



**UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

“Diseño Estructural y Análisis de Método Constructivo
de Pavimento para Proyecto Municipal de
Remodelación Avenida Independencia – Pichidegua”

Por

Julio Eduardo Aguirre Leiva

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en
Ciencias de la Ingeniería y Título de Ingeniero Civil

Profesor Guía: Guillermo Brante Lara

Co-referencia: José Andrés Pinto Miranda

Diciembre, 2021

Agradecimientos

Primero quiero darle las gracias a mis padres Jaime y Hortensia, por apoyarme, darme la vida y entregarme las herramientas necesarias para vivirla, a mi hermano Jaime por darme una noción del camino profesional y darme fortaleza para hoy no tener miedo al siguiente paso. Agradecer también a mi pareja, Nasstasia, por acompañarme, apoyarme y darme amor en todo momento, incluso cuando las cosas estaban mas oscuras.

Por otra parte quiero agradecer a mis amigos del colegio Diego y Romina por ser un apoyo desde hace muchos años, a mis compañeros y amigos de Universidad Valeria, Ignacio, Sergio, Laura, Tiare, Cristian, entre otros, por acompañarme y dar la alegría necesaria en estos años de altos y bajos, un especial agradecimiento a mi amigo y compañero José orientarme y retroalimentarme no solo en mi etapa de formación si no que para realizar este trabajo de título.

Por supuesto a mi profesor guía Guillermo Brante por su disposición y retroalimentación, así como al Ingeniero José Pinto por darme la oportunidad de crecer profesionalmente, su buena voluntad, templanza, apoyo y objetividad. También dar un agradecimiento especial a todos mis profesores a lo largo de estos años, quienes me hicieron llorar, reír, me forzaron a superar mis límites y claro, me enseñaron lo que hoy sé.

Dedicado a la memoria de Jaime Aguirre Pérez

"Este es el resultado de nuestro esfuerzo y tu fe en mi, prometo seguir adelante y hacerte sentir orgulloso donde quiera que estés. Te amo papá"

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I	8
1. Descripción de trabajo.....	8
1.1. Planteamiento del problema	8
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo principal	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. Organización del documento	11
1.4. Alcances del trabajo.....	12
CAPITULO II	13
2. Revisión bibliográfica	13
2.1. Clasificación de caminos	13
2.1.1. Clasificación legal de caminos	13
2.1.2. Clasificación administrativa	13
2.1.3. Clasificación funcional de diseño.	14
2.2. Pavimento	15
2.2.1. Pavimento flexible.....	15
2.2.2. Pavimentos rígidos	17
2.3. Método AASHTO.	18
2.3.1. Ecuación de diseño	18
2.3.2. Serviciabilidad.....	19
2.3.3. Solicitaciones.....	19
2.3.4. Confiabilidad.	19
2.3.5. Módulos resilientes y elásticos.	20
2.3.6. Coeficiente de drenaje.....	21
2.3.7. Coeficientes estructurales	22
2.4. Diseño geométrico	24
2.4.1. Alineamiento recto	24
2.4.2. Curvas.....	25
2.4.3. Clotoides	26
2.5. Drenaje urbano longitudinal	27
2.5.1. Escurrimiento en vías públicas	27
2.5.2. Tiempo de concentración	28
2.5.3. Estimación de caudal.....	29
2.5.4. Perfiles transversales de calles.	30
2.5.5. Capacidad hidráulica de las calles	30
2.6. Método constructivo.....	31
2.6.1. Método rubblizing	31
2.6.2. Ventajas del uso del método Rubblizing con Rompedor Resonante	33
CAPITULO III	34
3. Metodología de trabajo.....	34
3.1. Recopilación de información	34
3.1.1. Estudio topográfico	34
3.1.2. Estudio de tránsito	34
3.1.3. Estudio geotécnico	34
3.1.4. Estudio climático e hidrológico	34
3.2. Diseño	34
3.3. Análisis de resultados	35
3.4. Conclusión y Comentarios	35
3.5. Confeción de Planos y Especificaciones técnicas.....	35

CAPITULO IV	36
4. Datos y condiciones actuales de la avenida	36
4.1. Condiciones Topográficas	36
4.2. Condiciones de Tránsito	36
4.2.1. Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).....	36
4.2.2. Tasa de Crecimiento.....	37
4.2.3. Factor de ejes equivalentes.....	37
4.3. Condiciones Climáticas e Hidrológicas.....	38
4.3.1. Datos de precipitación y transporte de aguas lluvias	38
4.4. Condiciones geotécnicas y estructura existente	44
CAPITULO V	46
5. Diseño	46
5.1. Diseño estructural	46
5.1.1. Ejes equivalentes.....	46
5.1.2. Confiabilidad	47
5.1.3. Condiciones de serviciabilidad	47
5.1.4. Módulo resiliente.....	47
5.1.5. Número estructural	48
5.2. Revisión geométrica.....	52
5.2.1. Parámetros de curvas.....	52
5.2.2. Parámetros de rectas	54
5.2.3. Diagramas de Peraltes	54
5.3. Drenaje urbano superficial	59
5.3.1. Tiempo de concentración	59
5.3.2. Periodo de retorno de tormenta.....	60
5.3.3. Intensidad de lluvia	60
5.3.4. Coeficiente de escurrimiento	60
5.3.5. Caudal de transporte	60
5.3.6. Escurrimiento superficial.....	60
5.4. Sumideros	69
5.4.1. Tipos de sumideros	69
5.4.2. Capacidad máxima de sumideros	70
5.4.3. Capacidad de diseño de sumideros	71
5.4.5. Sumideros para costado norte del camino	72
5.4.6. Sumideros para el costado sur del camino	72
CAPITULO VI	75
6. Método Constructivo	75
6.1. Fresado de pavimento asfáltico.....	75
6.2. Trituración y Pulverización de losa de hormigón.....	76
6.3. Nivelación.....	76
6.4. Compactación	77
6.5. Recapado.....	78
CAPITULO VII	79
7. Conclusiones	79
7.1. Sobre objetivos planteados.....	79
7.2. Sobre el diseño	79
7.3. Sobre método constructivo	79
7.4. Comentarios finales	80
CAPITULO VIII	81
8. Bibliografía.....	81
CAPITULO IX	84
9. Anexos.....	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1.- Ubicación centro de Pichidegua y Avenida Independencia.	8
Figura 1.2.- Imagen de condiciones actuales.	9
Figura 1.3.- Imagen de condiciones actuales.	10
Figura 2.1.- Esquema de composición de pavimentos flexibles [5].	15
Figura 2.2.- Esquema de composición de pavimentos rígidos [5].	17
Figura 2.3.- Esquema del comportamiento y diferencia entre pavimento rígido y flexible.	17
Figura 2.4.- Elementos de una curva circular [9].	25
Figura 2.5.- Familia de clotoides - Magnitudes según parámetro [6].	26
Figura 2.6.- Ejemplo de sección transversal alternativa en vías locales y de servicio con coronamiento al centro y cuneta a ambos lados de la calzada [10].	30
Figura 2.7.- Ejemplo de sección transversal alternativa en vías locales y de servicio con pendiente transversal única y cuneta a un solo lado de la calzada. Opcionalmente la cuneta podría diseñarse fuera de la calzada [10].	30
Figura 2.8.- Aplicación de drop hammer, como método para producir la trituración/pulverización del pavimento [11].	32
Figura 2.9.- Patrón de fractura inducido en la losa de hormigón por el rompedor resonante [11].	32
Figura 3.1.- Esquema de trabajo para Proyecto de Título.	35
Figura 4.1.- Ubicación de punto de medición para TMDA respecto a avenida Independencia.	36
Figura 4.2.- Isolíneas de precipitación máxima diaria para periodo de retorno de 10 años en la región de O'higgins [15] con ubicación aproximada de Avenida Independencia.	39
Figura 4.3.- Gráfica con Curvas IDF para distintos periodos de retorno.	41
Figura 4.4.- Curvas de Nivel cercanas a Avenida Independencia.	42
Figura 4.5.- Áreas aportantes para descarga de aguas lluvias.	42
Figura 4.6.- Esquema de estructuración actual de pavimento.	45
Figura 5.1.- Esquema de estructuración prevista para rehabilitación de pavimento.	49
Figura 5.2.- Esquema de estructuración final para rehabilitación de pavimento.	51
Figura 5.3.- Planta de curvas de Avenida Independencia.	52
Figura 5.4.- Desarrollo de peralte en curva circular sin curva de enlace, con giro alrededor del eje de la calzada [6].	56
Figura 5.5.- Diagrama de peraltes general para cada curva de Avenida Independencia.	57
Figura 5.6.- Esquema de puntos relevantes para determinar la pendiente longitudinal.	61
Figura 5.7.- Esquema geométrico simplificado de sección transversal de un camino.	63
Figura 5.8.- Esquema simplificado de borde de cuneta.	64
Figura 5.9.- Esquema simplificado de geometría transversal de la cuneta con zarpa.	64
Figura 5.10.- Diagrama de cuneta a implementar en condición de capacidad máxima.	68
Figura 5.11.- Sumideros tipo SERVIU [10].	70
Figura 6.1.- Proceso de fresado (imagen referencial) [17].	75
Figura 6.2.- Rompedor resonante para proceso de rubblizing (imagen referencial) [18].	76
Figura 6.3.- Motoniveladora (imagen referencial) [19].	77
Figura 6.4.- Rodillo vibrador (imagen referencial) [20].	77
Figura 6.5.- Pavimentadora de asfalto (imagen referencial) [21].	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Clasificación administrativa de los caminos. Distribución porcentual por Clase [3].	14
Tabla 2.2.- Clasificación de los tipos de pavimentos flexibles [7].	16
Tabla 2.3.- Vida de diseño [6].	19
Tabla 2.4.- Nivel de Confianza y valores de S_o [6].	20
Tabla 2.5.- Calidad de drenaje de Bases y Subbases [6].	21
Tabla 2.6.- Coeficientes de drenaje (m_i) según [6].	22
Tabla 2.7.- Coeficientes estructurales en condiciones normales de diseño [6].	23
Tabla 2.8.- Descripción de elementos de curva horizontal [9].	25
Tabla 2.9.- Condiciones límites para evacuación de aguas lluvias [10].	27
Tabla 2.10.- Condiciones límite para evacuación de aguas lluvias según tipo de vía [10].	27
Tabla 2.11.- Expresiones para tiempo de concentración dependiendo de la superficie de escurrimiento [10].	28
Tabla 2.12.- Coeficiente de rugosidad de Manning según superficie de escurrimiento [10].	29
Tabla 4.1.- Datos de tránsito de ruta H-76 hacia Pichidegua [13].	37
Tabla 4.2.- Pesos máximos por eje y sus combinaciones [6].	37
Tabla 4.3.- Cálculo de factor de ejes equivalentes.	38
Tabla 4.4.- Coeficientes de Frecuencia para estación pluviométrica Llallauquén [6].	40
Tabla 4.5.- Coeficientes de duración para 10 años de periodo de retorno para la estación pluviométrica Llallauquén [6].	40
Tabla 4.6.- Áreas aportantes de aguas lluvias para Avenida Independencia	43
Tabla 4.7.- Coeficientes de escurrimiento según superficie precipitada.	44
Tabla 4.8.- Cartilla de Diseño de Pavimentos de Hormigón [9].	44
Tabla 4.9.- Características de capas pavimento de hormigón para una vía de Servicio con un C.B.R de subrasante mayor a 20%.	44
Tabla 5.1.- Resumen de cálculo de ejes equivalentes según tránsito de vialidad.	47
Tabla 5.2.- Datos de Confiabilidad.	47
Tabla 5.3.- CBR de subrasante obtenido de informe geotécnico - calle Sargento Aldea [16].	47
Tabla 5.4.- número estructural, calculado con ecuaciones (2.1) y (2.2).	48
Tabla 5.5.- Datos correspondientes a subbase granular	49
Tabla 5.6.- Datos correspondientes a base de hormigón triturado	49
Tabla 5.7.- Resumen de número estructural efectivo	50
Tabla 5.8.- Resumen de número estructural para capas asfálticas	50
Tabla 5.9.- Coeficiente estructural de capas asfálticas a_1 .	51
Tabla 5.10.- Especificaciones de curvas de Avenida Independencia.	53
Tabla 5.11.- Radios mínimos absolutos en curvas horizontales [6].	53
Tabla 5.12.- Velocidad asociada a curvas existentes.	53
Tabla 5.13.- Longitudes de rectas Avenida Independencia según Figura 5.3.	54
Tabla 5.14.- Peraltes mínimos para las diferentes curvas.	56
Tabla 5.15.- Valores admisibles de pendiente relativa al borde (PRB) [6].	57
Tabla 5.16.- Datos para diagrama de peraltes de acuerdo con la Figura 5.5.	58
Tabla 5.17.- Tiempos de concentración según formulas (2.19), (2.20) y (2.21).	59
Tabla 5.18.- Intensidad de lluvia para tormenta de 10 [min] de duración.	60
Tabla 5.19.- Datos de pendiente, área aportante y caudales para diseño y verificación.	61
Tabla 5.20.- Datos de pendiente, área aportante y caudales para diseño y verificación (continuación).	62

Tabla 5.21.- Cálculo de sección transversal de cuneta simple necesaria para transporte de caudal aportante.....	65
Tabla 5.22.- Cálculo de sección transversal de cuneta con zarpa para transporte de caudal aportante.	66
Tabla 5.23.- Cálculo de sección transversal de cuneta con zarpa para transporte de caudal de verificación.	67
Tabla 5.24.- Geometría y máximo porteo de cada tramo de camino de acuerdo con sección de cuneta utilizada.	68
Tabla 5.25.- Características geométricas y eficiencia de los sumideros SERVIU [10].	71
Tabla 5.26.- Resumen de cálculo de capacidad máxima de sumideros S1 y S2 para tramos de descarga.....	72
Tabla 5.27.- Cálculo de distancia entre sumideros utilizados para controlar porteo de costado sur de camino.....	73
Tabla 5.28.- Cantidad de sumideros para cada parte de largo D de los tramos de descarga de aguas lluvias.....	74

CAPITULO I

1. Descripción de trabajo

1.1. Planteamiento del problema

Se considera que una de las necesidades básicas del ser humano es la comunicación, por lo que es importante dar las condiciones a la comunidad para poder conectarse con sus pares o con el exterior, por la razón que se estime conveniente, de manera cómoda, segura y eficiente. El ingeniero civil es un profesional con el conocimiento apropiado para realizar un diseño de caminos que no sólo sea compatible con las características mecánicas y topográficas del suelo, si no que también buscar solución considerando las limitaciones existentes.

Pichidegua es una comuna pequeña dedicada principalmente a la agricultura y ganadería, ésta posee aproximadamente 20.000 habitantes [1], una superficie de 320 km² [2] y está ubicada en el valle central de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, como se muestra en la Figura 1.1.

Las calles de la comuna son utilizados por los habitantes en base a diferentes necesidades de transporte de la comunidad, considerando como criterios básicos mínimos la seguridad; buena señalización y el confort que entrega un camino, donde es posible observar que algunas de estas vías satisfacen las necesidades existentes pero su cumplimiento con estos criterios es cuestionable. Dentro de estos casos se destaca la Avenida Independencia, la cual es la ruta de acceso principal a la mayor parte del comercio habitual, servicios básicos, dependencias de empresas u oficinas privadas y estatales, así como la principal vía de circulación de locomoción colectiva y vehículos privados. Ante razones como las señaladas se hace imprescindible otorgar las condiciones necesarias para generar un ambiente seguro y cómodo para los peatones y vehículos que circulan de manera habitual o esporádica por la avenida.

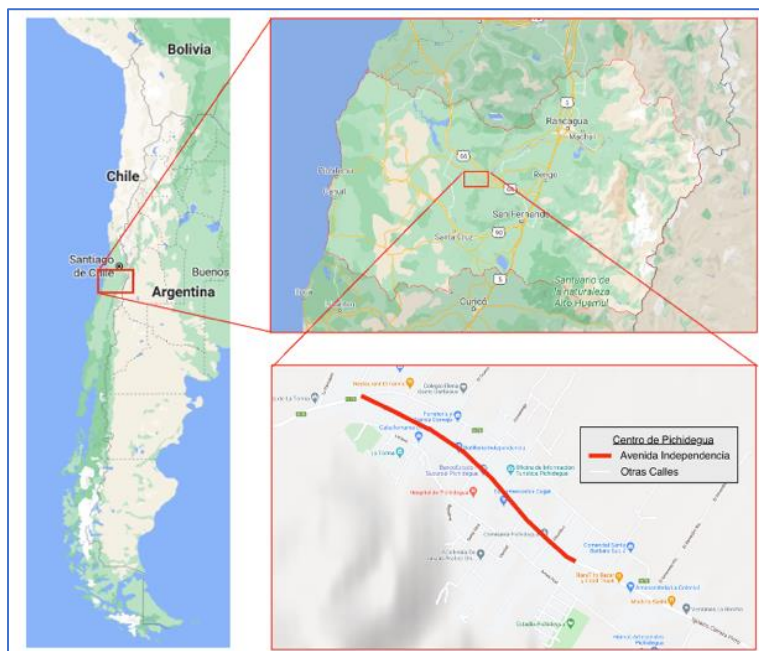


Figura 1.1.- Ubicación centro de Pichidegua y Avenida Independencia.

