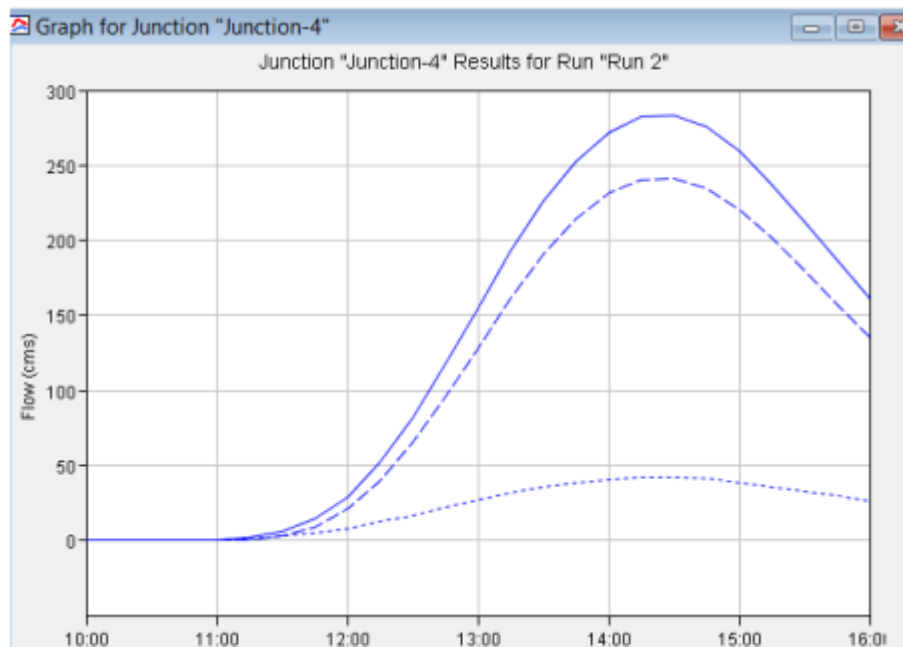


Ilustración XXIII. Hidrograma resultante para $t=50$ años

En la tabla siguiente se sintetizan los caudales máximos estimados para los diferentes períodos de retorno (T).

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo (m ³ /s)
25	225,5 (m ³ /s)
50	283,4 (m ³ /s)

En el presente proyecto de diseño se adopta como caudal de diseño el correspondiente a un período de retorno de 50 años.

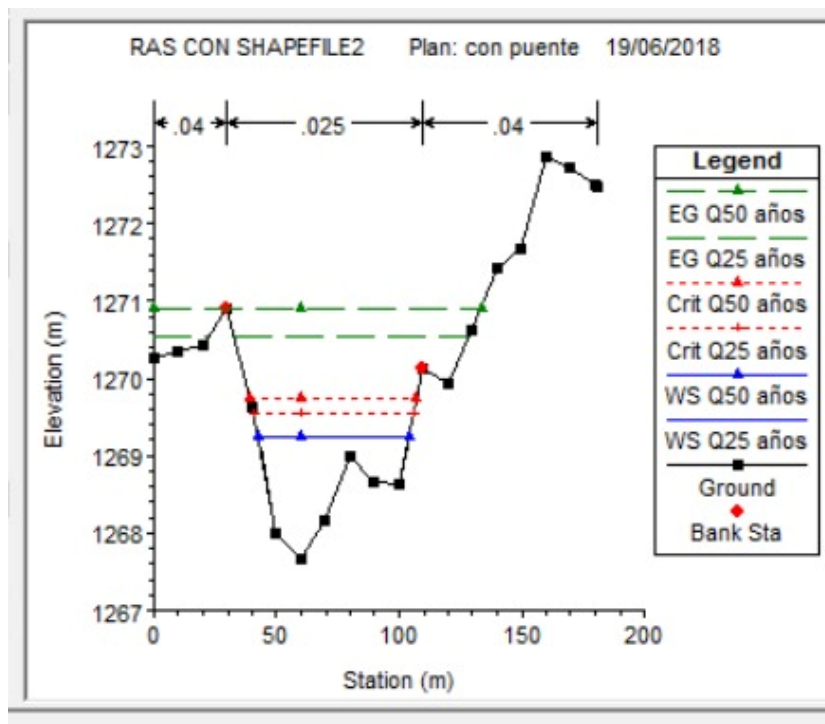


Ilustración XXIV. Perfil transversal del río Vaqueros correspondiente al sitio de implantación del puente. El perfil fue extraído del estudio hidráulico citado como bibliografía de referencia y constituye la base para el análisis de alturas de flujo y socavación general.

Altura libre y socavación

De acuerdo con la normativa de la Dirección Nacional de Vialidad (Sección Puentes), la altura libre mínima recomendada entre el nivel máximo de agua para la crecida de diseño y el intradós del tablero debe ser de, al menos, 1,00 m.

Estos parámetros serán empleados en el capítulo correspondiente al diseño del puente, donde se verificará que la cota de fundación y la altura del tablero satisfagan las condiciones hidráulicas de seguridad.

La verificación del gálibo hidráulico del puente se realizó considerando el nivel de agua correspondiente a la crecida de diseño en la sección del Perfil. Del modelo hidráulico se obtuvo una cota de superficie libre del agua del orden de 1269,80 m.

La cota del intradós del tablero se fijó en 1271,00 m, por lo que el gálibo hidráulico resulta:

$$G_h = 1271,00 - 1269,80 = 1,20 \text{ m}$$

Este valor es mayor a 1,00 m, cumpliendo con la altura libre mínima exigida por la Dirección Nacional de Vialidad y garantizando que, aun durante crecidas de diseño, el flujo no interactúe con el tablero del puente.

Conclusiones del estudio hidrológico aplicado al puente

- Se adopta un caudal de diseño correspondiente a una recurrencia de 50 años.
- La altura libre mínima requerida será de 1,00 m, en concordancia con la normativa de Vialidad Nacional.
- Se estima una socavación máxima del orden de 3,5 metros en la zona de fundación.
- Estos parámetros se utilizarán como condiciones de borde en el diseño del puente.

Socavación general por el método de Lischtnan-Levediev

Con el fin de estimar la profundidad de socavación general en la sección del puente proyectado, se aplicó el método de Lischtnan-Levediev, el cual permite evaluar el descenso del fondo del cauce durante eventos de crecida, independientemente de la presencia o no de una estructura. Este método es ampliamente utilizado para cauces aluviales de suelos sueltos u homogéneos, ya que se basa en el equilibrio hidráulico entre:

- La velocidad media real del flujo en la sección (V_r).
- La velocidad erosiva crítica capaz de mantener en movimiento al material granular del lecho (V_e).

La socavación general ocurre cuando V_r alcanza o supera V_e , generando un nuevo equilibrio hidráulico a una mayor profundidad del cauce.

El procedimiento considera parámetros hidráulicos del río (caudal, área hidráulica, radio hidráulico, pendiente, ancho del flujo) y parámetros sedimentológicos (diámetro medio del material, coeficiente de forma, frecuencia de transporte, peso específico relativo del sedimento).

Asimismo, cuando el análisis se realiza en presencia de un puente, se introducen factores de corrección para:

- Contracción del flujo (μ), debido a la reducción del ancho efectivo entre estribos o pilas.
- Peso específico relativo del sedimento (ϕ), relevante en crecientes donde la mezcla agua-sedimento presenta variaciones significativas.

Estos factores ajustan la ecuación de socavación final aumentando o disminuyendo la profundidad resultante, dependiendo del comportamiento hidráulico y sedimentológico del cauce.

La tabla siguiente presenta los parámetros calculados para la sección del puente, incluyendo:

- Geometría hidráulica del cauce (área, tirante, ancho superficial, radio hidráulico).
- Velocidades y coeficientes característicos (V_r , α , β , μ).
- Número de Froude.
- Profundidad resultante de socavación general (H_s) según Lischtnan-Levediev.

Los valores permiten definir la cota de fundación mínima requerida para garantizar la estabilidad de estribos y pilas frente a eventos hidráulicos extremos.

La tabla siguiente presenta los parámetros obtenidos, incluyendo las velocidades V_r y V_e , coeficientes α , β , μ , número de Froude y profundidad de socavación general H_s .

Q Total (m ³ /s)	Cota inferior del cauce en la sección (m)	Altura de la lámina de agua (m)	Área hidráulica (m ²)	Be (m)	ym (m)	Vel. del agua en el cauce (m/s)	μ	α	β	Ancho de la superficie libre del flujo en la	Froude Chl	Altura de socavación (m)
283.4	1267,65	1,59	50,11	61,61	0,81	5,73	0,98	6,7	0,97	61,61	5,09	3,5

La socavación general obtenida de 3,50 m representa el descenso que experimentaría el fondo del cauce respecto de su nivel actual durante una crecida extrema correspondiente al caudal de diseño. Este valor indica la profundidad a la cual el río puede erosionar su lecho en la sección del puente y constituye un parámetro fundamental para definir la cota mínima de fundación de estribos y pilas.

En el Perfil 8, la cota del fondo del cauce relevada mediante el modelo hidráulico es:

$$\text{Cota del fondo actual} = 1267,65 \text{ m}$$

Aplicando la socavación general calculada:

$$\text{Cota del fondo socavado} = 1267,65 - 3,50 = 1264,15 \text{ m}$$

Este valor corresponde al nivel que adoptaría el cauce durante una crecida severa, por lo que las fundaciones deben ubicarse por debajo de esta cota. Considerando un margen adicional de seguridad estructural, se recomienda adoptar una cota de fundación inferior a:

$$\text{Cota mínima recomendada de fundación} \leq 1264,00 \text{ m}$$

Cota adoptada: 1262,00 m

De este modo se garantiza que, aun en condiciones de socavación máxima, los estribos y pilas mantengan apoyo estable, evitando pérdidas de capacidad portante o fallas por erosión.

7.3 Consideraciones del Diseño

El diseño y la construcción se regirán por las normativas vigentes en Argentina:

- Norma y recomendaciones de Diseño Geométrico y Seguridad Vial del Capítulo 1 al Capítulo 10
- CIRSOC 801
- CIRSOC 802
- Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N°24.449. Edición 2019.
- Normas de diseño geométrico de carreteras. DNV. Edición 1980.

