

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales



INFORME DE PRÁCTICA SUPERVISADA

DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINO DE ACCESO TEMPORAL A VILLA Y OBRADOR DE PRESA PRESIDENTE NESTOR KIRCHNER



Alumno: Martín Eduardo Luna

Carrera: Ingeniería Civil

Tutor FCEFyN: Oscar Dapas

Tutor externo: Gustavo Vater

Empresa: Represas Patagonia

CÓRDOBA, JULIO 2016

TABLA DE CONTENIDO

A) INTRODUCCION.....	4
B) OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA	5
C) ACTIVIDADES DESARROLLADAS.....	5
D) ASPECTOS GENERALES Y PARTICULARES DEL ACCESO	5
E) ESTUDIOS BÁSICOS.....	6
F) ESTUDIOS EN GABINETE.....	7
1. Proyecto tramo nuevo de acceso temporario a Villa N.K. y Obrador	7
2. Readecuación del camino actual.....	7
G) DISEÑO GEOMETRICO	8
1. Proyecto de Trazado y Diseño Geométrico.....	8
2. Parámetros Geométricos adoptados.....	9
3. Trazado planimetrico y altimétrico	10
4. Sección Transversal del Camino	16
H) CALCULO DE MOVIMIENTO DE SUELOS	19
I) HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA DE LA TRAZA	24
1. Análisis Hidrológicos	24
2. Análisis Hidráulico	34
J) CONCLUSIONES.....	43
K) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

FIGURAS

Figura 1. Camino rural existente Estancia La Porfiada. Provincia de Santa Cruz – Departamento Lago Argentino	6
Figura 2. Imagen de la zona de proyecto.....	6
Figura 3. Camino rural existente y Nueva Trazo de camino de acceso a Presa Nestor Kirchner.....	7
Figura 4. Planialtimetría de parte de la traza realizada con el software Civil3D (Ver anexo planos)	10
Figura 5. Línea de visibilidad en curvas horizontales y distancia de despeje	11
Figura 6. Envolvente de visuales en una curva horizontal	11
Figura 7. Visibilidad en curvas verticales convexas	11
Figura 8. Visibilidad en curvas verticales concavas	12
Figura 9. Curva Horizontal del Proyecto con los datos de la curva circular	12
Figura 10. Transición del peralte. Fuente: Norma DNV.....	14
Figura 11. Altimetría realizada en Civil3D de la traza del acceso temporario Nestor Kirchner.....	15
Figura 13. Perfil Tipo Adoptado	18
Figura 14. Perfil Estructural Adoptado.....	19
Figura 15. Perfil transversal modelado en Civil 3D (Rojo=Desmonte Verde=Terraplen)	19
Figura 16. Líneas de escurrimiento transversales a la nueva traza	24
Figura 17. Isohietas Medias Anuales de la Provincia de Santa Cruz.....	25
Figura 18. Isohietas de Lluvias medias de 1 h de duración (Devoto, 2002)	25
Figura 19. Isohietas de Coeficientes de Variación para Lluvias de 1 h de duración (Devoto, 2002).	26
Figura 20. Isohietas de Lluvias Medias de 12 h de duración (Devoto 2002).	26
Figura 21. Isohietas de Coeficientes de Variación para Lluvias de 12 h de duración (Devoto, 2002).	27
Figura 22. Isohietas de Intensidades horarias para una recurrencia de 25 años (extractadas de Ruhle, 1966).....	27
Figura 23. Esquema de definición para la confección de cada curva I-D a partir de dos puntos.	29
Figura 24. Función de frecuencia para lluvias de 1 hora de duración.....	31
Figura 25. Función de frecuencia para lluvias de 12 horas de duración.....	31
Figura 26. Función de frecuencia para lluvias de 24 horas de duración.....	32
Figura 27. Funciones IDF estimadas para la zona de estudio (Santa Cruz).....	33
Figura 28. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial.Cuencas 1 a 10.....	35
Figura 29. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial.Cuencas 11a a 11c.....	35
Figura 30. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial.Cuencas 12 a 18.....	36
Figura 31. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial.Cuencas 19 a 20.....	36
Figura 32. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial.Vista General	37
Figura 33. Utilización del programa HY8.....	42

TABLAS

Tabla 1. Definición de relieve según la Norma 3.1-IC «Trazado» (España, 1999).....	8
Tabla 2. Parametros de diseño DNV y parametros adoptados.	8
Tabla 3. Velocidad de diseño en caminos rurales. Norma DNV	9
Tabla 4. Sobreanchos.....	14
Tabla 5. Pendientes recomendadas para banquetas (AASHTO)	17
Tabla 6. Planilla de movimiento de suelos	20
Tabla 7. Cálculo de las intensidades para varias duraciones y periodos de retorno	30
Tabla 8. Parámetros de las curvas I-D-F para la zona de estudio	32
Tabla 9. Parámetros Físicos de las cuencas de aporte:.....	37
Tabla 10. Tiempos de Concentracion para cada cuenca	38
Tabla 11. Coeficientes de Escorrentia (Aparicio M. 1999).....	39
Tabla 12. Intensidad de precipitación para cada cuenca en mm/h	40
Tabla 13. Caudales para cada cuenca en m ³ /s	41
Tabla 14. Planilla de Alcantarillas Transversales.....	42

A) INTRODUCCION

Este informe engloba las actividades realizadas durante la Práctica Profesional Supervisada, cierre de la carrera de Ingeniería Civil desarrollada de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.

La misma fue realizada en la empresa REPRESAS PATAGONIA ELING-CGGC-HCSA UTE, ubicada en la calle Bv Las Heras 402 en la capital de Córdoba. Las tareas se desarrollaron dentro del área de Ingeniería de la empresa bajo la supervisión del ingeniero Gabriel Pressacco Gerente de Obras Temporales dentro de esta empresa y por el Ing. Gustavo Vater Gerente de Ingeniería, quienes orientaron y coordinaron las tareas ejecutadas.

El Ing. Oscar Dapas, docente de la facultad, fue el responsable de la dirección, asesoramiento y seguimiento del informe realizado.

La práctica consistió en el desarrollo de 200 horas de trabajo en el proyecto de un camino de acceso temporal a la villas temporaria y obrador de la represa Nestor Kirchnera construirse en la Provincia de Santa Cruz . Específicamente en las tareas de diseño geométrico del camino, diseño y ubicación preliminar de las obras de drenaje necesarias.

La empresa Represas Patagonia es una UTE formada por las empresas **Electroingeniería, China Gezhoubao Group Corporation e Hidrocuyo** que poseen una vasta y reconocida experiencia en el diseño y construcción de grandes obras de infraestructura energética. Tienen a su cargo las obras para el aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santa Cruz el cual se trata de una obra clave para el desarrollo energético de Argentina. Consiste en la construcción de dos represas ubicadas sobre el río Santa Cruz con la finalidad de generar energía renovable para todo el país. Esta obra permitirá el desarrollo de emprendimientos agrícolas, ganaderos e industriales. La disponibilidad de energía en la región permitirá la creación de industrias metalúrgicas, gasíferas, pesqueras, metalúrgicas, entre otras.

Se aprovechará también el espejo de agua generado en ambas represas para la realización de actividades recreativas y emprendimientos turísticos.

Las represas tendrán una potencia instalada de 1740 megawatts lo que representa el 8 % del máximo consumo nacional en punta. Permitirá una generación media anual de 5300 gigawatts.

La represa Nestor Kirchner se encuentra ubicada a 130 kilómetros de la localidad de El Calafate. Tendrá una potencia de 1140 MW y una altura de 70 metros. Estará compuesta por 6 turbinas Francis con una generación anual de 3380 GW/h. La longitud de la presa será de 1900 metros y la superficie del embalse tendrá 250 kilómetros cuadrados.

La represa Gobernador Jorge Cepernic está localizada a 170 kilómetros de la ciudad de Comandante Luis Piedra Buena. Contará con una capacidad instalada de 600 MW y 45 metros de altura. La extensión de la presa será de 2700 metros. La casa de máquinas está compuesta por 5 turbinas Kaplan y producirá 1866 GW/h al año. La superficie del embalse será de 200 kilómetros cuadrados.

Como en toda obra de tal magnitud se necesitarán una gran cantidad de profesionales de distintas especialidades y un gran número de obreros que deberán trabajar lejos de sus hogares por lo cual se deben construir previamente a las represas lo que serán las villas temporarias que deben, por un lado, resolver dignamente las condiciones de habitación y permanencia de las aproximadamente 7.100 personas distribuidos en los dos asentamientos en un ámbito alejado, inhóspito y sacrificado, y por el otro, realizar un diseño urbano que resuelva los complejos problemas que la vida social y cotidiana traen aparejado.

Para esto, el asentamiento de personal de obra en las Villas, se ubicarán de manera separada de los sectores donde se emplazarán los Obradores Principales y Oficinas de cada una de las represas contemplando un rápido acceso de personas a estos pie de obra.

Se prevé un total de habitantes en el pico máximo de ocupación de aproximadamente 4.000 personas involucradas para la construcción de la Represa Pte. Néstor Kirchner y de 3.100 personas para la Represa Gdor. Jorge Cepernic.

Estas cantidades se obtienen contemplando tanto personal Directo, Indirecto y de Servicios Generales e incluyen el recambio de personal por licencias según el régimen acordado en Convenio Laboral.

Estas villas junto con los caminos de acceso serán de carácter temporal y se estima que tendrán un uso permanente de 66 meses, plazo previsto para el desarrollo de la Obra Principal.

Se debe considerar que luego de la finalización de la Obra Principal, estas Villas deberán ser desmanteladas y trasladadas para su acopio, tanto para las superficies cubiertas de los edificios como de toda su infraestructura de servicios, devolviendo el sitio original de implantación a su antiguo ambiente natural con el menor daño

posible. A su vez también quedarán fuera de servicio los caminos de acceso temporal que durante esta práctica supervisada hemos diseñado junto a mi grupo de trabajo

B) OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA

Los objetivos que se persiguen con el desarrollo de esta Práctica Profesional Supervisada son:

- Obtener experiencia práctica complementaria a la formación académica, aplicando y profundizando distintos temas estudiados a lo largo de la carrera.
- Tomar contacto con diversas herramientas para generar soluciones y desarrollar el criterio para la resolución de problemas particulares.
- Interactuar constantemente con grupos de trabajo, tanto dentro como fuera de la empresa.
- Seleccionar y aplicar con criterio material bibliográfico relacionado con el proyecto.
- Comprender el proyecto de manera general a partir del análisis e interpretación de planos, pliegos de especificaciones técnicas, etc.
- Elaborar documentos técnicos e informes que permitan transmitir las conclusiones obtenidas de manera clara y completa.

C) ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Las tareas principales desarrolladas durante la práctica supervisada fueron las siguientes:

- Análisis del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales y Particulares del Proyecto en lo que refiere a los proyectos de caminos de acceso temporales.
- Análisis de los caminos existentes para estudiar su posible utilización.
- Análisis de imágenes satelitales y modelos digitales de elevaciones globales (SRTM, MDE-Ar) para trazado de alternativas preliminares y delimitación de cuencas.
- Análisis de relevamientos topográficos existentes realizados por agrimensores de la empresa y de fotografías de campaña.
- Elección de la mejor alternativa en base a criterios tales como:
 - * movimiento de suelos
 - * longitudes
 - * pendientes adecuadas a los vehículos de obra y al clima de la zona
 - * evitar áreas de difícil expropiación o en conflicto con los dueños de estancia por ser zonas de tránsito o pastoreo de los animales
 - * Mantenerse dentro de los límites de la estancia con cuyo dueño se acordó el derecho de paso.

D) ASPECTOS GENERALES Y PARTICULARES DEL ACCESO

De acuerdo al mapa político de la provincia de Santa Cruz, el acceso temporal Sur a la Obra de la Represa Presidente Dr. Néstor C. Kirchner, se ubica en el departamento Lago Argentino sobre un sector de la margen derecha del río Santa Cruz. Se proyecta un descenso con apertura de vía desde la Ruta Provincial N° 9 (Km 122 desde RNN°3), adoptando a partir de la Pr: 5+500 la traza de un camino rural existente perteneciente a la Estancia La Porfiada. Este último requiere mejoras para hacerlo más seguro y transitable para el personal de obra aún bajo circunstancias climáticas adversas, como ser la nieve, precipitaciones, etc.

El camino existente tiene un ancho variable de 4.50/5.00 m y permite acceder a la Estancia mencionada y a la margen derecha del río Santa Cruz desde la RPN°9. El primer tramo, descenso desde RPN°9, presenta pendientes mayores al 15 % lo que sumado a que el dueño no permite el paso por el casco de la propiedad, se reemplaza por un tramo nuevo con condiciones geométricas acorde al uso de obra y que luego de concluida la construcción de la Represa constituirá un acceso a La Porfiada en función del acuerdo realizado con el propietario por el uso de las tierras.

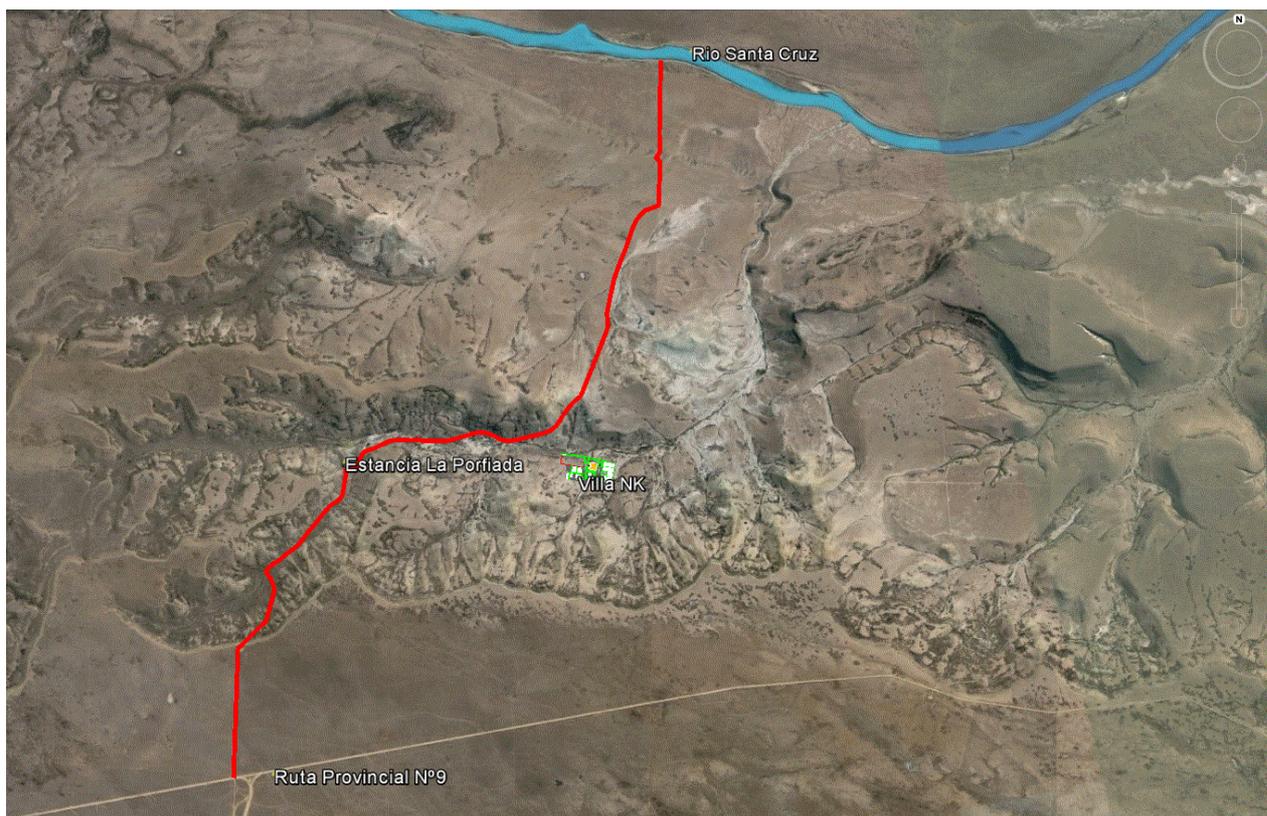


Figura 1. Camino rural existente Estancia La Porfiada. Provincia de Santa Cruz – Departamento Lago Argentino.

E) ESTUDIOS BÁSICOS

Se recorrió en campo la traza existente y se detectaron aquellos tramos de pendientes muy pronunciadas y prácticamente intransitables durante épocas de nevadas.

Se ejecutaron las campañas topográficas correspondientes y se relevaron todos los accidentes existentes.

Se detectaron líneas de escurrimiento no permanentes, es decir pequeños cauces o surcos secos en el terreno, que canalizan las aguas de escurrimiento de las cuencas de aporte hacia el río Santa Cruz.

Con los puntos relevados se realizó el modelo digital del terreno (MDT) que sirve como base tanto para el diseño de la traza nueva como la readecuación de la existente



Figura 2. Imagen de la zona de proyecto

F) ESTUDIOS EN GABINETE

1. Proyecto tramo nuevo de acceso temporario a Villa N.K. y Obrador

El acceso temporario a la obra de la represa Presidente Dr. Néstor C. Kirchner, prevé el tránsito de vehículos livianos y pesados, transporte de personal y de suministros para el Obrador y Villa temporal. Por lo tanto será utilizado por camionetas, camiones con semirremolque, contenedores, carretones con equipos pesados y colectivos para traslado de personal. Como se dijo anteriormente el camino existente no se puede utilizar en todo su trayecto por diversas razones entre las cuales están las pendientes abruptas (en el orden del 15%), presenta deterioro producto de erosiones causadas por las condiciones climáticas a las que está expuesto, un ancho de calzada inferior al necesario y ausencia de banquetas.

De los estudios de base, se estableció la nueva traza para la bajada desde la RPN°9 hasta el empalme con el camino existente (Pr: 5+500 aproximadamente), con el objeto de que las pendientes no superen el 6%.

La nueva calzada tendrá un ancho de 6,00 m y se adoptará una zona de camino igual a 20 metros. En la imagen a continuación, en color azul se indica el nuevo trazado y en rojo el camino actual.

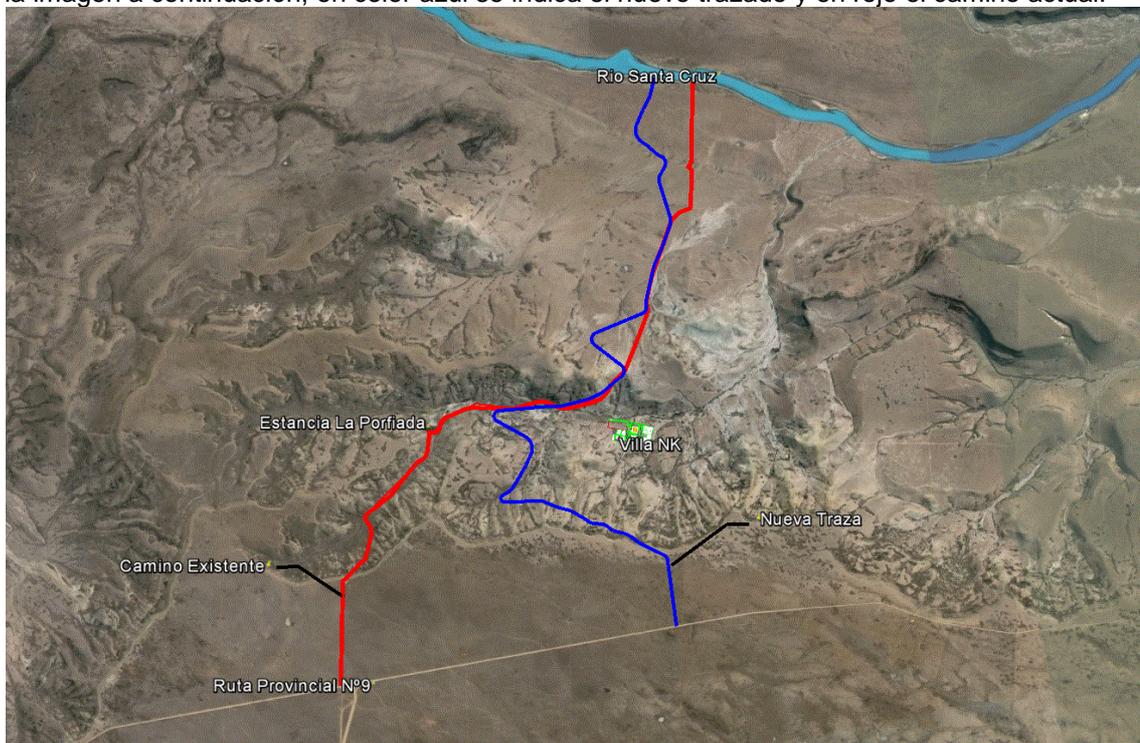


Figura 3. Camino rural existente y Nueva Traza de camino de acceso a Presa Nestor Kirchner

Este nuevo eje se empalmará sin inconvenientes con la traza de acceso existente, sin modificar las condiciones naturales de drenaje de las cuencas, ya que se prevé dar curso a las aguas de escurrimiento transversal a través de alcantarillas y en forma longitudinal por cunetas rurales.