Actualmente, Avenida Independencia se encuentra pavimentada y operativa, pese a ello sus condiciones (a criterio de la Secretaría de Planificación Comunal) se consideran insuficientes para dar respuesta adecuada a los diferentes medios de transporte que circulan por sus vías, así como los peatones, dado que el tránsito se ve dificultado por la presencia de baches, desniveles, algunos problemas de señalización, así como infraestructura deficiente para peatones y ciclistas. Por otra parte, se puede atribuir el mal uso de la infraestructura existente, generando un mayor deterioro.

Muchas de las problemáticas mencionadas de Avenida Independencia se generan producto que el diseño y la construcción de ésta fue realizada en varios proyectos gestionados en diferentes condiciones, años, materialidades y buscando satisfacer necesidades que surgen con el pasar de los años, por lo que se observan variaciones en el ancho de la faja vehicular a lo largo de la vía y un ordenamiento no acorde a los requerimientos del parque automotriz, densidad y necesidades de la población actual. Otra de las grandes problemáticas que presenta Avenida Independencia es la escasa eficiencia en la evacuación de aguas lluvias debido a la falta de infraestructura destinada a estos fines, así como los desniveles existentes. Algunos de estos problemas se presentan en las Figuras Figura 1.2 y Figura 1.3.



Figura 1.2.- Imagen de condiciones actuales.



Figura 1.3.- Imagen de condiciones actuales.

El proyecto completo de la Secretaría de Planificación Comunal (SECPLAC) que se está gestionando busca realizar un nuevo diseño de la avenida y sus espacios que entregue mejores condiciones y tenga consistencia de acuerdo con las tradiciones e identidad de la comuna.

En base a los a los antecedentes señalados, el presente Trabajo de Título se enfocará en el diseño estructural de la calzada para este proyecto, donde acorde al diseño de pavimento flexible a implementar se hará uso de metodología AASHTO 93.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

El objetivo principal de esta memoria de título es desarrollar un diseño estructural para el pavimento, así como la implementación de un método constructivo para la calzada para Avenida Independencia, el cual será adjuntado y complementará el proyecto general de remodelación de la avenida para un mejoramiento de las condiciones actuales, las cuales se espera mejoren las condiciones actuales del espacio, así como mejorar la convivencia vial dentro del centro de la comuna de Pichidegua.

1.2.2. Objetivos específicos

Dentro de los objetivos específicos se encuentran:

- Identificar y obtener parámetros técnicos así como las proyecciones en la actual Avenida Independencia.
- Realizar una revisión y adaptación bibliográfica a las condiciones actuales de la Avenida Independencia.
- Revisar diseño geométrico de la Avenida y su compatibilidad con el proyecto de remodelación.
- Aplicación de metodología AASHTO 93 para el diseño estructural de caminos con pavimento flexible.
- Estudiar la implementación de método constructivo con técnica “Rubblizing” para la reutilización del escombros como capa de rodado.

1.3. Organización del documento

Aparte del capítulo actual, este trabajo se compone de siete Capítulos, los cuales dan alguna información específica respecto a lo definido en este trabajo de título:

- Capítulo II: Se realiza una revisión bibliográfica de los principales textos asociados al diseño de caminos, dentro de los cuales se consideran el Manual de Carreteras y el Manual de Obras viales, Pavimentación y Aguas Lluvias del Servicio de Vivienda y Urbanismo, así como textos complementarios asociados a la reutilización y rehabilitación de pavimentos.
- Capítulo III: En este capítulo se da a conocer la forma de trabajo para lograr los objetivos propuestos, de donde se obtiene la información necesaria para el desarrollo del trabajo y el orden de este.
- Capítulo IV: Se entrega una recopilación de la información necesaria, estudios existentes y realizados para el diseño del camino de acuerdo a lo definido en el Capítulo I.
- Capítulo V: Se presentan los diseños estructural basado en la reutilización de materiales y las cargas a las que se estima sometida la avenida, revisión y propuesta de diseño geométrico de acuerdo a la geometría existente donde se espera obtener una velocidad de proyecto y tener un diagrama de peraltes de la avenida acorde a la información existente y estudiada para finalizar con una propuesta de diseño de saneamiento para el caudal de porteo de los bordes del camino y evacuación de aguas lluvias de la superficie de la calzada.
- Capítulo VI: Se da a conocer el método constructivo, así como la definición de cada etapa de construcción.
- Capítulo VII: Se entregan observaciones y conclusiones en base a lo realizado en los capítulos previos.
- Capítulo VIII: Se entrega un listado de las referencias bibliográficas utilizadas en este trabajo de título.

1.4. Alcances del trabajo

- El presente trabajo se realizará en la Avenida Independencia, en la comuna de Pichidegua, provincia de Colchagua, región del Libertador Bernardo O'Higgins.
- Para efectos prácticos y de diseño, se utilizarán datos de calicatas extraídas a no más de 400 [m] del inicio de la avenida, en calle Sargento Aldea, utilizadas en un proyecto de implementación de sistema de agua potable y alcantarillado que está en desarrollo.
- Se utilizarán los datos topográficos que mantiene la Secretaría de Planificación Comunal, actualizados en diciembre de 2019 y estos serán complementados en la medida que sea necesario.
- El diseño contemplará el tramo entre las intersecciones con calle Esmeralda y ruta H-76, lo cual es aproximadamente 1.3 [km].
- Considerando la naturaleza del proyecto y la búsqueda de disminución de escombros, se realiza el diseño en base a la implementación de métodos de reutilización de pavimento existente.

CAPITULO II

2. Revisión bibliográfica

Los principales conceptos y estándares necesarios para el estudio de caminos, se obtiene básicamente de los diferentes Volúmenes del Manual de Carreteras. Para esta ocasión es pertinente revisar el Volumen N°2 para obtener alguna noción inicial de que es un camino y sus diferentes clasificaciones. Por otra parte, también se revisan las disposiciones del Volumen N°3 para obtener los conceptos y nociones necesarias relacionadas al diseño de caminos, así como algunos manuales del Ministerio de Obras Publicas para complementar la información.

Se identifica lo siguiente:

2.1. Clasificación de caminos

De acuerdo con el Volumen 2 del Manual de Carreteras [3] se realizan diferentes clasificaciones de caminos.

2.1.1. Clasificación legal de caminos

De acuerdo con el DFL N°850 de 1997, que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley 15840 de 1964 así como del decreto DFL N°206 del mismo año, se hace referencia a las vías de comunicación terrestre destinadas al libre tránsito [3].

El artículo 25 del mismo texto legal clasifica los caminos públicos en:

- a) Caminos Nacionales: Son los caminos longitudinales que unen las capitales de provincias con este y los que sean calificados como tales por el presidente de la República.
- b) Caminos regionales: El resto de los caminos públicos.

Además, faculta al presidente de la República para declarar que caminos tendrán el carácter de internacionales.

2.1.2. Clasificación administrativa

Definida por la Dirección de Vialidad, de acuerdo con la jerarquía administrativa de las ciudades o localidades que se interconectan, considerando la regionalización del país. Es así como los caminos se diferencian administrativamente en cinco clases:

- a) Caminos Nacionales
- b) Caminos Regionales Principales
- c) Caminos Regionales Provinciales
- d) Caminos Regionales Comunes
- e) Caminos Regionales de Acceso

Se considera que la longitud de la red aumenta conforme la jerarquía de la clase disminuye, pero por otra parte la longitud de red vial pavimentada es mucho mayor en las primeras clases de caminos y disminuye en las siguientes [3].

En la sección 2.101 del volumen N°2 del Manual de Carreteras [3] se presenta una tabla que presenta la situación del país a diciembre de 2017, considerando una red de 85221 [km].

Tabla 2.1.- Clasificación administrativa de los caminos. Distribución porcentual por Clase [3].

Clase	Denominación	Total %	Red Vial Pavimentada			Red Vial No Pavimentada					Sobre el Total	
			Asfalto %	Hormigón %	En la Clase %	Solución Básica		Ripio %	Tierra %	En la Clase %	Pavimentados %	No Pavimentados %
						Capa de Protección %	Granular Estabilizado %					
a	Nacionales	13.4	69.5	12.4	81.8	1.7	5.5	10.2	0.7	18.2	81.8	18.2
b	Regionales Principales	11.5	55.1	3.8	58.8	6.4	7.1	18.4	9.2	41.2	58.8	41.2
c	Regionales Provinciales	6.7	34.3	2.0	36.3	13.0	10.2	32.4	8.1	63.7	36.3	63.7
d	Regionales Comunes	42.9	7.8	0.6	8.5	13.4	8.2	51.2	18.7	91.5	8.5	91.5
e	Regionales de Acceso	25.5	1.3	0.1	1.4	9.2	4.3	50.5	34.6	98.6	1.4	98.6
TOTAL GENERAL	km	85221	18436	2146	20582	8458	5821	34536	15824	64638	20582	64638
	%	100.0	21.6	2.5	24.2	9.9	6.8	40.5	18.7	75.8	24.2	75.8

Nota: El valor total incluye 2891.226 [km] de doble calzada pavimentadas.

2.1.3. Clasificación funcional de diseño.

Con el objetivo de clasificar las vías desde un punto de vista funcional, que considere distintos estándares de diseño, el Manual de Carreteras considera seis categorías de división en dos grupos:

- Carreteras : Separadas en autopistas, autorrutas y primarias.
- Caminos : Separadas en colectores, locales y de desarrollo.

Esta clasificación tiene validez dentro de la Dirección de Vialidad en todo lo relativo a la definición de estándares de diseño, la cual no reemplaza, no complementa las clasificaciones legal y administrativas definidas previamente.

2.2. Pavimento

Se entenderá por pavimento (también conocido como superestructura) al sistema formado por capas de diferentes materiales, compactados y dispuestos de acuerdo con un diseño previo, estas capas se apoyan sobre la infraestructura de manera tal que estas capas en conjunto con la infraestructura puedan resistir las cargas de tránsito sin generar situaciones que afecten a la seguridad de los usuarios durante su vida útil. Además de resistir las cargas de tránsito, provee de una superficie de rodadura uniforme, impermeable, antideslizante y resistente a las condiciones medioambientales [4].

Existen diferentes tipos de pavimentos, de acuerdo con los materiales y capas que constituyen el paquete estructural. Generalmente en los métodos de diseño de pavimentos están basados en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos, sin embargo, existen otros tipos de pavimentos como son los pavimentos semirrígidos, reforzados con geosintéticos, modificados, articulados, etc.

2.2.1. Pavimento flexible

Es una superestructura donde la superficie de rodadura está formada por mezclas asfálticas, ya sea aplicada en frío o en caliente. Dentro de sus principales características es que su estructura total se flexiona en función de las cargas que transitan por la vía, los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento asfáltico se transmiten de forma vertical, por lo que las capas inferiores tienen mayor probabilidad de deteriorarse.

Los pavimentos flexibles se componen principalmente de tres capas

- **Capa superficial o superficie de rodadura:** Esta es la capa superficial que entra en contacto con el tráfico y el medioambiente. La capa superficial puede estar compuesta por una o varias capas asfálticas, mientras que la superficie de rodadura en ocasiones no ayuda a resistir las cargas externas si no que protegen las capas estructurales inferiores
- **Base:** Capa ubicada directamente bajo la capa superficial, generalmente se compone de material granular (grava - arena).
- **Sub-base:** Se ubica debajo de la base, también se compone de material granular.
- **Infraestructura:** Es todo lo que sostiene a las capas de pavimento. Pueden ser obras estructurales, movimientos de tierra u otros.

En la Figura 2.1 se representa las diferentes capas y composición de pavimentos flexibles.

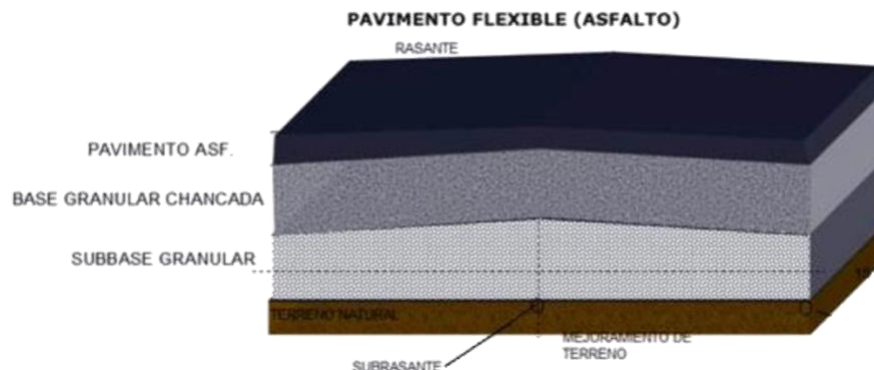


Figura 2.1.- Esquema de composición de pavimentos flexibles [5].

De acuerdo con el Volumen N°3 del Manual de Carreteras, se recomienda utilizar el método AASHTO en su versión de 1993 para el diseño de pavimentos flexibles, el cual fue desarrollado en Estados Unidos por la American Association of State Highway and Transportation Officials. Se basa en la determinación de un número estructural calculado en base a datos de tránsito, periodo de diseño, serviciabilidad, condiciones de drenaje y otros factores estadísticos. Esto no significa que no pueda utilizarse otro método reconocido con la previa autorización de la Dirección de Vialidad [6].

2.2.1.a. Clasificación de pavimentos flexibles

Dentro de los pavimentos flexibles, es posible generar una clasificación de estos de acuerdo con la función que desempeñan en una calzada:

Tabla 2.2.- Clasificación de los tipos de pavimentos flexibles [7].

Riegos asfálticos	<ul style="list-style-type: none"> - Riego de imprimación. - Riego de liga. - Riego de neblina.
Capas no estructurales	<ul style="list-style-type: none"> - Lechada asfáltica. - Cape Seal. - Microaglomerados en frío.
Capas estructurales	<ul style="list-style-type: none"> - Mezclas asfálticas en caliente. - Mezclas asfálticas en frío.

2.2.1.b. Mezclas asfálticas en caliente

Las mezclas asfálticas son el resultado de la incorporación y distribución de un material asfáltico con uno pétreo, por lo tanto, la elección y buena calidad de los agregados es un aspecto importante de las mezclas asfálticas, así como de su comportamiento primario.

Las mezclas asfálticas en caliente se fabrican en plantas que pueden ser fijas o móviles, y su proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Luego de esto, la mezcla se coloca en la obra [5].

En Chile se utilizan dos métodos de diseño para estas mezclas:

- **Método Marshall:** Basado en la estabilidad y contenido de vacíos.
- **Método Superpave:** Basado en el contenido de vacíos

2.2.2. Pavimentos rígidos

Es un tipo de pavimento compuesto por una capa de rodadura de alta rigidez y por una base de apoyo de material seleccionado y/o tratado. Esta última se puede omitir si el material de fundación se considera apropiado. Normalmente, están constituidos por losas de hormigón de cemento hidráulico, simple o reforzado, colocadas sobre una subbase de agregado granular. Debido a la rigidez del sistema, las cargas de rueda son soportadas principalmente por la resistencia a flexión de las losas de hormigón, disipándose ampliamente su efecto en el suelo bajo la subrasante [8].

En la Figura 2.2 se representa las diferentes capas y composición de pavimentos rígidos

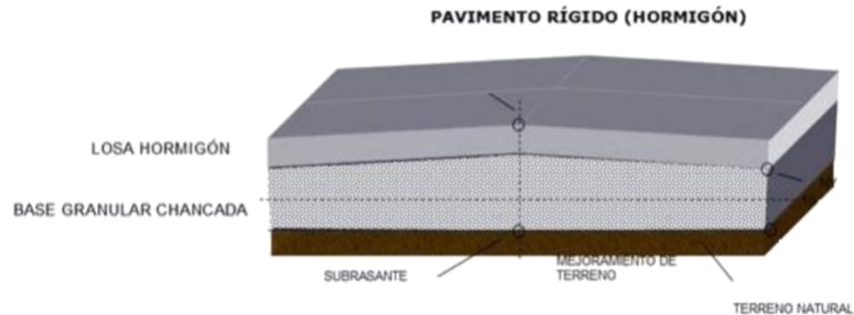


Figura 2.2.- Esquema de composición de pavimentos rígidos [5].

De acuerdo con la definición de pavimentos flexibles y rígidos, es posible asumir que la diferencia principal del comportamiento entre ambos se encuentra en la capacidad de deformación y de la distribución de cargas entre las capas que componen la superestructura. En la Figura 2.3 se presenta una imagen comparativa del comportamiento entre ambos pavimentos.