Consideraciones

Para el diseño del puente se consideró la información proporcionada por la Secretaría de Recursos Hídricos de Salta respecto a la delimitación de las líneas de ribera del curso de agua. Dicho organismo indicó que la información disponible no se encuentra completamente actualizada, debido a modificaciones recientes en la morfología del cauce asociadas a la explotación de canteras en la zona durante los últimos años.

En función de estos antecedentes, y con el objetivo de respetar en la mayor medida posible las líneas de ribera informadas, se adoptó una solución estructural para el puente compuesta por cuatro tramos de 28 m de luz cada uno, lo que resulta en una longitud total de 112 m.

Perfil Transversal

Se mantendrá la coherencia con los parámetros establecidos previamente en el diseño geométrico de la Avenida de la Verdad y la Memoria, asegurando así una transición continua, priorizando la seguridad y manteniendo la armonía tanto interna como externa, tanto en términos de alineación horizontal y vertical como en las condiciones de visibilidad, velocidad de circulación y confort durante el recorrido.

Este criterio está dentro de las recomendaciones de la norma de la DVN:

Entre las conclusiones y recomendaciones resultantes de investigaciones sobre la sección transversal de autopistas en países preocupados por la seguridad vial se destacan:

- Ensanchar un carril más allá de 3,5-3,65 m no causa ningún mejoramiento significativo en los índices de accidentes;
- Puede recomendarse un ancho de carril de 3,5-3,65 m;
- Pavimentar más de 2,5 m de una banquina no causa ningún mejoramiento en los índices de accidentes;
- Mantener el ancho de total de pavimento (calzadas más banquetas) sobre los puentes, cualquiera que sea la luz del puente.

Ilustración XXV. Recomendaciones sección transversal. Norma DVN Capítulo 4

La **Calzada** es aquella formada por los carriles, que son la parte destinada a la circulación de vehículos. En este caso, vamos a tener 4 carriles, dos para cada sentido con un ancho de 3,65 metros, debido a que la velocidad directriz de una autopista es mayor a 80Km/h. Resultando una calzada de 7,30 metros.

La **Banquina** es el área utilizable inmediatamente adyacente a la calzada, que se utilizan para emergencias, paradas de vehículos o servicios de mantenimiento. Según las normas de la DVN capítulo 3, se establece que el ancho de la banquina no puede ser menor que 1,5 metros y que el ancho deseable es de 3 metros a cada lado. Por lo que adoptamos un ancho de banquina de 3 metros.

Defensa/guardarraíl/barreras: Es un elemento de protección longitudinal destinadas a evitar que un vehículo caiga del puente. Se recomienda evitar las veredas delante de las barreras de puente.

Como regla general la barrera deberá ubicarse tan lejos como sea posible del borde de calzada, dándole mayores posibilidades a los conductores de retomar el control del vehículo antes de chocar con la barrera. Al ser una distancia tomada desde el borde de la calzada, vamos a tener los 2,5 metros de la banquina y luego, vendría el ancho de la barrera New Jersey de 0,60 metros.

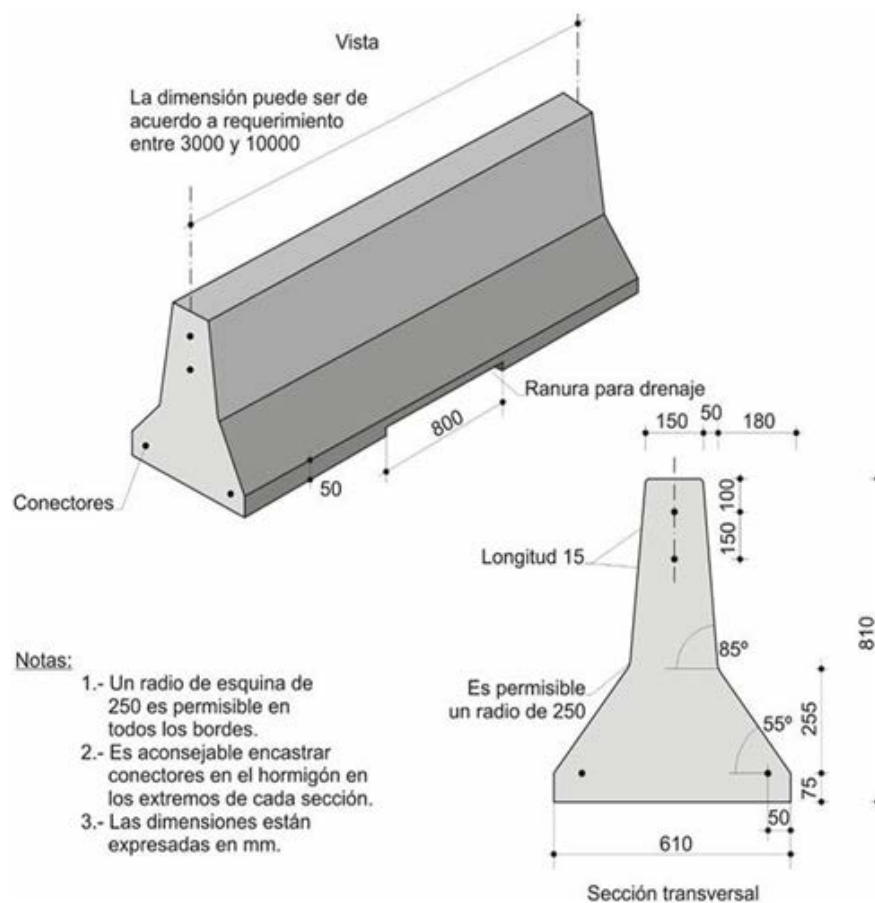


Ilustración XXVI. Detalle defensa New Jersey

La **Vereda peatonal** es el espacio que permite el tránsito seguro de personas sobre el puente. Un ancho de 1,50 metros es suficientemente adecuado para permitir que dos personas caminen juntas, lo que permite el paso cómodo y seguro de peatones, ciclistas o personas con movilidad reducida. Este valor se encuentra entre las recomendaciones de la norma, que establece que debe estar entre 1,2 y 3 metros. Y acorde a la norma, las barandas peatonales tendrán una altura mínima de 1,1 metros.

7.4 SUPERESTRUCTURA

Se trata de la parte del puente que recibe directamente las sobrecargas de circulación de vehículos y peatones

El **Tablero** del puente va a ser de hormigón. Se diseñará una losa de hormigón armado de 15 cm de espesor, apoyada directamente sobre las vigas principales. Sobre dicha losa se prevé la ejecución de una carpeta de rodamiento de 6 cm de espesor, a la que se suman los elementos de seguridad vial: defensas tipo TL-5 y dos barandas metálicas de protección en los laterales.

El ancho total del tablero resulta de 13,50 metros, dentro del cual se distribuyen los anchos de calzada, banquetas, veredas y defensas.

Las Vigas sostienen el tablero y se sitúan sobre los estribos y las pilas a lo largo de todo el puente para soportar toda su carga. Las mismas van a ser de H°A°, cuyas medidas y cantidades están indicadas dentro del predimensionado de vigas, junto con la memoria de cálculo.

Los **Dispositivos de apoyo** son elementos mediante los cuales las vigas van a transmitir las cargas a las pilas y estribos. Estos deben permitir los movimientos relativos de giro y/o desplazamiento en la dirección longitudinal y/o transversal. Los apoyos de elastómero son los apoyos más simples de puentes y consiste en un bloque generalmente rectangular o circular de elastómero, trabajando como un material suave de transición entre la superestructura y la subestructura que permite movimientos en todas las direcciones por medio de desplazamientos y/o rotaciones elásticas.



Ilustración XXVII. Apoyos de elastómeros.

Impermeabilización y drenaje: Elementos destinados a impedir que el agua penetre en la estructura del tablero y a su vez, recoger y evacuar el agua de la plataforma evitando que escurra por el tablero o se acumule en las coronaciones de pilas y estribos. La pendiente transversal de ambos puentes va a ser del 2% y la longitudinal del 1% (esto va acorde con las recomendaciones del Capítulo 3 de la norma, en las cuales se establece que debe ser mayor al 0,5%). También, colocaremos ductos transversales para el paso de servicios públicos, en lugares estratégicos, para el paso de cañerías de electricidad, de agua, de fibra óptica, etc.

Losa de aproximación: Como la deformabilidad de los terraplenes de acceso es mucho mayor que la de los estribos, tiende a formarse un escalón brusco entre las tierras y el muro del estribo. Para minimizar este efecto, se construye esta losa en la cara posterior (trasdós) del estribo.

Su función principal es garantizar una transición suave y segura entre el puente y el suelo, evitando asentamientos diferenciales que puedan afectar la comodidad y seguridad de los usuarios.

Características constructivas

1. **Materiales:** Generalmente se construye con hormigón armado para resistir las cargas vehiculares y asegurar durabilidad.
2. **Ubicación:** Se coloca entre el estribo del puente y el inicio del terraplén.
3. **Pendiente:** Tiene una pendiente adecuada para garantizar un tránsito fluido, sin generar impactos bruscos.

Las **Juntas de puentes** son dispositivos que permiten los movimientos relativos entre dos partes de una estructura. Se usan para cubrir requerimientos estructurales de diseño y construcción, para garantizar los movimientos provocados por cambios de temperatura, efectos de retracción o flujo plástico, acortamientos por pretensado, cargas de tráfico, asentamientos diferenciales o tolerancias requeridas, compatibles con las condiciones de apoyo.

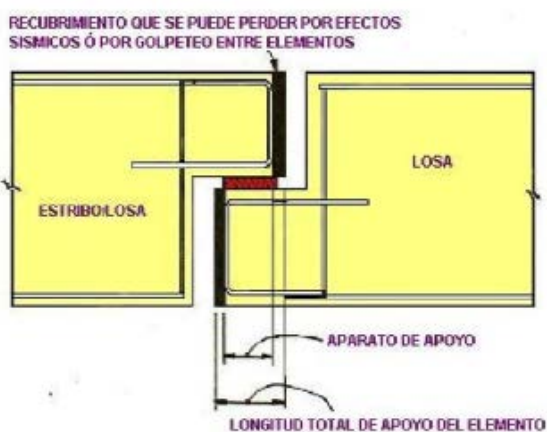


Fig. 1. Ancho de Apoyo (Seating)

Ilustración XXVIII. Detalle de junta de puente

Adoptamos utilizar juntas rellenas moldeadas de Polímero Asfáltico (llamadas genéricamente juntas elásticas) debido a que son de rápida instalación, completamente impermeables, dan confort, seguridad y comodidad para el usuario del puente. La junta no debe tener un espesor menor a 8 cm.