2. Readequación del camino actual

A partir de la Pr: 5+500 el acceso retoma la traza del camino existente, la cual es readeuada con el objeto de adaptarla a condiciones de diseño geométricos acordes al uso durante la etapa de construcción de la Represa. Se mejoran sus pendientes, lo que apareja desviaciones de su alineamiento horizontal y vertical, radios de curvas horizontales, anchos de calzada, sobre-anchos, etc.,

ya que el tramo actual no cumple con los requisitos mínimos y básicos de diseño para el tránsito de vehículos de obra.

Aquellos puntos en que se crucen alambrados, se colocarán guardaganados aptos para el tránsito de equipos pesados.

G) DISEÑO GEOMETRICO

La mayoría de las Normas (incluida la Argentina) solo hacen mención a las características de los caminos de montaña desde el punto de vista topográfico.

La siguiente definición de camino de montaña es una adaptación de lo que la Norma AASTHO define como terreno montañoso para diseño: "Un camino de montaña es aquel que discurre sobre un terreno cuyos cambios longitudinales y transversales son abruptos, requiriendo el mismo de fuertes rellenos y/o excavaciones para mantener un alineamiento horizontal y vertical aceptable".

Tabla 1. Definición de relieve según la Norma 3.1-IC «Trazado» (España, 1999).

Tipo de relieve	Inclinación i (%)
Llano	$i < 5$
Ondulado	$5 < i < 15$
Accidentado	$15 < i < 25$
Muy accidentado	$i > 25$

Debido a las pendientes del terreno natural, al volumen de tránsito previsto y a la necesidad de reducir el volumen de movimiento de suelos se adopta para el diseño del camino los parámetros de la DNV correspondientes a un camino de categoría V que para una topografía montañosa prevé una velocidad de diseño de 30 Km/h con radios de curvas que se puedan adaptar a las formas abruptas del terreno.

En la siguiente tabla se pueden observar los parámetros de diseño de la DNV para caminos de categoría V y topografía montañosa y los parámetros adoptados para el acceso en cuestión:

Tabla 2. Parametros de diseño DNV y parametros adoptados.

Parametros	Valor	Unidad	
Velocidad Directriz	30	Km/h	
Peralte maximo	6	%	
Radios minimos	Deseable	40	m
	Absoluto	25	m
Radio minimo adoptado	70	m	
Pendiente Maxima	10	%	
Pendiente Maxima Adoptada	6,3	%	

En los proyectos viales referidos a Caminos de Montaña se deben ir cumpliendo algunos pasos para poder optimizar los tiempos y llegar al mejor proyecto posible. Estos pasos, debieran darse en forma ordenada y gradual de manera tal que cualquier error no comprometa todo el trabajo hasta el momento realizado, o detectar en forma oportuna la falta de factibilidad de un proyecto. No obstante toda inversión en tiempo en las primeras etapas del proyecto permite obtener mayores certezas a la hora de tomar decisiones tanto tácticas como estratégicas.

1. Proyecto de Trazado y Diseño Geométrico

Las etapas constitutivas del proyecto se desarrollan con el objetivo final de lograr un proyecto seguro, confortable y económico.

1. Recopilación y análisis de antecedentes
2. Trazados tentativos: oficina, puntos de control

3. Reconocimiento de campaña: fajas, corredores
4. Trazados preliminares: línea de banderas
5. Evaluación de alternativas: selección, métodos
6. Estudio definitivo → Proyecto
7. Proyecto: Documentación – Planos – Pliegos

El diseño del tramo del camino propuesto se inició con el reconocimiento o establecimiento de las alternativas favorables que conecten los extremos del proyecto, unan puntos de paso obligado intermedios y estén dentro de los límites parcelarios convenidos. Con la ayuda de imágenes de satélite, topografía SRTM, fotografías aéreas, cartografía existente, bien sea procedente de restituciones aerofotogramétricas o de topografía terrestre, se trazaron los mejores tramos posibles a lo largo de área afectada, teniendo en cuenta los factores externos más destacados, como las características geológicas, geotécnicas del terreno y ambientales del entorno y la climatología. Fue imprescindible el recorrido visual in situ de las diferentes soluciones alternativas para su mejor evaluación.

Seleccionado la alternativa de tramo más favorable se inició propiamente la fase de diseño geométrico preliminar para darle la forma física del camino más apropiado o adaptado a todos los requisitos intentando satisfacer al máximo los distintos objetivos del diseño.

2. Parámetros Geométricos adoptados

Velocidad Directriz

El objetivo del diseño de la obra de ingeniería debe ser tener una velocidad que satisfaga la demanda con seguridad. Por ello, aparece el concepto de **Velocidad de diseño** o **Velocidad directriz**.

Llamamos velocidad de diseño a "la máxima velocidad a la que puede circular con seguridad en una sección de camino, un conductor de habilidad media, manejando un vehículo en condiciones mecánicas aceptables, en una corriente de tránsito con volúmenes tan bajos que no influyen en la elección de su velocidad, cuando el estado del tiempo, de la calzada y de la visibilidad ambiente son favorables".

Además, se utilizan otros conceptos de velocidad, asociados al diseño de carretera:

Velocidad de operación es la más alta velocidad general a la cual un conductor puede viajar sobre una carretera dada, bajo condiciones de tiempo favorables y bajo condiciones de tránsito prevalecientes, sin superar la velocidad directriz en cada sección del camino.

Velocidad específica (de un cierto elemento del trazado) es la máxima a la que puede ser recorrido sin rebasar límites funcionales. Estos son, la desaceleración media de frenado, aceleración centrífuga, perceptibilidad de la curva, etc. Cuando mayor sea la velocidad específica de un elemento del trazado, más amplias serán sus dimensiones geométricas.

Velocidad media de marcha corresponde a la velocidad de un vehículo sobre una sección de carretera, y nos da una idea de la velocidad promedio a la que circula el usuario. En general, la podemos suponer como el 75% de la Velocidad Directriz.

Categoría	Características básicas			Topografía	Velocidad directriz (km/h)
	TMDA	Control de accesos	Número de trochas		
Especial	> 15.000	Total	>(2+2)	Llanura	150
				Ondulada	110
I	5.000 A 15.000	Total o parcial	2+2	Llanura	130
				Ondulada	110
				Montañosa	80
II	1.500 A 5.000	Parcial	2	Llanura	120
				Ondulada	100
				Montañosa	70
III	500 A 1.500	Parcial o sin control	2	Llanura	110
				Ondulada	80
				Montañosa	60
IV	150 A 500	Sin control	2	Llanura	100
				Ondulada	70
				Montañosa	40
V	< 150	Sin control	2	Llanura	90
				Ondulada	50
				Montañosa	30

Para la selección de la **velocidad directriz** adecuada para nuestro diseño, la DNV propone un cuadro, que tiene en cuenta no solo el TMDA, sino también la topografía del camino.

Tabla 3. Velocidad de diseño en caminos rurales. Norma DNV

De esta tabla para nuestro camino corresponde 30Km/h

3. Trazado planimetrico y altimétrico

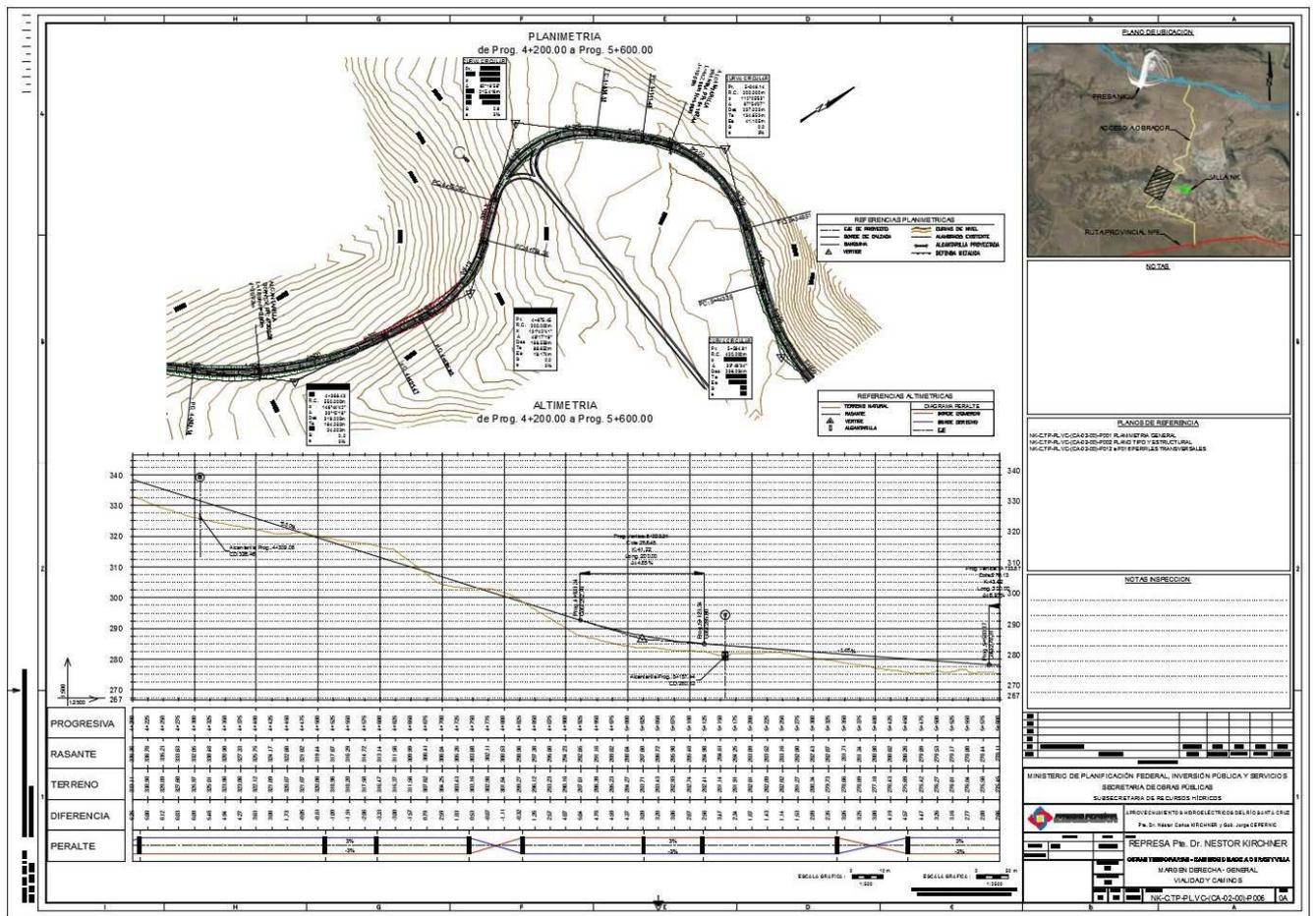


Figura 4. Planialtimetrica de parte de la traza realizada con el software Civil3D (Ver anexo planos)

De una forma general, se puede decir que:

En un terreno accidentado el trazado ha de ser sumiso, ceñido al terreno. Es aconsejable cruzar las curvas de nivel con ángulos pequeños, y aprovechar las divisorias para integrar el trazado en el paisaje.

En esta primera fase se contempló:

1. Reducir la pendiente longitudinal en curvas cerradas (resistencia adicional, por fricción y peralte)
2. Ser más generoso con el radio de las curvas exteriores que con el radio de las interiores.
3. Evitar bajar (perder altura) cuando se está subiendo.
4. En lo posible, ubicar el trazado en las partes altas, cerca de divisorias de aguas (obras de artes menores, menores riesgos de avalanchas, aludes, inundaciones).
5. Evitar laderas en sombras y al reparo del viento.
6. Evitar cortes cajón profundo por el tema de las nevadas.
7. Cuando la zona de topografía cerrada o abrupta se presenta súbitamente, intentar cambios graduales de las curvaturas horizontales
8. En tramos largos de fuerte pendiente, ubicar las cuestas más severas en los planos inferiores.

Criterio de seguridad

Ademas de lo enumerado anteriormente se debe procurar que se respete la distancia de visibilidad de frenado en las curvashorizontales y verticales. Esta distancia es la mínima necesaria para que el vehículo pueda

detenerse antes de colisionar con un obstáculo en su trocha sin tener desaceleraciones inadmisibles. Debe estar garantizada en la totalidad del trazado. Resulta de la suma de la distancia de reacción al frenado y la distancia de frenado propiamente dicha. Para una velocidad directriz de 30 Km/h la distancia de visibilidad de frenado es 29.6 m

En curvas horizontales esta visibilidad puede ser estorbada por obstaculos ubicados en la parte interior de la curva. Si la curva es suficientemente larga, la distancia F debe ser:

$$F = R - (R + b) * \text{Cos}\left(\frac{D}{R + b}\right) = \frac{D^2}{8 * (R + b)} - b$$

b es la distancia desde el punto de vista al borde interior de la curva. Se adopta b=1.5m

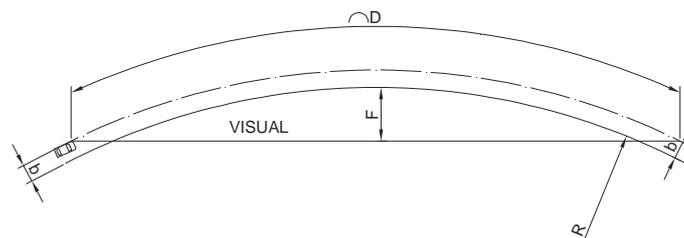


Figura 5. Línea de visibilidad en curvas horizontales y distancia de despeje

En general en el interior de la curva hay que despejar de obstáculos una zona determinada por la envolvente de las visuales entre puntos cuya distancia es igual a la distancia de visibilidad deseada.

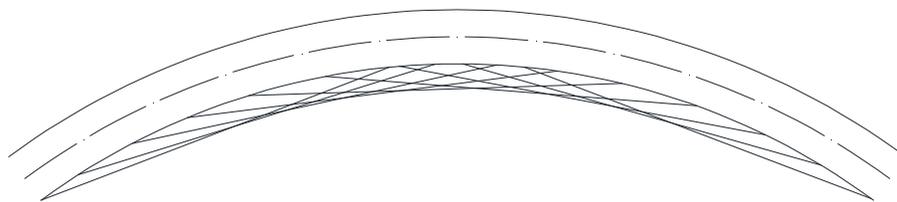


Figura 6. Envolvente de visuales en una curva horizontal

En curvas verticales se debe tener en cuenta si son curvas convexas o cóncavas:

En curvas convexas la distancia de visibilidad debe ser mayor que la distancia de frenado, se debe ver un obstáculo de una altura definida sobre la calzada a una distancia mayor que la de frenado. Se mide desde la altura de ojo del conductor por sobre la calzada ($h_1=1.07\text{m}$ según AASHTO) hasta un obstáculo de una determinada altura ($h_2=0.15\text{m}$ según AASHTO). Para verificar esta condición para 30 Km/h alcanza con que el parámetro K de la curva convexa sea mayor a 3 lo cual se verifica en toda la traza.

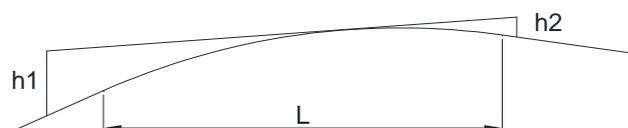


Figura 7. Visibilidad en curvas verticales convexas

En curvas cóncavas el criterio mínimo de seguridad depende de la condición de visibilidad nocturna mayor a la distancia de frenado. Se debe procurar una distancia de visión iluminada por los faros del vehículo, no inferior a la distancia de frenado. Se adopta altura de faros 0.60m y divergencia del haz luminoso de 1° por encima del

eje longitudinal del vehiculo. Para verificar esta condición para 30 Km/h alcanza con que el parámetro K de la curva concava debe ser mayor a 4 lo cual se verifica en toda la traza.

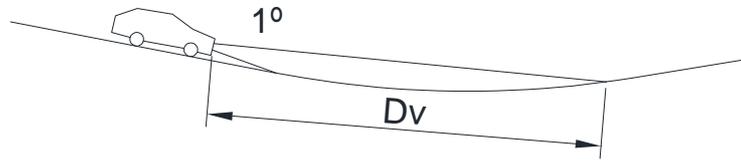


Figura 8. Visibilidad en curvas verticales concavas

El software Civil3D posee una herramienta para verificar la distancia de visibilidad tanto para curvas horizontales como verticales cargando los parámetros correctos produce una planilla donde se puede ver progresiva a progresiva los lugares donde no verifica la distancia de visibilidad por lo cual se utiliza como verificación adicional.