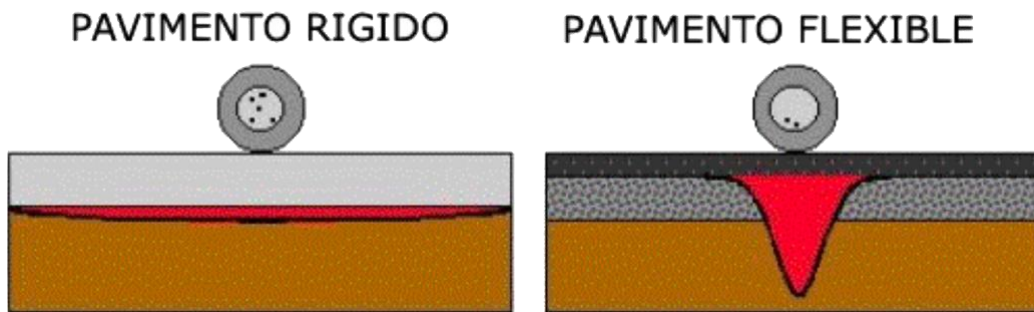


Figura 2.3.- Esquema del comportamiento y diferencia entre pavimento rígido y flexible.

2.3. Método AASHTO.

Método creado por la AASHTO, el cual es el resultado de pruebas a escala real hechas durante dos años a una serie de circuitos construidos en el estado de Illinois, Estados Unidos entre los años 1958 y 1960. La idea de este método es utilizar una ecuación generalizada de diseño, calibrada de acuerdo con las pruebas mencionadas previamente, con la finalidad de relacionar la serviciabilidad con el tránsito solicitante y así disminuir el riesgo de deterioro prematuro bajo ciertos estándares de serviciabilidad.

Si bien el método ha sido creado en Estados Unidos, en 1986 se desarrolló un modelo ampliado para la implementación del método en otros países, realizando modificaciones y extrapolaciones a los resultados para poder ser aplicado a zonas con otras condiciones climáticas, diseños, materiales y suelos. También se han realizado modificaciones importantes destinadas principalmente al diseño de pavimentos rígidos en el año 1998, por lo que se recomienda utilizar la versión actualizada en 1993 para el diseño de pavimentos flexibles y la versión de 1998 para el diseño de pavimentos rígidos [6].

En este trabajo de título, se realiza el diseño de un pavimento asfáltico (o pavimento flexible) por lo que se considera el método de diseño estructural AASHTO 1993.

2.3.1. Ecuación de diseño

La finalidad de este método es determinar los tipos y espesores de capas que resultan más económicos para lograr un camino que cumpla con las disposiciones estructurales y de serviciabilidad establecidas asociadas a una ecuación de diseño, la cual relaciona la cantidad de ejes equivalentes (EE) solicitantes con el número estructural y el nivel de confianza, de manera que la estructura experimente una pérdida de serviciabilidad determinada, de acuerdo con las ecuaciones (2.1) y (2.2) [6].

$$EE = (NE + 25.40)^{9.36} \cdot 10^{(-16.40 + Z_R \cdot S_o)} \cdot M_R^{2.32} \cdot \left(\frac{p_i - p_f}{p_i - 1.50} \right)^{1/\beta} \quad (2.1)$$

$$\beta = 0.40 + \left(\frac{97.81}{NE + 25.4} \right)^{5.19} \quad (2.2)$$

Donde

- EE Ejes equivalentes de 80 kN acumulados durante la vida de diseño.
- NE Número Estructural [mm].
 $NE = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot h_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot h_3$
- a_1, h_1 Coeficiente estructural y espesor [mm] de cada una de las capas asfálticas o tratadas que componen el pavimento. Los subíndices 2 y 3 representan las capas granulares no tratadas.
- m_2, m_3 Coeficiente de drenaje de las capas no tratadas (bases y subbases granulares).
- Z_R Coeficiente estadístico que depende del nivel de confianza que se adopte.
- S_o Desviación estándar del error combinado de todas las variables que intervienen en el modelo.
- M_R Módulo resiliente del suelo de la subrasante [MPa].
- p_i Índice de serviciabilidad inicial.
- p_f Índice de serviciabilidad final

2.3.2. Serviciabilidad.

El diseño de un camino contempla un nivel de serviciabilidad dentro de ciertos límites a lo largo de los años de vida útil contemplada en el diseño, donde se establece un estado de serviciabilidad inicial p_i y una serviciabilidad definida por p_f . En el manual de carreteras recomienda valores iniciales y finales para la serviciabilidad, los cuales pueden variar en situaciones especiales siempre que se justifiquen adecuadamente y cuenten con la conformidad de la Dirección de Vialidad [6].

$$p_i = 4.2 \qquad p_f = 2.0$$

2.3.3. Solicitaciones.

Expresadas como ejes equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño definido, representando las solicitaciones que afectan a la estructura. Los pavimentos se deberán diseñar en una sola etapa y para las vidas de diseño que se indican en la Tabla 2.3, salvo que se índice o autorice especialmente de otra manera.

Tabla 2.3.- Vida de diseño [6].

Clasificación del Camino	Vida de Diseño (años)
Tránsito alto en zonas urbanas	10 – 30
Tránsito alto en zonas rurales	10 – 25
Tránsito medio y bajo	5 – 20

La aplicación de la ecuación (2.1) se verá limitada a los siguientes aspectos [6]:

- El tránsito medio diario anual (TMDA) para el año de partida, así como las proyecciones futuras, deben responder a un estudio de demanda específico para el camino que se proyecta.
- El camino debe ser dividido en tramos homogéneos, en los que las solicitaciones acumuladas durante la vida de diseño (EE) sean iguales o sensiblemente similares.
- Si es posible, se realizarán algunos pesajes de ejes para establecer, al menos, un orden de magnitud de los ejes equivalentes por tipo de vehículo que corresponda.
- Debe asegurarse que los flujos que circulan por la ruta y que se utilizan para calcular los ejes equivalentes, nunca superen la capacidad de la carretera; si esto ocurre y salvo que existan planes concretos de una ampliación, las solicitaciones deben mantenerse constantes a partir del año que se alcance la capacidad máxima.

2.3.4. Confiabilidad.

El grado de confiabilidad del diseño se controla por el factor de confiabilidad (F_r), el cual se obtiene a partir de una distribución normal con nivel de confianza Z_r y desviación normal del error combinada S_o aplicado a todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La sección 3.604 del Manual de Carreteras [6] entrega una tabla con los niveles de confianza a utilizar y sus valores correspondientes del coeficiente estadístico Z_r en condiciones normales de diseño. En condiciones especiales (vías especiales o de alto tránsito) se podrán adoptar niveles de confianza distintos a los señalados en la Tabla 2.4, siempre que se justifiquen debidamente y estén autorizados por la Dirección de Vialidad.

Tabla 2.4.- Nivel de Confianza y valores de S_o [6].

EE solicitantes (millones)	Confiabilidad (%)	Z_r	S_o en función del coeficiente variación de los suelos				
			15%	20%	30%	40%	50%
< 5	60	-0.253	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
5 - 15	60 - 70	-0.253 - 0.524	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
15 - 30	60 - 75	-0.253 - 0.674	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
30 - 50	70 - 80	-0.524 - 0.841	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49
50 - 70	70 - 85	-0.524 - 1.037	0.42	0.43	0.44	0.47	0.48
70 - 90	70 - 90	-0.524 - 1.282	0.40	0.41	0.42	0.45	0.46

El factor de confiabilidad se determina de acuerdo con la ecuación (2.3) dependiente de los parámetros Z_r y S_o :

$$\log(F_r) = -Z_r \cdot S_o \quad \text{ó} \quad F_r = 10^{-Z_r \cdot S_o} \quad (2.3)$$

2.3.5. Módulos resilientes y elásticos.

El método AASHTO relaciona las propiedades de los suelos de la subrasante mediante un parámetro llamado *módulo resiliente efectivo* (M_r). Este representa el módulo elástico del material después de haber sido sometido a cargas cíclicas, de acuerdo con el ensayo determinado para módulo resiliente de bases granulares no tratadas, materiales de subbase y suelos de subrasante.

- **Relaciones CBR – módulo resiliente.** Diversos estudios realizados a lo largo del tiempo han determinado diversas fórmulas para obtener de manera indirecta el módulo resiliente para pavimentos en nuevos trazados a partir de ensayos utilizados para determinar el CBR. Este ensayo debe hacerse en conformidad a lo descrito en la sección 8.102 del Manual de Carreteras, de donde se obtiene las siguientes relaciones:

$$M_r \text{ [MPa]} = 17.6 \cdot (\text{CBR})^{0.64} \quad \text{para CBR} < 12\% \quad (2.4)$$

$$M_r \text{ [MPa]} = 22.1 \cdot (\text{CBR})^{0.55} \quad \text{para } 12 \leq \text{CBR} < 80\% \quad (2.5)$$

- **Módulo elástico de un sistema bicapa.** En un sistema multicapa, se considera que los módulos de elasticidad de las diferentes capas que componen un pavimento deben implementarse de manera que estos sean crecientes desde la subrasante hacia la superficie.

Se recomienda que cuando los suelos que componen la subrasante tengan un $\text{CBR} \leq 10\%$, incluir una capa superior de mejoramiento con un espesor no menor a 300 [mm], de preferencia granular y con un $\text{CBR} \geq 15\%$ o alternamente colocar una tela geotextil, de acuerdo en lo dispuesto en el Manual de Carreteras en su numeral 3.602.407.1 [6].

Para determinar el módulo de un sistema de dos capas elásticas sometidas a una carga circular, se utiliza el asentamiento elástico de la ecuación (2.6):

$$\Delta = \frac{1.5 p a^2}{E_o} \left\{ \frac{a}{\left[a^2 + h^2 \left(\frac{E_1}{E_o} \right)^{2/3} \right]^{1/2}} \left(1 - \frac{E_o}{E_1} \right) + \frac{E_o}{E_1} \right\} \quad (2.6)$$

Donde

- p Presión de inflado de neumático.
- a Radio del círculo de apoyo del neumático en el pavimento.
- E_0, E_1 Módulo elástico de la capa de orden 0 y 1, respectivamente.
- H Espesor de la capa de orden 1 (superpuesta a la orden 0)

Esto permite determinar el módulo resiliente de una subrasante que incluye una capa superior de mejoramiento de acuerdo con:

$$M_{Rd} = F \cdot M_{Ro} \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{F} = \frac{0.125}{\left[0.0156 + h^2 \left(\frac{M_{R1}}{M_{Ro}}\right)^{2/3}\right]^{1/2}} \left(1 - \frac{M_{Ro}}{M_{R1}}\right) + \frac{M_{Ro}}{M_{R1}} \quad (2.8)$$

Donde

- M_{Rd} Módulo Resiliente de diseño [MPa].
- F Factor.
- M_{Ro} Módulo Resiliente de la subrasante o capa de orden 0, en [MPa].
- M_{R1} Módulo Resiliente de la capa de orden 1, en [MPa].
- h Espesor de la capa de orden 1, en metros.

Esto solamente permite calcular el módulo resiliente combinado de una subrasante con capa de mejoramiento.

2.3.6. Coeficiente de drenaje.

Destinado a realizar ajustes al coeficiente estructural de las capas granulares no tratadas, en función de las condiciones de drenaje del proyecto.

La calidad de drenaje está en función del tiempo en que el pavimento demora en evacuar el 50% de agua, por otra parte, esta también depende de variables como: permeabilidad de la base, permeabilidad del suelo de la subrasante, la posible presencia de sistemas de drenajes insertos en la base, la pendiente transversal y la distancia a la que se encuentran los puntos de evacuación [6].

Tabla 2.5.- Calidad de drenaje de Bases y Subbases [6].

Calidad de Drenaje	Tiempo de Evacuación
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	No Drena

Esta clasificación se obtiene según la definición AASHTO y se recomienda su uso para cualquier diseño de pavimento realizado al sur del paralelo 29°30', así como en el sector cordillerano al norte de este paralelo. Para las zonas no contempladas anteriormente, se recomienda adoptar en todo caso $m_i = 1.4$, como se indica en el tópico 3.604.4 del Manual de Carreteras [6].

El coeficiente de drenaje de un camino no solo depende de la calidad de drenaje, si no que también del tiempo al cual la estructura se verá expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación. Este tiempo de saturación depende de la calidad de drenaje, de la distribución de las precipitaciones y frecuencia de estas, las cuales son características de la zona del proyecto.

La Tabla 2.6 es obtenida del tópico 3.604.1 del Manual de Carreteras [6], la cual muestra los coeficientes de drenaje propuestos para diferentes partes del país, los cuales son un resumen de resultados obtenidos en un estudio realizado para obtenerlos.

Tabla 2.6.- Coeficientes de drenaje (m_i) según [6].

REGIÓN	PRECIP.	BASE PERMEABLE	BASE: FINOS HASTA 10%		BASE: MAS 10% FINOS	
			SUBRAS. GRAN.	SUBRAS. FINOS	SUBRAS. GRAN.	SUBRAS. FINOS
IV	≤ 100 [mm]	1.40 – 1.35	1.35 – 1.25	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.05
	> 100 [mm]	1.40 – 1.35	1.35 – 1.25	1.35 – 1.25	1.15 – 1.00	1.05 – 0.80
V a VI	≤ 150 [mm]	1.40 – 1.35	1.35 – 1.25	1.35 – 1.25	1.15 – 1.00	1.00
	> 150 [mm]	1.40 – 1.35	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.00	1.00 – 0.80
VII a IX	≤ 350 [mm]	1.40 – 1.35	1.35 – 1.25	1.35 – 1.25	1.00	0.80
	> 350 [mm]	1.40 – 1.35	1.25 – 1.15	1.25 – 1.15	1.00 – 0.80	0.80
X	≤ 1500 [mm]	1.40 – 1.35	1.25 – 1.15	1.15	1.00 – 0.80	0.80 – 0.60
	> 1500 [mm]	1.35 – 1.30	1.15 – 1.00	1.15 – 1.00	0.80	0.60
XI a XII	≤ 500 [mm]	1.40 – 1.35	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.00	1.00 – 0.80
	> 500 [mm]	1.40 – 1.35	1.25 – 1.15	1.15	0.80	0.80

Base permeable: Menos de 3% de finos y/o coeficiente de permeabilidad > 0.01 cm/s
Subras. Gran.: Subrasante granular, máximo 35% pasa tamiz de 0.08 mm
Subras. Finos: subrasante de suelo fino.

Si en el proyecto se considera una base permeable, deben tomarse las precauciones necesarias para asegurar el drenaje durante toda la vida útil de la obra.

2.3.7. Coeficientes estructurales

Se establece un coeficiente estructural por cada capa del pavimento, el cual dependerá de las propiedades de los materiales que las constituyen. El coeficiente estructural tiene una dependencia directa del módulo elástico del material que compone la capa, por lo que una forma optima de obtenerlo es a través de esa propiedad [6].

Considerando la dificultad y la implementación que se requiere para calcular el módulo de elasticidad de un material, se hace necesario determinar el coeficiente estructural mediante métodos indirectos. Las siguientes relaciones permiten determinar el coeficiente estructural (a_1) del hormigones asfálticos en función del módulo de elasticidad y de la estabilidad Marshall [6], como se muestra en las ecuaciones (2.9) y (2.10):

$$a_1 = 0.0052 \cdot E^{0.555} \quad E \text{ en [MPa]} \quad (2.9)$$

$$a_1 = 0.0078 \cdot EM^{0.441} \quad EM: \text{ estabilidad Marshall en [N]} \quad (2.10)$$

Los coeficientes estructurales para bases y subbases granulares no tratadas se pueden estimar a partir de las siguientes correlaciones con el CBR [6]:

Para el coeficiente estructural de bases granulares (a_2) se utiliza la ecuación (2.11):

$$a_2 = 0.032 \cdot (\text{CBR})^{0.32} \quad (2.11)$$

Para el coeficiente estructural para subbases granulares (a_3) se utiliza la ecuación (2.12):

$$a_3 = 0.058 \cdot (\text{CBR})^{0.19} \quad (2.12)$$

Para coeficientes de bases tratadas, como lo son el cemento o el asfalto, se pueden determinar a través de las siguientes relaciones con la resistencia a la compresión simple determinada con ensayos a la ruptura de testigos de probetas cilíndricas [6]:

Para el coeficiente estructural para bases tratadas con cemento (a_2) se utiliza la ecuación (2.13):

$$a_1 = 0.0918 \cdot (f_c)^{0.514} \quad f_c : \text{resistencia cilíndrica a ruptura [MPa]} \quad (2.13)$$

Para el coeficiente estructural para bases tratadas con asfalto (a_2) se utiliza la ecuación (2.14):

$$a_1 = 0.0074 \cdot (\text{EM})^{0.415} \quad \text{EM en [N]} \quad (2.14)$$

En la Tabla 2.7, extraída del tópico 3.101.2 del Manual de Carreteras con valores de coeficientes estructurales en condiciones normales [6].