7.5 SUBESTRUCTURA

Los **Estribos** son los elementos estructurales de retención del suelo que soportan la carga vertical de la superestructura del puente en sus dos extremos. Completados por otras estructuras denominadas aleros, que pueden estar integradas o separadas del estribo, su función consiste en colaborar a las pilas en la sustentación del tablero, además de servir como muros de contención unidos a un talud tanto al inicio como al final del puente. Están contruidos con hormigón armado y son capaces de soportar altos niveles de fuerza horizontal.

Las **Pilas** son los apoyos de la superestructura que se encuentran entre los dos estribos. Al igual que los estribos, las pilas son elementos de apoyo que conducen los esfuerzos de

la superestructura hacia los cimientos o fundaciones. Están diseñadas para resistir todas las fuerzas verticales, horizontales y transversales que actúan sobre el puente. El puente cuenta con 3 pilas conformadas de vigas dinteles, con dos columnas cada una y una zapata rectangular.

En zonas sísmicas se utilizan topes sísmicos que son dispositivos diseñados para limitar el movimiento relativo entre los diferentes componentes estructurales de un puente durante un evento sísmico. Su propósito principal es evitar que las vigas o elementos del puente se desplacen excesivamente, lo que podría provocar colapsos o fallos estructurales. Los colocaremos entre vigas y apoyos, donde las vigas principales descansan sobre los estribos o pilas.



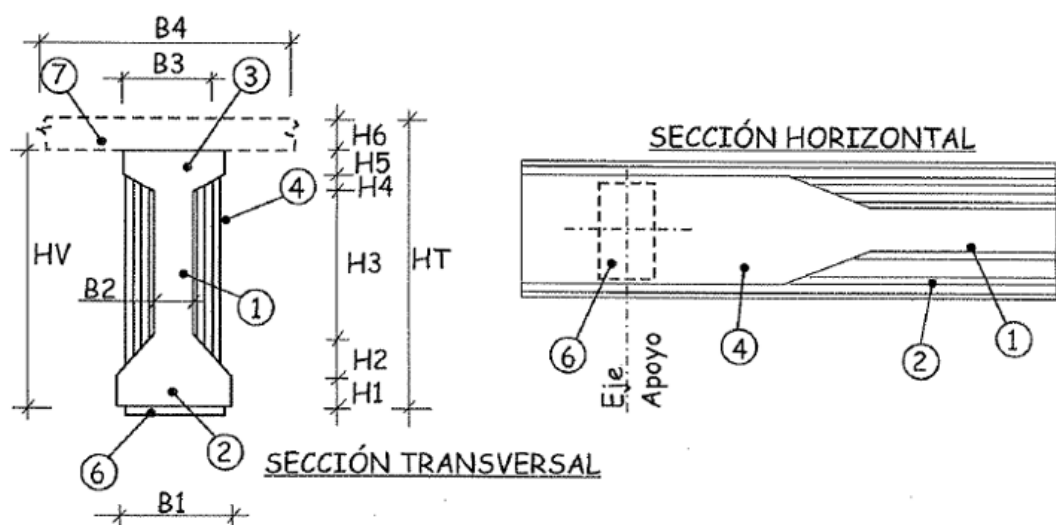
Ilustracion XXIX. Tope sísmico, viga dintel, columnas.

Las fundaciones del puente se resolvieron mediante un sistema de fundación indirecta, compuesto por **Zapatas** apoyadas sobre **Pilotes**, con el objetivo de garantizar una adecuada transmisión de cargas hacia estratos más competentes del suelo.

Si bien los estudios geotécnicos preliminares indican condiciones favorables del terreno, al tratarse de un diseño a nivel de anteproyecto, se adoptó esta solución con un criterio conservador, priorizando la seguridad estructural y minimizando posibles efectos asociados a asentamientos diferenciales o variaciones en las propiedades del suelo.

Las zapatas, ejecutadas en hormigón armado y de geometría rectangular acorde a la disposición de las pilas, cumplen la función de vincular las columnas con los pilotes, distribuyendo las cargas provenientes de la superestructura y permitiendo su transmisión eficiente al terreno a través de estos elementos profundos.

7.6 Pre dimensionado de vigas



- 1: Nervio
- 2: Talón inferior
- 3: Cabeza superior
- 4: Zona macizada externa
- 6: Apoyo de viga
- 7: Losa

- B1: Talón inferior
- B2: Nervio
- B3: Cabeza superior
- B4: Losa tablero
- H1: Talón inferior
- H2: Zona inclinada inferior
- H3: Altura nervio
- H4: Zona inclinada superior
- H5: Cabeza superior
- H6: Espesor losa tablero

Ilustracion XXX. Imagen ilustrativa Sección de viga

		Adoptado	
Lc	27,6		mts
Ancho de puente	13,5	13,5	mts
Sep. de Vigas	2,28	2,3	mts
Nº de Vigas	6	6	-
HT	1,63	1,65	mts
H6	0,15	0,15	mts
HV	1,47	1,50	mts
B1	0,74	0,75	mts
B2	0,12	0,15	mts
AC	7,3		mts
B3	0,55	0,6	mts
H1	0,18	0,18	mts
H2	0,31	0,30	mts
H3	0,78	0,8	mts
H4	0,07	0,07	mts
H5	0,13	0,15	mts

Imagen ilustrativa N°23: Tabla de cálculos para pre dimensionado de viga

7.7 Conclusión

Como resultado del análisis hidráulico, geométrico y estructural desarrollado en el presente capítulo, se obtuvo la solución final adoptada para el puente proyectado sobre el río Vaqueros. La estructura diseñada responde a las condiciones de borde definidas por el estudio hidrológico, las verificaciones de altura libre, la evaluación de la socavación general mediante el método de Lischtvan-Levediev y los criterios normativos establecidos por la Dirección Nacional de Vialidad.

La figura siguiente presenta el **corte transversal general del puente**, en el cual se visualizan los elementos principales de la superestructura y la subestructura:

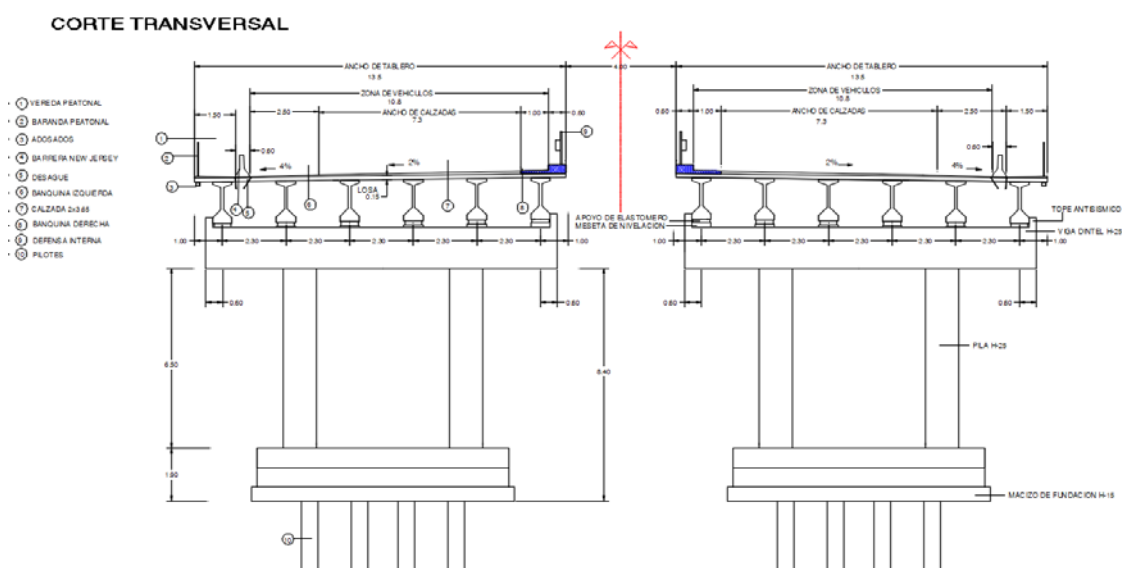


Ilustración XXXI. Corte Transversal Puente (Para ver el plano en detalle, consultar la carpeta de planos del proyecto.)



Ilustración XXXII. Vista ejemplo del puente terminado sobre Río Vaqueros (Infraworks)

Capítulo 8: Impacto Ambiental

¿Qué es el impacto ambiental?, Es la modificación neta en forma positiva o negativa de las condiciones, calidad o aptitud del ambiente producida por una acción, proyecto u obra. Por ejemplo, ensanchar la zona de camino tendrá un impacto negativo y directo sobre la cobertura vegetal, impacto negativo indirecto sobre el hábitat de la fauna e impacto positivo indirecto sobre el empleo

El objetivo de este apartado es identificar los aspectos legales más relevantes que deben considerarse para cumplir con la legislación vigente y los procedimientos correspondientes, constituyendo el marco normativo dentro del cual se desarrollará el proyecto.

8.1 Introducción

El Estudio de Impacto Ambiental constituye una herramienta fundamental de la gestión ambiental, cuyo objetivo es identificar, evaluar y mitigar los efectos que puede ocasionar la construcción y operación de la Avenida de la Verdad y la Memoria, incluyendo sus intersecciones a través de rotondas y la obra de un puente.

La finalidad es garantizar la integración armónica de la obra con el medio natural y social, en el marco de un desarrollo sustentable que considere tanto los beneficios socioeconómicos como la preservación de los recursos naturales y culturales de la zona de influencia.

8.2 Marco Legal

En la República Argentina el tema ambiental ha adquirido particular relevancia, evidenciada por la evolución de la sociedad, avances tecnológicos, institucionales y experiencias acumuladas durante varios años.

El Manual de Evaluación y Gestión Ambiental de Obras Viales (MEGA II) fue creado por la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) como instrumento de gestión ambiental aplicable a proyectos de infraestructura vial en Argentina. Su finalidad es unificar criterios para identificar, evaluar y mitigar impactos ambientales en todas las etapas de una obra, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente y promoviendo un desarrollo sustentable.