Trazado planimetrico

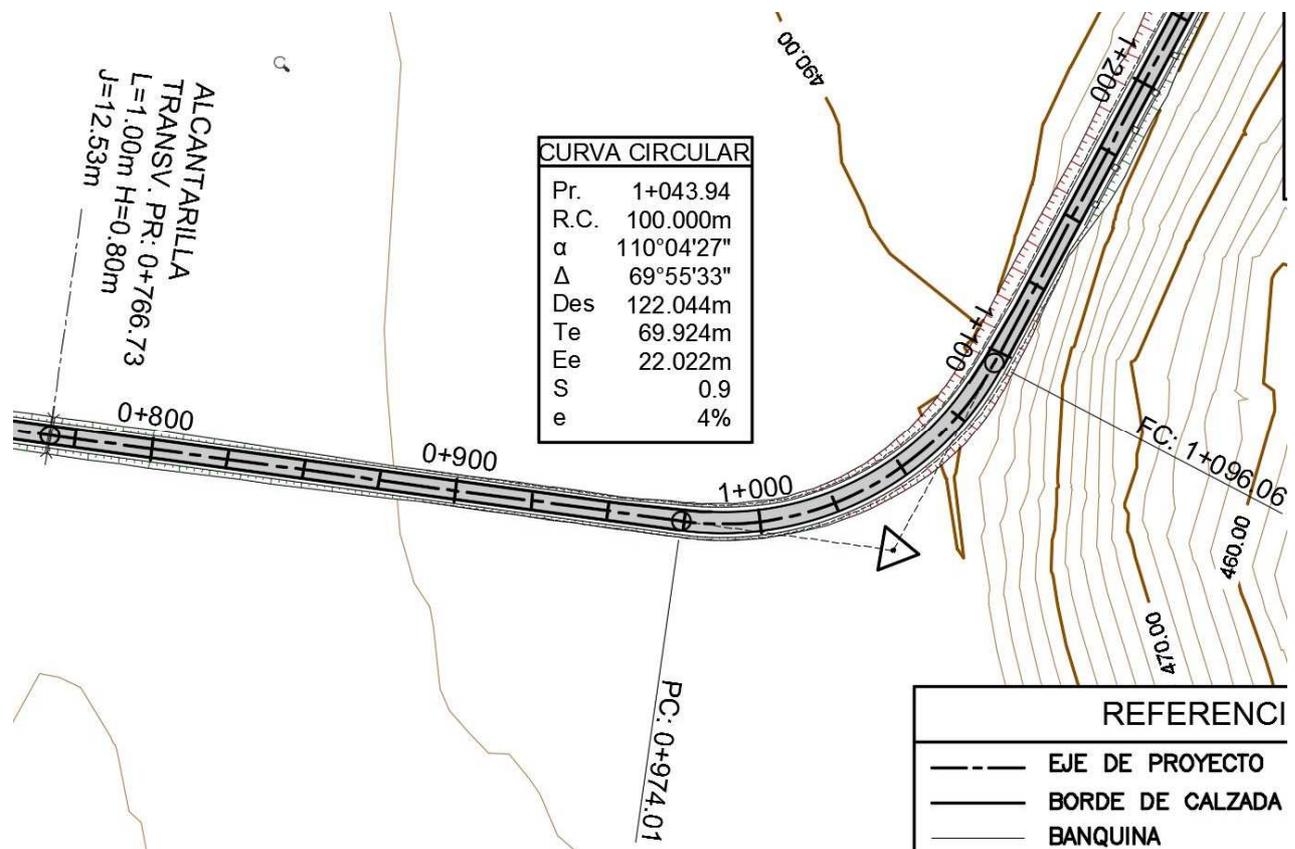


Figura 9. Curva Horizontal del Proyecto con los datos de la curva circular

Curvas Horizontales

Cuando los segmentos son entrelazados por arcos de círculo, las llamamos curvas circulares.

Las mismas pueden ser *curvas simples*, cuando el arco es uno sólo y de radio constante. Si se utilizan dos o más curvas circulares contiguas, de diferente radio, que cruzan hacia el mismo lado, las llamamos *curvas compuestas*. Cuando cruzan en sentido opuesto y tienen un punto de tangencia común, se denominan *curvas revertidas*.

En curvas horizontales se suele realizar una transición para transitar de manera gradual el cambio de curvatura del trazado que representa la presencia de una curva circular (con curvatura constante). Esta discontinuidad, además de ser incómoda para el usuario, puede causar accidentes debido a que, naturalmente, el conductor tiende a realizar la transición individualmente, ya sea invadiendo el carril contrario o disminuyendo su velocidad.

En nuestro camino sin embargo adoptamos curvas horizontales circulares sin tangente espiral justificado esto por el carácter temporal del camino, por las bajas velocidades y volúmenes de tránsito y por el hecho de que es un camino de ripio que va a estar constantemente sometido a tránsito pesado y por ello necesitara de mantenimientos periódicos que pueden llegar a cambiar o hacer desaparecer las transiciones.

El radio mínimo de curva según DNV para este tipo de caminos es de 25 m. El menor radio adoptado es de 70m.

Peralte:

En el diseño vial rural, el diseño de las curvas circulares está determinado por la fuerza centrífuga, que tiende a desviar radialmente al vehículo que transita por el acuerdo. Esta fuerza puede ser calculada, para un vehículo que viaja a una velocidad constante, según la expresión:

$$F = \frac{W \cdot v^2}{g \cdot R}$$

con: W = Peso del vehículo.

v = Velocidad del vehículo.

g = Aceleración gravitatoria

R = Radio de la curva.

La expresión evidencia la relación directa entre velocidad y fuerza centrífuga, y la relación inversa con el radio. Hasta cierto punto, esta fuerza puede ser equilibrada con la fricción transversal que se genera en la interface carretera-neumático, pero si la fuerza sigue aumentando, nos enfrentamos a una situación de inestabilidad dinámica.

Para contrarrestar este efecto indeseable, que nos llevaría al diseño con radios excesivamente grandes, se introduce el **peralte**. Así, la norma fija los radios mínimos de diseño y los radios deseables de diseño en función no solo de la velocidad de diseño, sino también del peralte máximo asignado.

Desarrollo del peralte:

El peralte comienza a desarrollarse en la recta extendida (Rex), que es la longitud necesaria para realizar el cambio desde una sección con bombeo normal a una con bombeo adverso removido. usualmente su utiliza una pendiente de 1:400.

El desarrollo de peralte (Ddp) denota la longitud de carretera necesaria para realizar el cambio desde una sección transversal con bombeo adverso removido a la sección totalmente peraltada (Ver figura 2.3).

Un criterio muy utilizado en la práctica indica que para garantizar el confort y apariencia la pendiente longitudinal para el desarrollo del peralte debe ser de 1:200. La norma provee además las longitudes mínimas del Ddp en función de la velocidad directriz, para evitar cambios bruscos en los perfiles del borde del pavimento.

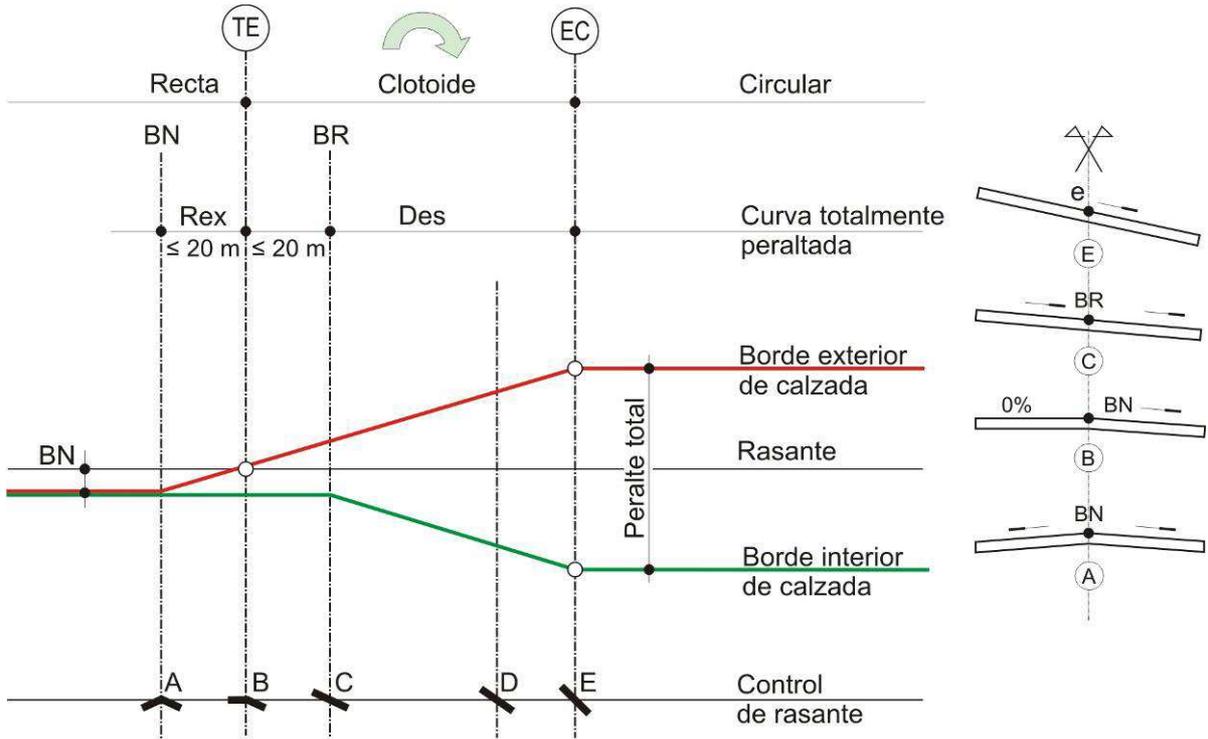


Figura 10. Transición del peralte. Fuente: Norma DNV.

Para nuestro camino hemos adoptado un peralte máximo de 6% por las bajas velocidades que se desarrollarán en el camino y por la posibilidad de resbalamiento en las condiciones de nieve y hielo que se dan con frecuencia en esta zona.

Sobreanchos:

En una curva horizontal el vehículo tipo que gira ocupa un mayor ancho que en una recta y los conductores tienen mayor dificultad para mantener el mismo dentro del carril por lo que se deben incorporar sobreanchos para que las curvas presenten las mismas condiciones de seguridad que las rectas. El sobreancho necesario depende fundamentalmente del radio de curva ya que este define el ancho de la sobrehuella del vehículo que pasa y el ancho de la saliente frontal del vehículo que ocupa el carril interior. Para los valores de diseño se sugiere adoptar un mínimo de 0.60m.

En nuestro caso adoptamos los sobreanchos acordes a la velocidad directriz de 30 Km/h según tabla 3 de la DNV para peralte máximo de 6%. Estos sobreanchos se aplican enteramente en el carril interno de la curva como corresponde a curvas circulares sin transición.

Tabla 4. Sobreanchos

TABLA Nº 3
ELEMENTOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CURVAS HORIZONTALES PARA CAMINOS RURALES DE 2 TROCHAS, EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DIRECTRIZ, PARA PERALTES MÁXIMOS DEL 6 %-V. Velocidad directriz, en Km/h.- R Radio, en m.- P, Peralte, en %- Le, Longitud mínima de transición, en m.- S, Sobreancho, en m.

R (m)	V = 30 Km/h			V = 40 Km/h			V = 50 Km/h			V = 60 Km/h			V = 70 Km/h			V = 80 Km/h			V = 90 Km/h			V = 100 Km/h			V = 110 Km/h			V = 120 Km/h			V = 130 Km/h			V = 140 Km/h			R (m)
	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	P	Le	S	
30	6	30	2.40																																30		
40	6	30	1.90																																40		
50	5	30	1.60																																50		
60	5	30	1.30																																60		
70	5	30	1.10																																70		
80	5	30	1.00																																80		
90	4	30	0.90																																90		
100	4	30	0.90																																100		
120	4	30	0.70																																	120	
140	3	30	0.60																																	140	
160	3	30	0.60																																	160	
180	3	30	0.60																																	180	
200	3	30	0.60																																	200	
220	2	30	0.60																																	220	
250	2	30	0.50																																	250	
300	2	30	0.50																																	300	
350	2	30	0.50																																	350	
400	1	30	0.50																																	400	
450	1	30	0.50																																	450	
500	1	30	0.50																																	500	
550	1	30	0.50																																	550	
600	1	30	0.50																																	600	
700	1	30	0.50																																	700	
800	1	30	0.50																																	800	
900	1	30	0.50																																	900	
1000	1	30	0.50																																	1000	
1200	1	30	0.50																																	1200	
1500	1	30	0.50																																	1500	
1800	1	30	0.50																																	1800	
2000	1	30	0.50																																	2000	
2500	1	30	0.50																																	2500	
3000	1	30	0.50																																	3000	
3500	1	30	0.50																																	3500	
4000	1	30	0.50																																	4000	
4500	1	30	0.50																																	4500	
5000	1	30	0.50																																	5000	
5500	1	30	0.50																																	5500	
6000	1	30	0.50																																	6000	
6500	1	30	0.50																																	6500	
7000	1	30	0.50																																	7000	
8000	1	30	0.50																																	8000	
9000	1	30	0.50																																	9000	

NOTAS: 1) Aunque desahables por razones de estética, las transiciones no son indispensables para radios ubicados bajo la línea (---). En estos casos, las longitudes indicadas son los mínimos sobre los que deberá desarrollarse el peralte. 2) Para los casos indicados con doble asterisco (**) pueden reemplazarse las transiciones espirales por transiciones simples, ubicando el sobreancho en el interior de la curva circular.

Trazado Altimetrico



Figura 11. Altimetría realizada en Civil3D de la traza del acceso temporal Nestor Kirchner

Rasante

La rasante está conformada normalmente por una serie de líneas rectas, que llamamos **pendientes**, conectadas por **curvas verticales** de simple expresión analítica. En el proyecto de la rasante se puede distinguir a grandes rasgos dos características principales: forma y posición.

La forma: comprende la combinación de pendientes y curvaturas, depende básicamente de la ponderación de los factores técnico-funcionales, de seguridad y estéticos.

La posición: se refiere a la altura respecto al perfil del terreno natural depende básicamente de los factores técnicos, económicos y constructivos. La rasante puede sufrir pequeños ajustes, subiendo o bajando su posición, por razones económicas para modificar el movimiento de suelo.

Los factores que influyen en el diseño de la rasante pueden ser: técnico-funcionales y de seguridad, económicos y estéticos.

Variables como el tránsito (pendientes, velocidad directriz, coordinación planialtimétrica) y la topografía, el sistema de drenaje, los puntos de control (gálibo vertical libre mínimo) o constructivos, son partes del grupo de factores técnico-funcionales y de seguridad. Ejemplos de factores económicos son, fundamentalmente, los vinculados a la minimización de costes en el movimiento de suelo, taludes de poca altura a los fines de evitar algún tipo de obra de sostenimiento, o reducción de la longitud de las alcantarillas. Hablamos de factores estéticos cuando buscamos un diseño que no sólo sea agradable a la vista, sino que también apunte a un manejo distendido y a una circulación previsible.

En el caso de nuestro acceso dado el carácter temporal del camino y de las condiciones de espacio acotadas los factores preponderantes son sin duda los económicos siempre teniendo en cuenta la verificación de la seguridad mínima en cada sector de la traza.

Pendientes

La pendiente máxima admisible es factor que por su relevancia pasa a tener, en caminos de zonas con fuerte relieve, el carácter de control del trazado. La bibliografía indica que pendientes de proyecto superiores al 10 % son inadecuadas y pueden ser utilizadas en casos excepcionales y para caminos de bajos volúmenes de tránsito pesado además las normas de la DNV determinan que para caminos de categoría V la pendiente sea del 10% como máximo. Por lo tanto se adopta esta pendiente como la máxima para el diseño, de todas formas y teniendo en cuenta el tránsito pesado que se tendrá y las condiciones climáticas de la zona (hielo, nieve) se intenta mantener esta pendiente en valores por debajo del 6% siempre que sea posible.

Longitud Crítica: Llamamos así a "la longitud máxima de una diseñada pendiente de subida sobre la cual un camión cargado puede operar sin una reducción de velocidad excesiva" (es decir, peligrosa y antifuncional). Los valores de longitud crítica para una *pendiente dada* se obtienen en función de la *relación peso/potencia* del vehículo, la *velocidad de entrada* (velocidad media de marcha) y de la *velocidad mínima sobre la pendiente*, debajo de la cual la interferencia a los vehículos siguientes es considerada irrazonable.

Si bien en el diseño adoptado existen una pendiente de 6.3% que se desarrolla en una longitud de 900m lo cual ocasionaría que un vehículo con una relación peso/potencia de 134 Kg/Hp llegara rápidamente a su velocidad de gateo, al tener en cuenta que el camino está diseñado para una velocidad directriz de 30 Km/h y que dicha

velocidad de gateo para un camión de este tipo es de aproximadamente 27 Km/h no se considera necesario evitar dicha longitud de pendiente ya que la desaceleración en este caso no sería mayor a un 10% lo cual es aceptable.

Acuerdos Verticales

El acuerdo más habitual en el diseño de curvas verticales es la parábola cuadrática de eje vertical. Entre dos pendientes de la rasante se intercalan curvas verticales que suavizan el quiebre mediante el cambio gradual de pendiente.

La parábola cuadrática tiene la propiedad de que el punto de intersección PIV de las tangentes extremas de cualquier arco de curva equidista de las verticales trazadas por los puntos extremos del arco. Se suele definir la parábola por su parámetro K, que es la inversa de la curvatura, constantes a lo largo de toda la curva.

Las curvas verticales se dividen en curvas verticales cóncavas (cuando pasamos de una pendiente negativa a una positiva) y convexas (caso contrario).

Las longitudes mínimas en la rasante están condicionadas por la DVD, la aceleración centrífuga experimentada por los pasajeros (fundamentalmente en curvas cóncavas) y el drenaje superficial.

En nuestro camino para el diseño de las curvas verticales además de adecuarnos lo máximo posible a la forma del terreno de forma de minimizar los movimientos de suelos se verifico que el parametro K cumpla con los criterios mínimos de seguridad ya explicados tanto para curvas concavas como para convexas.

4. Seccion Transversal del Camino

Zona de Camino

Antes de construir un camino se necesita asegurar el derecho de vías, lo que normalmente supone la adquisición de una franja de terreno que debe abarcar el ancho de la obra básica que va a construirse, y un espacio adicional libre en ambos lados. La zona de camino debe contemplar: el ancho necesario para la calzada, banquetas, espacio para permitir los desagües longitudinales, una zona de 3 - 5 m para servicios, y, si fuera necesario, espacio para futuras ampliaciones.

Si bien para caminos de categoría V se sugiere un ancho mínimo de 50m en caminos rurales, en el caso de nuestro acceso por ser un camino temporario donde no se necesita expropiación para la zona de camino sino que se llega a un arreglo con el propietario de la estancia por el derecho de paso temporal, se trato de que ese ancho fuera el mínimo posible ya que tampoco habrá futuras ampliaciones por lo tanto se adopto un ancho de zona de camino de 20 m que cumple con los requerimientos mínimos de espacio.

Ancho de Calzada

La calzada es el lugar destinado a la circulación de los vehículos. Tomando en cuenta este aspecto su ancho deberá contemplar la presencia de dos vehículos circulando en direcciones opuestas, más la separación central entre éstos de 0,70 a 1,00 m. Asimismo debe agregarse una revancha entre el borde externo de los vehículos y el de la calzada de 0,30 a 0,60 m.

Los anchos de calzada se fijan además teniendo en cuenta los volúmenes de tránsito futuro previsto (categoría asignada al camino) y la velocidad directriz.

Para caminos de terrenos accidentados las normas indican anchos de calzada menores que los de igual categoría pero distinta topografía. Esto está motivado en dos razones: 1) la velocidad directriz es menor por lo tanto el conductor experimenta una sensación de mayor seguridad al cruzarse con un vehículo que circula en dirección opuesta y 2) para no estimular al conductor a tomar velocidades mayores, incompatibles con los parámetros de diseño.

Se adopta el ancho de calzada de 6.00 m determinado por la DNV para caminos de categoría V y velocidad directriz de 30 Km/h.

Pendiente Transversal del Camino

La pendiente transversal de la calzada (bombeo normal) debe ser la suficiente para asegurar un adecuado escurrimiento del agua y evitar la infiltración hacia la estructura del pavimento, así como también disminuir la posibilidad de formación de láminas de agua sobre la calzada y de esta manera evitar el fenómeno de hidroplaneo y el congelamiento.

Asimismo se deben tomar en cuenta otros aspectos tales como la apariencia de bordes (desarrollo de peraltes en transiciones) e incomodidad del conductor (sensación de inclinación).

En nuestro acceso adoptamos un bombeo normal de 3% adecuada para una calzada de ripio.

Banquinas

Este elemento proporciona un espacio transversal adicional con la finalidad de que los conductores con momentánea pérdida de control del vehículo, o los obligados a realizar maniobras excepcionales para evitar accidentes, puedan retomar la calzada con razonables condiciones de seguridad, asimismo se utiliza para el caso de que el vehículo tenga la necesidad de detención momentánea, por lo que la elección del ancho tiene influencia sobre la capacidad y seguridad de la carretera.

El ancho coronamiento (calzada + banquetas) adoptado en este proyecto será de 9,00 m, (1,50 banquina + 6,00 calzada + 1,50 banquina) sin considerar los sobre-anchos en curvas horizontales.