Tabla 2.7.- Coeficientes estructurales en condiciones normales de diseño [6].

Capa	Características	Coefficiente Estructural
Subbase granular	CBR = 40%	0.12
Base	CBR = 80%	0.13
Base asfáltica graduación gruesa	6.000 N	0.33
Base asfáltica graduación abierta		0.28
Grava – Emulsión		0.30
Concreto asfáltico, capa intermedia	8.000 N	0.41
Concreto asfáltico de superficie	9.000 N	0.43
Mezclas drenantes		0.32
Microaglomerado discontinuo en caliente		0.40
Mezcla SMA (Stone Mastic Asphalt)		0.43

Para condiciones especiales, se debe utilizar los coeficientes apropiados a cada situación, debidamente justificados.

2.4. Diseño geométrico

El diseño geométrico es la planificación geométrica del trazado del camino a través de un modelo espacial que está en constante evaluación de acuerdo con las condiciones y lineamientos de diseño, para proceder y al momento de introducir modificaciones en el mismo, se optimice la realidad física y las necesidades del camino [9].

El diseño de un camino abarca la proyección de este en tres planos, los cuales son el diseño en planta, sección transversal y sección longitudinal [9].

Es el estudio en planta de un camino, definido de acuerdo a sus ejes. El eje de un camino está compuesto por elementos geométricos tipo: rectas, curvas circulares y clotoides [9].

2.4.1. Alineamiento recto

Se considera así al tramo ideal y efectivo, el cual en planta genera la distancia más corta entre dos puntos entregando simplicidad a la conducción y así también al diseño. En ocasiones, la incorporación al trazado de un tramo recto implica el movimiento de tierra de manera innecesaria, además de producir inconvenientes operativos [6].

Un alineamiento recto de gran longitud puede producir la sensación de somnolencia o monotonía en la conducción, pudiendo presentarse situaciones de peligro. Por esto es necesario limitar la longitud en estos tramos.

2.4.1.a. Longitudes máximas en recta

Se procurará evitar longitudes en recta superiores a lo dispuesto por la ecuación (2.15):

$$L_r = 20 \cdot V_p \quad (2.15)$$

Donde

L_r Largo máximo de la Alineación Recta [m].
 V_p Velocidad de Proyecto del Camino.

2.4.1.b. Longitudes mínimas en recta

En situaciones donde existan curvas tipo "S" (varias curvas en distinto sentido), en nuevos trazados se espera exista una coincidencia entre el final de la clotoide de la primera curva y el inicio de la clotoide de la curva siguiente, o también en algún tramo recto intermedio. En caso de que esto no pueda ocurrir, se aceptaran tramos rectos intermedios de una longitud máxima de acuerdo a la ecuación (2.16):

$$L_{rs_{max}} = 0.08 \cdot (A_1 + A_2) \quad (2.16)$$

Siendo A_1 y A_2 parámetros de las coloides respectivas [6].

La longitud de los tramos rectos no deberá ser menor a lo expresado en la ecuación (2.17):

$$L_{r_{min}} = 1.4 \cdot V_p \quad (2.17)$$

2.4.2. Curvas

Las curvas son elementos empleados para unir dos tramos rectos de camino con distinta orientación. Estas están compuestas por varios elementos [9], los cuales se describen en la Tabla 2.8 y se ilustran en la Figura 2.4:

Tabla 2.8.- Descripción de elementos de curva horizontal [9].

Símbolo y formula	Denominación	Descripción
V_n	Vértice	Punto de intersección de dos alineaciones consecutivas del trazado.
α	Ángulo entre dos alineaciones	Medido a partir de la alineación de entrada, en el sentido de los punteros del reloj, hasta la alineación de salida.
$\omega = \alpha - 200 $	Ángulo de deflexión	Se repite como ángulo del centro subtendido por el arco circular.
R	Radio de Curvatura	Radio del arco de círculo. Medido en metros [m].
$T = R \cdot \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)$	Tangente	Distancia entre el vértice y los puntos de tangencia del arco del círculo con las alineaciones de entrada y salida. Determina el principio de la curva (PC).
$S = R \cdot \left(\sec\left(\frac{\omega}{2}\right) - 1\right)$	Bisectriz	Distancia desde el vértice al punto medio (MC) del arco del círculo. Se mide en metros [m].
$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \omega}{200}$	Desarrollo	Longitud del arco de círculo entre los puntos de tangencia PC y FC. Se mide en metros [m].
$E = \pi \cdot \frac{50}{R}$	Ensanche	Sobre ancho que puede requerir las curvas para compensar el mayor ancho ocupado por un vehículo al describir una curva (necesario si $R < 200$).
$R_{\min} = \frac{V_p^2}{127 \cdot (p_{\max} + t_{\max})}$	Radio Mínimo	Radio mínimo de diseño para la curva circular. Medido en metros [m]
V_p	Velocidad de Curva	Velocidad de diseño para la curva.
p_{\max}	Peralte máximo	Pendiente transversal máxima del camino, la cual tiene como finalidad contrarrestar los efectos de las fuerzas inerciales al cambiar de dirección.
t_{\max}	Coefficiente máximo de fricción	Coefficiente de fricción transversal máximo correspondiente a la velocidad de proyecto.

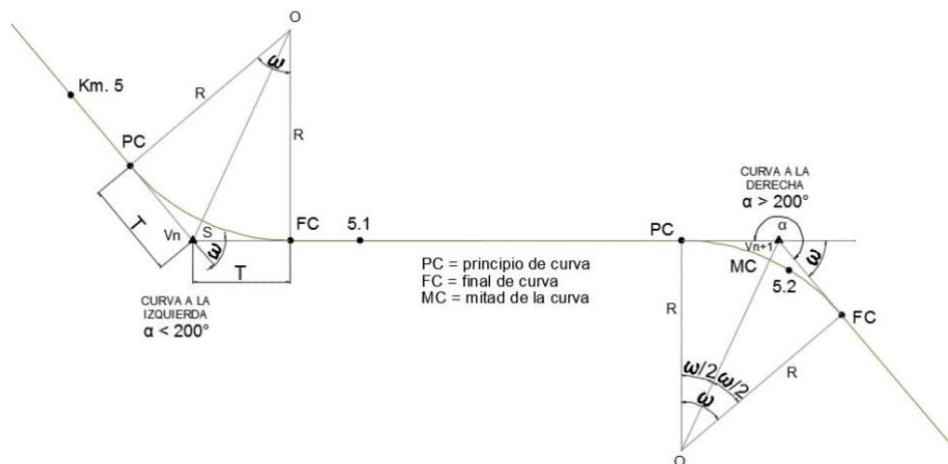


Figura 2.4.- Elementos de una curva circular [9].

Una curva horizontal se proyecta en el caso en que su ángulo de deflexión ω , expresado en gradianes, sea mayor a 2^g . Cuando $\omega < 2^\text{g}$ se considera deflexión (condición deseable). Otros casos se deben tratar de manera particular [9].

2.4.3. Clotoides

Es la transición desde una alineación recta a una curva circular o el paso entre dos curvas. Consiste en un espiral que varía su radio de curvatura disminuyendo a medida que avanza en la curva circular. La clotoide tiene como fin el promover la uniformidad de velocidades otorgando comodidad, eficiencia operativa y seguridad [9]. La clotoide se describe mediante la ecuación paramétrica (2.18):

$$A^2 = R \cdot L \quad (2.18)$$

Donde

- A Valor constante para una clotoide específica.
- R Radio de curvatura.
- L Desarrollo a través del radio de curvatura.

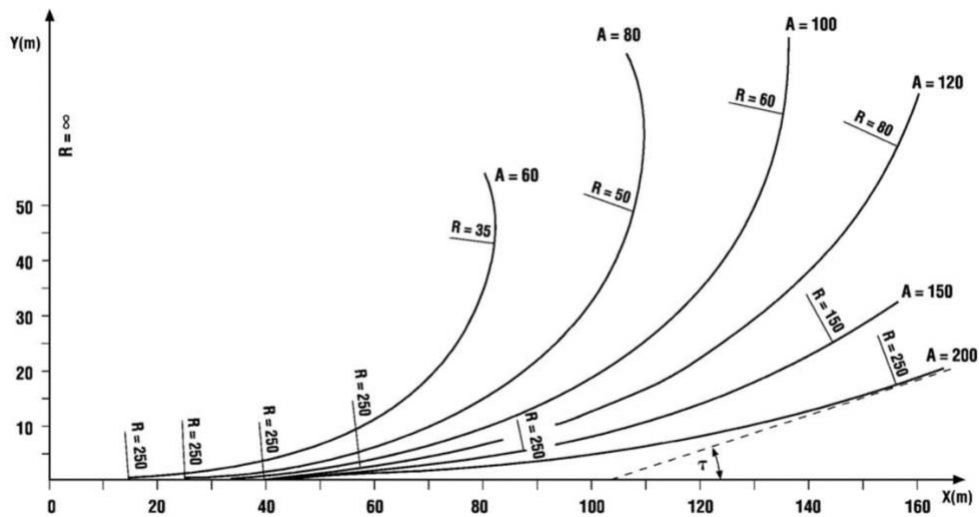


Figura 2.5.- Familia de clotoides - Magnitudes según parámetro [6].

En la Figura 2.5 se presentan las variaciones de las longitudes de planta, magnitudes y formas de clotoides, acorde a los parámetros que las definen.

2.5. Drenaje urbano longitudinal

Las calles, veredas y otros elementos destinados al tránsito de personas o vehículos reciben parte importante de las lluvias y en muchos casos se consideran como los elementos iniciales del sistema de drenaje. Como su principal tarea no es conducir aguas lluvias, se debe tener especial precaución para evitar disfuncionalidades que impidan el tránsito, considerando de manera especial las capacidades de conducción de agua y la forma de evacuarla hacia los sistemas de drenajes propiamente tal [10].

2.5.1. Esguerrimiento en vías públicas

Para el diseño de la red secundaria de aguas lluvias se debe verificar que las calles no conduzcan cantidades importantes de aguas lluvias, de manera que las áreas y profundidades de inundación de las calles en condiciones de tormentas menores, de periodos de retorno de 2 años, no sobrepasen ninguna de las indicadas para cada tipo de vía en la Tabla 2.9.

El exceso de agua debe necesariamente ser conducido por el sistema de drenaje. Por ello, el proyecto debe contar además con suficientes sumideros, adecuadamente espaciados, que eviten que el agua escurra, se concentre y acumule en las calles por sobre los límites indicados en la Tabla 2.9 y en la Tabla 2.10.

Tabla 2.9.- Condiciones límites para evacuación de aguas lluvias [10].

Tipo de vía Vehicular	Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas menores
Todos los tipos	No sobrepasar el nivel de la solera. El ancho de la cuneta inundada no debe sobrepasar de 1.0 [m]

Además, para evitar riesgo a la población, o daños a la propiedad pública o privada, se debe verificar que para tormentas mayores, con periodo de retorno de 100 años, las inundaciones provocadas por las aguas lluvias en las calles, no sobrepasen las condiciones que se indican a continuación en la Tabla 2.10. El exceso de agua debe ser conducido por los colectores, para lo cual se deberá disponer de suficientes sumideros.

Tabla 2.10.- Condiciones límite para evacuación de aguas lluvias según tipo de vía [10].

Tipo de vía Vehicular	Condiciones máximas de inundación permitida para tormentas mayores
Todos los tipos	La inundación no debe alcanzar la línea de edificación ni en el nivel ni en la extensión. La velocidad media del flujo no debe sobrepasar los 2 [m/s]. La velocidad media del agua en cualquier punto de la sección transversal de la calle no debe exceder de 0.3 [m] si la velocidad media es inferior a 1 [m/s], ni de 0.2 [m] si es mayor a 1.0 [m/s].
Pasajes	La profundidad máxima no debe exceder de 0.2 [m] y la velocidad media debe ser inferior a 1.0 [m/s].
Locales y de servicio	El nivel del agua no debe sobrepasar la solera.
Colectoras y troncales	Debe quedar una pista libre de agua.

2.5.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración de una cuenca, corresponde al tiempo que debe transcurrir desde el inicio de una tormenta de intensidad uniforme, para que toda la superficie de la cuenca aporte al escurrimiento a la salida. Puede estimarse como el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca, una onda del flujo que parte desde el lugar hidráulicamente más alejado de la sección de salida [10].

La selección de un tiempo de concentración puede depender de parámetros locales, así como de criterios que se necesite considerar, por ejemplo, la selección de una tormenta de duración mayor al tiempo de concentración asegura que la superficie aportante es máxima, por lo que si se considera un tiempo de concentración menor se garantiza una intensidad de tormenta mayor se asegura la obtención de un caudal máximo a la salida [10].

El cálculo del tiempo de concentración se obtiene mediante relaciones empíricas propuestas para cuencas similares o estimaciones de la velocidad del agua con que recorre la distancia entre el punto de captación mas lejano y el de salida [10].

En cuencas urbanizadas, con porcentajes importantes de superficies impermeables y escurrimiento en planos, se tiene que el tiempo de concentración se obtiene a partir de la superficie de escurrimiento, de acuerdo con las expresiones de la Tabla 2.11:

Tabla 2.11.- Expresiones para tiempo de concentración dependiendo de la superficie de escurrimiento [10].

Cuencas urbanas relativamente planas, formadas por patios, estacionamientos, parques, techos, calles, etc.	$T_c = 7 \frac{(L \cdot n)^{0.6}}{I^{0.4} \cdot S^{0.3}}$
Para cunetas, colectores y cauces en general relativamente anchos.	$T_c = \frac{1}{60} \left(\frac{L_1 \cdot n}{h^{2/3} \cdot S^{1/2}} \right)$

Donde

- T_c Tiempo de concentración [min].
- L Longitud del escurrimiento superficial [m].
- L_1 Longitud del cauce [m].
- S Pendiente [m/m].
- I Intensidad de la lluvia [mm/hr].
- h Altura media del escurrimiento en planos o cauces [m].
- n Coeficiente de rugosidad de Manning de la superficie o cauce, según la Tabla 2.12

Otra forma de estimar el tiempo de concentración es mediante las ecuaciones (2.19), (2.20) y (2.21) [11].

$$\text{Kirpich} \quad t_c = 0.0078 \cdot L^{0.77} \cdot i^{-0.385} \quad (2.19)$$

$$\text{Federal Aviation Agency} \quad t_c = \frac{1.8 \cdot (1.1 - C) \cdot L^{0.5}}{i^{0.33}} \quad (2.20)$$

$$\text{Kerby} \quad t_c = \left(\frac{2 \cdot L \cdot n}{0.9144 \cdot \sqrt{i}} \right)^{0.467} \quad (2.21)$$

Donde

- t_c Tiempo de concentración, en [min].
- L Longitud del escurrimiento superficial, en [m].
- i Pendiente ponderada del terreno, en [%]
- C Coeficiente de escurrimiento según método racional.
- n Coeficiente de rugosidad de Manning de la superficie o cauce, según la Tabla 2.12

Por otra parte, de acuerdo con lo expuesto en el numeral 3.704.102 del Manual de Carreteras [6] respecto a los criterios de diseño para el drenaje de plataforma (drenaje superficial), se especifica que el diseño de para el drenaje se realizará mediante el método racional, con un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos [6].

Finalmente para la estimación del tiempo de concentración, se considera el menor tiempo a calcular mediante las ecuaciones (2.19), (2.20) y (2.21), pero este debe tener un mínimo de 10 minutos para dar cumplimiento a lo dicho en el párrafo anterior.

Tabla 2.12.- Coeficiente de rugosidad de Manning según superficie de escurrimiento [10].

Tipo de Superficie	Coeficiente n
Tubos de plástico	0.011
Tubos de cemento asbesto	0.012
Tubos de mortero comprimido	0.013
Calles de hormigón y asfalto	0.015
Techos	0.018
Jardines	0.025
Superficies de tierra	0.030
Superficies con vegetación	0.050

2.5.3. Estimación de caudal

Es necesario estimar el caudal que se requiere evacuar dentro de una cuenca urbana producto de una precipitación, por lo que existen distintos procesos para la estimación de este. Uno de los métodos mas recomendados es el *método racional*, ampliamente difundidos y utilizados debido a su simpleza, esto siempre y cuando las condiciones de la cuenca cumplan ciertas limitaciones.

2.5.3.a. Método racional

Este método se considera válido para cuencas aportantes inferiores a las 50 [Ha] (0.5 [km²]) de características homogéneas, con superficie mayoritariamente impermeable sin obras de almacenamiento, con un tiempo de concentración menor a una hora. Bajo estas condiciones, podrá usarse este método para el dimensionamiento de elementos de conducción [10].