Si bien fue elaborado como herramienta de gestión para la DNV, **también representa un aporte a las provincias y a las Vialidades Provinciales**, reflejando la política ambiental de la Nación.

Un estudio de este carácter constituye una herramienta preventiva de la Gestión Ambiental, entendida como el conjunto de acciones destinadas a lograr decisiones racionales orientadas a la conservación, protección y mejora del medio ambiente, desde un enfoque interdisciplinario e integral. En este sentido, la correcta formulación y desarrollo del proyecto debe contribuir al desarrollo sustentable, cumpliendo con la normativa vigente y minimizando los conflictos mediante un manejo adecuado de los impactos y compensaciones.

Legislación Provincial

En la Provincia de Salta, la normativa ambiental fundamental es la **Ley N° 7.070**, reglamentada por el **Decreto N° 3097/00**.

Esta Ley tiene por objeto **regular las relaciones entre los habitantes de la provincia y el medio ambiente**, los ecosistemas, los recursos naturales, la biodiversidad y el patrimonio genético y paisajístico, a fin de asegurar el desarrollo sustentable, la equidad intra e intergeneracional y la conservación de la naturaleza.

En su **Capítulo VI, Sección II**, regula lo referido al **Estudio de Impacto Ambiental y Social (EIAS)**, que los proponentes públicos o privados deberán preparar y presentar al organismo provincial competente cuando las obras o actividades presenten alguno de los siguientes efectos o características:

La normativa provincial aplicable y vigente, la Ley N° 7.070 constituye la norma fundamental ambiental en la Provincia de Salta, la que se encuentra reglamentada por el Decreto N° 3097/00.

- a) Riesgo para la salud y la seguridad de la población.
- b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y la calidad de los recursos naturales renovables, incluidos la diversidad biológica, el suelo, el aire y el agua
- c) Proximidad del área de influencia de la iniciativa a asentamientos humanos, a áreas naturales protegidas y a áreas ecológicamente críticas.
- d) Relocalización de asentamientos humanos o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de poblaciones posiblemente afectadas por la iniciativa.
- e) Alteración significativa, en términos de magnitud geográfica y temporal, del valor paisajístico o turístico del área de influencia de la iniciativa.
- f) Alteración de monumentos y sitios de valor histórico, antropológico, arqueológico y, en general, considerados del patrimonio cultural de la Provincia y de la Nación.
- g) Cualquiera de las características o circunstancias precedentes en la medida que afecte a otra jurisdicción provincial, nacional y extranjeras.
- h) Toda actividad contenida en otras normativas vigentes o que por vía reglamentaria la Autoridad de Aplicación determine.

Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental y Social

El artículo 62° de las Disposiciones Comunes (Reglamentario del Art. 38 de la Ley 7.070) establece que los responsables de proyectos sujetos a evaluación ambiental deberán contar, antes del inicio de la obra, con el Certificado de Aptitud Ambiental expedido por la Autoridad Competente, el cual acredita el cumplimiento de los principios rectores para la preservación, conservación y mejora del ambiente.

Competente en la materia, que acredite el cumplimiento de los principios rectores para la preservación, conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, establecidos en la Ley 7070”.

Define las etapas de avance de todo proyecto:

- a) Idea, prefactibilidad, factibilidad y diseño;
- b) Concreción, construcción o materialización;
- c) Operación de las obras o instalaciones;
- d) Post-clausura o post-desmantelamiento.

Respecto a los profesionales habilitados, el Art. 74 (Reglamentario del Art. 41) dispone que las empresas deberán seleccionar, bajo su responsabilidad, consultores o firmas registradas en el Registro Provincial de Consultores Ambientales.

En la Sección II del presente Capítulo, se establecen las instancias en las que se deberá presentar el Estudio de Impacto Ambiental y Social, como también los contenidos mínimos (arts. 43, 44).

Los contenidos mínimos del Estudio de Impacto Ambiental y Social, serán los siguientes:

1. Objetivos y beneficios socio-económicos del Proyecto.
2. Descripción del Proyecto.

- a) Principales componentes. Dimensiones y localización.

Plano de obras. Edificios y obras principales y auxiliares. Otros componentes del proyecto, tales como instalaciones de almacenamiento, toma de agua, balneario, alcantarillas, forestación, espacios para estacionamiento y maniobras. Dimensiones de los componentes y del conjunto.

Ubicación general y detallada, con distancia a elementos de referencia tales como rutas, canales, ríos, centros de población. Topografía de predio y modificaciones previstas en el Proyecto. Actividades conexas y complementarias a l Proyecto, que pueden ser atraídas directa o indirectamente a la zona.

- b) Tecnología, proceso, insumos, productos, subproductos y desechos; tipos, cantidad, condiciones de almacenamiento temporario o permanente durante la operación del establecimiento, ya sea normal o excepcional. Descripción detallada de las diferentes etapas del proyecto y de los distintos insumos que se utilizarán en cada una de ellas. Incluye diagramas y explicaciones claras del proceso con sus equipos e instrumentos. Generación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de desechos. Reutilización de materiales. Emisiones y vertidos previstos.

- c) Protección Ambiental

Medidas de prevención. Controles previstos. Monitoreo. Procedimientos, organización e instrumentos proyectados con el fin de evitar contingencias

ambientales, durante las diferentes etapas, incluyendo las actividades de transporte.

3. Descripción de la situación ambiental existente.

a) Componentes biofísicos

- Atmósfera: clima y microclima, temperatura, precipitaciones, viento, calidad del aire (contaminación por ruido, olor, sustancias, partículas).
- Agua: hidrología superficial y subterránea, calidad del agua. Los EsIAS, en referencia a las posibles afectaciones de las aguas subterráneas, deberán ser realizadas por especialistas en aguas subterráneas (hidrólogos) y contener como mínimo las siguientes precisiones: Censo de perforaciones, pozos excavados y manantiales, mapas geológicos de superficie, mapas de profundidad del nivel freático, análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de muestras de agua, interpretados y comparados con los valores tolerables de las tablas de calidad de agua.
- Suelo y subsuelo: edafología, hidrogeología, geología, estabilidad y permeabilidad, geomorfología.
- Flora y Fauna. Descripción de especies y animales. Estado actual y cobertura.

b) Componentes socio-económicos

- Indicadores sociales y demográficos.
- Actividad y usos del suelo del área de localización.
- Usos alternativos de recursos que se verían afectados por el proyecto.
 - Recursos: potencial minero y zonas de extracción actual, estructura del territorio agropecuario, potencial y rendimiento, montes y bosques, potencial de caza y pesca, sitios de interés y patrimonio cultural y natural, paisajes, áreas protegidas.
 - Infraestructura: redes, vías de comunicación y transporte, aeropuertos, estaciones terminales.
 - Ordenamiento territorial: esquemas, planes y códigos urbanísticos relacionados directa o indirectamente con el proyecto, economía local y regional.
 - Compatibilidad con otros proyectos preexistentes conforme a bases legales y administrativas.

4. Identificación, valoración e interpretación de los posibles impactos del proyecto sobre cada componente ambiental y sobre el conjunto (efectos combinados). Observación de efectos directos e indirectos, análisis tempo-espacial (duración y extensión de los efectos). Intensidad de los impactos. Identificación de las acciones cuyos efectos no son suficientemente conocidos en la actualidad.

5. Identificación, valoración e interpretación de posibles efectos del ambiente sobre la obra y/o acción proyectada.

6. Consideración de impactos negativos inevitables. Importancia y aceptabilidad de estos. Medidas de mitigación previstas. Consecuencias reversibles e irreversibles en caso de materializarse el proyecto.

7. Consideración de la situación ambiental futura, a mediano y largo plazo, con y sin la ejecución del proyecto. Plan de monitoreo para las diferentes etapas. Plan de acondicionamiento ambiental en la etapa de post-operación.

8. Proyectos alternativos u opcionales y fundamentación de su rechazo.

9. Informe sintético. Resumen de los estudios realizados y sus conclusiones.

10. Fuentes de información utilizada, estudios e investigaciones anexas, detalle pormenorizado de la normativa vigente y su adecuación a la misma.

Una vez satisfechos estos extremos, la Autoridad Competente extenderá el Certificado de Aptitud Ambiental, entendido como el único instrumento que habilita o autoriza la realización de tal proyecto y, según texto de la ley, "condición necesaria para que los organismos públicos habiliten la iniciativa correspondiente".

Expresamente, establece que el incumplimiento de las condiciones establecidas por parte del organismo a cargo de la autorización de la iniciativa será causa suficiente de nulidad del acto administrativo de autorización correspondiente.

A los fines de obtener el Certificado de Aptitud Ambiental, se ha establecido dentro del procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental y Social, la realización de una audiencia pública dentro de los 10 días hábiles de emitido o recibido el dictamen referido precedentemente (artículo 49 L. N° 7070), en la que se pondrá disposición toda la información relativa a la misma. y agregada en el respectivo expediente administrativo.

Durante su transcurso se recibirán las observaciones que pueda formular cualquier persona física o jurídica, así como otros organismos públicos de la provincia que pudieran verse afectados por la iniciativa. Dichas observaciones deberán ser contestadas en el término de cinco días. Con anterioridad el organismo público competente - esta DNV- deberá librar oficios a otros que tuvieran incidencia en el proyecto, a sectores involucrados, al Consejo Provincial del Medio Ambiente, a las Municipalidades y otras jurisdicciones si correspondiere, requiriendo opinión y otorgando las vistas o consultas. En todos los casos es de notificación y vista obligatoria a la Autoridad de Aplicación de la Ley de Medio Ambiente, bajo pena de nulidad. Dicha vista deberá contener el dictamen y demás elementos de juicio necesarios.

Las opiniones, informaciones u objeciones a la iniciativa provenientes de las instancias de consulta no son vinculantes para el organismo público a cargo de la autorización de esta. La desestimación de las opiniones u objeciones deberán ser debida y razonablemente fundamentadas por parte de la DNV (artículo 50° L. 7070).

Al respecto, las Audiencias Públicas son espacios institucionales de participación que permiten el intercambio de información, propuestas e inquietudes entre la DNV y los ciudadanos, particularmente aquellos que puedan verse afectados de manera directa o indirecta por las obras que se prevé desarrollar.