La pendiente adoptada para la banquina será del 5% según lo recomendado por la AASHTO para este tipo de recubrimiento.

Tabla 5. Pendientes recomendadas para banquetas (AASHTO)

Tipo de Recubrimiento	Pendiente Transversal
Banquetas con tratamiento bituminoso	del 3% al 5%
Banquetas con grava o piedra partida	del 4% al 6%
Banquetas recubiertas con pasto	8%

Cunetas

Las cunetas tiene como principal función colectar el agua y transportarla hasta donde no resulte perjudicial para el camino. En la mayoría de los casos se llevara el agua hacia las alcantarillas de cruce y en caso puntuales se llevara hasta un punto donde el camino gire y se puede dejar escurrir por la pendiente del terreno. Se dimensionan con determinada capacidad en función de las precipitaciones, tratando de que en casos de fenómenos excepcionales se ocasione el minimo daño a la obra. La profundidad de la cuneta debe ser suficiente para que circule el agua sin que se sature la subrasante.

Si bien lo ideal es darle un ancho de cuneta minimo de 2 m y pendientes de talud y contratalud suaves de forma de aumentar la seguridad al vuelco en el caso de un vehiculo que salga de la calzada y la atravesie, al ser un camino temporal de poca importancia, bajas velocidades y bajo transito donde los costos de excavación se deben minimizar se adoptan cunetas en V. La profundidad minima de las cunetas se definen de 0.80m desde la cota de rasante. En las zonas de media ladera no se dispondrá cunetas del lado de la misma sino que se dejara escurrir por el terreno.

Taludes, Contra-taludes y Bermas

Taludes:

Las normas de la DNV definen para caminos de categoría V y topografía montañosa los taludes 1v:1.5h para alturas de terraplén de 0m a 1.50m sin baranda de defensa y los mismos taludes para alturas mayores pero con el agregado de la baranda.

Por el tema de las limitaciones de espacio y por la necesidad de mover la menor cantidad de suelo posible dado el carácter temporal de los caminos se discutió con los profesionales geotécnicos y se llegó a la conclusión de que el suelo se podría adaptar a taludes 1v:1h tanto para taludes como para contrataludes. Se decidió asimismo adoptar un límite de altura de talud de 2m para la ubicación de barandas flexbeam también por razones económicas.

Contra-Taludes:

Al igual que con los taludes se definio un contratalud con pendientes 1v:1h dado que el tipo de suelo podía admitir esta inclinación.

Bermas:

Las bermas son cortes horizontales realizados sobre la línea del contratalud a los efectos de mejorar su estabilidad. Mediante la modificación de la geometría de los taludes, se redistribuyen las fuerzas debidas al peso de los materiales obteniéndose una nueva configuración más estable.

El escalonamiento del talud con la construcción de bermas, contribuye a evitar que se produzcan roturas superficiales que afecten a todo el frente del talud al cortarse los posibles planos de rotura. Esta medida suele decidirse antes de la excavación, además las bermas sirven para retener bloques que se desprendan y roturas locales del talud, para instalación de medidas de drenaje y accesos para las obras de saneamiento y control del talud.

El contratalud de la cuneta será con pendiente 1:1 según lo definido por el geotécnico por el tipo de suelo y se utilizaran bermas de 2m de ancho cada 10m de altura de contratalud de ser necesarias.

Seccion Transversal Adoptada y Paquete Estructural

El perfil tipo de obra básica adoptado cuenta con los siguientes elementos:

- Elevación genérica de eje de proyecto de 0,50 m por sobre el terreno natural, cunetas laterales triangulares con cota de fondo -0,80 m por debajo de cota de rasante de proyecto (los valores de elevación pueden tener una variación de +/- 0,25 m)
- Ancho de calzada de 6,00 m con sobre anchos en curvas cerradas, con gálibo desde el centro con 3% de pendiente.
- Banquinas con pendiente hacia afuera del 5%.
- Taludes adoptados 1V:1H en terraplén y desmonte.
- Contrataludes adoptados de 1V:1H
- Barandas de defensa metálicas tipo flexbeam para alturas de terraplén mayor a 2m donde también se hace un ensanche del coronamiento de 1m para su anclaje.

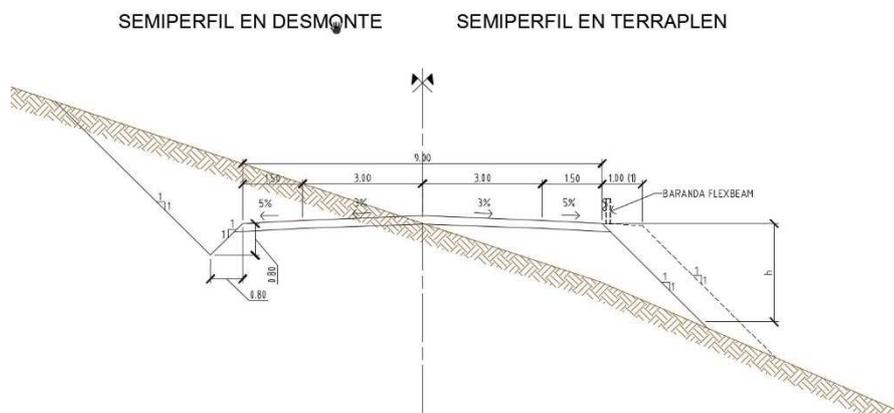


Figura 12. Perfil Tipo Adoptado

El paquete estructural diseñado es:

- Enripiado con grava natural en 0,20 m de espesor.
- Subrasante de suelo natural con compactación especial en 0,30 m de espesor.
- Banquinas enripiadas de 0,20 metros de espesor y 1,50 metros de ancho. En caso de defensa metálica se agrega un metro para su anclaje.

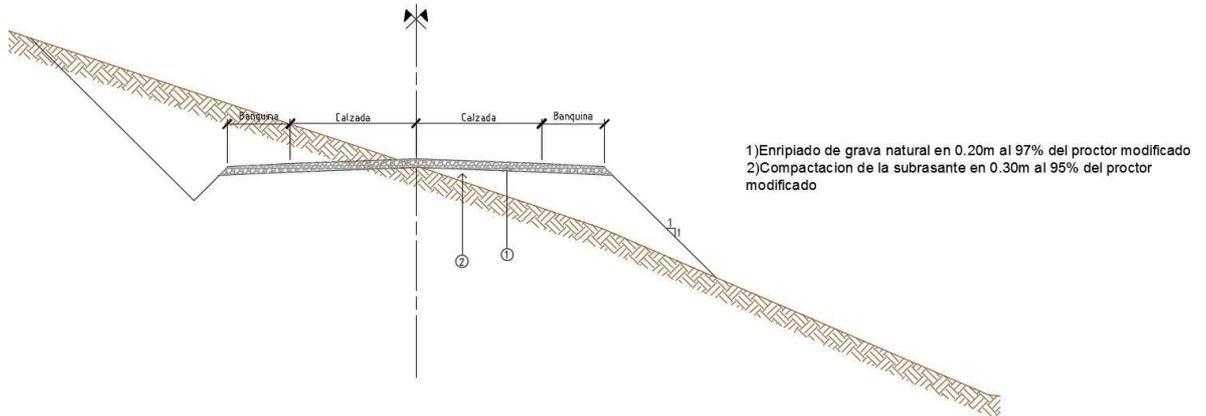


Figura 13. Perfil Estructural Adoptado

H) CALCULO DE MOVIMIENTO DE SUELOS

Después de realizar el modelado a través del programa Civil3D se obtiene el movimiento de suelos a partir de las secciones transversales aplicando el método de la semisuma de las áreas..

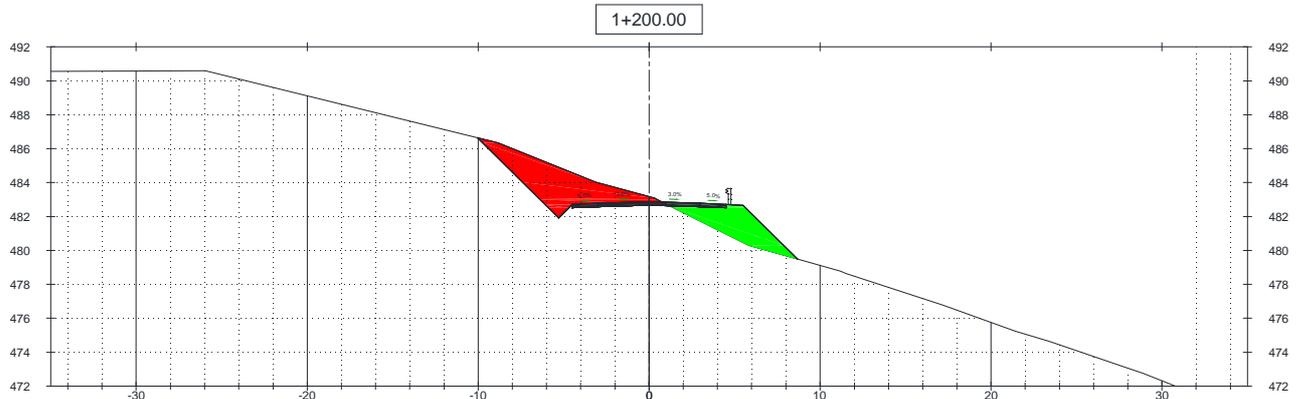


Figura 14. Perfil transversal modelado en Civil 3D (Rojo=Desmonte Verde=Terraplen).

La planilla de movimiento de suelos resultante es:

Tabla 6. Planilla de movimiento de suelos

Progresiva	Area de Desmonte (m2)	Volumen de desmonte (m3)	Area de Terraplen (m2)	Volumen de Terraplen (m3)	Coefficiente de Compactacion	Volumen de Terraplen compactado (m3)	Volumen Acumulado de Desmonte (m3)	Volumen acumulado de Terraplen (m3)	Volumen acumulado de Terraplen compactado(m3)	Volumen Compensado(m3)
0+000.00	3.12	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+100.00	0.00	155.89	11.50	575.08	1.30	747.60	155.89	575.08	747.60	-591.71
0+200.00	0.00	0.00	17.52	1451.24	1.30	1886.61	155.89	2026.32	2634.22	-2478.33
0+300.00	0.00	0.00	10.85	1418.53	1.30	1844.09	155.89	3444.85	4478.31	-4322.42
0+400.00	0.00	0.00	12.07	1146.08	1.30	1489.90	155.89	4590.94	5968.21	-5812.32
0+500.00	0.00	0.00	17.53	1480.22	1.30	1924.29	155.89	6071.15	7892.50	-7736.61
0+600.00	0.00	0.00	13.67	1559.98	1.30	2027.97	155.89	7631.13	9920.47	-9764.58
0+700.00	0.00	0.00	11.87	1277.19	1.30	1660.35	155.89	8908.32	11580.82	-11424.93
0+800.00	0.00	0.00	18.82	1534.85	1.30	1995.31	155.89	10443.17	13576.12	-13420.23
0+900.00	0.02	1.13	5.79	1230.69	1.30	1599.90	157.03	11673.85	15176.02	-15018.99
1+000.00	0.35	18.49	3.10	444.33	1.30	577.63	175.51	12118.19	15753.65	-15578.14
1+100.00	34.24	1729.25	0.00	154.78	1.30	201.21	1904.76	12272.97	15954.86	-14050.10
1+200.00	15.07	2465.48	8.08	404.15	1.30	525.40	4370.25	12677.12	16480.26	-12110.01
1+300.00	0.00	753.59	35.30	2168.95	1.30	2819.64	5123.83	14846.07	19299.89	-14176.06
1+400.00	68.42	3421.18	0.00	1764.81	1.30	2294.25	8545.01	16610.87	21594.14	-13049.13
1+500.00	25.37	4689.69	0.00	0.00	1.30	0.00	13234.70	16610.87	21594.14	-8359.44
1+600.00	27.41	2639.13	0.00	0.00	1.30	0.00	15873.83	16610.87	21594.14	-5720.31
1+700.00	117.72	7256.83	0.00	0.00	1.30	0.00	23130.66	16610.87	21594.14	1536.52
1+800.00	159.66	13869.06	0.00	0.00	1.30	0.00	36999.72	16610.87	21594.14	15405.58
1+900.00	0.00	7982.86	29.43	1471.46	1.30	1912.90	44982.58	18082.33	23507.04	21475.54
2+000.00	1.15	57.51	4.63	1702.76	1.30	2213.59	45040.09	19785.09	25720.63	19319.46
2+100.00	258.77	12995.88	0.00	231.30	1.30	300.69	58035.97	20016.39	26021.32	32014.65
2+200.00	98.13	17844.85	0.00	0.00	1.30	0.00	75880.82	20016.39	26021.32	49859.50
2+300.00	72.06	8509.34	0.00	0.00	1.30	0.00	84390.16	20016.39	26021.32	58368.84
2+400.00	10.74	4140.06	10.27	513.67	1.30	667.77	88530.22	20530.06	26689.09	61841.13
2+500.00	0.00	537.21	30.09	2018.12	1.30	2623.56	89067.43	22548.18	29312.65	59754.78
2+600.00	73.83	3691.54	0.00	1504.45	1.30	1955.79	92758.97	24052.63	31268.43	61490.54
2+700.00	11.36	4259.39	5.80	289.79	1.30	376.73	97018.36	24342.42	31645.16	65373.20
2+800.00	104.58	5796.99	0.00	289.79	1.30	376.73	102815.35	24632.21	32021.89	70793.46
2+900.00	5.99	5528.45	5.72	286.14	1.30	371.98	108343.80	24918.34	32393.87	75949.93
3+000.00	47.88	2693.31	0.00	286.14	1.30	371.98	111037.10	25204.48	32765.85	78271.25
3+100.00	30.97	3942.48	0.01	0.51	1.30	0.66	114979.58	25204.99	32766.51	82213.07
3+200.00	59.11	4503.89	0.00	0.51	1.30	0.66	119483.47	25205.51	32767.18	86716.29
3+300.00	3.56	3133.38	5.70	284.87	1.30	370.33	122616.85	25490.37	33137.51	89479.34
3+400.00	0.44	199.93	9.54	761.98	1.30	990.57	122816.77	26252.35	34128.08	88688.69
3+500.00	159.87	8015.40	0.00	477.12	1.30	620.26	130832.17	26729.47	34748.34	96083.83
3+600.00	209.90	18488.31	0.00	0.00	1.30	0.00	149320.48	26729.47	34748.34	114572.14
3+700.00	0.00	10494.88	79.13	3956.42	1.30	5143.35	159815.36	30685.89	39891.68	119923.68
3+800.00	0.00	0.00	111.03	9507.91	1.30	12360.28	159815.36	40193.80	52251.97	107563.39
3+900.00	0.00	0.00	32.45	7174.12	1.30	9326.36	159815.36	47367.92	61578.32	98237.04
4+000.00	0.00	0.00	26.42	2943.68	1.30	3826.78	159815.36	50311.60	65405.11	94410.25
4+100.00	0.00	0.08	21.77	2409.59	1.30	3132.47	159815.45	52721.19	68537.57	91277.88
4+200.00	0.00	0.08	83.21	5249.29	1.30	6824.08	159815.53	57970.48	75361.65	84453.88
4+300.00	0.00	0.00	101.82	9251.66	1.30	12027.16	159815.53	67222.14	87388.81	72426.72
4+400.00	0.00	0.00	52.81	7731.44	1.30	10050.87	159815.53	74953.58	97439.68	62375.85
4+500.00	12.73	636.65	0.03	2642.24	1.30	3434.91	160452.18	77595.82	100874.59	59577.59

DISEÑO GEOMETRICO DE CAMINO DE ACCESO TEMPORAL A VILLA Y OBRADOR DE PRESA PRESIDENTE NESTOR KIRCHNER

<u>Progresiva</u>	<u>Area de Desmonte (m2)</u>	<u>Volumen de desmonte (m3)</u>	<u>Area de Terraplen (m2)</u>	<u>Volumen de Terraplen (m3)</u>	<u>Coefficiente de Compactacion</u>	<u>Volumen de Terraplen compactado (m3)</u>	<u>Volumen Acumulado de Desmonte (m3)</u>	<u>Volumen acumulado de Terraplen (m3)</u>	<u>Volumen acumulado de Terraplen compactado(m3)</u>	<u>Volumen Compensado(m3)</u>
4+600.00	59.05	3588.97	0.00	1.71	1.30	2.22	164041.14	77597.54	100876.82	63164.33
4+700.00	0.00	2952.32	33.12	1656.05	1.30	2152.87	166993.46	79253.59	103029.68	63963.78
4+800.00	19.77	988.59	0.00	1656.05	1.30	2152.87	167982.06	80909.64	105182.55	62799.52
4+900.00	0.00	988.59	61.09	3054.59	1.30	3970.97	168970.65	83964.23	109153.51	59817.14
5+000.00	0.00	0.00	67.51	6430.02	1.30	8359.03	168970.65	90394.25	117512.54	51458.11
5+100.00	0.00	0.00	34.04	5077.68	1.30	6600.98	168970.65	95471.93	124113.52	44857.13
5+200.00	0.00	0.00	20.36	2720.25	1.30	3536.33	168970.65	98192.18	127649.85	41320.80
5+300.00	0.00	0.00	23.56	2195.94	1.30	2854.72	168970.65	100388.11	130504.57	38466.08
5+400.00	0.00	0.00	53.89	3872.40	1.30	5034.12	168970.65	104260.52	135538.69	33431.96
5+500.00	0.00	0.00	41.77	4783.00	1.30	6217.90	168970.65	109043.52	141756.59	27214.06
5+600.00	0.00	0.00	29.08	3542.77	1.30	4605.60	168970.65	112586.29	146362.19	22608.46
5+700.00	0.03	1.53	22.22	2565.48	1.30	3335.12	168972.18	115151.77	149697.31	19274.87
5+800.00	0.00	1.53	26.50	2435.99	1.30	3166.79	168973.70	117587.76	152864.10	16109.60
5+900.00	0.00	0.00	80.56	5352.97	1.30	6958.86	168973.70	122940.73	159822.96	9150.74
6+000.00	2.19	109.64	15.57	4806.60	1.30	6248.58	169083.34	127747.34	166071.54	3011.80
6+100.00	12.98	758.62	0.76	816.44	1.30	1061.37	169841.97	128563.77	167132.91	2709.06
6+200.00	39.31	2614.40	0.00	38.04	1.30	49.45	172456.36	128601.82	167182.37	5273.99
6+300.00	56.70	4800.57	0.00	0.00	1.30	0.00	177256.93	128601.82	167182.37	10074.56
6+400.00	1.74	2921.94	11.34	567.04	1.30	737.15	180178.87	129168.86	167919.52	12259.35
6+500.00	6.45	409.47	7.52	942.97	1.30	1225.86	180588.33	130111.83	169145.38	11442.95
6+600.00	3.94	519.77	4.10	580.75	1.30	754.98	181108.10	130692.57	169900.35	11207.75
6+700.00	21.51	1272.50	0.00	204.82	1.30	266.27	182380.61	130897.40	170166.62	12213.99
6+800.00	0.00	1075.41	21.31	1065.52	1.30	1385.18	183456.01	131962.92	171551.80	11904.21
6+900.00	11.36	567.79	0.00	1065.52	1.30	1385.18	184023.81	133028.44	172936.97	11086.84
7+000.00	9.90	1062.73	0.00	0.28	1.30	0.36	185086.54	133028.72	172937.34	12149.20
7+100.00	6.71	830.37	0.11	5.68	1.30	7.38	185916.90	133034.40	172944.72	12972.18
7+200.00	24.67	1568.70	0.00	5.40	1.30	7.02	187485.60	133039.80	172951.74	14533.86
7+300.00	113.15	6890.85	0.00	0.00	1.30	0.00	194376.45	133039.80	172951.74	21424.71
7+400.00	145.70	12942.47	0.00	0.00	1.30	0.00	207318.93	133039.80	172951.74	34367.19
7+500.00	57.54	10161.72	0.00	0.00	1.30	0.00	217480.64	133039.80	172951.74	44528.90
7+600.00	0.00	2876.82	24.80	1240.06	1.30	1612.08	220357.47	134279.86	174563.82	45793.65
7+700.00	0.00	0.00	64.77	4478.49	1.30	5822.04	220357.47	138758.35	180385.86	39971.62
7+800.00	0.00	0.00	76.12	7044.30	1.30	9157.59	220357.47	145802.65	189543.45	30814.03
7+900.00	0.00	0.00	48.52	6231.81	1.30	8101.35	220357.47	152034.46	197644.80	22712.67
8+000.00	0.00	0.00	35.29	4190.23	1.30	5447.30	220357.47	156224.69	203092.10	17265.37
8+100.00	29.11	1455.48	0.00	1764.29	1.30	2293.58	221812.95	157988.98	205385.67	16427.28
8+200.00	58.36	4373.64	0.00	0.00	1.30	0.00	226186.59	157988.98	205385.67	20800.92
8+300.00	49.28	5382.27	0.00	0.00	1.30	0.00	231568.86	157988.98	205385.67	26183.19
8+400.00	41.01	4514.41	0.00	0.00	1.30	0.00	236083.27	157988.98	205385.67	30697.60
8+500.00	8.17	2458.56	0.00	0.00	1.30	0.00	238541.83	157988.98	205385.67	33156.16
8+600.00	0.00	408.26	27.30	1364.77	1.30	1774.20	238950.09	159353.75	207159.88	31790.22
8+700.00	0.00	0.00	70.69	4899.37	1.30	6369.18	238950.09	164253.12	213529.06	25421.03
8+800.00	0.00	0.00	47.60	5914.79	1.30	7689.23	238950.09	170167.90	221218.28	17731.81
8+900.00	0.00	0.00	23.54	3556.94	1.30	4624.02	238950.09	173724.84	225842.31	13107.78
9+000.00	0.00	0.00	11.24	1738.87	1.30	2260.53	238950.09	175463.71	228102.84	10847.25
9+100.00	0.13	6.42	3.96	760.08	1.30	988.10	238956.51	176223.80	229090.94	9865.57
9+200.00	0.38	25.35	3.94	394.77	1.30	513.20	238981.86	176618.57	229604.14	9377.72