Según el método, el caudal aportante de una cuenca urbana se calcula mediante la ecuación (2.22):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3600} \quad (2.22)$$

Donde

- Q Caudal a la salida de la cuenca, en [lt/s].
- C Coeficiente de escurrimiento superficial.
- i Intensidad de la lluvia, en [mm/hr].
- A Área de la cuenca, en [m²].

Este método entrega un caudal aportante constante a la salida de la cuenca para la lluvia de diseño.

2.5.4. Perfiles transversales de calles.

La geometría del perfil transversal será acorde a las condiciones explicitadas en la Tabla 2.10, donde se busca facilitar la conducción de aguas en las calles sin que se produzcan problemas; en los bordes de calzada se formará una cuneta entre la solera y el pavimento. Considerando que esto tendrá un comportamiento tipo “canal”, es que la capacidad hidráulica depende de la pendiente transversal del pavimento y de la pendiente longitudinal de la calle. Para mejorar esta capacidad de conducción se podrán diseñar secciones transversales como las mostradas en las

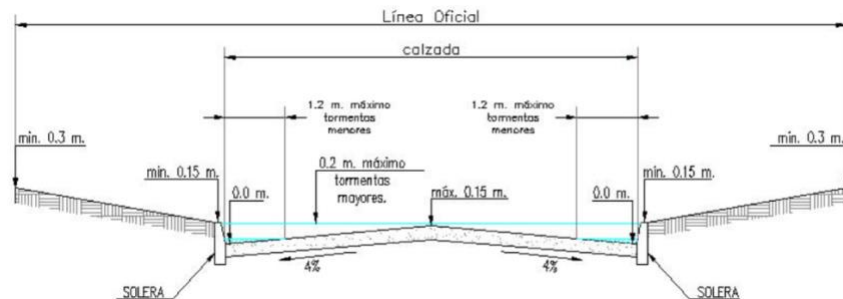


Figura 2.6.- Ejemplo de sección transversal alternativa en vías locales y de servicio con coronamiento al centro y cuneta a ambos lados de la calzada [10].

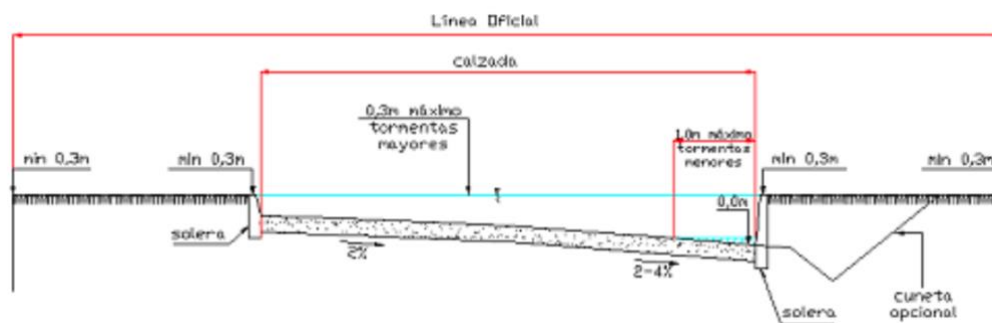


Figura 2.7.- Ejemplo de sección transversal alternativa en vías locales y de servicio con pendiente transversal única y cuneta a un solo lado de la calzada. Opcionalmente la cuneta podría diseñarse fuera de la calzada [10].

2.5.5. Capacidad hidráulica de las calles

Es posible estimar la capacidad teórica de agua que puede conducir una calle por medio de las características geométricas de la cuneta y la pendiente longitudinal de la calzada, aplicando la ecuación (2.23), ecuación de Manning para estimar la velocidad media del flujo, considerando un coeficiente de rugosidad de $n = 0.015$ para pavimentos de asfalto [10]:

$$V = \frac{Q}{A} = \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \cdot \frac{I^{0.5}}{n} \quad (2.23)$$

Donde

V	Velocidad media del flujo, en [m/s].
Q	Caudal de flujo medio, en [m ³ /s].
A	Área de la sección transversal de flujo, en [m ²].
P	Perímetro mojado, en [m].
I	Pendiente longitudinal de la calle, en [m/m].
n	Coefficiente de rugosidad de la superficie.

Utilizando esta ecuación con elementos geométricos existentes, es posible definir parámetros de diseño.

2.6. Método constructivo

Dentro de lo contemplado en este trabajo, se solicita el estudio del método constructivo a realizar, el cual permitirá la construcción del camino. Para esta ocasión se propone un estudio del método de trituración/pulverización del pavimento existente, o método rubblizing.

2.6.1. Método rubblizing

Este método constructivo se emplea para la reutilización de pavimentos existentes formados por una losa de hormigón Portland, en donde se realiza una fracturación del hormigón del pavimento en trozos angulares y entrelazados con la ayuda de una máquina denominada “rompedor resonante”. Una vez que el pavimento de hormigón ha sido sometido al proceso de trituración, se puede construir sobre éste un recapado o simplemente retirar el material en el caso de que el proyecto sólo contemple demolición del pavimento. En caso de que la losa de hormigón este bajo una carpeta asfáltica, esta debe ser removida fresándola [11].

Este método de rehabilitación de pavimentos de hormigón ha demostrado ser una de las técnicas con mejor relación entre costo y efectividad. Consiste en la trituración de hormigón en fragmentos angulares pequeños entrelazados mecánicamente, con lo cual se destruye completamente la losa de hormigón. Existen dos formas de aplicar este método, el primero se conoce como *martillo de Caída* (Drop Hammer) y el segundo como *rompedor resonante* [11].

2.6.1.a. Rubblizing por medio de martillo de caída (Drop hammer)

El drop hammer posee entre 12 a 16 martillos que pesan entre 455 y 680 kilogramos fuerza cada uno, montados en pares, en dos filas. Cada martillo se deja caer desde una altura aproximada de 1.5 [m] sobre la superficie del pavimento. El ciclo completo desde que el martillo golpea el pavimento, se levanta y se deja caer nuevamente tiene una frecuencia máxima de 35 impactos por minuto.

Uno de los inconvenientes del uso del drop hammer es el posible deterioro de las capas subyacentes a la losa debido al fuerte impacto generado por los martillos al caer. Además, este requiere una compactación con un rodillo texturado después del proceso de trituración [11].

La Figura 2.8 esquematiza la trituración de la superficie del pavimento mediante drop hammer.

FUNCIONAMIENTO DEL DROP HAMMER

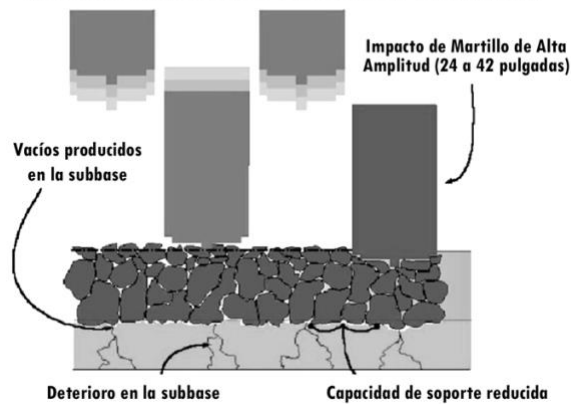


Figura 2.8.- Aplicación de drop hammer, como método para producir la trituración/pulverización del pavimento [11].

2.6.1.b. Rubblizing por medio de rompedor resonante.

La experiencia estadounidense ha demostrado que esta tecnología presenta grandes ventajas frente a las otras alternativas de rehabilitación y demolición de pavimentos de hormigón. En los últimos 15 años ha sido utilizada en 40 estados de Estados Unidos. La técnica es similar a la explicada en 2.6.1.a, la diferencia se encuentra en la aplicación de un golpe a mayor frecuencia y una amplitud menor. Es un martillo que golpea con una frecuencia de 45 [Hz], 2700 golpes por minuto; con una amplitud de 2 [cm], lo cual permite obtener una capa granular de alta capacidad estructural, excelente comportamiento frente al agua y sin alteraciones en las condiciones originales de la subbase y subrasante existente, ya que la energía entregada es absorbida completamente por el hormigón y no se observa que la subbase granular o la subrasante se vea afectada [11].

La Figura 2.9 esquematiza la trituración de la superficie del pavimento mediante rompedor resonante.

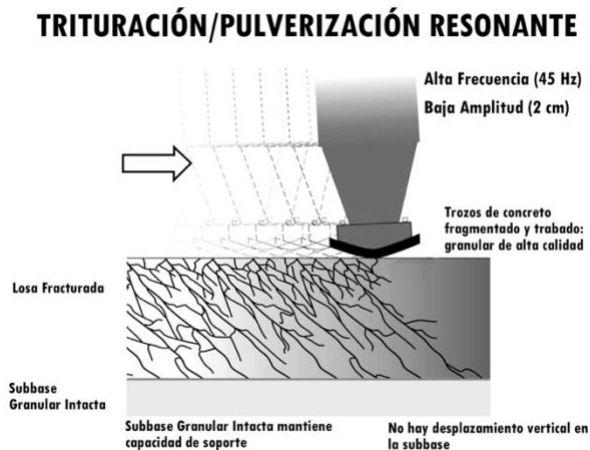


Figura 2.9.- Patrón de fractura inducido en la losa de hormigón por el rompedor resonante [11].

Luego sobre esta capa triturada de alta calidad, se coloca una capa superior de mezcla asfáltica en caliente para restituir las propiedades funcionales y estructurales del pavimento.

2.6.2. Ventajas del uso del método Rubblizing con Rompedor Resonante

El método destacado previamente tiene muchas ventajas en los ámbitos medioambientales, técnicos y económico, donde se destacan [11]:

- **Ventajas Medioambientales:** Este método es prácticamente considerado como un reciclaje de pavimentos de hormigón in-situ, ya que el pavimento triturado es totalmente reutilizado en el caso de rehabilitación de pavimentos. En el caso de que el proyecto sea de demolición de pavimento, los volúmenes de transporte se reducen y estos pueden ser reciclados en otro proyecto. Además, con este método se disminuye la emisión de ruido y polvo en el proceso.
- **Ventajas Técnicas:** Se considera una alternativa muy eficiente en comparación a la reconstrucción de caminos. El mecanismo de falla del camino original es destruido, generando un material nuevo de excelente calidad y propiedades. Presenta un excelente comportamiento a largo plazo del recapado de mezcla asfáltica en caliente sobre el pavimento de hormigón ya triturado/pulverizado.
- **Ventajas Económicas:** la diferencia de costos entre la alternativa de trituración/pulverización y otros métodos de rehabilitación es considerable, y se ha sido estudiado en distintos proyectos de Estados Unidos. Su incidencia económica también se ve reflejada en el alto rendimiento del proceso, donde se ha visto que se puede triturar/pulverizar de 5000 [m²] a 8300 [m²] por día.

CAPITULO III

3. Metodología de trabajo

Este Trabajo de Título se realizará con apoyo de la Secretaría de Planificación Comunal (SECPLAC) de la Ilustre Municipalidad de Pichidegua, quienes proveerán de información e implementación necesaria para la optimización de los procesos necesarios:

3.1. Recopilación de información

Se buscarán los datos necesarios para estudio dentro de las diferentes áreas de estudio:

3.1.1. Estudio topográfico

Se utilizarán informes topográficos existentes de la avenida, actualizado en diciembre de 2019. Adicionalmente se hará la revisión del diseño geométrico actual de la avenida [12].

3.1.2. Estudio de tránsito

Se utilizarán datos del Censo de Tránsito del Departamento de Estadística y Censo de Tránsito de la Dirección de Vialidad para la estimación del Tránsito Medio Diario Anual (T.M.D.A).

3.1.3. Estudio geotécnico

Se utilizarán datos de estudio de Mecánica de Suelos realizado en marzo 2021 en las cercanías de la ubicación de la Avenida, específicamente en la calle Sargento Aldea. Por otra parte se buscarán datos climatológicos.

Estos datos se utilizarán en la determinación de las condiciones de Número Estructural de capas asfálticas.

3.1.4. Estudio climático e hidrológico

Se buscarán datos climatológicos de estaciones cercanas para estimar la Temperatura Media Anual Ponderada del aire (T.M.P.A). Por otra parte, se realizará un estudio hidrológico de la cuenca aportante de acuerdo con Manual de Diseño de Aguas Lluvias del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).

3.2. Diseño

De acuerdo con lo obtenido en la recopilación de datos, se procederá a estimar los ejes equivalentes, el Índice Internacional de Rugosidad (I.R.I), coeficientes estructurales, de espesor y drenaje correspondientes de las diferentes capas, parámetros estadísticos, módulo resiliente, índices de serviciabilidad y todos los parámetros necesarios para la aplicación del método de diseño para pavimentos flexibles AASHTO-93.

El diseño estructural del pavimento estará definido por la vida útil de diseño, tránsito local, dimensiones de capas considerando el método constructivo de reciclaje de pavimentos explicado en 2.6, drenaje de aguas lluvias y condiciones de subrasante.

Por otra parte se realizará la revisión y adaptación del diseño geométrico del camino, entregando un diseño acorde al proyecto, a las necesidades de la Secretaría de Planificación Comunal y a su vez sea acorde a la normativa vigente.

3.3. Análisis de resultados

El presente trabajo se enfocará en obtener parámetros de diseño, basándose en criterios iniciales entregados por Manual de Carreteras y el Manual de Diseño Estructural de Caminos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, destinado al diseño de pavimentos en zonas rurales.

3.4. Conclusión y Comentarios.

Se realizarán los comentarios y observaciones pertinentes de acuerdo a los datos obtenidos del diseño, los cuales se espera sean relevantes dentro del contexto de la aplicación del proyecto y también en el ámbito académico.

3.5. Confección de Planos y Especificaciones técnicas

Se entregarán planos con especificaciones del diseño: dibujos de planta, cortes transversales, detallamientos, etc.

A continuación, la Figura 3.1 muestra un diagrama de flujo del trabajo a realizar en este trabajo de título en un orden lógico de realización.

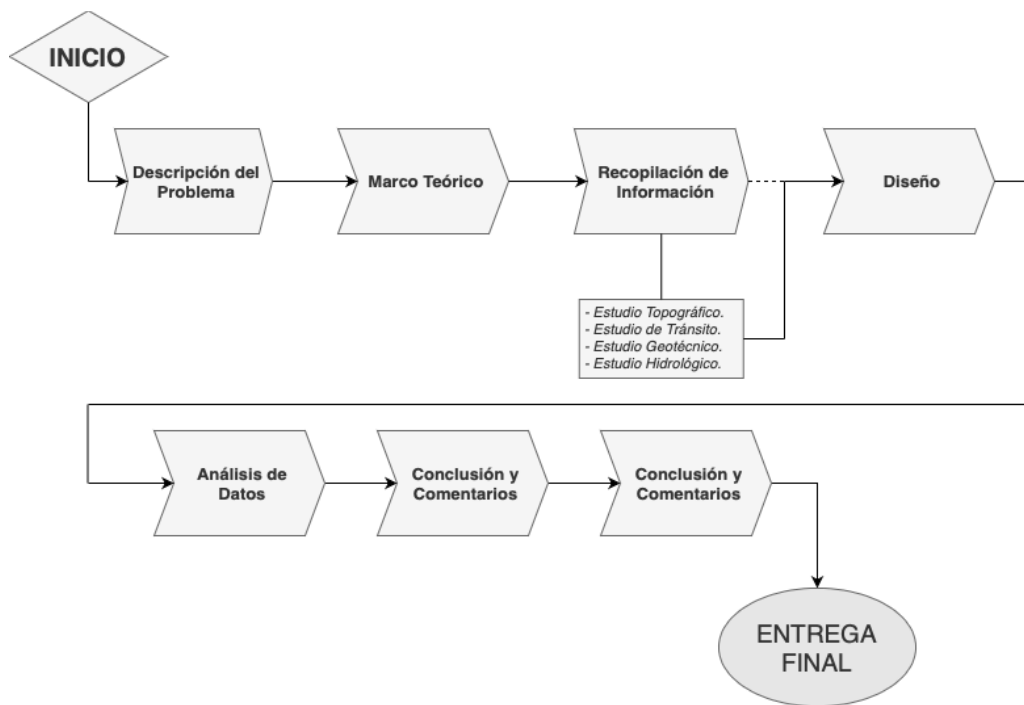


Figura 3.1.- Esquema de trabajo para Proyecto de Título.

CAPITULO IV

4. Datos y condiciones actuales de la avenida

En esta etapa del trabajo, se realiza un estudio para determinar las condiciones, datos y estadísticas iniciales del lugar, las cuales se espera sean relevantes y necesarias para el proceso de diseño del pavimento.

4.1. Condiciones Topográficas

Las condiciones topográficas se determinan a partir del levantamiento realizado por la empresa Glaciar Ingeniería [12], donde se entrega un informe de 10 paginas con emplazamiento, coordenadas, dimensiones reales, perfiles longitudinales y transversales así como cotas topográficas de rasante, cunetas, veredas, accesos vehiculares, vegetación, bandejón central, etc.