El objetivo de las Audiencias es informar a la población respecto de los proyectos que se están desarrollando y de los principales impactos que su implementación puede

ocasionar en el medio ambiente. Si bien las audiencias públicas son no vinculantes, la intención es recoger aquellas inquietudes, propuestas e iniciativas de la población que puedan contribuir a optimizar los proyectos y lograr de esta manera una ejecución más eficiente de las obras.

8.3 Determinación y Mitigación de posibles impactos ambientales

Toda obra vial genera efectos ambientales sumamente complejos, desarrollados en el tiempo y en el espacio, tanto en la etapa de construcción como de operación. Las medidas de prevención, de mitigación y de compensación constituyen un instrumento para el proceso de toma de decisiones para lograr la máxima eficiencia y el mínimo costo funcional y ambiental del proyecto. El enfoque a priorizar en la formulación de dicho conjunto de medidas estará centrado en la prevención más que en el tratamiento ulterior de los problemas ya desencadenados, teniendo en cuenta la disminución de costos que implica la adopción de una oportuna medida que evite daños controlables, así como la minimización del riesgo de generar impactos irreversibles.

Para la identificación de los efectos del proyecto sobre el medio y del medio sobre el proyecto, se debe seguir un procedimiento basado en el conocimiento y la definición de los siguientes aspectos:

- Conocer el proyecto.
- Conocer el medio en el que será implantado.
- Establecer las relaciones entre ambos.

El conocimiento del proyecto permite identificar claramente las acciones de este, definiendo los procesos y tecnologías que permitirán su ejecución, su magnitud y momento de realización.

El conocimiento del medio físico implica por una parte cuantificar la extensión del entorno y definir sus cualidades antes de la operación del proyecto, a modo de inventario o definición de la denominada "línea de base ambiental" o situación pre-operacional.

Medidas de mitigación: Realizaremos un conjunto de acciones de prevención, control, atenuación restauración y compensación de impactos ambientales negativos y de fortalecimiento de impactos positivos.

IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACION
Pérdida de cobertura vegetal	-Se buscará trabajar la mayor parte del tiempo dentro de la zona del camino. -Prohibida la quema de restos. -Se plantarán 3 árboles por cada árbol extraído.
Contaminación acústica	-Controlar el correcto funcionamiento de las maquinas. -Respetar horarios.
Contaminación de agua	-Controlar perdida de fluido de las distintas maquinas. -Prohibir el vuelco o lavado de maquinarias en cursos de agua cercanos. -Se realizarán análisis periódicos en efluentes cercanos en busca de alteraciones en el mismo.
Cambios en el paisaje	-El proyecto se armonizará con la ubicación del mismo.
Generación de Residuos	-Cuidar recursos y aplicar medidas de higiene y seguridad. -Capacitación del personal sobre como disminuir, manejar y disponer los residuos.

Acompañando todas estas medidas se debe realizar periódicamente un monitoreo ambiental previamente planificado en donde se identifiquen y evalúen cómo evolucionan las condiciones ambientales y poseer un plan de contingencias por cualquier caso no deseado que pudiera ocurrir en el transcurso de la obra de forma accidental como ser derrames de combustibles, incendios de pastizales, etc.

También cabe hacer mención a los impactos positivos que tendrá el proyecto en su entorno, entre ellos se destacan:

ASPECTO	BENEFICIO
Incremento en la capacidad y eficiencia vial	-Ordenamiento del tránsito con nuevas intersecciones más seguras y eficientes. -Mayor conectividad entre barrios y áreas productivas. -Favorece el desarrollo urbano y económico en el área de influencia.
Desarrollo socioeconómico	-Generación de empleo directo e indirecto durante la construcción. -Valorización del suelo urbano y atracción de nuevas inversiones.
Mejora en la calidad de vida	-Disminución de tiempos de viaje y mayor fluidez en la circulación. -Reducción de polvo en suspensión y de emisiones gracias a la pavimentación y ordenamiento vial. -Mayor accesibilidad a servicios y equipamientos urbanos.
Seguridad para conductores y transeúntes	-Reducción de la tasa de accidentes por incorporación de rotondas en intersecciones conflictivas. -Mejora en la señalización y condiciones de circulación. -Continuidad vial asegurada mediante el puente, evitando cruces riesgosos en crecidas.

Capítulo 9: Computo y Presupuesto

En el presente capítulo se desarrolla el cómputo y presupuesto correspondiente al proyecto.

El cómputo métrico consiste en dividir la obra en distintos rubros e ítems que la componen, determinando las cantidades de cada uno de ellos. Para ello fue necesario contar previamente con el diseño geométrico y el diseño del paquete estructural de la obra lineal. A partir de estos datos fue posible realizar las mediciones correspondientes y obtener las cantidades de obra detalladas a lo largo del capítulo.

Una vez elaborado el cómputo métrico, se procedió a determinar el precio unitario de cada ítem mediante su análisis de precios unitarios. Finalmente, la planilla de presupuesto se obtiene multiplicando las cantidades por sus respectivos precios unitarios y sumando los totales parciales.

Los ítems considerados para el presente proyecto son los siguientes:

- Desboque, destronque y limpieza de terreno.
- Excavación para zanjas de desagüe.
- Preparación de la subrasante.
- Terraplén con compactación especial.
- Cordón cuneta H-21 tipo I de 0,20m x 0,25m y 0,6m de acho.
- Construcción de subbase estabilizada granular de agregado pétreo y suelo (espesor 0,18 m).
- Construcción de base estabilizada granular de agregado pétreo y suelo (espesor 0,12 m).
- Carpeta asfáltica (espesor 0,06 m).
- Imprimación bituminosa de la base estabilizada granular, con E.M. 1 incluido, aplicación 1,3 L/m².
- Riego de liga CRR-0, aplicación a razón de 0,4 L/m².
- Puentes.
- Hormigón H-21 (Isletas Rotondas y Veredas).
- Defensa vehicular tipo New Jersey.
- Señalización y seguridad.
- Construcción de alambrado olímpico. (manteniendo la armonía tanto interna como externa)

A modo de ejemplo, realizaremos a continuación el análisis de precio de los ítems “Terraplén con compactación especial” y “Carpeta asfáltica”. Se involucra los equipos a usar, sus rendimientos, materiales, amortización e intereses, repuestos, combustibles y lubricantes y mano de obra.

Los valores restantes utilizados en el presupuesto fueron obtenidos como referencia de publicaciones de la revista “El Constructor”, tomando como base una obra vial de magnitud y características de suelo similares a las del presente proyecto, a fin de lograr una estimación económica representativa.

Mano de Obra

Los precios fueron obtenidos de la UOCRA en el período de noviembre del año 2025.

UNIDAD CENTRAL DE CONTRATACIONES



SALTA

GOBIERNO

MANO DE OBRA - PERIODO NOVIEMBRE 2.025

CATEGORIA	IMPORTE \$/h	CARGA SOCIAL	TOTAL	NO REMUNERATIVOS		TOTAL
				CONVENCIONAL	TOTAL NO REMUNERATIVO	
mo.001 OF. ESP.	\$ 5.128,00	\$ 4.891,086	\$ 10.019,086	\$ 25,568	\$ 25,568	\$ 10.044,655
mo.002 OFICIAL	\$ 4.387,00	\$ 4.184,321	\$ 8.571,321	\$ 25,568	\$ 25,568	\$ 8.596,889
mo.003 MEDIO OFICIAL	\$ 4.054,00	\$ 3.866,705	\$ 7.920,705	\$ 25,568	\$ 25,568	\$ 7.946,273
mo.004 AYUDANTE	\$ 3.731,00	\$ 3.558,628	\$ 7.289,628	\$ 25,568	\$ 25,568	\$ 7.315,196

Sin Cargas Sociales

JORNAL DIARIO

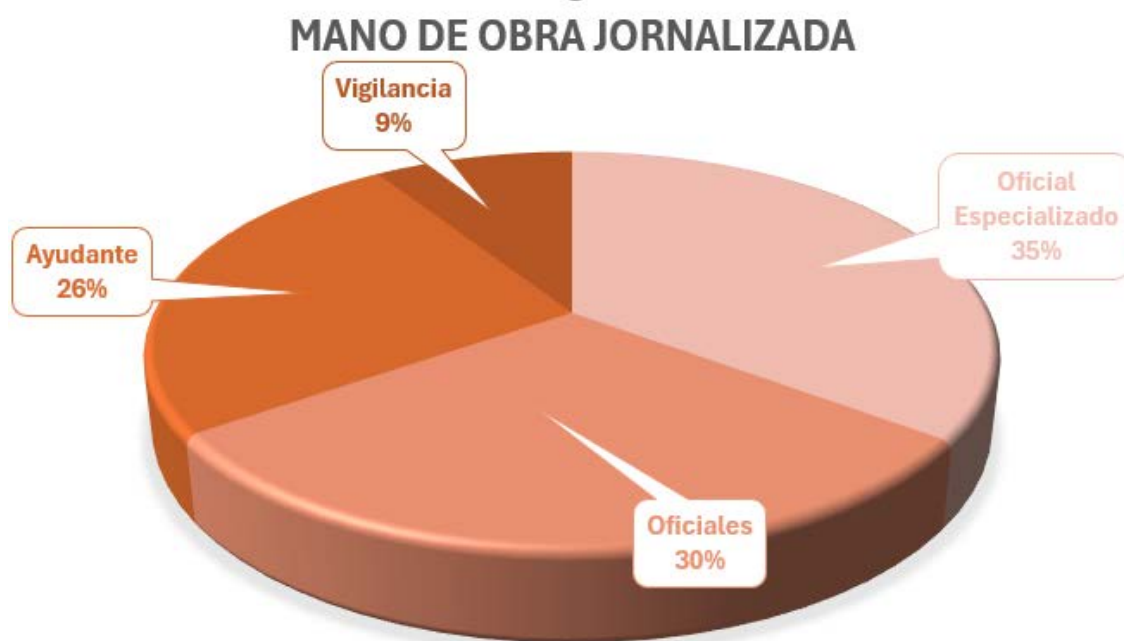
\$29.848,00

ayudante (\$) x 8 (hs)

7500 JORNALES

\$ 223.860.000,00

ayudante (\$) x 7500 x 8 (hs)