Progresiva	Area de Desmonte (m2)	Volumen de desmonte (m3)	Area de Terraplen (m2)	Volumen de Terraplen (m3)	Coefficiente de Compactacion	Volumen de Terraplen compactado (m3)	Volumen Acumulado de Desmonte (m3)	Volumen acumulado de Terraplen (m3)	Volumen acumulado de Terraplen compactado(m3)	Volumen Compensado(m3)
9+300.00	14.22	730.02	0.00	196.81	1.30	255.85	239711.88	176815.38	229859.99	9851.89
9+400.00	0.73	747.41	4.39	219.54	1.30	285.40	240459.29	177034.92	230145.40	10313.89
9+500.00	0.00	36.31	43.83	2411.01	1.30	3134.31	240495.59	179445.93	233279.71	7215.88
9+600.00	0.00	0.00	49.59	4670.90	1.30	6072.17	240495.59	184116.82	239351.88	1143.71
9+700.00	0.00	0.00	52.39	5098.96	1.30	6628.65	240495.59	189215.78	245980.53	-5484.94
9+800.00	0.00	0.00	38.44	4541.47	1.30	5903.91	240495.59	193757.25	251884.44	-11388.85
9+900.00	0.00	0.00	31.44	3493.80	1.30	4541.94	240495.59	197251.04	256426.38	-15930.79
10+000.00	0.00	0.00	35.56	3349.96	1.30	4354.95	240495.59	200601.00	260781.33	-20285.74
10+100.00	0.00	0.00	18.48	2702.33	1.30	3513.03	240495.59	203303.33	264294.36	-23798.77
10+200.00	0.00	0.00	9.59	1403.85	1.30	1825.01	240495.59	204707.18	266119.36	-25623.77
10+300.00	0.22	10.77	3.40	649.68	1.30	844.58	240506.37	205356.86	266963.94	-26457.57
10+400.00	0.28	24.97	2.96	318.22	1.30	413.69	240531.33	205675.08	267377.63	-26846.30
10+500.00	38.12	1919.99	0.00	148.18	1.30	192.63	242451.32	205823.25	267570.26	-25118.94
10+600.00	71.10	5460.56	0.00	0.00	1.30	0.00	247911.88	205823.25	267570.26	-19658.38
10+700.00	108.64	8987.00	0.00	0.00	1.30	0.00	256898.88	205823.25	267570.26	-10671.38
10+800.00	1.25	5494.77	21.04	1052.22	1.30	1367.89	262393.65	206875.47	268938.15	-6544.50
10+900.00	0.00	62.52	62.88	4196.22	1.30	5455.09	262456.17	211071.69	274393.24	-11937.07
11+000.00	0.46	23.03	23.76	4332.07	1.30	5631.69	262479.20	215403.76	280024.93	-17545.73
11+100.00	29.89	1517.74	0.00	1188.07	1.30	1544.49	263996.93	216591.83	281569.42	-17572.49
11+200.00	0.00	1494.71	23.99	1199.47	1.30	1559.31	265491.64	217791.30	283128.73	-17637.09
11+300.00	0.00	0.00	50.86	3742.42	1.30	4865.15	265491.64	221533.72	287993.88	-22502.24
11+400.00	0.00	0.00	16.75	3380.55	1.30	4394.72	265491.64	224914.26	292388.59	-26896.95
11+500.00	2.73	136.72	0.00	837.60	1.30	1088.88	265628.36	225751.86	293477.47	-27849.11
11+600.00	0.89	181.34	1.45	72.55	1.30	94.32	265809.70	225824.42	293571.79	-27762.09
11+700.00	0.58	73.47	0.95	120.26	1.30	156.34	265883.17	225944.68	293728.12	-27844.95
11+800.00	10.26	541.63	0.00	47.71	1.30	62.02	266424.80	225992.39	293790.15	-27365.35
11+900.00	0.00	512.78	8.57	428.64	1.30	557.23	266937.58	226421.04	294347.38	-27409.80
12+000.00	0.00	0.00	13.26	1091.62	1.30	1419.11	266937.58	227512.66	295766.48	-28828.90
12+100.00	0.00	0.00	63.12	3819.20	1.30	4964.96	266937.58	231331.86	300731.44	-33793.86
12+119.91	0.00	0.00	0.00	628.40	1.30	816.92	266937.58	231960.26	301548.36	-34610.78

Los valores finales son:

Volumen de Desmonte: **266937.58 m³**
 Volumen de Terraplen Teorico: **23196.26 m³**
 Volumen de Terraplen Compactado: **301548.36 m³**
 Desmonte – Terraplen Compactado: **-34610.78 m³**

No se prevé zonas de yacimiento para la extracción de materia prima. El material de desmonte obtenido para lograr el nivel de rasante proyectado, se lo utilizará en los terraplenes de la traza propuesta, es decir se busco compensar los volúmenes de suelo y los valores faltantes se obtendrán de la excavaciones para la presa donde la falta de suelo no es un problema.

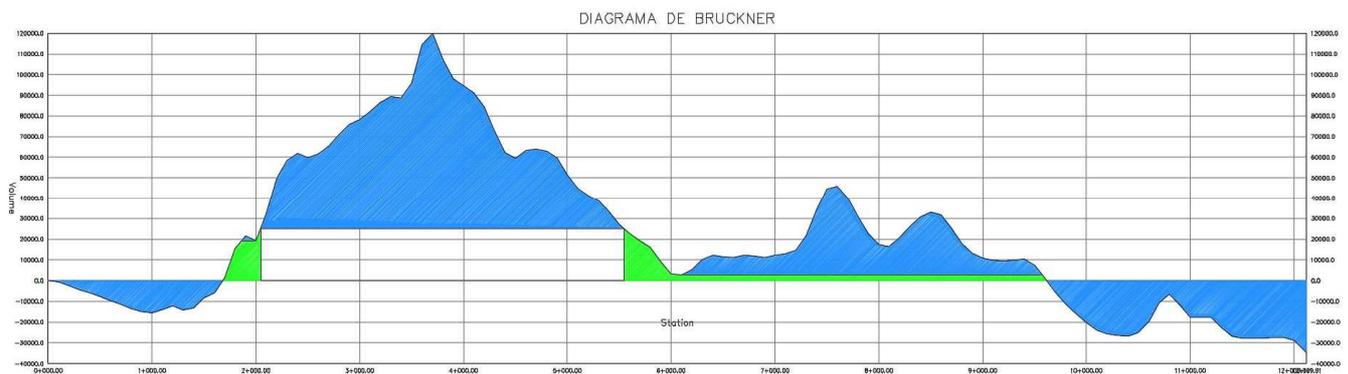
Diagrama de Bruckner

-Según el signo adoptado (positivo para desmontes y negativo para terraplenes, la curva de volúmenes es ascendente para desmontes y descendente para terraplenes.

-Toda horizontal que corta el diagrama determina los volúmenes acumulados entre las secciones en que dicha horizontal corta a la curva.

- La diferencia entre dos ordenadas mide el valor acumulado de desmonte o terraplén entre las secciones consideradas.
- Entre las secciones definidas por la intersección de una horizontal con el diagrama hay compensación total longitudinal.
- Se denomina cámara de trabajo a la superficie del diagrama de brukner que surge de la intersección de una horizontal con el diagrama.
- Se deben determinar las distancias medias de transporte para cada cámara de trabajo.
- El área encerrada en cada cámara representa el momento de transporte de dicha cámara (Volumen*DMT) originado por mover un determinado volumen a una determinada distancia, esto esta relacionado directamente con los costos del transporte.

Para que la distribución tenga un costo minimo la suma de la base de los valles debe ser igual a la suma de las bases de los montes, entendiendop por valles a las camaras de trabajo que se ubican por debajo de la horizontal y por montes aquellas camaras ubicadas por encima de la horizontal.



Para este camino temporario no se realizo un análisis de costo de transporte pero haciendo un análisis simple se puede ver en el diagrama que no se logra una adecuada compensación ya que la cámara de trabajo entre prog. 2+000 y 6+000 es demasiado grande y ocasiona una distancia de transporte muy larga para lograr la compensación a un bajo costo.

I) HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA DE LA TRAZA

El alineamiento no afecta cursos de carácter permanente o semipermanentes. Se respetarán los escurrimientos naturales dando continuidad a las escorrentías no permanentes interceptadas por la traza a través de alcantarillas transversales. Mediante las cunetas longitudinales se resuelve el drenaje de la zona de camino, conduciendo los excedentes hídricos hacia el cruce más próximo.

En la figura a continuación se indican las principales líneas de escurrimiento cuya continuidad será garantizada con las alcantarillas proyectadas.

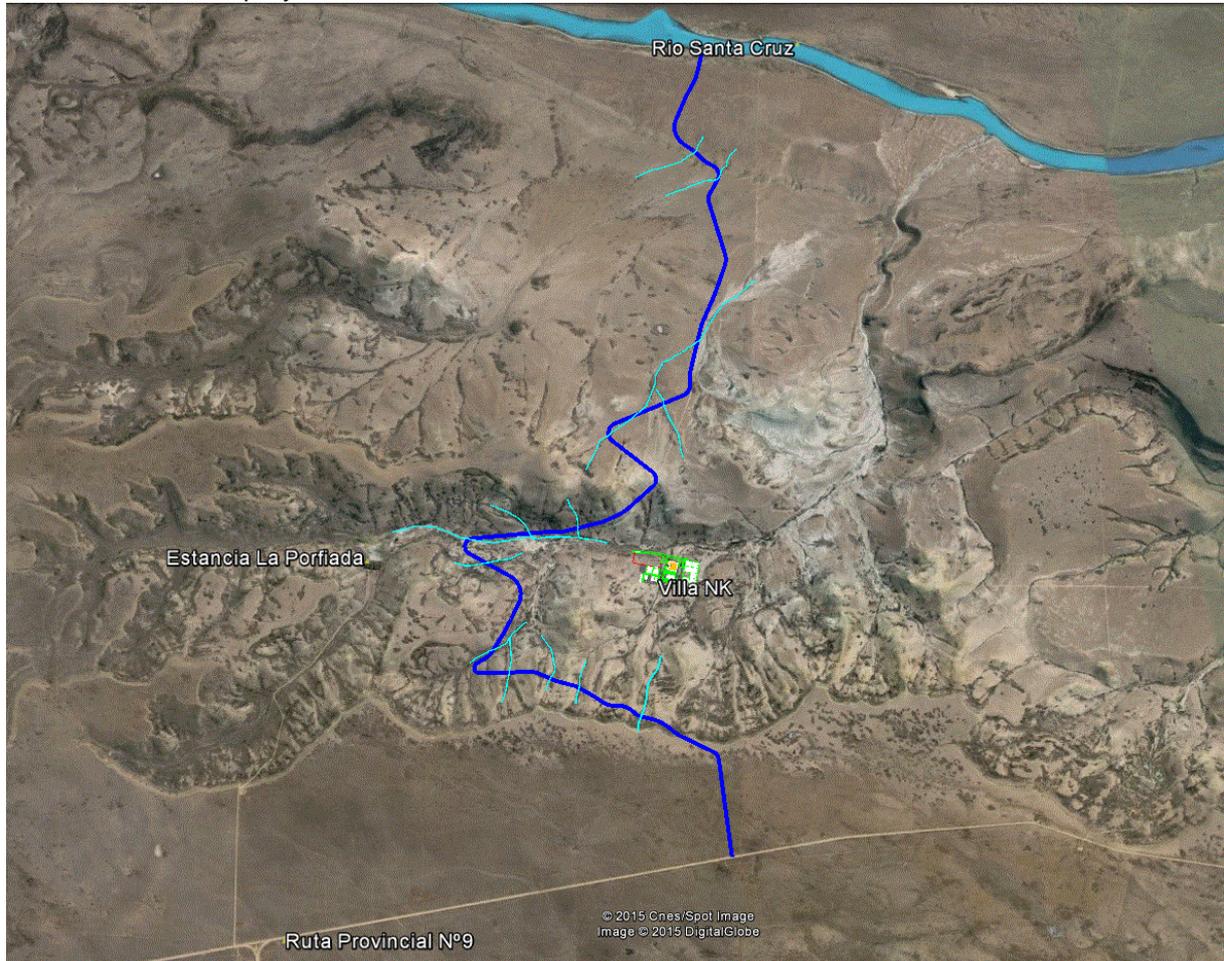


Figura 15. Líneas de escurrimiento transversales a la nueva traza

1. Análisis Hidrológicos

Al igual que la mayor parte de las cuencas situadas en esta región, no se dispone de estaciones de registro de precipitación en el interior o vecindad inmediata, por lo tanto, para poder arribar a una cuantificación de los parámetros de diseño hidrológico dependientes de la precipitación, es necesario recurrir a técnicas indirectas para estimar los valores de precipitaciones extremas asociados a determinados períodos de retorno o recurrencias.

Análisis de Información de Lluvias

Un análisis de antecedentes referidos a los patrones climáticos generales imperantes en el área de estudio y en particular lo atinente a las precipitaciones dominantes en la región pone de manifiesto el hecho de que la mayoría de los estudios se refieren a la cuantificación de los valores medios de lluvias, pero existe una carencia generalizada de estudios referidos a valores extremos (máximos) de precipitación.

En efecto, en cuanto a los estudios de precipitaciones extremas tendientes a definir lineamientos para estimar parámetros de diseño hidrológico, pueden citarse los trabajos de Rühle (1966), cuyas recomendaciones han sido virtualmente adoptadas como normativas para diseños de obras hidráulicas en proyectos viales en Argentina. En el mismo se presenta un mapa general de isohietas de precipitaciones máximas para recurrencias dadas y una metodología gráfica para estimar las escorrentías de origen pluvial.

Si bien es cierto que no puede dejar de destacarse el valor documental de los trabajos mencionados previamente, los mismos no proporcionan información confiable para la estimación de lluvias de diseño. Ante esta situación, y en la ausencia de otros antecedentes pluviométricos significativos, en este estudio se consideran metodologías basadas en criterios de regionalización.

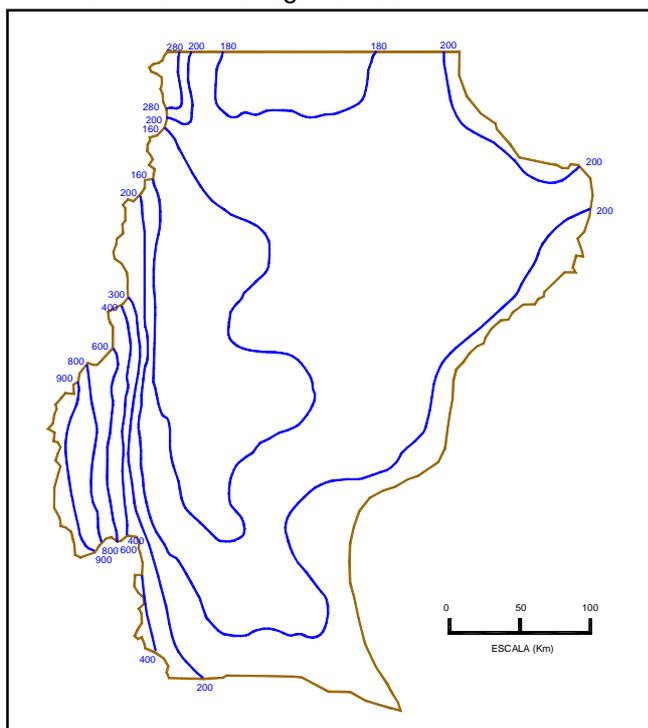


Figura 16. Isohietas Medias Anuales de la Provincia de Santa Cruz

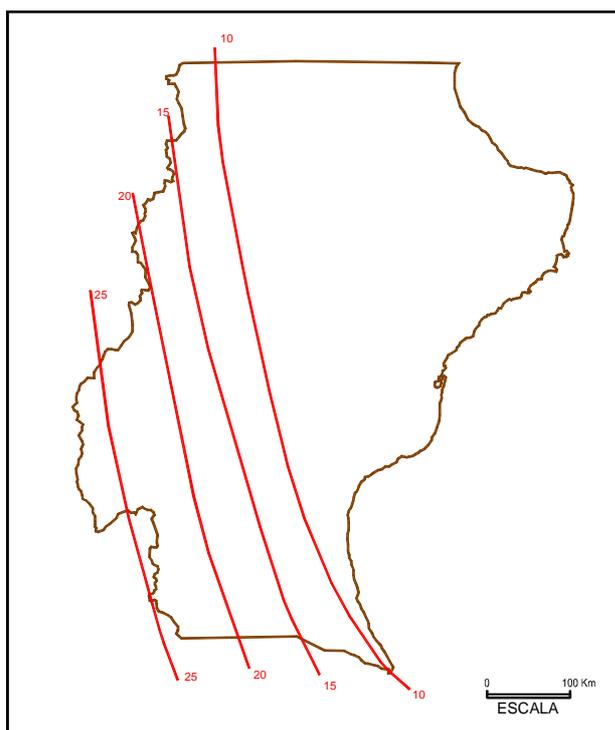


Figura 17. Isolíneas de Lluvias medias de 1 h de duración (Devoto, 2002)

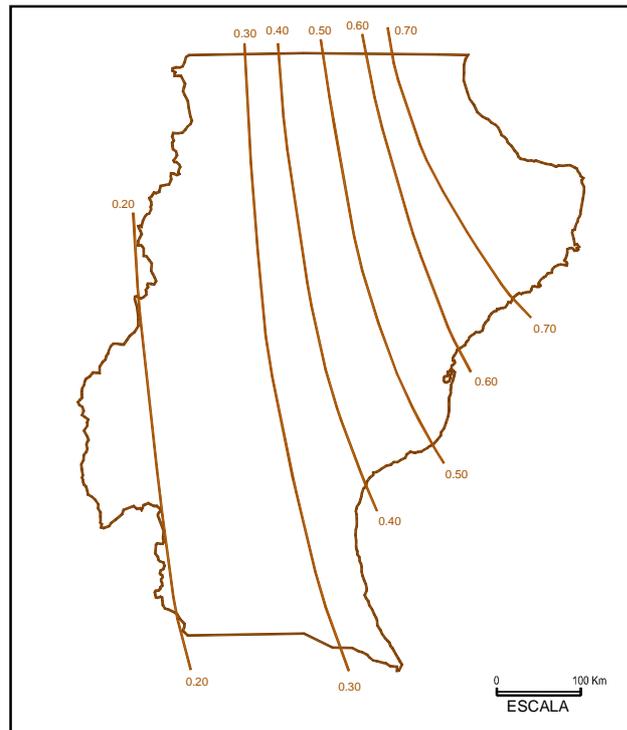


Figura 18. Isolíneas de Coeficientes de Variación para Lluvias de 1 h de duración (Devoto, 2002).