De este informe se obtiene que la avenida en cuestión está compuesta por 1300 [m] de calzada, con un tránsito en doble sentido, con pendientes transversales de bombeo irregulares y variables a lo largo de la avenida, las cuales, no tienen una justificación, desniveles y ancho variable en su extensión, cotas de rasante que varían entre los 170 y 175 [msnm] a lo largo de la avenida.

Este informe se considera de gran utilidad para determinar los perfiles longitudinales del camino y dar modificaciones a estos de acuerdo a las necesidades para su diseño geométrico, determinar cotas de rasante del camino y de trabajo para dar una guía en los procesos de fresado de las capas superficiales de asfalto existentes, definiciones de perfiles, rellenos y recapados que serán aplicados de acuerdo con el diseño de este proyecto.

4.2. Condiciones de Tránsito

4.2.1. Tránsito Medio Diario Anual (TMDA)

Para los datos de tránsito se utilizan los valores entregados por el Plan Nacional de Censos de la Dirección de Vialidad [13].

Considerando que el tránsito vehicular de la avenida proviene de los vehículos locales y que provienen de la ruta H-76, se asumirá el TMDA obtenido por la estación ubicada en la bifurcación "La Ratonera", ruta H-76 en dirección a Pichidegua, la cual se muestra en la Figura 4.1



Figura 4.1.- Ubicación de punto de medición para TMDA respecto a avenida Independencia.

En la estación de medición, se realiza un registro de tránsito correspondiente al año 2019, desde donde se obtienen los datos necesarios para calcular el TMDA del presente año.

Si bien Avenida Independencia contempla sólo el tránsito de vehículos livianos y locomoción colectiva para el acceso al centro de la comuna, el diseño se realizará considerando el tránsito de todo tipo de vehículos (medidos por la Dirección de Vialidad en bifurcación La Ratonera), ya sea por eventualidades, desvíos por trabajos futuros o algún evento que obligue al tránsito de vehículos mayores por esta vía. Luego, el TMDA de cada clase de vehículo para el año 2019 es:

Tabla 4.1.- Datos de tránsito de ruta H-76 hacia Pichidegua [13].

	Autos	Camionetas	Camiones 2 ejes	Camiones + 2 ejes	Semi Remolque	Remolque	Locomoción colectiva	TMDA total
Bif. La Ratonera - Pichidegua	3210	1028	327	61	14	21	154	4815

4.2.2. Tasa de Crecimiento

Se utiliza la tasa de crecimiento presentada en el censo vehicular de la dirección de vialidad, en donde se presenta una tasa de crecimiento anual de 10.08%

4.2.3. Factor de ejes equivalentes.

Pensando en que los diferentes ejes que circulan por un camino no necesariamente cumplen con las condiciones definidas para el eje patrón para el diseño según AASHTO (eje simple – rueda doble de 80 kN), es que se debe hacer una conversión de estos ejes circulantes a ejes patrones, los cuales generan una pérdida de serviciabilidad establecida.

Para este proceso se utiliza el concepto de *Factor de Ejes Equivalentes*, el cual tiene la relación definida en la ecuación (4.1):

$$FEE = \frac{\text{Nº de ejes de 80 kN que causan la misma pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº de ejes de X peso que causan una determinada pérdida de serviciabilidad}} \quad (4.1)$$

Considerando que los tipos de vehículos tienen distinta configuración de ejes, es que se presenta los siguientes ejes característicos con sus respectivos pesos máximos obtenidos de la tabla 3.005.4.A del Manual de Carreteras [6]:

Tabla 4.2.- Pesos máximos por eje y sus combinaciones [6].



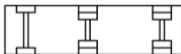

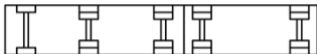

Tipo de Eje	Tipo de Rodado	Peso (ton)	Tolerancia (ton)
Simple	Simple	7	0.35
Simple	Doble	11	0.60
Doble	Simple	14	0.70
Doble	Uno Doble + Uno Simple	16	0.75
Doble	Doble	18	0.90
Triple	Simple	19	0.95
Triple	Dos Dobles + Uno Simple	23	1.10
Triple	Doble	25	1.20

Se puede estimar que los diferentes vehículos censados se componen de más de un eje, por lo que asumiendo que el eje delantero de los vehículos que circulan por el lugar son simples con rodado simple es que es posible desprestigiar su incidencia para el cálculo de ejes equivalentes, por ejemplo, un bus interurbano se compone de un eje delantero simple con rodadura simple y un eje trasero simple con rodadura doble. Luego, para la estimación del factor de ejes equivalentes de este vehículo se considerará sólo el eje trasero.

Si bien dentro del numeral 3.603.303(1) del Manual de Carreteras [6] se especifica que los ejes equivalentes de proyecto se deben calcular con factores de equivalencia correspondientes a pavimento rígido (hormigón), debido a que se pretende transformar la losa de hormigón existente en una base con características y comportamiento especial, dando a la superestructura una característica de flexibilidad, es que se considera prudente considerar factores de equivalencia correspondientes a pavimento flexible.

De acuerdo con los vehículos tipo descritos en la sección 3.005 del Manual de Carreteras [6], el censo de tránsito obtenido de la Dirección de Vialidad [13] y la estimación de factor de ejes equivalentes según las tablas de la sección 3.603 del Manual de Carreteras [6] sabiendo que el diseño contempla un pavimento flexible, se tiene la Tabla 4.3

Tabla 4.3.- Cálculo de factor de ejes equivalentes.

Tipo	Esquema (sin escala)	Peso máximo por cada eje					Factor Ejes Equivalentes
		Delantero	Trasero 1	Trasero 2	Trasero 3	Trasero 4	
Vehículo liviano		7 ton	7 ton	-	-	-	0.007
Camión 2 ejes		7 ton	11 ton	-	-	-	3.17
Camión +2 ejes		7 ton	11 ton	11 ton	-	-	6.34
Semi remolque		7 ton	18 ton	18 ton	-	-	4.00
Remolque		7 ton	11 ton	11 ton	11 ton	11 ton	12.68
Locomoción Colectiva		7 ton	11 ton	-	-	-	3.17

4.3. Condiciones Climáticas e Hidrológicas

Es necesario tener conocimiento de las condiciones climáticas e hidrológicas del lugar, esto es útil para determinar el escenario de uso del camino, así como el agua que debe transportarse y evacuarse.

4.3.1. Datos de precipitación y transporte de aguas lluvias

Para estimar las condiciones hidrológicas se realiza un estudio en base a las precipitaciones locales y la topografía del lugar para determinar las áreas aportantes y caudales de aguas lluvias que se deben descargar del sector urbano.

4.3.1.a. Estimación de Intensidad de Lluvia

Para la intensidad, se busca generar una curva de Intensidad – Duración – Frecuencia (I.D.F) en base a los datos de precipitación existentes en la zona.

Hay muchas formas de obtener estas curvas, pero considerando la escases de estaciones pluviométricas en la zona, es que se utiliza la expresión dada por la ecuación (4.2) [6]:

$$P_t^T = K \cdot CD_t \cdot CF_T \cdot P_D^{10} \quad (4.2)$$

Donde

- P_t^T Precipitación con periodo de retorno de T años y duración de t horas [mm].
- K Coeficiente de corrección para la lluvia máxima P_D^{10} medida entre 8 AM y 8 AM de las 24 horas más lluviosas de la tormenta, para el que se ha adoptado un valor de $K = 1.1$.
- CD_t Coeficiente de duración para t horas.
- CF_T Coeficiente de frecuencia para T años de periodo de retorno.
- P_D^{10} Precipitación diaria (8 AM a 8 AM) con 10 años de periodo de retorno [mm].

Al no tener datos pluviométricos locales, la precipitación diaria para un periodo de retorno de 10 años puede ser estimada mediante un análisis a los planos de isoyetas, escala 1:500000, del estudio “Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días” de la Dirección General de Aguas [15], la cual se muestra en la Figura 4.2 .

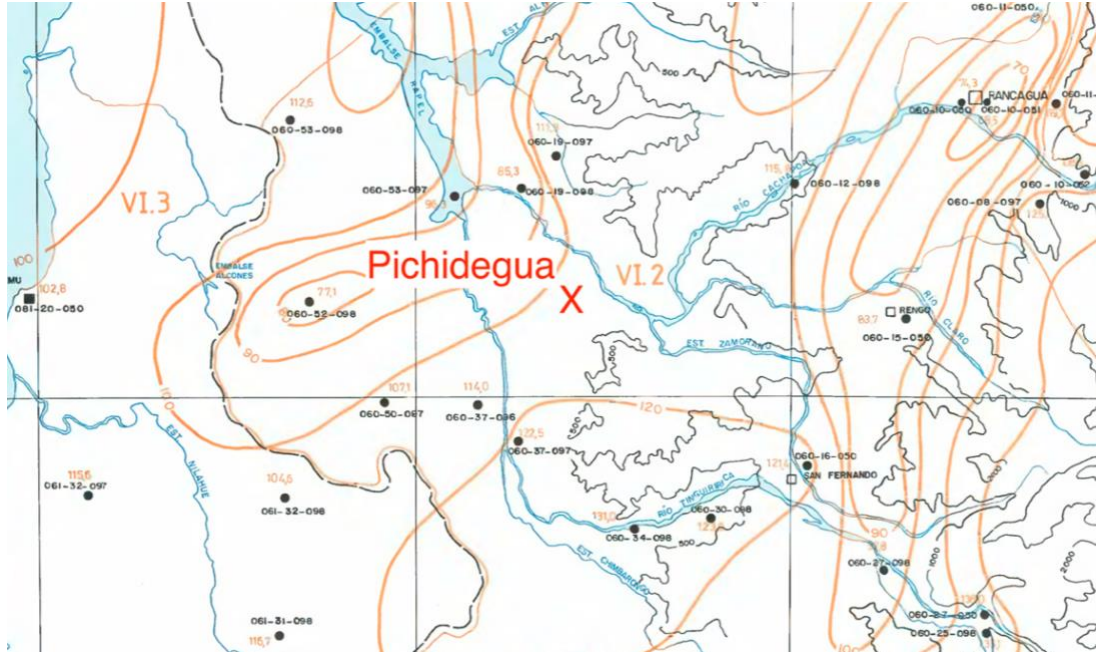


Figura 4.2.- Isolíneas de precipitación máxima diaria para periodo de retorno de 10 años en la región de O'higgins [15] con ubicación aproximada de Avenida Independencia.

Realizando una interpolación entre las isóneas de precipitación máxima diaria en las cercanías de la ubicación de Pichidegua se obtiene que, para este proyecto, la precipitación máxima en 24 horas (diaria) para un periodo de retorno de 10 años es:

$$P_{24}^{10} = 106 \text{ [mm]}$$

Los coeficientes de duración y de frecuencia se determinarán de acuerdo con lo estipulado en el Manual de Carreteras [6] en el apartado 3.702.4, donde las tablas 3.702.403.A y 3.702.403.B entregan estos valores para las distintas duraciones y periodos de retorno de acuerdo con localidades específicas.

Considerando los datos entregados en Manual de Carreteras [6], la cercanía que tiene el centro de Pichidegua con Lllallauquén y las condiciones climáticas parecidas que existen entre estas localidades, es que se asumirá que los factores de corrección de duración y de frecuencia para la expresión (4.2) se extraerán de la estación pluviométrica de Lllallauquén, los cuales se muestran en las Tablas Tabla 4.4 y Tabla 4.5

Tabla 4.4.- Coeficientes de Frecuencia para estación pluviométrica Lllallauquén [6].

Periodo de Retorno [años]	2	5	10	20	25	50	100	200
Coeficiente de Frecuencia CF_T	0.58	0.83	1.00	1.16	1.21	1.37	1.52	1.68

Tabla 4.5.- Coeficientes de duración para 10 años de periodo de retorno para la estación pluviométrica Lllallauquén [6].

Duración [hrs]	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Coeficiente de duración CD_t	0.16	0.25	0.40	0.50	0.57	0.64	0.70	0.76	0.86	1.00

En caso que la aplicación del método racional requiera intensidades de lluvias con duraciones menores a una hora, se aplicará la expresión propuesta por Bell que ha sido calibrada para Chile mediante coeficientes generalizados [6], dada por la ecuación (4.3).

$$P_t^T = (0.54t^{0.25} - 0.50) \cdot (0.21 \ln T + 0.52) \cdot P_1^{10} \quad (4.3)$$

Donde

- P_t^T Precipitación con periodo de retorno de T años y duración de t minutos [mm].
- t Tiempo de duración de la tormenta [min].
- $\ln T$ Logaritmo natural del periodo de retorno T.
- P_1^{10} Precipitación con periodo de retorno 10 años y duración de 1 hora.

Luego, la intensidad de la tormenta se obtiene mediante la ecuación (4.4)

$$I_t^T [\text{mm/h}] = P_t^T / (t/60) \quad (4.4)$$

Con la información y datos entregados, se obtienen las siguientes curvas I.D.F para diferentes periodos de retorno, los cuales se resumen en la Figura 4.3.

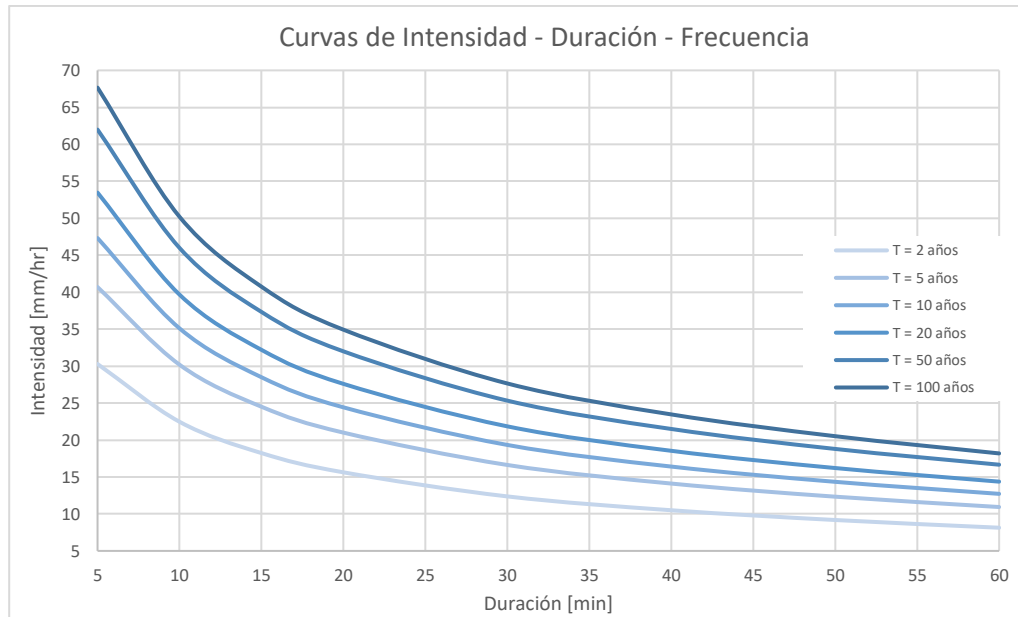


Figura 4.3.- Gráfica con Curvas IDF para distintos periodos de retorno.

Es posible observar en la Figura 4.3 que cuando la duración de una tormenta es mayor a una hora, la variación de la intensidad es mínima, por lo que se hace irrelevante.

La determinación de la intensidad dependerá del método y criterios de diseño utilizados.

4.3.1.b. Áreas aportantes

Con ayuda de los perfiles topográficos entregados por la Municipalidad, inspecciones en terreno y programas computacionales para georreferenciación, es posible obtener un perfil topográfico, curvas de nivel y pendientes de diferentes puntos para luego determinar la dirección del escurrimiento de agua.

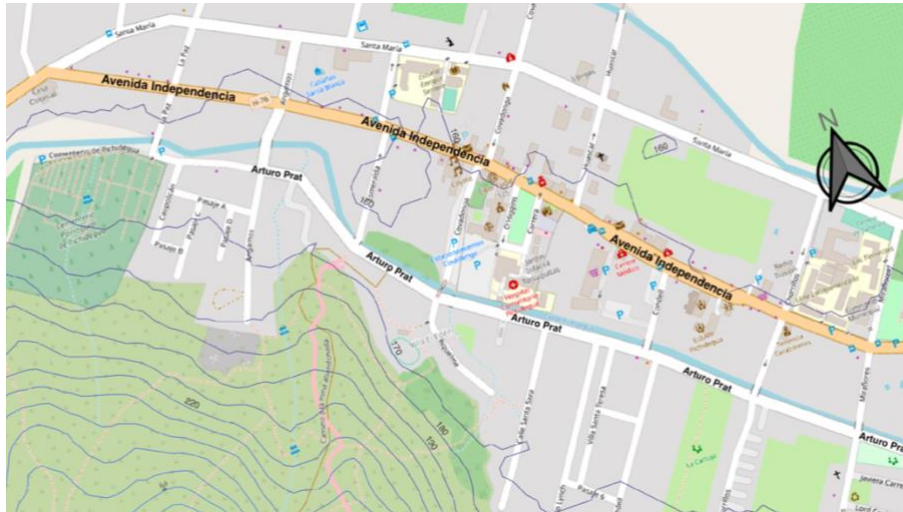


Figura 4.4.- Curvas de Nivel cercanas a Avenida Independencia.