Estructura de costos de mano de obra jornalizada.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SALTA		OBRA: "Diseño de un camino alternativo, desde la Circunvalación Noroeste hasta la avenida costanera del Río Vaqueros, Salta"				HOJA Nº1	
ALUMNOS MARTIN MACEDO MARTIN PREMOLI		TRAMO: CIRCUNVALACION NOROESTE - VAQUEROS					
		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ITEM		TERRAPLEN CON COMPACTACION ESPECIAL		UNIDAD: m3		COSTO PARCIAL	
EQUIPOS		CANTIDAD		POTENCIA (HP)		COSTO UNITARIO	
Motoniveladora		1		180		\$ 220.000.000,00	
Pala Cargadora		1		140		\$ 230.000.000,00	
Rodillo Pata de Cabra		0,5		150		\$ 36.000.000,00	
Camion Regador de Agua		1		100		\$ 7.000.000,00	
Compactadora Suelo Rodillo Liso		0,6		145		\$ 55.800.000,00	
Camion con Acoplado 15 m3		7		320		\$ 1.015.000.000,00	
Total				1035		\$ 1.563.800.000,00	
MANO DE OBRA		Cantidad		Precio unitario \$/dia		\$/dia	
Oficial Especializado		12		\$ 80.357,32		\$ 964.287,84	
Oficiales		2		\$ 68.775,11		\$ 137.550,22	
Ayudante		2		\$ 58.521,57		\$ 117.043,14	
Vigilancia 10%				\$ 20.765,40		\$ 20.765,40	
Total Mano de Obra						\$ 1.239.648,60	
Incidencia		Σ		\$/d		\$ 1.239.648,60	
		Rendim		m3/d		750	
						\$ 1.652,88	
AMORTIZACION E INTERESES						\$/dia	
0,70 x C \$ x 8 h/d		10000 h				\$ 875.728,00	
0,12 x C \$ x 8 h/d		2000 h				\$ 375.312,00	
Total Amortizacion e Intereses						\$ 1.251.040,00	
Incidencia		Σ		\$/d		\$ 1.251.040,00	
		Rendim		m3/d		750	
						\$ 1.668,05	
REPARACIONES Y REPUESTOS						\$/dia	
Amortizacion 90%						\$ 788.155,20	
Incidencia		Σ		\$/d		\$ 788.155,20	
		Rendim		m3/d		750	
						\$ 1.050,87	
COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES						\$/dia	
Gas - Oil 0,14 L x 8 h/d x HP x \$/lts		HP x h				\$ 1.604.400,00	
Lubricantes 25%						\$ 401.100,00	
Total Combustibles y Lubricantes						\$ 2.005.500,00	
Incidencia		Σ		\$/d		\$ 2.005.500,00	
		Rendim		m3/d		750	
						\$ 2.674,00	

	\$/m3
COSTO DIRECTO	\$ 5.382,83
GASTOS GENERALES 10%	\$ 539,29
BENEFICIOS 15%	\$ 808,94
SubTotal	\$ 6.741,16
IVA 21%	\$ 1.415,64
PRECIO	\$ 8.158,80

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SALTA		OBRA: "Diseño de un camino alternativo, desde la Circunvalación Noroeste hasta la avenida costanera del Río Vaqueros, Salta"				HOJA Nº1	
ALUMNOS MARTIN MACEDO MARTIN PREMOLI		TRAMO: CIRCUNVALACION NOROESTE - VAQUEROS					
		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
ITEM		CARPETA ASFALTICA		UNIDAD: m3		COSTO PARCIAL	
EQUIPOS		CANTIDAD	POTENCIA (HP)	COSTO UNITARIO			
Rodillo Neumático Autopropulsado		0,5	70	\$	65.000.000,00	\$	32.500.000,00
Camion Volcador		1	250	\$	25.000.000,00	\$	25.000.000,00
Aplanadora 8TN		1	160	\$	86.000.000,00	\$	86.000.000,00
Pavimentadora sobre oruga		1	69	\$	165.000.000,00	\$	165.000.000,00
Total		549				\$	308.500.000,00
MATERIALES		Cantidad			\$ /dia		
Preparacion mezcla asfaltica		1,25	\$	450.628,00	\$	563.285,00	
Total Materiales				\$		583.285,00	
Incidencia		Σ		\$ /d	\$	583.285,00	\$ /m3
		Rendim		m3/d	250		
MANO DE OBRA		Cantidad	Precio unitario	\$ /dia			
Oficial Especializado		2	\$	80.357,32	\$		
Oficiales		2	\$	68.775,11	\$	137.550,22	
Ayudante		1	\$	58.521,57	\$	58.521,57	
Vigilancia 10%			\$	20.765,40	\$	20.765,40	
Total Mano de Obra				\$		377.551,83	
Incidencia		Σ		\$ /d	\$	377.551,83	\$ /m3
		Rendim		m3/d	250		
AMORTIZACION E INTERESES				\$ /dia			
0,70 x C \$ x 8 h/d		10000 h		\$			
0,12 x C \$ x 8 h/d		2000 h		\$		74.040,00	
Total Amortizacion e Intereses				\$		246.800,00	
Incidencia		Σ		\$ /d	\$	246.800,00	\$ /m3
		Rendim		m3/d	250		
REPARACIONES Y REPUESTOS				\$ /dia			
Amortizacion 90%				\$			
Incidencia		Σ		\$ /d	\$	155.484,00	\$ /m3
		Rendim		m3/d	250		
COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES				\$ /dia			
Gas - Oil 0,14 L x 8 h/d x HP x \$ /lts		HP x h		201.600,00			
Lubricantes 25%				\$		50.400,00	
Total Combustibles y Lubricantes				\$		252.000,00	
Incidencia		Σ		\$ /d	\$	252.000,00	\$ /m3
		Rendim		m3/d	250		
						\$	1.008,00

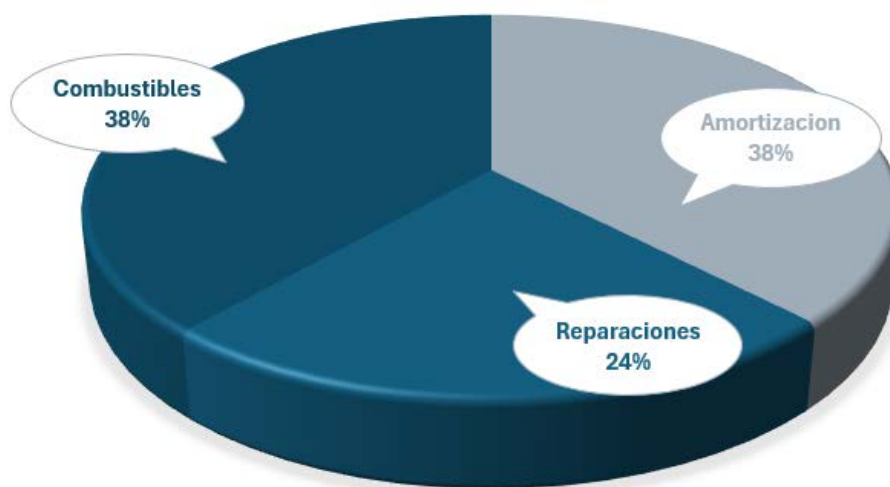
	\$ /m3
COSTO DIRECTO	\$ 6.380,48
GASTOS GENERALES 10%	\$ 638,05
BENEFICIOS 15%	\$ 957,07
SubTotal	\$ 7.975,60
IVA 21%	\$ 1.674,88
PRECIO	\$ 9.650,48

MATERIALES



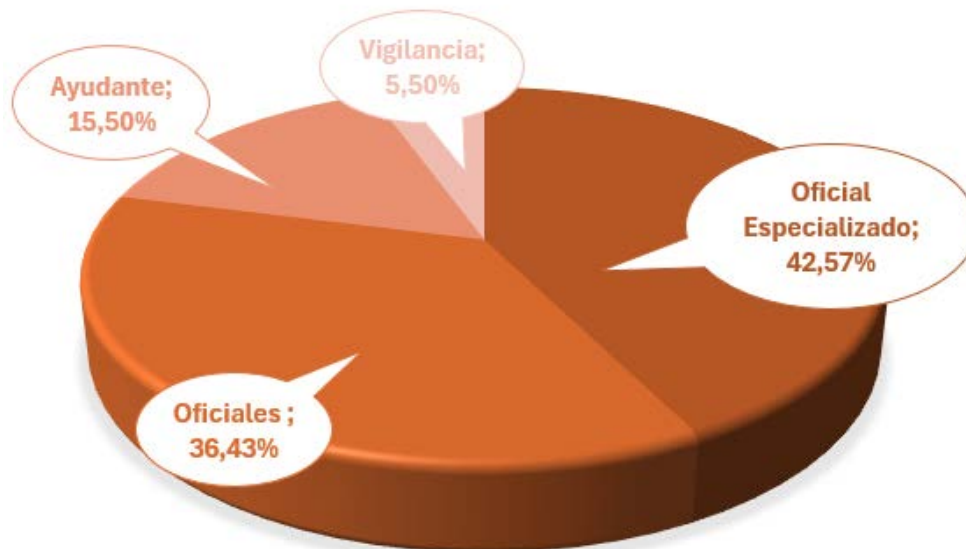
Incidencia de la preparación de la mezcla asfáltica en el costo de materiales para la Carpeta Asfáltica.