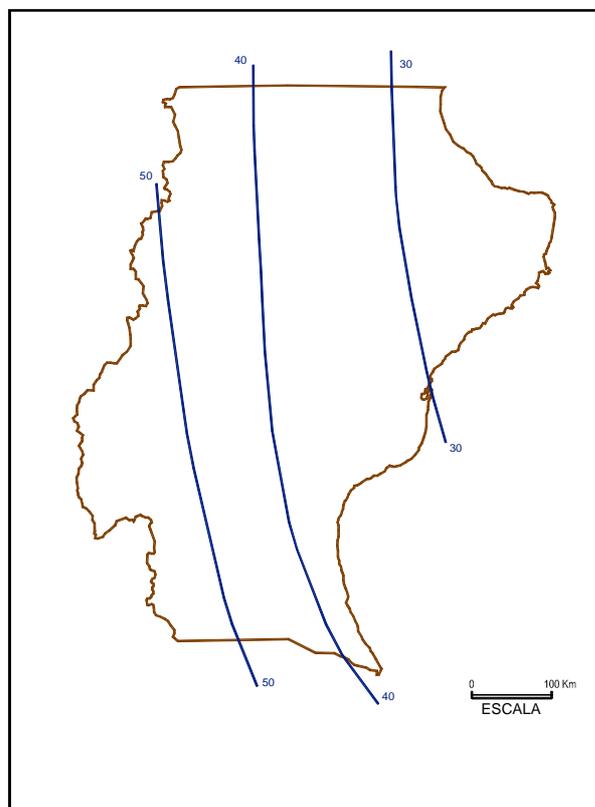


Figura 19. Isolíneas de Lluvias Medias de 12 h de duración (Devoto 2002).

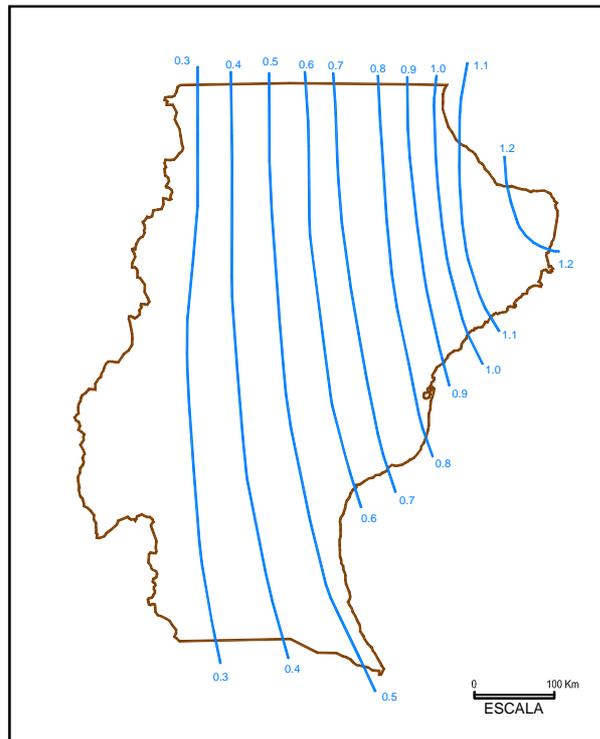


Figura 20. Isolíneas de Coeficientes de Variación para Lluvias de 12 h de duración (Devoto, 2002).

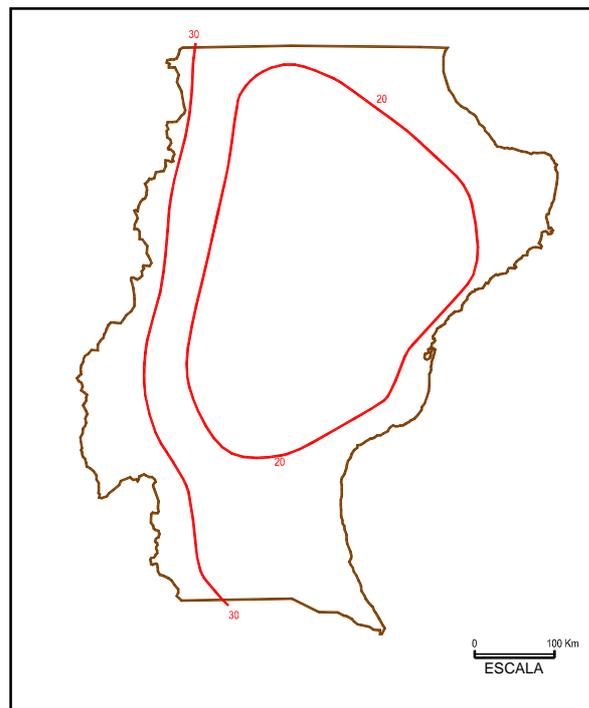


Figura 21. Isohietas de Intensidades horarias para una recurrencia de 25 años (extractadas de Ruhle, 1966).

Criterio de Regionalización

Teniendo en cuenta los estudios pioneros de Rühle (1966) y otras metodologías de regionalización más modernas, Devoto (2002) presentó un procedimiento sencillo para estimar curvas IDF en regiones sin registros pluviográficos. El método se basa en una serie de hipótesis, de las cuales una de la más significativa consiste en admitir que las precipitaciones intensas asociadas a cualquier duración en la región se ajustan a la distribución de probabilidad de valores extremos tipo I (EV1) o distribución de Gumbel.

La función de distribución de Gumbel puede escribirse de la siguiente manera:

$$P(X) = 1/T_R = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Donde P(X) indica la probabilidad de que la variable alcance un valor establecido, TR es el período de retorno en años, mientras que y es la variable reducida de Gumbel, que se puede escribir de la siguiente forma:

$$y = \frac{X - \mu_x + 0.45 \sigma_x}{0.7797 \sigma_x}$$

Donde μ_x y σ_x son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la población. Aplicando los correspondientes valores muestrales:

$$y = \frac{X - \bar{X} + 0.45 S_x}{0.7797 S_x}$$

A partir de esta expresión se puede obtener el valor de la variable X como función de las restantes. La ecuación resultante, conocida como función inversa de Gumbel, es:

$$X = \bar{X} \left\{ 1 - 0.45 C_v - 0.7797 C_v \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right] \right\}$$

Donde: $C_v = \sigma_x / \mu_x \leftarrow S_x / \bar{X}$ es el coeficiente de variación.

En esta última expresión, para un período de retorno dado, el valor de la variable resulta una función de la media y del coeficiente de variación.

A partir de una compilación de datos pluviográficos de 26 localidades de la República Argentina, analizados y procesados por diversos investigadores, Devoto (2002) presentó una serie de mapas elaborados en función de un criterio de regionalización de variables de interés para la elaboración de curvas intensidad - duración - frecuencia en zonas sin registros pluviográficos. Las variables mapeadas a través de isolíneas son la media y el coeficiente de variación para precipitaciones máximas de 1 hora y 12 horas de duración, respectivamente (ver figuras N° 5.6, 7 y 8). Es decir, se tienen cuatro mapas con los valores:

$$\bar{X}|_{t_r=1h} ; \bar{X}|_{t_r=12h} ; C_v|_{t_r=1h} ; C_v|_{t_r=12h}$$

Donde t_r indica las correspondientes duraciones. El método se aplica localizando en el mapa el lugar en el cual se desean estimar las curvas IDF, y en base a un proceso de interpolación se estiman los cuatro valores mencionados. A partir de ellos, se calculan los valores de la variable "precipitación intensa" asociada a la duración correspondiente y al período de retorno establecido usando la ecuación de inversión deducida a partir de la distribución de Gumbel. Luego, recordando que la intensidad de precipitación (I) es la tasa temporal de acumulación de lámina de lluvia en un intervalo de tiempo dado, se estiman los valores de I para las duraciones de 1h y de 12h, respectivamente. Así, para cada período de retorno, se tienen las intensidades correspondientes a duraciones de 1h y 12h.

Para encontrar los parámetros de las relaciones IDF es necesario adoptar un modelo matemático para su descripción cuantitativa. A partir de una serie de referencias bibliográficas (e.g., Caamaño y Dasso, 2003) y experiencias previas en varios sitios de Argentina, se considera conveniente el modelo propuesto por Sherman (ecuación Tipo III en la clasificación de Froehlich, 1995):

$$I = \frac{a}{(t_r + b)^c}$$

Donde a,b,c son los parámetros a determinar.

Considerando los aspectos antes presentados, para un período de retorno dado, se tendrán dos puntos de la curva I-D correspondiente (Figura N°10).

Para $t_r = 1 \text{ h}$:

$t_r = t_{r1}$; $I = I_1$

Para $t_r = 12 \text{ h}$:

$t_r = t_{r2}$; $I = I_2$

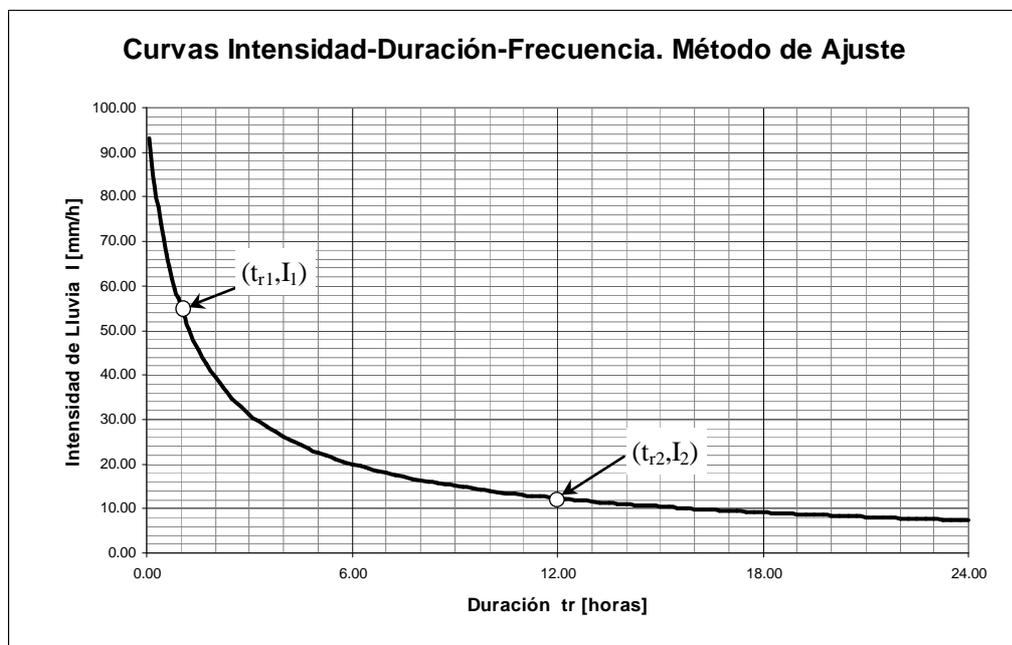


Figura 22. Esquema de definición para la confección de cada curva I-D a partir de dos puntos.

Teniendo en cuenta que la curva debe pasar por esos dos puntos, aplicando la ecuación del modelo de Sherman a cada uno de ellos, se obtienen los valores de los parámetros a y b:

$$a = \left\{ \left[\frac{(I_1 \cdot I_2)^{1/c}}{I_2^{1/c} - I_1^{1/c}} \right] (t_{r_1} - t_{r_2}) \right\}^c \quad b = \left[\left(\frac{a}{I_1} \right)^{1/c} - t_{r_1} \right]$$

En cuanto al parámetro c, el mismo es el que tiene menos variabilidad regional y se lo ha estimado a partir de estudios regionales previos como c = 0.78.

Teniendo en cuenta los aspectos prácticos de la metodología antes presentada, se procedió a la aplicación de la misma para el caso del área de estudio.

Los elementos esenciales obtenidos de los mapas de isolíneas son los siguientes:

$$t_r = 1h \Rightarrow \bar{X} = 12 \text{ mm} , C_v = 0.28$$

$$t_r = 12h \Rightarrow \bar{X} = 44 \text{ mm} , C_v = 0.40$$

A partir de estos datos se determinaron los correspondientes pares de puntos para distintos periodos de retorno. Los mismos se presentan en la tabla siguiente, en la que también se presenta un desarrollo del esquema de cálculo de las intensidades asociadas a las duraciones características.

Tabla 7. Cálculo de las intensidades para varias duraciones y períodos de retorno

t_r	T_R	X_{media}	C_v	X	I
[hs]	[años]	[mm]	[-]	[mm]	[mm/h]
1	2	12	0.28	11.45	11.45
1	5	12	0.28	14.42	14.42
1	10	12	0.28	16.39	16.39
1	15	12	0.28	17.49	17.49
1	20	12	0.28	18.27	18.27
1	25	12	0.28	18.87	18.87
1	50	12	0.28	20.71	20.71
1	100	12	0.28	22.54	22.54
12	2	44	0.40	41.11	3.43
12	5	44	0.40	56.67	4.72
12	10	44	0.40	66.97	5.58
12	15	44	0.40	72.78	6.07
12	20	44	0.40	76.85	6.40
12	25	44	0.40	79.99	6.67
12	50	44	0.40	89.64	7.47
12	100	44	0.40	99.23	8.27

Otro producto que se obtiene con esta metodología está también constituido por las funciones de frecuencia para duraciones de 1h, 12 h y 24 horas, respectivamente. Estas curvas brindan la posibilidad de poder recuperar rápidamente valores característicos de la variable hidrológica asociada a diversos períodos de retorno. Estas curvas se presentan en las siguientes figuras:

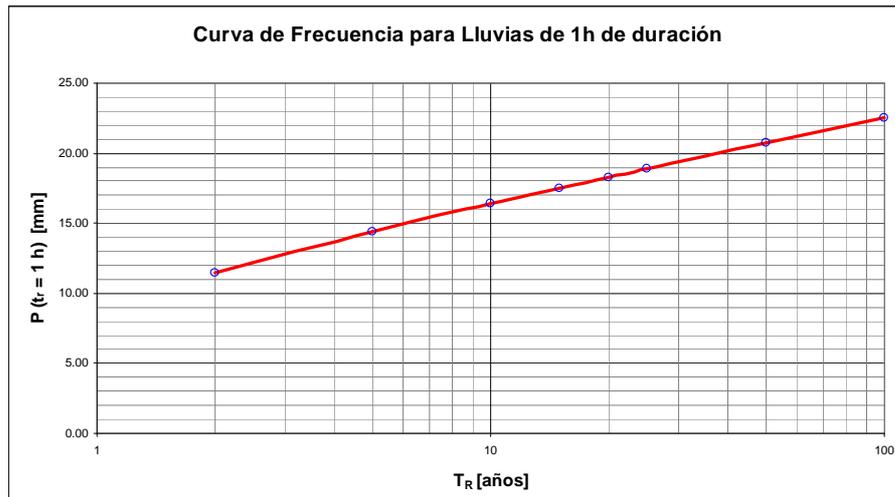


Figura 23. Función de frecuencia para lluvias de 1 hora de duración.

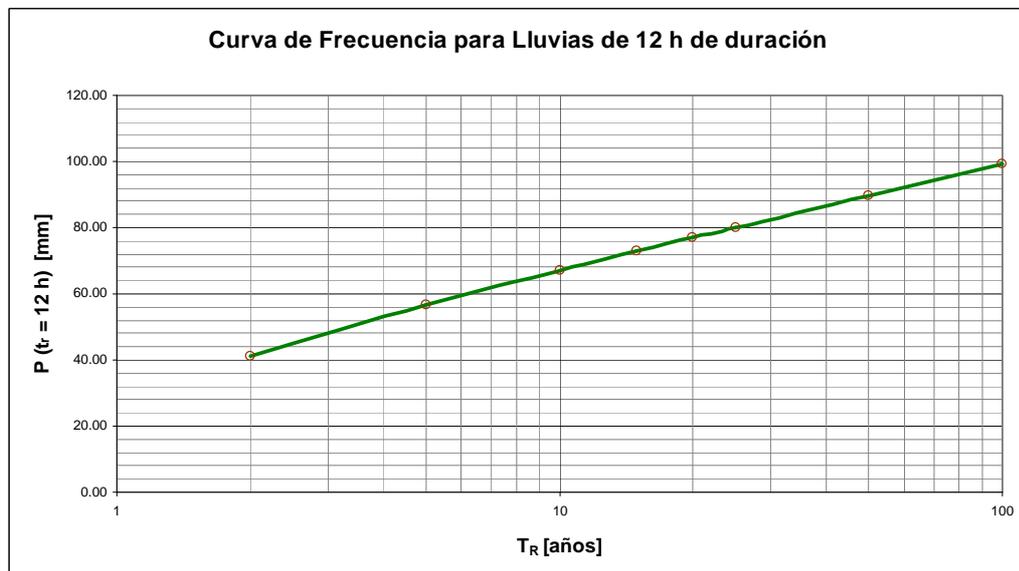


Figura 24. Función de frecuencia para lluvias de 12 horas de duración.

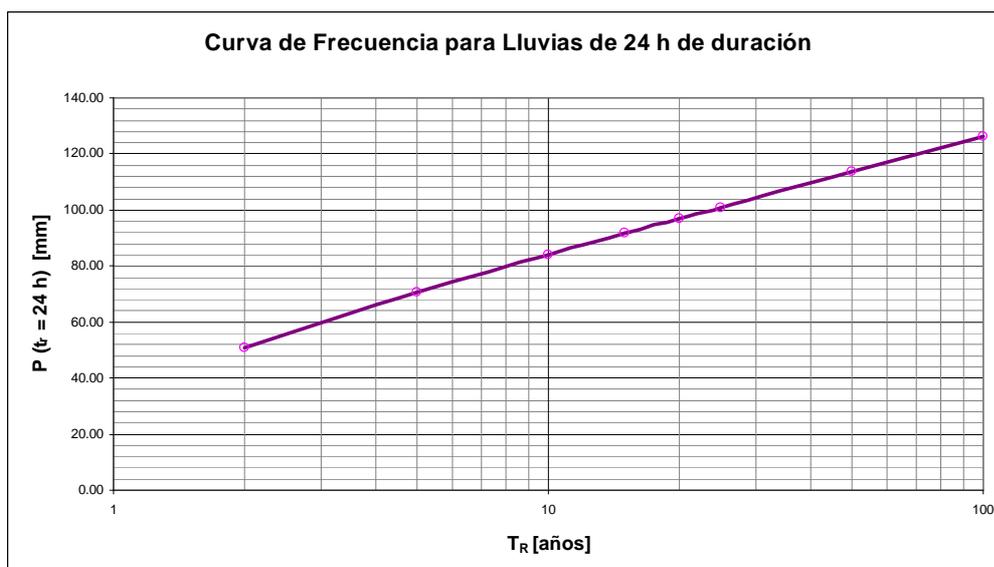


Figura 25. Función de frecuencia para lluvias de 24 horas de duración.