De acuerdo a la Figura 4.4, es posible observar que las aguas provenientes del cerro en la parte sur de la calle Arturo Prat, son descargadas y evacuadas en el canal existente entre calle Arturo Prat y Avenida Independencia, por lo que se asume que la descarga de aguas lluvias en la avenida en estudio provienen de las áreas aportantes ubicadas entre Avenida Independencia y la calle Arturo Prat.



Figura 4.5.- Áreas aportantes para descarga de aguas lluvias.

Considerando que el comportamiento del agua es distinto dependiendo del tipo de superficie donde tiene contacto, es que es importante identificar las diferentes superficies y sus diferentes coeficientes de escurrimiento que refleja el porcentaje de agua caída que escurre por la superficie. Para esto, de acuerdo con la realidad local se considera que la mayoría de las superficies de contacto (o áreas aportantes) están compuestas por techumbres de viviendas y locales, suelo natural y superficies

asfaltadas o revestidas con materiales que producen mayor impermeabilización de la zona. Por otra parte, se observa que producto de los desniveles, el lado norte de la avenida no recibe aportes de aguas lluvias, pero a modo de seguridad y de acuerdo a las condiciones del lugar, se asumirá que las aguas lluvias a descargar en este lado son las correspondientes a parte de la misma calzada y veredas de la avenida.

Luego, se estima que las áreas aportantes de acuerdo con la Figura 4.5 son las que se entregan en la Tabla 4.6:

Tabla 4.6.- Áreas aportantes de aguas lluvias para Avenida Independencia

Tramo	Identificación	Largo [m]	Lado	Superficie	Área [m ²]	Área total [m ²]
Tramo 0	Entre Ruta H-76 Y PA1	100.00	N	Calzada y Veredas	881.50	881.50
				Techos	0.00	
				Suelos	0.00	
			S	Calzada y Veredas	733.47	9528.47
				Techos	1454.00	
				Suelos	7341.00	
Tramo 1	Entre PA1 Y PA2	267.47	N	Calzada y Veredas	2096.96	2096.96
				Techos	0.00	
				Suelos	0.00	
			S	Calzada y Veredas	1897.79	14365.79
				Techos	3300.00	
				Suelos	9168.00	
Tramo 2	Entre PA2 Y PA3	497.21	N	Calzada y Veredas	4306.12	4306.12
				Techos	0.00	
				Suelos	0.00	
			S	Calzada y Veredas	4028.88	39026.88
				Techos	8131.00	
				Suelos	26867.00	
Tramo 3	Entre PA3 Y PA4	162.92	N	Calzada y Veredas	1723.73	1723.73
				Techos	0.00	
				Suelos	0.00	
			S	Calzada y Veredas	2342.61	16319.61
				Techos	3937.00	
				Suelos	10040.00	
Tramo 4	Entre PA4 y Miraflores	255.93	N	Calzada y Veredas	2505.41	2505.41
				Techos	0.00	
				Suelos	0.00	
			S	Calzada y Veredas	2588.54	21213.54
				Techos	5375.00	
				Suelos	13250.00	

Adicionalmente, se consideran los coeficientes de escurrimiento por tipo de área aportante de acuerdo con la Tabla 4.7:

Tabla 4.7.- Coeficientes de escurrimiento según superficie precipitada.

Calzada y Veredas	0.95
Techos	0.90
Suelos	0.67

4.4. Condiciones geotécnicas y estructura existente

Ya que los proyectos de pavimentación base de la avenida tienen una antigüedad mayor a 40 años, la actual administración municipal no cuenta con registros de esto y conseguir esta información podría ser difícil, por lo que se asumirá que los datos estructurales de las capas del camino (clasificación de la vía, espesores de base granular y losa de hormigón) se obtendrán del Manual de Obras Viales, Pavimentación y Aguas Lluvias del Servicio de Vivienda y Urbanismo [9]. Por otra parte, se asumirá que la capacidad de soporte C.B.R de la época es la misma que la obtenida en estudios geotécnicos actuales.

Tabla 4.8.- Cartilla de Diseño de Pavimentos de Hormigón [9].

TIPO DE VÍA	CAPA	CARACTERISTICAS	CBR SUBRASANTE				
			≤ 3	4 – 7	8 – 12	13 – 19	≥ 20
PASAJE T ≤ 50.000EE	LOSA	GRE = G35	140	130	120	120	120
	BASE	CBR ≥ 60	300	150	150	150	150
LOCAL T ≤ 200.000EE	LOSA	GRE = G35	160	140	130	130	130
	BASE	CBR ≥ 60	300	150	150	150	150
SERVICIO T ≤ 1.000.000EE	LOSA	GRE = G35	170	160	150	150	150
	BASE	CBR ≥ 60	300	150	150	150	150
COLECTORA T ≤ 3.000.000EE	LOSA	GRE = G35	190	180	180	180	170
	BASE	CBR ≥ 60	300	200	200	200	150
TRONCAL T ≤ 10.000.000EE	LOSA	GRE = G35	230	220	220	220	210
	BASE	CBR ≥ 60	300	200	200	200	150
EXPRESA T ≤ 20.000.000EE	LOSA	GRE = G35	260	260	250	250	240
	BASE	CBR ≥ 60	300	200	200	200	150

GRE : Grado de resistencia especificada del hormigón
CBR : Capacidad de soporte del suelo

Considerando un C.B.R del 35% obtenido del informe de ensayo oficial para el proyecto de extensión de agua potable y aguas servidas para la calle Sargento Aldea de la comuna de Pichidegua [16] y sabiendo que Avenida Independencia es una vía de Servicio, con ayuda de la cartilla de diseño de pavimentos de hormigón [9] se tiene que las características de las capas son:

Tabla 4.9.- Características de capas pavimento de hormigón para una vía de Servicio con un C.B.R de subrasante mayor a 20%.

Capa	Características	Espesor de Capa [mm]
Losa	GRE = G35	150
Base	CBR > 60%	150

Sobre esta losa de hormigón (pavimento rígido), existen sobrecapas de mezcla asfáltica utilizadas para la reparación de baches o diferentes fallas en la estructura que afectan a la integridad del camino, por lo que esto no parece relevante.

Luego, se observa que el pavimento actualmente está estructurado como se muestra en la Figura 4.6

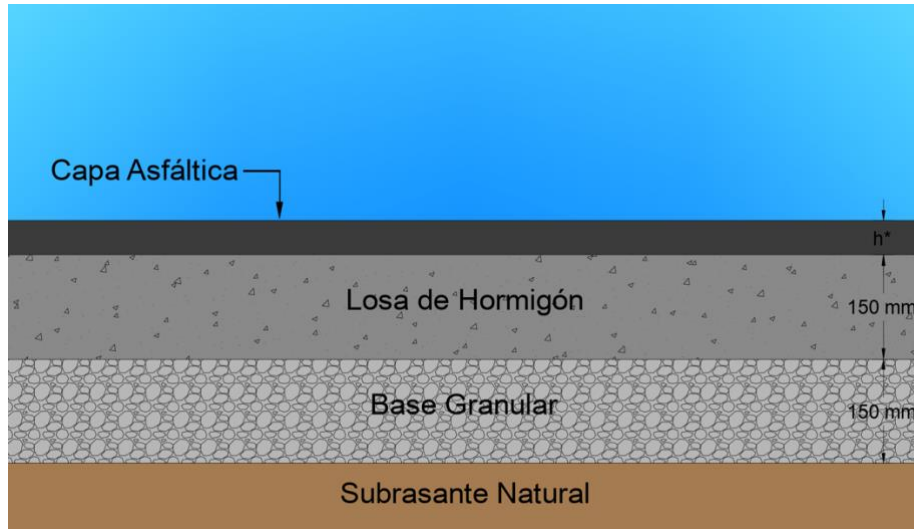


Figura 4.6.- Esquema de estructuración actual de pavimento.

Se considera que la altura h^* es variable de acuerdo al tramo del camino y las condiciones en que se encuentre este.

CAPITULO V

5. Diseño

Es necesario estipular las características y dimensiones necesarias para que el pavimento resista las cargas a las que será sometido durante la vida útil para la cual se espera diseñar, así como generar las condiciones necesarias para una obra civil de este tipo.

Como se expresó anteriormente, se realizará un diseño estructural del pavimento y una revisión del diseño geométrico existente para la avenida, donde se espera ver si existe la necesidad de modificar cotas de rasante, pendientes, emplazamientos, etc.

5.1. Diseño estructural

De acuerdo con los datos entregados por el volumen N°3 del Manual de Carreteras [6], se entregan rangos de la vida de diseño de los diferentes caminos de alto y bajo tránsito. Considerando que el camino a diseñar se emplaza en el centro neurálgico de una comuna con un alto tránsito de vehículos livianos, se considera óptimo dar una vida útil de diseño de 20 años.

Como se definió en el Capítulo 2 de este trabajo, el método de diseño a utilizar es el AASHTO 93 de acuerdo con las ecuaciones (2.1) y (2.2):

$$EE = (NE + 25.40)^{9.36} \cdot 10^{(-16.40 + Z_R \cdot S_o)} \cdot M_R^{2.32} \cdot \left(\frac{p_i - p_f}{p_i - 1.50} \right)^{1/\beta}$$
$$\beta = 0.40 + \left(\frac{97.81}{NE + 25.4} \right)^{5.19}$$

La finalidad de usar esta expresión es calcular el número estructural del pavimento flexible, y con éste obtener las dimensiones de las capas que lo componen. Para esto, se debe tener los parámetros necesarios para el uso de esta expresión:

5.1.1. Ejes equivalentes

De acuerdo con el Volumen N°3 del Manual de Carreteras [6], los ejes equivalentes para el diseño pueden definirse como la cantidad de pasadas de un eje simple de rueda doble de 80 [kN], de las cuales se genera una equivalencia de cualquier tipo de eje con el eje de diseño mediante un factor de equivalencia, como se expresa en la expresión (4.1), por lo que considerando diferentes tipos de vehículos con diferentes tipos y pesos de ejes, se puede asumir que los ejes equivalentes pueden calcularse mediante la suma de la equivalencia de cada tipo multiplicado por la cantidad de pasadas de cada eje, como se expresa en la ecuación (5.1)

$$EE = \sum FEE_i \cdot P_i \cdot TMDA = \sum FEE_i \cdot T_i \quad (5.1)$$

Siendo P_i el porcentaje de TMDA asociado al tránsito del tipo de eje i .

En base a los valores obtenidos para los TMDA de cada tipo de vehículo (T_i) entregados en la sección 4.2 así como una tasa de crecimiento constante para toda la vida útil de diseño, se puede obtener la cantidad de ejes equivalentes por año y así una proyección de cuantos ejes equivalentes circularán en todo el periodo de diseño.

Considerando que los datos para el diseño obtenidos de la Dirección de Vialidad son mediciones del año 2019, por lo que se estima que, si el inicio de la vida útil es en 2021 y el final es en 2040, se tienen los valores resumidos en la Tabla 5.1:

Tabla 5.1.- Resumen de cálculo de ejes equivalentes según tránsito de vialidad.

Año	Autos	Camionetas	Camión 2 ejes	Camión +2 ejes	Semi Remolque	Remolque	Locomoc. Colectiva	TMDA	EE/Año	EE DISEÑO
2019	3210	1028	327	61	14	21	154	4815	826161	
2021	3890	1246	396	74	17	25	187	5835	999451	
2040	24127	7727	2456	455	108	159	1165	36197	6217544	57929407

Luego, la suma de ejes equivalentes de todos los años de diseño es 57929407 ejes equivalentes.

5.1.2. Confiabilidad

Es necesario definir los factores estadísticos de confiabilidad como lo son el nivel de confianza (Z_R), la desviación normal del error combinado (S_o) y con ellos obtener el factor de confiabilidad (F_R). De acuerdo con el Volumen N°3 del Manual de Carreteras, se pueden estimar estos valores en base a la cantidad de ejes equivalentes y el coeficiente de variación de los suelos, como se muestra en la Tabla 2.4 de este trabajo.

Considerando los escasos datos de mecánica de suelos, que la calicata realizada previamente corresponde a un proyecto que se emplaza en las cercanías del camino y que no se tienen datos previos es que se asumirá un escenario muy conservador, por lo que se propone que puede existir un coeficiente de variación alto, lo que se verá reflejado en un mayor valor de S_o , por lo que considerando los ejes equivalentes calculados en el punto 5.1.1 y viendo la Tabla 2.4 se tiene los datos para este diseño, mostrados en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2.- Datos de Confiabilidad.

Confiabilidad		75%
Nivel de Confianza	Z_R	-0.695
Desviación Normal del Error Combinado	S_o	0.48
Factor de Confiabilidad	F_R	2.16

5.1.3. Condiciones de serviciabilidad

Se dispone de parámetros de serviciabilidad entregados por el manual de carretera [6] entregados en el apartado 2.3.2 de este trabajo.

5.1.4. Módulo resiliente.

Para obtener el módulo resiliente de subrasante (M_R) se utilizará la relación entre este concepto y el valor de CBR del suelo existente, de acuerdo con las ecuaciones (2.4) y (2.5) de este trabajo, obtenidas del Manual de Carreteras [6].

De acuerdo con el informe geotécnico del laboratorio CONTROLAB [16], se define un CBR para el suelo de la calle Sargento Aldea, ubicada en las cercanías de Avenida Independencia, datos que se asumirán constantes y pertenecientes al terreno donde se emplaza la avenida.

Tabla 5.3.- CBR de subrasante obtenido de informe geotécnico - calle Sargento Aldea [16].

Razón de Soporte C.B.R.	35%
-------------------------	-----

De acuerdo con este dato, se puede obtener el módulo resiliente a partir de la ecuación (2.5) de este trabajo

$$M_R \text{ [MPa]} = 22.1 (\text{CBR})^{0.55}$$

Considerando el valor de CBR presentado en la Tabla 5.3 se obtiene un módulo resiliente de

$$M_R = 156 \text{ [MPa]}$$

5.1.5. Número estructural

Con los datos obtenidos anteriormente, es posible determinar el número estructural (NE) requerido. Se sabe que el número estructural del pavimento está compuesto por el número estructural de cada capa estructural que forma la estructura del pavimento, como se muestra en la ecuación (5.2):

$$NE = NE_{\text{asf}} + NE_{\text{base}} + NE_{\text{subbase}} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot m_2 \cdot h_2 + a_3 \cdot m_3 \cdot h_3 \quad (5.2)$$

Considerando que se conocen las características de la base (losa de hormigón triturado), subbase (base granular bajo la losa de hormigón existente previamente) y la subrasante identificada previamente, se puede deducir que el número estructural necesario para el recapado asfáltico puede obtenerse a partir de la ecuación (5.3):

$$NE_{\text{asf}} = NE_{\text{req}} - NE_{\text{eff}} \quad (5.3)$$

Donde

- NE_{asf} Número estructural requerido para las capas asfálticas de recapado [mm].
- NE_{req} Número estructural necesario para cumplir con la demanda de tránsito, de acuerdo con las ecuaciones (2.1) y (2.2) [mm].
- NE_{eff} Número estructural efectivo [mm].

5.1.5.a. Número estructural requerido

Con los datos obtenidos anteriormente, es posible determinar el número estructural (NE) requerido para el pavimento en cuestión.

Tabla 5.4.- número estructural, calculado con ecuaciones (2.1) y (2.2).

Número Estructural requerido [mm]	96.7
-----------------------------------	------

5.1.5.b. Número estructural efectivo

El Número Estructural Efectivo es calculado en base a la suma de los Números Estructurales obtenidos de las capas actuales que serán utilizadas como base y subbase. Para este caso particular se considera una base de hormigón triturado con rompedor resonante y para la subbase se considera una capa granular existente como base del pavimento rígido actual, la disposición de capas se representa en la Figura 5.1.