EQUIPOS



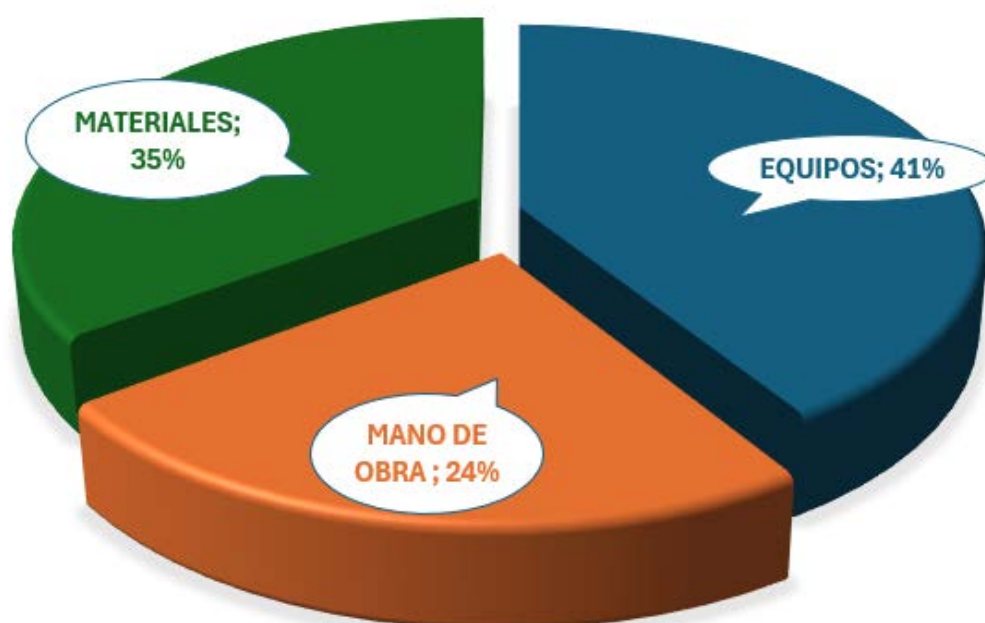
Incidencia de la amortización, combustibles y reparaciones en el costo de equipos para la Carpeta Asfáltica

MANO DE OBRA



Participación de las distintas categorías laborales en el costo de mano de obra correspondiente a la carpeta asfáltica

COSTO DIRECTO



Análisis comparativo de la incidencia de materiales, mano de obra y equipos en el costo directo de la carpeta asfáltica.

Presupuesto

PRESUPUESTO						
OBRA: "Diseño de un camino alternativo, desde la Circunvalación Noroeste hasta la avenida costanera del Rio Vaqueros, Salta"						
PROPUESTA				PRECIO		INCIDENCIA %
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	IMPORTE	
Camino						
1	Desboque, destronque y limpieza de terreno	Ha	25,2	\$ 2.521.910,56	\$ 63.552.146,11	0,30
2	Excavación para zanjas de desagüe	m3	11000	\$ 978,04	\$ 10.758.440,00	0,05
3	Preparación de la subrasante	m2	80008	\$ 600,00	\$ 48.004.800,00	0,23
4	Terraplen con compactación especial	m3	33600	\$ 8.156,80	\$ 274.068.480,00	1,30
5	Cordón cuneta H-21 tipo I de 0,20m x 0,25m y 0,6m de ancho	ml	22400	\$ 55.000,00	\$ 1.232.000.000,00	5,86
6	Construcción de sub-base estabilizada granular. Esp 0,15m	m3	15120	\$ 215.635,12	\$ 3.260.403.014,40	15,50
7	Construcción de base estabilizada granular. Esp 0,15m	m3	15624	\$ 199.955,11	\$ 3.124.098.638,64	14,85
8	Carpeta asfáltica Esp 0,06m	m2	81760	\$ 9.650,48	\$ 789.023.244,80	3,75
9	Riego de liga 0,4 lts/m2	m2	81760	\$ 1.280,04	\$ 104.656.070,40	0,50
10	Imprimación bituminosa 1,3lts/m2	m2	81760	\$ 2.618,92	\$ 214.122.899,20	1,02
11	Hormigon H-21 (Isletas Rotondas y Veredas)	m3	2829,9	\$ 152.230,00	\$ 430.795.677,00	2,05
12	Defensa vehicular tipo New Jersey	m	224	\$ 42.000,00	\$ 9.408.000,00	0,04
13	Señalización horizontal termoplástica	m2	3500	\$ 16.825,00	\$ 58.887.500,00	0,28
14	Señalización vertical reflectiva	m2	80	\$ 253.826,45	\$ 20.306.116,00	0,10
15	Construcción de alambrado olimpico	m	3500	\$ 11.115,76	\$ 38.905.160,00	0,18
COSTO TOTAL DEL CAMINO					\$ 9.678.990.186,55	46,01
Puente						
1	Puentes	m2	3024	\$ 3.750.000,00	\$ 11.340.000.000,00	53,91
2	Baranda metalica tipo Fleax Beam	m	224	\$ 76.475,32	\$ 17.130.471,68	0,08
COSTO TOTAL PUENTE					\$ 11.357.130.471,68	
COSTO TOTAL DE OBRA					\$ 21.036.120.658,23	100,00
COSTO POR KILOMETRO					\$ 1.728.391.104,74	

- El costo total de la obra completa asciende a \$21.036.120.658,23.
- El costo total del camino será de \$9.678.990.186,55.
- El costo total del puente será de \$11.357.130.471,68
- En términos unitarios, el costo por kilómetro se estima en aproximadamente \$1.728.391.104,74.

Capítulo 10: Visualización del proyecto mediante Infra Works

A continuación, se presentan imágenes del proyecto obtenidas mediante el software Autodesk InfraWorks, con el objetivo de visualizar de manera representativa el resultado final de la obra proyectada.

Estas vistas permiten apreciar la integración de la traza vial con el entorno, así como la disposición de los distintos elementos diseñados, constituyendo una herramienta complementaria para la interpretación del proyecto.



Ilustración XXXIII.

Empalme desde circunvalación NorOeste con Av. de la Memoria.



Ilustracion XXXIV. Camino Alternativo (actual tramo Av. de la Memoria), Parque Bicentenario y 1ra Rotonda



Ilustracion XXXV. Barrio El Huaico, Rotondas, RP N°28, costanera y puente Rio Vaqueros



Ilustracion XXXVI.

Puente sobre Rio Vaqueros, Rotonda y Av. Costanera Rio Vaqueros

Conclusión

El estudio desarrollado permitió evaluar técnica y funcionalmente la propuesta de una vía alternativa que conecte la Circunvalación Noroeste con la localidad de Vaqueros, estableciendo su aporte a la descongestión del tránsito, la mejora de la seguridad vial y la integración territorial proyectada en el PIDUA II. A lo largo del trabajo se aplicaron metodologías de diseño geométrico, análisis de tránsito, diseño de pavimentos y estimación de costos siguiendo criterios actualizados y exigidos para obras viales en la provincia.

Más allá de las conclusiones estrictamente técnicas, este proyecto representó una experiencia formativa de gran valor. Gracias al acceso a la obra de la Avenida de la Memoria pudimos observar en terreno cómo se ejecuta una obra vial real, desde la preparación del suelo hasta la colocación de las capas estructurales. Tuvimos la oportunidad de participar del estudio de mecánica de suelos en los laboratorios responsables de la obra, donde no solo se realizaron los ensayos necesarios para nuestro diseño, sino que también recibimos capacitación directa sobre cada procedimiento, sus instrumentos y su interpretación.

Asimismo, se nos enseñó el manejo del GPS de obra, herramienta fundamental para el replanteo y control geométrico, lo que enriqueció nuestra comprensión del proceso constructivo real. Las visitas guiadas al frente de obra, el seguimiento de las distintas etapas y la interacción con ingenieros y técnicos responsables nos permitieron conectar los conceptos teóricos aprendidos en la carrera con su aplicación concreta en campo.

En síntesis, este proyecto final no solo nos brindó la posibilidad de diseñar una infraestructura vial relevante para la región, sino que también nos permitió adquirir experiencia profesional auténtica, fortaleciendo nuestras capacidades técnicas y consolidando nuestra formación como ingenieros civiles.

Finalmente, consideramos que este trabajo puede servir como base para estudios posteriores. Así como nuestro proyecto final abarcó el tramo desde la Circunvalación Noroeste hasta Vaqueros, sería altamente valioso que futuros estudiantes continúen esta línea de investigación extendiendo el análisis hasta la Ruta Nacional N° 9, a la altura de Campo Alegre. La continuidad de este estudio permitiría completar la evaluación integral del corredor, aportando conocimiento técnico a la universidad y valor estratégico a la planificación vial de la región.

ANEXO

ANEXO I: ANTECEDENTES VAQUEROS



quepasasalta 44 sem

**¡FILA INTERMINABLE DE VEHÍCULOS
PARA INGRESAR A VAQUEROS** 🚗

Como era de esperarse, el acceso a la localidad de Vaqueros está completamente colapsado debido a la gran cantidad de vehículos que intentan llegar a disfrutar del río y escapar del calor abrasante de 32 grados que se espera para hoy. Una fila interminable de autos ocupa la autopista, mientras los conductores buscan un respiro del sofocante clima.

LA GACETA SALTA

Unos 5.000 autos quedaron varados cerca de los ríos Vaqueros y Wierna

El intendente caldereño, Luis Mendaña, criticó la falta de inversión y planificación para evitar el caos vehicular ya que el 1 de enero, 30.000 personas fueron a pasar el día.

02 Ene 2015



ANEXO II: Estudio de suelo

Datos brindados por la DVS sobre el estudio del suelo en la costanera del Rio Vaqueros en el siguiente vinculo pdf:

[FOTOS\Clasificacion de Suelos Traza Costanera Vaqueros.pdf](#)

📷 Imágenes de las tareas realizadas en el proyecto:



Ilustracion XXXVII. Granulometría del suelo



Ilustracion XXXVIII. Ensayo VN-E2-65 para Limite Liquido cascador de Casagrande.



Ilustracion XXXIX.

Ensayo VN-E3-65 para Limite Plástico, cilindros de 3mm.



Ilustracion XL. Ensayo VN - E5 – 93 Compactación de suelo.



Ilustracion XLI. Ensayo VN - E8 – 66 Control de compactación por el método de la arena.



Ilustracion XLII. Ensayo VN – E6 – 84 Valor soporte relativo e hinchamiento de suelos.