Los parámetros de ajuste obtenidos para la función de Sherman se presentan en la Tabla N° 3, mientras que en la Figura N°22 se presenta la representación gráfica de las curvas IDF. La Figura N°22 muestra un detalle de esas curvas para el rango de duraciones hasta 12 hs y recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años, que son los valores típicos para el diseño hidrológico de obras civiles.

Tabla 8. Parámetros de las curvas I-D-F para la zona de estudio

Ajuste a Curvas IDF del tipo:			$I = a / (t_r + b)^c$				
T_R	t_{r1}	t_{r2}	I_1	I_2	a	b	c
2	1	12	11.45	3.43	26.84	1.98	0.78
5	1	12	14.42	4.72	37.93	2.46	0.78
10	1	12	16.39	5.58	45.40	2.69	0.78
15	1	12	17.49	6.07	49.64	2.81	0.78
20	1	12	18.27	6.40	52.62	2.88	0.78
25	1	12	18.87	6.67	54.91	2.93	0.78
50	1	12	20.71	7.47	62.01	3.08	0.78
100	1	12	22.54	8.27	69.08	3.20	0.78

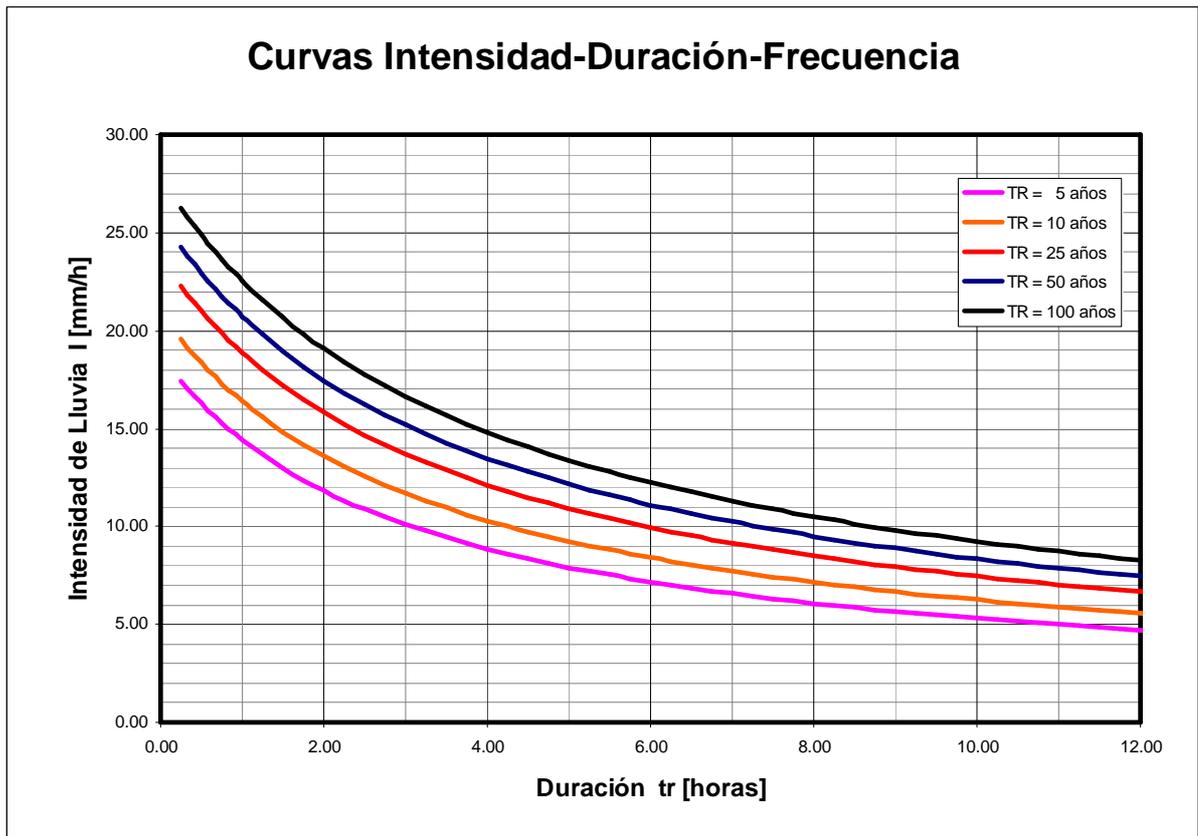


Figura 26. Funciones IDF estimadas para la zona de estudio (Santa Cruz)

En base a los análisis llevados a cabo, y teniendo en cuenta las características del área de estudio y experiencias anteriores en la zona, se considera que el criterio de regionalización aplicado, el cual está basado en el análisis estadístico de datos pluviográficos de 26 estaciones distribuidas en el país, es el que resulta conveniente para la presente situación.

Por lo tanto, y teniendo en cuenta los parámetros que se presentan en la Tabla 3 y las curvas de la Figura N°14, por ejemplo la función ID a usarse para un diseño hidrológico de una recurrencia de 25 años es la siguiente:

$$I = \frac{54.91}{(t_r + 2.93)^{0.78}}$$

Donde I es la intensidad de precipitación en mm/h y t_r la duración en hs.

Asimismo, con la finalidad de disponer de una ecuación generalizada para las curvas IDF en el tramo analizado, se ajustaron los datos a una función del tipo Sherman, obteniéndose la fórmula:

$$I = \frac{30.6 T_R^{0.17}}{(t_r + 2.84)^{0.78}}$$

Con un coeficiente de correlación: $r = 0.9975$.

2. Análisis Hidráulico

Para abordar los estudios hidráulicos necesarios para la traza del camino de acceso a la Villa y Obrador temporario de la represa NK, de manera de poder captar las aguas pluviales de escurrimiento, se recurre al empleo de un método de cálculo empírico denominado Método Racional.

Los períodos de retorno adoptados para el diseño y verificación de las unidades de drenaje serán de 5 y 10 años respectivamente.

Del análisis de escurrimientos, se detecta que los mismos no son permanentes. Los escenarios hidrológicos se evaluarán en base a modelos hidrológicos determinísticos como ser el Método Racional, por tratarse de cuencas cuya superficie no supera los 10 km².

La delimitación de las sub-cuencas se ejecutará a partir del análisis de la información antecedente disponible (cartografía básica, imágenes satelitales, estudios previos, etc.).

Los lineamientos generales seguidos para el desarrollo de este proyecto son los siguientes:

- Permitir una rápida evacuación de las aguas de desagüe de las unidades de drenajes a proyectar.
- Evitar la generación de caudales excesivos.
- Evitar la acumulación de las aguas en las vías de tránsito.

De lo expuesto anteriormente, se desarrollará el estudio hidrológico que permitirá obtener los caudales de proyecto, generados por eventos de precipitación de diseño.

Se desarrollarán los siguientes puntos:

- A) Delimitación y caracterización morfológica de las sub-cuencas de aporte;
- B) Identificación de los coeficientes de rugosidad para cada sub-cuenca;
- C) Precipitación de Diseño;
- D) Modelo de Cálculo;
- E) Análisis de Resultados;

- A) Delimitación y caracterización morfológica de las sub-cuencas de aporte;

A continuación se observa en las siguientes figuras las curvas de nivel correspondientes al sitio de emplazamiento del camino de acceso a Villa y Obrador de la represa NK, extraídas del google earth, que luego serán verificadas con la información analizada de topografía de campo. Se puede advertir las líneas preferenciales de escurrimiento superficial, la pendiente del terreno y la delimitación de la cuenca de aporte.

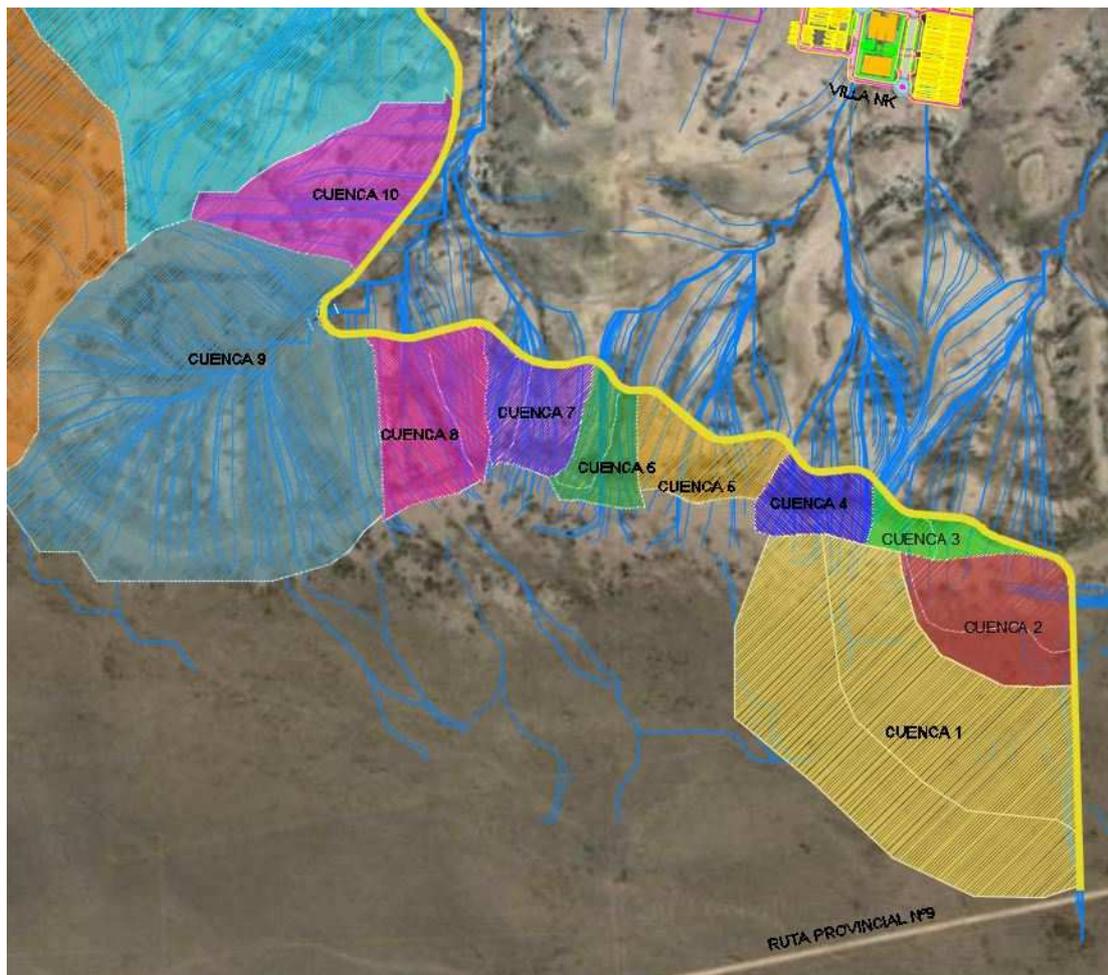


Figura 27. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial. Cuencas 1 a 10

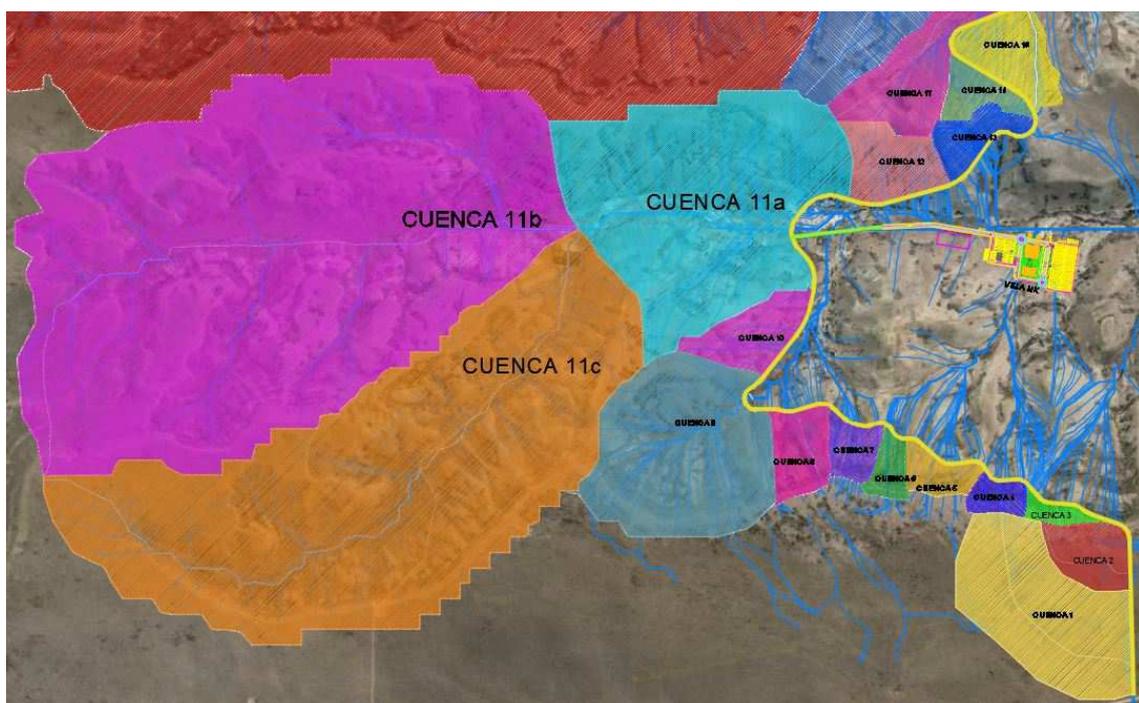


Figura 28. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial. Cuencas 11a a 11c

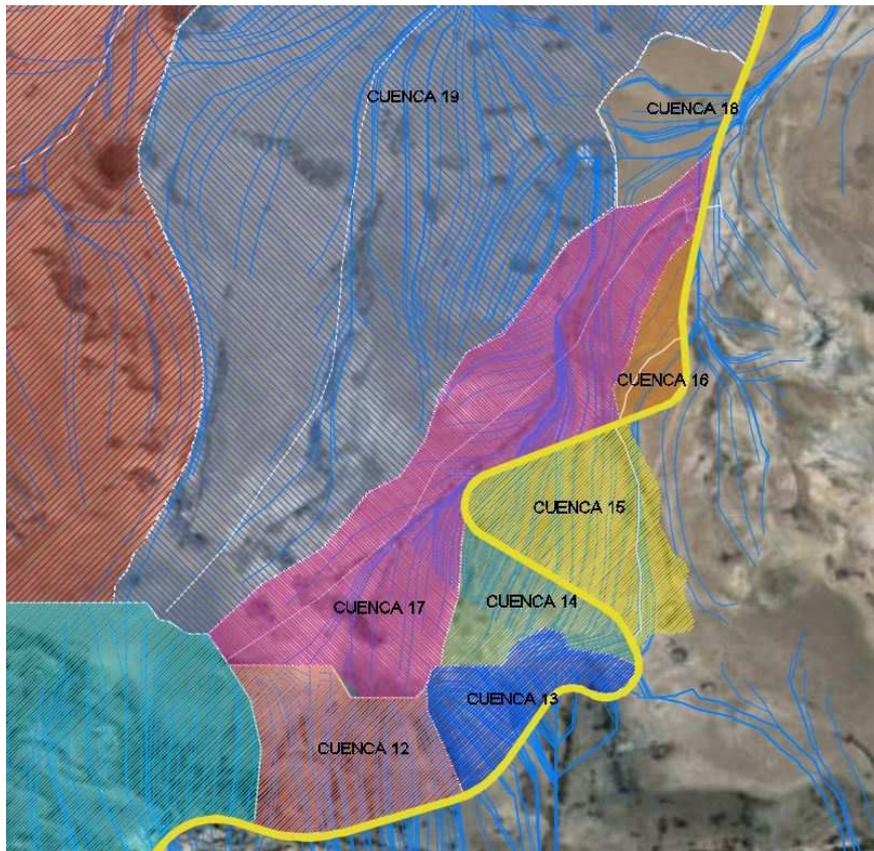


Figura 29. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial. Cuencas 12 a 18

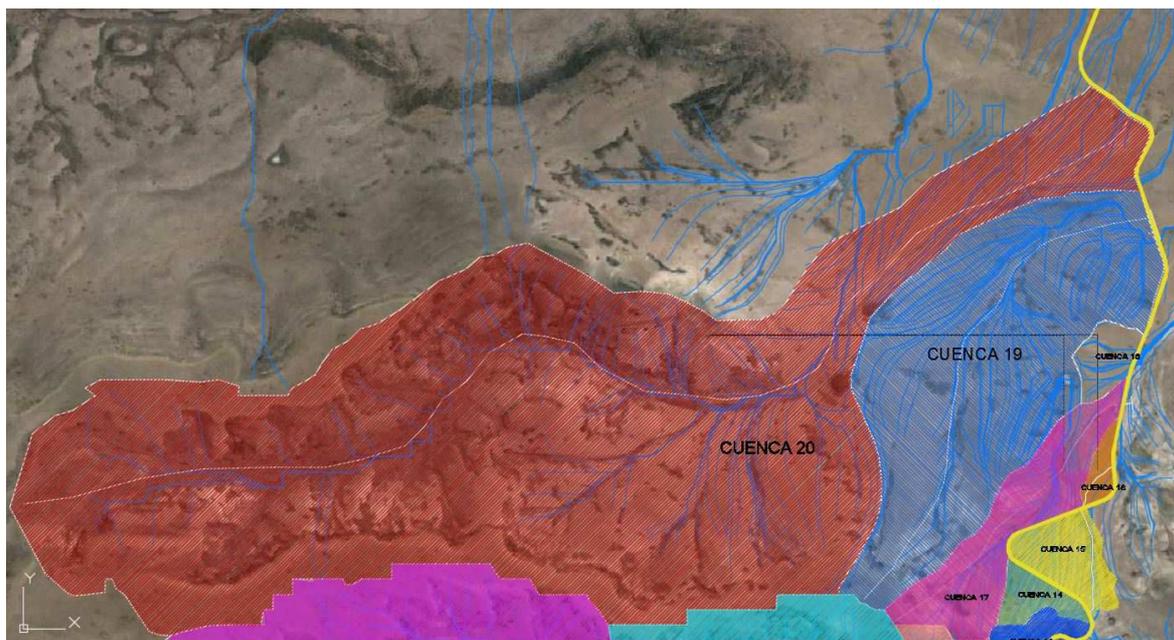


Figura 30. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial. Cuencas 19 a 20