Ilustracion XLIII.Utilización del GPS en obra

ANEXO III: TABLAS LEFS para el método AASHTO'9

3 ANEXO III: LEFs – AASHTO'93 para serviciabilidad final 2.5

TABLA 3.4 FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJES SIMPLES ,pt = 2,5

p1 = 2,5

EJES SIMPLES

Carga/eje (Kips)	SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
4	0,003	0,004	0,004	0,003	0,002	0,002
6	0,011	0,017	0,017	0,013	0,01	0,009
8	0,032	0,047	0,051	0,041	0,034	0,031
10	0,078	0,102	0,118	0,102	0,088	0,08
12	0,168	0,198	0,229	0,213	0,189	0,176
14	0,328	0,358	0,399	0,388	0,36	0,342
16	0,591	0,613	0,646	0,645	0,623	0,606
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55
22	2,48	2,38	2,17	2,09	2,18	2,3
24	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27
26	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48
28	7,49	6,98	5,9	5,21	5,39	5,98
30	10,3	9,5	7,9	6,8	7	7,8
32	13,9	12,8	10,5	8,8	8,9	10
34	18,4	16,9	13,7	11,3	11,2	12,5
36	24	22	17,7	14,4	13,9	15,5
38	30,9	28,3	22,6	18,1	17,2	19
40	39,3	35,9	28,5	22,5	21,1	23
42	49,3	45	35,6	27,8	25,6	27,7
44	61,3	55,9	44	34	31	33,1
46	75,5	68,8	54	41,4	37,2	39,3
48	92,2	83,9	65,7	50,1	44,5	46,5
50	112	102	79	60	53	55

TABLA 3.5 FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJES TANDEM ,pt = 2,5

p1 = 2,5

EJES TANDEM

Carga/eje (Kips)	SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0001	0,0001	0,0001	0	0	0
4	0,0005	0,001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0002
6	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
8	0,004	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003
10	0,008	0,013	0,011	0,009	0,007	0,006
12	0,015	0,024	0,023	0,018	0,014	0,013
14	0,026	0,041	0,042	0,033	0,027	0,024
16	0,044	0,065	0,07	0,057	0,047	0,043
18	0,07	0,97	0,109	0,092	0,077	0,07
20	0,107	0,141	0,162	0,141	0,121	0,11
22	0,16	0,198	0,229	0,207	0,18	0,166
24	0,231	0,273	0,315	0,292	0,26	0,242
26	0,327	0,37	0,42	0,401	0,364	0,342
28	0,451	0,493	0,548	0,534	0,495	0,47
30	0,611	0,648	0,703	0,695	0,658	0,633
32	0,813	0,843	0,889	0,887	0,857	0,834
34	1,06	1,08	1,11	1,110	1,09	1,08
36	1,38	1,380	1,38	1,38	1,38	1,38
38	1,75	1,73	1,69	1,680	1,7	1,73
40	2,21	2,160	2,06	2,03	2,08	2,14
42	2,76	2,67	2,49	2,430	2,51	2,61
44	3,41	3,270	2,99	2,88	3	3,16
46	4,18	3,98	3,58	3,400	3,55	3,79
48	5,08	4,800	4,25	3,98	4,17	4,49
50	6,12	5,76	5,03	4,640	4,86	5,28
52	7,33	6,870	5,93	5,38	5,63	6,17
54	8,72	8,14	6,95	6,220	6,47	7,15
56	10,3	9,600	8,1	7,2	7,4	8,2
58	12,1	11,3	9,4	8,200	8,4	9,4
60	14,2	13,100	10,9	9,4	9,6	10,7
62	16,5	15,3	12,6	10,700	10,8	12,1
64	19,1	17,600	14,5	12,2	12,2	13,7
66	22,1	20,3	16,6	13,800	13,7	15,4
68	25,3	23,300	18,9	15,6	15,4	17,2
70	29	26,6	21,5	17,600	17,2	19,2
72	33	30,300	24,4	19,8	19,2	21,3
74	37,5	34,4	27,6	22,200	21,6	23,6
76	42,5	38,900	31,1	24,8	23,7	26,1
78	48	43,9	35	27,800	26,2	28,8
80	54	49,400	39,2	30,9	29	31,7
82	60,6	55,4	43,9	34,400	32	34,8
84	67,8	61,900	49	38,2	35,3	38,1
86	75,7	69,1	54,5	42,300	38,8	41,7
88	84,3	76,900	60,6	46,8	42,6	45,6
90	93,7	85,4	67,1	51,7	46,8	49,7

TABLA 3.6 FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES, EJES TRIDEM ,pt = 2,5

p1 = 2,5

EJES TRIDEM

Carga/eje	SN					
(Kips)	1	2	3	4	5	6
2	0	0	0	0	0	0
4	0,0002	0,000	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
6	0,0006	0,0007	0,0005	0,000	0,0003	0,0003
8	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
10	0,003	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002
12	0,005	0,007	0,006	0,004	0,003	0,003
14	0,008	0,012	0,01	0,008	0,006	0,006
16	0,012	0,019	0,018	0,013	0,011	0,01
18	0,018	0,029	0,028	0,021	0,017	0,016
20	0,027	0,042	0,042	0,032	0,027	0,024
22	0,038	0,058	0,06	0,048	0,04	0,036
24	0,053	0,078	0,084	0,068	0,057	0,051
26	0,072	0,103	0,114	0,095	0,08	0,072
28	0,098	0,133	0,151	0,128	0,109	0,099
30	0,129	0,169	0,195	0,170	0,145	0,133
32	0,169	0,223	0,247	0,22	0,191	0,175
34	0,219	0,266	0,308	0,281	0,246	0,228
36	0,279	0,329	0,379	0,352	0,313	0,292
38	0,352	0,403	0,461	0,436	0,393	0,368
40	0,439	0,491	0,554	0,533	0,487	0,459
42	0,543	0,594	0,661	0,644	0,597	0,567
44	0,666	0,714	0,781	0,769	0,723	0,692
46	0,811	0,854	0,918	0,911	0,868	0,838
48	0,979	1,015	1,072	1,069	1,033	1,005
50	1,17	1,2	1,24	1,250	1,22	1,2
52	1,4	1,410	1,44	1,44	1,43	1,41
54	1,66	1,66	1,66	1,660	1,66	1,66
56	1,95	1,930	1,9	1,9	1,91	1,93
58	2,29	2,25	2,17	2,160	2,2	2,24
60	2,67	2,600	2,48	2,44	2,51	2,58
62	3,09	3	2,82	2,760	2,85	2,95
64	3,57	3,440	3,19	3,1	3,22	3,36
66	4,11	3,94	3,61	3,470	3,62	3,81
68	4,71	4,490	4,06	3,88	4,05	4,3
70	5,38	5,11	4,57	4,320	4,52	4,84
72	6,12	5,790	5,13	4,8	5,03	5,41
74	6,93	6,54	5,74	5,320	5,57	6,04
76	7,84	7,370	6,41	5,88	6,15	6,71
78	8,83	8,28	7,14	6,490	6,78	7,43
80	9,92	9,280	7,95	7,15	7,45	8,21
82	11,1	10,4	8,8	7,900	8,2	9
84	12,4	11,600	9,8	8,6	8,9	9,9
86	13,8	12,9	10,8	9,500	9,8	10,9
88	15,4	14,300	11,9	10,4	10,6	11,9
90	17,1	15,8	13,2	11,3	11,6	12,9

ANEXO IV: PROCEDIMIENTO AASHTO

Resolución de la ecuación principal

PSRo	4,2
PSRf	2,5
DD	0,5
LD	0,8
g	0,03
n	20
ESALs	828.842
GF	26,87

$$W18 = GF \times ESALs \times DD \times LD = 8.908.392,98$$

$$\text{Log}(W18) = 6,950$$

SN	2,5
CBR	90
R	90
ZR	-1,282
PSI	1,7
Mr	46.511
S0	0,44

$$Z_R \times S_o = -0,564$$

$$9.6 \times \log(SN + 1) = 5,092$$

$$\log\left(\frac{1.7}{2.7}\right) = -0,2009 \quad \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}} = 1,642$$

$$(SN + 1)^{5.19} = 666,4$$

$$0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}} = 2,042$$

$$\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} = -0,098$$

$$2.32 \times \log(46511) = 10,829$$

$$Z_n * S_o + 9.36 * \log((S_n + 1), 10) - 0.2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(S_n + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log(Mr, 10) - 8.07 = \mathbf{6,988}$$

Error rel = 0,55%

Cálculo para el dimensionado de capas

Elemento	a (1/cm)	m	SN	D (cm)	SN*	D* (cm)	CBR (%)	Mr (psi)
Espesor Carpeta	0,165		2,5	15	0,99	6	100	50161
Espesor de Base	0,055	1	2,5	45,45	0,66	12	90	50161
Espesor de Sub-Base	0,053	1	2,5	47,17	0,95	18	90	46511

$$SN'_1 + SN'_2 + SN'_3 \geq SN$$

$$SN'_1 + SN'_2 + SN'_3 = 2.6$$

$$2.6 \geq 2.5$$

Verifica.

ANEXO V: Socavación general por el método de Lischtván-Levediev

Paso 1 — Parámetros hidráulicos del cauce

A partir del caudal de diseño:

- $Q_d = 287 \text{ m}^3/\text{s}$
- Área hidráulica: $A = 50,11 \text{ m}^2$
- Ancho efectivo del flujo: $B_e = 61,61 \text{ m}$
- Tirante medio:

$$y_m = h = \frac{A}{B_e} = 0,81 \text{ m}$$

- Radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P}$$

- Pendiente hidráulica:

$$S = 0,02$$

Siguiendo la formulación del método, se define un coeficiente α tal que:

$$Q_d = \alpha B_e h^{5/3}$$

despejando α :

$$\alpha = \frac{Q_d}{B_e h^{5/3}}$$

Reemplazando:

$$\alpha = \frac{287}{61,61 \cdot (0,81)^{5/3}} = 6,7$$

Paso 2 — Velocidad real del flujo

$$V_r = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} = 5,73 \text{ m/s}$$

Coeficiente **n** de Manning - parámetro de rugosidad hidráulica $n = 0.025$

Paso 3 — Propiedades del sedimento

- Diámetro medio del material:

$$D_m = 19,33\text{mm}$$

- Exponente granulométrico:

$$z = 0.394557 - 0.04136 \log D_m - 0.00891 (\log D_m)^2 = 0,33$$

- Coeficiente de frecuencia:

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \log T_r = 0,97$$

Paso 4 — Velocidad erosiva crítica

$$V_e = 0.68 \beta D_m^{0.28} H_s^z$$

$$V_e = k H_s^{0.33}$$

Paso 5 — Aplicación del equilibrio $V_r = V_e$

Despeje directo:

$$H_s = \left[\frac{c h^{5/3}}{0.68 \beta \mu \varphi D_m^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1-z}} = 4,31\text{m}$$

donde $c = \alpha B_e$.

Paso 6 — Profundidad de socavación

$$\text{Socavación} = H_s - h$$

$$\text{Socavación} = 4,31\text{ m} - 0,81\text{ m} = 3,50\text{ m}$$