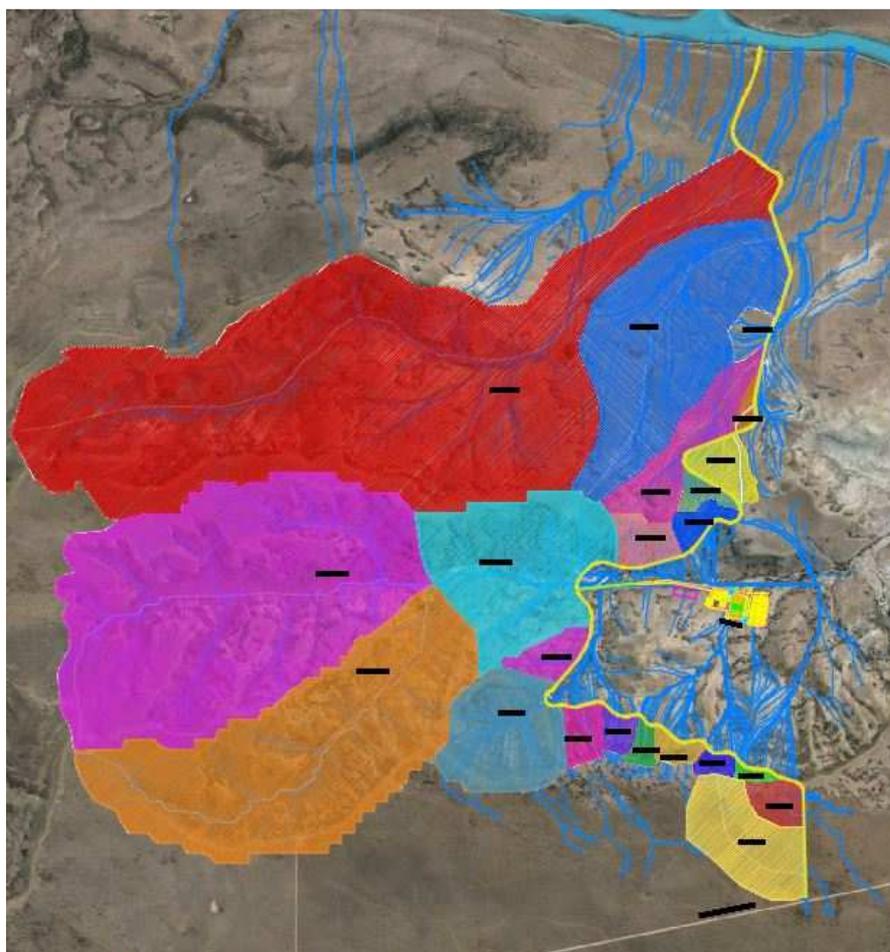


Figura 31. Delimitación de la cuenca de aporte, visualización del escurrimiento superficial.Vista General

Tabla 9. Parámetros Físicos de las cuencas de aporte:

Nombre	Area [Km2]	Cota Entrada[m]	Cota Salida[m]	Longitud[m]	Pendiente[m]
Cuenca 1	0.79	494.09	481.72	1419	0.009
Cuenca 2	0.18	493	486	731	0.010
Cuenca 3	0.05	493	468.55	152	0.161
Cuenca 4	0.07	494	448	324	0.142
Cuenca 5	0.10	497	432	216	0.301
Cuenca 6	0.08	501	419	472	0.174
Cuenca 7	0.13	501	403	333.63	0.294
Cuenca 8	0.17	503	391	441	0.254
Cuenca 9	1.02	510	358	1199	0.127
Cuenca 10	0.23	441	321	683	0.176
Cuenca 11b	6.22	540	324	4510	0.048
Cuenca 11c	4.38	540	324	4912	0.044
Cuenca 11a	1.97	448	287	1573	0.102
Cuenca 12	0.24	433	277	576	0.271
Cuenca 13	0.14	398	300	347	0.282
Cuenca 14	0.12	395	316	397	0.199
Cuenca 15	0.25	329	275	659	0.082
Cuenca 16	0.06	274	235	313	0.125

Nombre	Area [Km2]	Cota Entrada[m]	Cota Salida[m]	Longitud[m]	Pendiente[m]
Cuenca 17	0.65	438	229	2027	0.103
Cuenca 18	0.14	237	218	435	0.044
Cuenca 19	2.73	442	193	3250	0.077
Cuenca 20	9.75	445	170	8016	0.034

Posteriormente con estos datos, se procedió a establecer el comportamiento morfohidrológico de cada cuenca. Para esto, se aplicaron diversas formulaciones que permiten establecer su Tiempo de Concentración (TC). El mismo, puede definirse como el tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración, el área, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área.

Las formulaciones empleadas que permitieron establecer su magnitud, son:

- a) Kirpich (1940) $T_c = 3.978 L_c^{0.77} S_c^{-0.385}$
- b) Johnstone-Cross (1949) $T_c = 3.258 (L_c / S_c)^{0.5}$

Donde:

L_c : Longitud del cauce principal desde el punto de desagüe hasta la divisoria, en Km

S_c : Pendiente media de la cuenca, en m/m

Tabla 10. Tiempos de Concentracion para cada cuenca

Nombre	Tc		Promedio[min]
	Kirpich[min]	Johnstone-Cross[min]	
Cuenca 1	32.33	41.57	36.95
Cuenca 2	18.71	28.47	23.59
Cuenca 3	1.88	3.17	2.53
Cuenca 4	3.54	4.92	4.23
Cuenca 5	1.94	2.76	2.35
Cuenca 6	4.38	5.37	4.87
Cuenca 7	2.74	3.47	3.11
Cuenca 8	3.59	4.29	3.94
Cuenca 9	10.13	10.02	10.08
Cuenca 10	5.79	6.42	6.11
Cuenca 11b	40.88	31.62	36.25
Cuenca 11c	45.11	34.43	39.77
Cuenca 11a	13.56	12.77	13.17
Cuenca 12	4.30	4.75	4.53
Cuenca 13	2.86	3.61	3.24
Cuenca 14	3.64	4.60	4.12
Cuenca 15	7.56	9.24	8.40
Cuenca 16	3.63	5.16	4.39

Nombre	Tc		Promedio[min]
	Kirpich[min]	Johnstone-Cross[min]	
Cuenca 17	16.44	14.45	15.44
Cuenca 18	7.00	10.28	8.64
Cuenca 19	26.51	21.22	23.86
Cuenca 20	72.38	49.80	61.09

B) Identificación de los coeficientes de rugosidad para de la cuenca de aporte;

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación, de su cantidad, de su intensidad y su distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno, del tipo de cobertura vegetal existente; de la interceptación que provoque; del lapso de tiempo que consideremos, etc. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno. Ver tabla siguiente (Aparicio M. 1999)

Tabla 11. Coeficientes de Escorrentia (Aparicio M. 1999)

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentia	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

Se adoptará como coeficiente de rugosidad un valor de C:0.40 – Zona Rural

C) Intensidad de Diseño;

La intensidad de diseño se la calculará de acuerdo a la siguiente expresión tal como se detalló en los incisos anteriores

$$I = \frac{30.6 T_R^{0.17}}{(t_r + 2.84)^{0.78}} \text{ (mm/h)}$$

TR: Tiempo de Retorno, adoptado de 5 años

Tr=duración de la tormenta adoptada de 1 hora (Escenario desfavorable)

Tabla 12. Intensidad de precipitación para cada cuenca en mm/h

Nombre	Intensidad(5 años)	Intensidad(10 años)
Cuenca 1	15.29	17.20
Cuenca 2	16.11	18.12
Cuenca 3	17.62	19.82
Cuenca 4	17.48	19.67
Cuenca 5	17.63	19.84
Cuenca 6	17.43	19.61
Cuenca 7	17.57	19.77
Cuenca 8	17.51	19.70
Cuenca 9	17.04	19.17
Cuenca 10	17.34	19.51
Cuenca 11b	15.33	17.25
Cuenca 11c	15.13	17.02
Cuenca 11a	16.82	18.92
Cuenca 12	17.46	19.65
Cuenca 13	17.56	19.76
Cuenca 14	17.49	19.68
Cuenca 15	17.17	19.31
Cuenca 16	17.47	19.66
Cuenca 17	16.66	18.74
Cuenca 18	17.15	19.29
Cuenca 19	16.09	18.10
Cuenca 20	14.03	15.79

D) Modelo de Cálculo

El método racional se basa en la premisa que el caudal máximo de escorrentía superficial en una cuenca es directamente proporcional al producto del área de la cuenca por la intensidad de precipitación. En términos matemáticos, esta proporcionalidad se expresa de la siguiente manera:

$$Q = fu \cdot CE \cdot I_p \cdot A_c$$

Donde Q es el caudal máximo, CE es el coeficiente de escorrentía, I_p es la intensidad de precipitación, A_c es el área de la cuenca y fu es un factor que depende de las unidades que se empleen para expresar las restantes variables.

Para Q en [m³/s]:

I_p en [mm/h] y

A_c [km²],

Se tiene: fu = 0.278.

La formulación racional, se emplea como un modelo determinístico, postula que mientras ocurre precipitación sobre un área, una porción de la lluvia infiltra a través de la superficie del suelo y la parte restante se transforma en escurrimiento superficial, la cual está determinada por el coeficiente de escorrentía. La otra hipótesis básica

de la fórmula racional es que la intensidad de precipitación debe ser temporal y espacialmente constante, esto es, la tasa de lluvia debe permanecer invariable a lo largo del período total de duración de la tormenta.

Alternativamente, la fórmula racional puede emplearse como un modelo estadístico. En este caso, se supone que las condiciones antecedentes de la cuenca están promediadas, y consecuentemente se adopta la premisa que el intervalo de recurrencia medio del caudal pico que se calcule será el mismo que el de la intensidad de lluvia adoptada, para una duración de la tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca.

Una de las limitaciones más restrictivas para la aplicación del método racional lo constituye el tamaño máximo de las cuencas sobre las que se puede aplicar el procedimiento con una confiabilidad razonable. El mayor inconveniente en la aplicación del método a cuencas grandes, más de 10 km², se expresa por la imposibilidad del mismo de reproducir adecuadamente los procesos de difusión de escorrentía.

Tabla 13. Caudales para cada cuenca en m3/s

Nombre	Q(5 años)[m3/s]	Q(10 años)[m3/s]
Cuenca 1	1.35	1.52
Cuenca 2	0.33	0.37
Cuenca 3	0.10	0.12
Cuenca 4	0.15	0.16
Cuenca 5	0.20	0.22
Cuenca 6	0.16	0.18
Cuenca 7	0.26	0.30
Cuenca 8	0.33	0.37
Cuenca 9	1.93	2.17
Cuenca 10	0.44	0.49
Cuenca 11b	10.61	11.94
Cuenca 11c	7.38	8.30
Cuenca 11a	3.68	4.14
Cuenca 12	0.47	0.52
Cuenca 13	0.26	0.30
Cuenca 14	0.24	0.27
Cuenca 15	0.47	0.53
Cuenca 16	0.12	0.14
Cuenca 17	1.21	1.36
Cuenca 18	0.27	0.31
Cuenca 19	4.89	5.50
Cuenca 20	15.21	17.11

E) Calculo de Alcantarillas

Con estos caudales calculados se realizó el diseño de las alcantarillas con la ayuda del programa HY8 desarrollado por la Federal Highway Administration del departamento de transporte de Estados Unidos. Se utilizaran alcantarillas de tipo Cajón premoldeadas de H^o Armado de dimensiones mínimas adoptadas por razones de facilidad de mantenimiento y limpieza L=1.00m y H=0.80m donde L es la luz de la alcantarilla y H la altura de la misma. Se dispuso las siguientes alcantarillas para el escurrimiento de los cursos superficiales marcados.

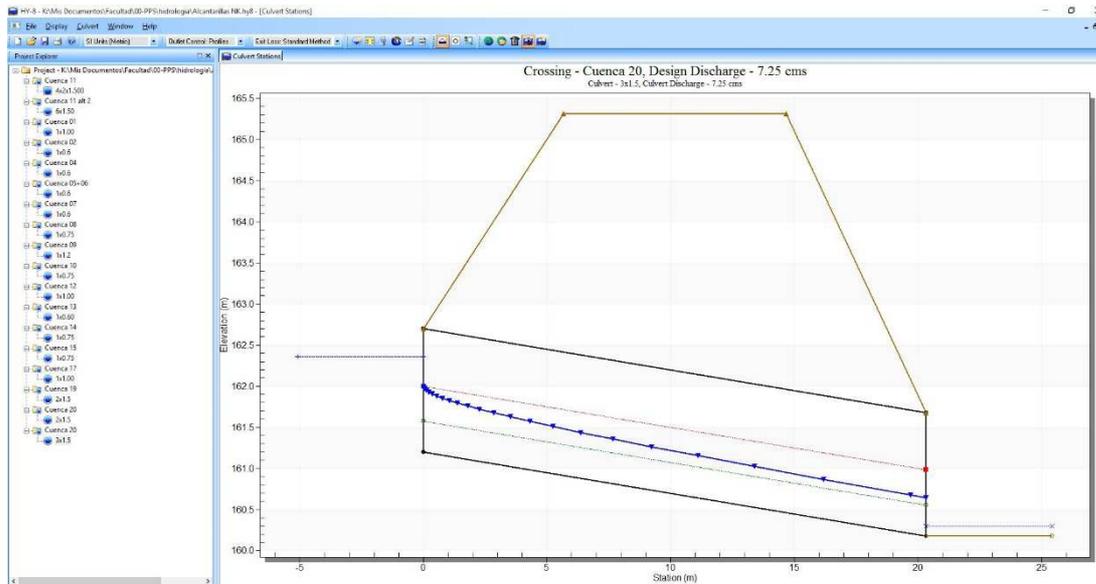


Figura 32. Utilizacion del programa HY8

Tabla 14. Planilla de Alcantarillas Transversales

Nº	Progresiva	Nº Bocas	L [m]	H [m]	Cuenca
1	0+165.96	1.00	1.00	1.00	Cuenca 1
2	0+766.73	1.00	1.00	0.80	Cuenca 2
3	1+953.90	1.00	1.00	0.80	Cuenca 3 y 4
4	2+654.14	1.00	1.00	0.80	Cuenca 5 y 6
5	2+961.06	1.00	1.00	0.80	Cuenca 7
6	3+402.71	1.00	1.00	0.80	Cuenca 8
7	3+706.21	1.00	1.50	1.00	Cuenca 9
8	4+309.08	1.00	1.00	0.80	Cuenca 10
9	5+157.44	4.00	2.00	1.50	Cuenca 11a 11b 11c
10	5+649.43	1.00	1.00	0.80	Cuenca 12
11	6+528.01	1.00	1.00	0.80	Cuenca 13
12	7+197.08	1.00	1.00	0.80	Cuenca 14
13	8+031.18	1.00	1.00	0.80	Cuenca 15
14	8+845.16	1.00	1.00	1.00	Cuenca 16 y 17
15	9+985.44	2.00	2.00	1.00	Cuenca 18 y 19
16	10+622.45	2.00	2.00	1.00	Cuenca 20
17	10+931.23	3.00	2.00	1.00	Cuenca 20

J) CONCLUSIONES

Durante mi practica supervisada he tratado de aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera, muchos de ellos también los he aprendido durante mi experiencia laboral anterior en otra empresa vial y afianzado durante el cursado de la materia transporte II cuya bibliografía ha sido un material de consulta permanente así como también he tenido que consultar la bibliografía de otras materias como Hidrología y Obras Hidraulicas.

Tambien he podido comprobar nuevamente las grandes ventajas de la de la utilización del software de diseño vial Civil3D en todo lo que es análisis de alternativas, y como un buen conocimiento del mismo puede llevar a grandes ahorros de tiempo en las tareas de diseño y de computo. Tambien me fueron muy útiles otros programas que se complementan con el Civil3D como pueden ser programas para adquisición de imágenes satelitales, programas para procesamiento y georeferenciacion de imágenes y modelos de terreno globales, programas para diseño hidráulico, etc.

En el caso de los caminos de acceso he tenido la posibilidad de interactuar muchas veces con diversos actores de la obra como son mis ingenieros supervisores, topografos, jefes de obra, ingenieros apostados en la obra, ingenieros hidráulicos y geólogos los cuales me han aportado sus opiniones, experiencia y conocimientos así como también en algunas ocasiones me he tenido que adaptar a sus formas de trabajo y a sus tiempos.

A su vez al no tener la posibilidad de visitar la obra por la lejanía de la misma y basarme mucho para el trazado preliminar en imágenes satelitales y modelos topograficos globales (SRTM) muchas veces he tenido que adaptar el proyecto siguiendo las opiniones de la gente de obra (jefes de obra, topografos, otros ingenieros) quienes por estar en la misma podían tener una visión mas definida o real de los mejores lugares desde el punto de vista topográfico para realizar el camino o en otras ocasiones me advirtieron de lugares complicados desde el punto de vista de la hidrología o de la calidad del suelo. Asimismo otras veces he tenido que descartar esas sugerencias utilizando mi propio criterio y la información recibida.

Todas estas interacciones algunas positivas, otras negativas me han hecho ganar en experiencia y han sido enriquecedoras y seguramente me servirán para mi futuro profesional.

K) REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berardo M., Baruzzi A., Vanoli G., Freire R., Tartabini, M. (2008): Principios de Diseño Geométrico Vial
- Ruhle F. (1967): Normas de Diseño Geométrico de Caminos Rurales DNV
- Caamaño Nelli, G. & Dasso, C.M. (2003): Lluvias de Diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias. Universitas, Editorial Universitaria, Córdoba, Argentina.
- Campos Aranda, D.F. (2001): "Contraste de cinco métodos de ajuste de la distribución GVE en 31 registros históricos de eventos máximos anuales". Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XVI, No. 2, abril-junio de 2001, pp. 77-92.
- Campos Aranda, D.F. (1998): "Hidrología Probabilística: Conceptos y Procedimientos", Ciencia y Desarrollo, México DF, pp. 58-69.
- Chow, V. T., D. R. Maidment, L. W. Mays (1994): Hidrología Aplicada. McGraw Hill Interamericana S. A., México D.F.
- Devoto, G.A. (2002): "Regionalización de Lluvias Intensas en Argentina". Memorias del XIX Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina [ISBN N° 987-20378-0-9, Libro + CD-ROM].
- Fernandez, P. (1983): "Revisión de Hidrología Determinística". Notas del Curso sobre Técnicas Modernas de Predicción en Hidrología. Centro Regional Andino, INCyTH. Mendoza, Argentina.
- Franceschi, L. E. (1984): Drenaje Vial. Ed. Fundación J. J. Aguerrevere, Fondo Editorial del Colegio de Ingenieros de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Froehlich, D.C. (1995): "Intermediate-Duration-Rainfall Intensity Equations". Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 10, pp. 751-756.
- Koutsoyiannis, D., D. Kozonis, and A. Manetas (1998): "A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships". Journal of Hydrology, 206(1-2), pp. 118-135.
- Maidment, D.R. (Editor) (1993): "Handbook of Hydrology", McGraw Hill Book Co., New York, USA.
- McCuen, R.H. (1998): Hydrologic Analysis and Design (2nd ed.). Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, N.J., USA.
- Ponce, V. M. (1989): Engineering Hydrology: Principles and Practice, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Rossi, F., Fiorentino, M. & Versace, P. (1984): "Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis". Water Resources Research, AGU, Vol. 20, pp. 847-856.
- Rühle, F.G.O. (1966): "Determinación del Derrame Máximo Superficial de las Cuencas Imbríferas", Revista La Ingeniería N°987, Centro Argentino de Ingenieros, Bs. As., Argentina. También Circular Oficial de la SEOP - Dirección Nacional de Vialidad.
- SEOP - Dirección Nacional de Vialidad (1966): "Gráficos Hidráulicos para el Diseño de Alcantarillas", Traducción del original del Bureau of Public Roads de EE UU (1964), por F. G. O. Rühle, Buenos Aires, Argentina.
- Stedinger, J. R.; R. M. Vogel and E. Foufoula-Georgiou (1993): "Frequency Analysis of Extreme Events". Ch. 18 Handbook of Hydrology, D. R. Maidment (Ed.). McGraw-Hill, Inc. New York, 1993.
- Viessman, W. & Lewis, G.L. (1997): Introduction to Hydrology (4th Edition). Addison-Wesley Pub Co., USA

ANEXO A

PLANOS

ANEXO B

FOTOS DE LA OBRA