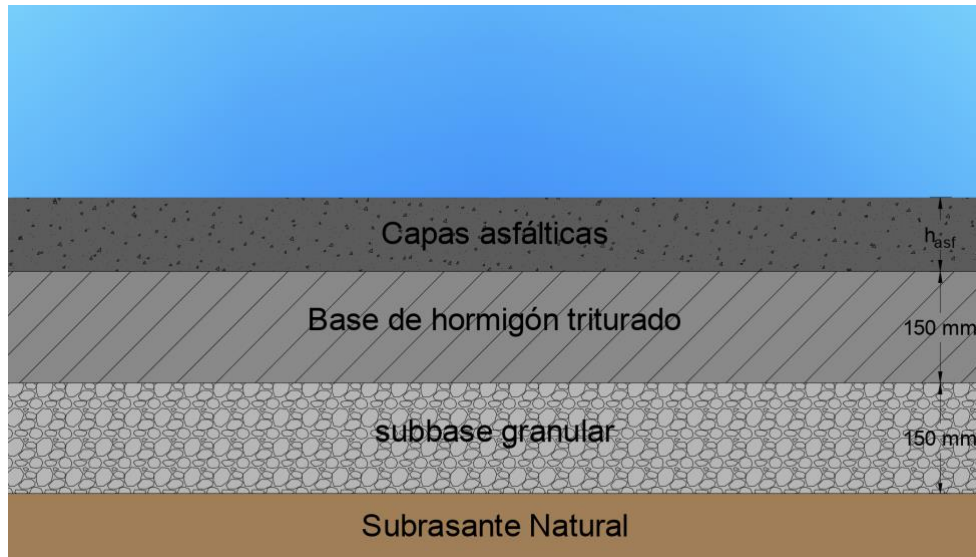


Figura 5.1.- Esquema de estructuración prevista para rehabilitación de pavimento.

De acuerdo a las disposiciones MINVU, se considera que la subbase (proveniente de la base granular del pavimento rígido existente) con un CBR mínimo de 60% y un coeficiente de drenaje de 1.0 para zona urbanas. De acuerdo con la falta de datos y teniendo un criterio conservador, se considera para este trabajo académico un CBR mínimo de uso y utilizando la expresión del Manual de Carreteras para obtener el coeficiente estructural de una subbase granular.

$$a_3 = 0.058 (C.B.R.)^{0.19} \quad (5.4)$$

Finalmente, es posible determinar el coeficiente estructural de esta capa, como también el número estructural correspondiente a esta misma. Los datos y resultados relevantes de la subbase granular se resumen en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5.- Datos correspondientes a subbase granular

C.B.R. de subbase	60%
Coeficiente de drenaje (m_3)	1.00
Coeficiente estructural (a_3)	0.13
Espesor de Capa [mm]	150
NE de subbase [mm]	19.5

Para la base de hormigón triturado, es necesario considerar que existen estudios que han intentado estimar el coeficiente estructural, pero de acuerdo a un estudio chileno, realizado por los ingenieros Guillermo Thenoux y Álvaro Gonzalez, para caracterizar el material triturado se utiliza un coeficiente estructural igual a 0.34 para una confiabilidad de un 75% [11]. Los datos y resultados relevantes de la base de hormigón triturado se resumen en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6.- Datos correspondientes a base de hormigón triturado

Coeficiente de drenaje (m_3)	1.00
Coeficiente estructural (a_3)	0.34
Espesor de Capa [mm]	150
NE de base [mm]	51.0

Finalmente se obtiene el número estructural requerido en base a los números estructurales de la base y subbase, donde se resumen los resultados en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7.- Resumen de número estructural efectivo

Número Estructural Base NE_2 [mm]	51.0
Número Estructural Subbase NE_3 [mm]	19.5
Número Estructural Efectivo NE_{eff} [mm]	70.5

5.1.5.c. Número estructural de capas asfálticas.

El número estructural para las capas asfálticas, se obtiene en base a la ecuación (5.3) de este trabajo de título:

$$NE_{asf} = NE_{req} - NE_{eff}$$

Reemplazando los valores de número estructural requerido y efectivo se tiene

Tabla 5.8.- Resumen de número estructural para capas asfálticas

Número Estructural requerido NE_{req} [mm]	96.7
Número Estructural Efectivo NE_{eff} [mm]	70.5
Número Estructural para Capas Asfálticas NE_{asf} [mm]	26.2

Se aplica un recapado asfáltico en caliente para la superficie del camino, como se esquematiza de manera simplificada en la Figura 5.1.

Se propone la aplicación del relleno asfáltico en dos capas asfálticas y considerando el número estructural de capas asfálticas calculado en el numeral anterior de 26.2 [mm]. Se propone la implementación de dos capas asfálticas:

- La primera es una capa intermedia de concreto asfáltico, la cual posee una estabilidad Marshall de 8000 [N], ésta tendrá un espesor promedio de 50 [mm] y será variable de acuerdo a las necesidades que presente la estructura (se proporcionará mayor espesor donde se requiera nivelar o reforzar la base). Esta capa tiene como finalidad generar una transición y sirva como ligante entre la base de hormigón triturado y la capa superficial de asfalto.
- La segunda es una capa superficial de concreto asfáltico, la cual posee una estabilidad Marshall de 9000 [N], considerando que la capa intermedia tiene como finalidad nivelar la superficie, esta tendrá un espesor constante de 50 [mm].

Lo anterior se ilustra en la Figura 5.2

5.1.5.d. Número estructural proyectado

Considerando las capas existentes y el recapado asfáltico propuesto en el numeral anterior, es posible calcular el número estructural que tendrá la estructura del pavimento con la configuración propuesta en el diseño.

Si bien el Manual de Carreteras entrega las ecuaciones para obtener los coeficientes estructurales de concreto asfáltico de acuerdo con el módulo de elasticidad o la estabilidad Marshall, la tabla 3.604.107.A de este mismo presenta los valores de coeficientes estructurales ya calculados para las

capas de concreto asfáltico propuestas anteriormente. De esta, se extraen los valores entregados en la Tabla 5.9

Tabla 5.9.- Coeficiente estructural de capas asfálticas a_1 .

Capa	Estabilidad Marshall [N]	Coficiente Estructural
Capa Superficial	9000	0.43
Capa Intermedia	8000	0.41

Luego, es posible calcular el número estructural proyectado para este camino con la expresión (5.2)

$$NE_{\text{proy}} = a_1 \cdot h_1 + NE_{\text{eff}} = (a_{\text{sup}} \cdot h_{\text{sup}} + a_{\text{int}} \cdot h_{\text{int}}) + NE_{\text{eff}}$$

Finalmente se tiene que el Número Estructural proyectado es

$$NE_{\text{proy}} = 112.5 \text{ [mm]} = 112 \text{ [mm]}$$

Se observa que el número estructural proyectado para el pavimento, de acuerdo con las especificaciones de capas es mayor que el número estructural requerido para soportar las pasadas proyectadas para el periodo de vida útil de la estructura.

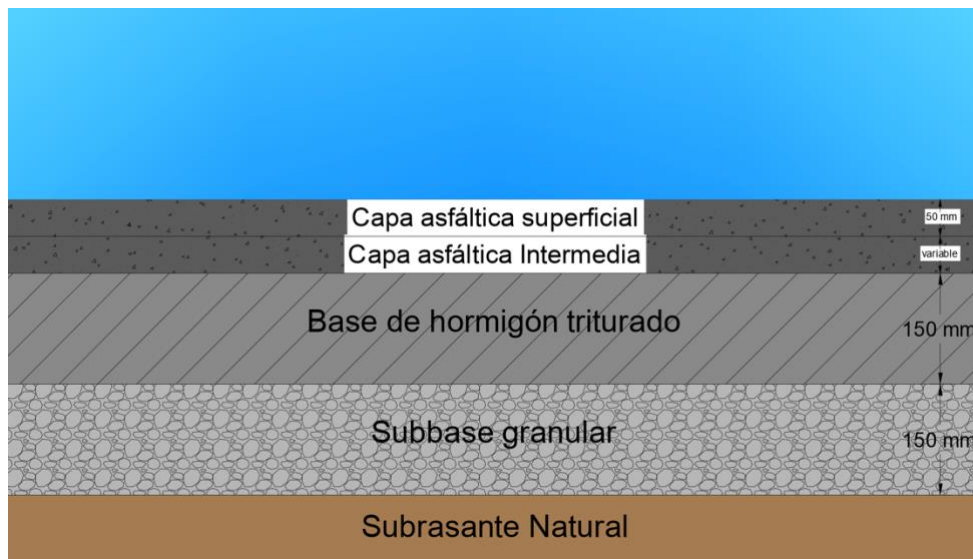


Figura 5.2.- Esquema de estructuración final para rehabilitación de pavimento.

5.2. Revisión geométrica

Considerando que el proyecto contempla una reposición de pavimento sobre un emplazamiento existente, se realiza una revisión de la geometría existente, a modo de verificar la velocidad de proyecto del camino y finalmente obtener un diagrama de peraltes adecuado de acuerdo con esta velocidad.

Se hará revisión de la configuración de curvas existentes en el lugar, donde se define cada parámetro de acuerdo con la Revisión bibliográfica del Capítulo 2.

5.2.1. Parámetros de curvas

Al observar la topografía del lugar, es posible determinar que el camino está compuesto por 5 curvas, las cuales son mostradas en la Figura 5.3.

Con ayuda del software AutoCAD se determina la ubicación de las curvas y sus distintos elementos de acuerdo con la Figura 2.4.

A modo de descripción del procedimiento, se determinan las rectas del camino, se proyectan hasta ser intersectada y así formar el vértice de la curva. Con este vértice es posible definir la distancia desde este punto hasta los puntos de principio de curva (PC) y por otra parte al final de curva (FC), distancia conocida como “tangente”, así como el ángulo que conforman las alineaciones (α), los cuales son presentados en la Figura 2.4. Con estos valores es posible determinar los parámetros necesarios para corroborar el diseño.

A modo de resumen del proceso, se entregan las curvas con sus parámetros definidos

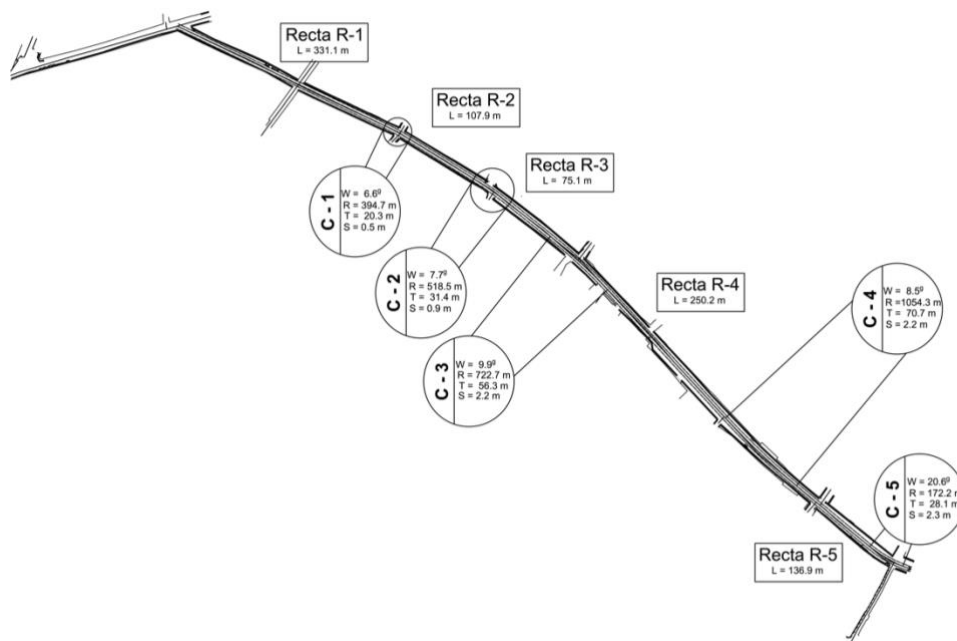


Figura 5.3.- Planta de curvas de Avenida Independencia.

De acuerdo con la Figura 5.3, en la Tabla 5.10 se entrega un resumen con los parámetros de las curvas de la avenida.

Tabla 5.10.- Especificaciones de curvas de Avenida Independencia.

Variables	Curvas				
	C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5
Ángulo de deflexión (ω) [grad]	6.56	7.69	9.90	8.52	20.61
Radio de Curvatura (R) [m]	394.73	518.53	722.66	1054.30	172.20
Tangente (T) [m]	20.34	31.36	56.31	70.65	28.11
Bisectriz (S) [m]	0.52	0.95	2.19	2.36	2.28

5.2.1.a. Velocidad de Curvas.

El Manual de Carreteras entrega valores con una relación entre la velocidad de proyecto y el radio mínimo de giro para curvas horizontales, estos datos se resumen en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11.- Radios mínimos absolutos en curvas horizontales [6].

Caminos Colectores – Locales – Desarrollo			
V_p [km/h]	p_{max} [%]	t_{max}	R_m [m]
30	7	0.215	25
40	7	0.198	50
50	7	0.182	80
60	7	0.165	120
70	7	0.149	180
80	7	0.132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios			
80	8	0.122	250
90	8	0.114	330
100	8	0.105	425
110	8	0.096	540
120	8	0.087	700

Luego de analizar los valores de radio existentes en el camino de la Tabla 5.10 y compararlos con los valores de radio mínimo de la Tabla 5.11 se obtiene una velocidad de proyecto asociada a cada curva, resultados entregados en la Tabla 5.12

Tabla 5.12.- Velocidad asociada a curvas existentes.

Curva	Radio [m]	V_p [km/h]
C - 1	394.73	90
C - 2	518.53	100
C - 3	722.66	120
C - 4	1054.30	120
C - 5	172.20	60

Luego se limita la velocidad de las curvas a la menor velocidad entregada por la Tabla 5.12, la cual es 60 [km/h] producida en la curva C - 5.

5.2.2. Parámetros de rectas

Por otra parte, en la Figura 5.3 se pueden observar las rectas existentes y sus longitudes, las longitudes de cada recta se entregan en la Tabla 5.13, con las cuales es posible obtener la velocidad de proyecto para la circulación de los vehículos por estas.

Tabla 5.13.- Longitudes de rectas Avenida Independencia según Figura 5.3.

Recta	R - 1	R - 2	R - 3	R - 4	R - 5
Longitud [m]	331.1	107.9	75.1	250.2	136.9

5.2.2.a. Longitud mínima de recta

Sabiendo que la velocidad de proyecto será la velocidad utilizada a lo largo de toda la avenida, es que se considera la menor longitud de las entregadas en la Tabla 5.13 y se analiza con la ecuación (2.17).

$$L_{r_{\min}} = 1.4 \cdot V_p \Rightarrow L_r \geq 1.4 \cdot V_p \Rightarrow V_p \leq \frac{L_r}{1.4}$$

Considerando que la recta de menor longitud mide 75.1 [m], se obtiene una velocidad de proyecto debe ser menor que 53.6 [km/h]

$$V_p \leq 53.6 \text{ [km/h]}$$

5.2.2.b. Longitud máxima de recta

Al comparar la velocidad de proyecto obtenida en 5.2.2.a y la velocidad específica obtenida para las curvas en 5.2.1.a, se considera prudente utilizar una velocidad de proyecto de 50 [km/h], la cual cumple con el requerimiento de velocidad de proyecto máxima calculada previamente y con este parámetro se obtiene una longitud máxima para las rectas, mediante la ecuación (2.15) de este trabajo de título, es decir:

$$L_r \leq 20 \cdot V_p \Rightarrow L_r \leq 1000 \text{ [m]}$$

Luego, es posible deducir que todas las longitudes de rectas están dentro del tramo de longitud definido entre las longitudes mínima y máxima en función de una velocidad de proyecto, esto es:

$$70 \leq L_r \text{ [m]} \leq 1000$$

Finalmente, es posible decir que la velocidad de proyecto adecuada para la Avenida es 50 [km/h], la cual cumple con la geometría propuesta para las curvas y rectas existentes.

Considerando que la velocidad de proyecto es 50 [km/h] es posible realizar el diseño del camino sin el uso de curvas de enlace (clotoides).

5.2.3. Diagramas de Peraltes

Es importante señalar que, al no utilizar curvas de enlace, es necesario generar el cambio de pendiente transversal desde la pendiente transversal de bombeo (-b) al peralte de diseño (+p y -p), donde gran parte de esta transición se realiza antes de llegar a la curva circular en cada tramo, por lo que esta transición de peraltes deberá realizarse a lo largo de los tramos rectos del camino, con lo que se busca evitar un cambio abrupto de inclinación.

5.2.3.a. Consideraciones iniciales

Para este estudio se consideran como parámetros iniciales de diseño, una calzada con dos pistas de 3.5 [m] de ancho cada una y una pendiente de bombeo transversal de un 4%, de acuerdo con el diseño del drenaje urbano presentado en este trabajo de título.

De acuerdo con la sección 5.2.2, en su parte final se define una velocidad de proyecto de 50 [km/h], lo cual, de acuerdo a la Tabla 5.11 se tiene un radio mínimo de 80 [m] y un peralte máximo de un 7%.

Los parámetros de curva, radio, ángulo de deflexión, tangente, bisectriz, longitud de desarrollo se definen de acuerdo a los datos de la Tabla 5.10.

5.2.3.b. Definición de peralte

De acuerdo con el Manual de Carreteras [6], hay una relación entre la velocidad de proyecto, radio de curva, peralte y fricción mediante la ecuación (5.5).

$$R = \frac{V^2}{127(p + t)} \quad (5.5)$$

Donde

- R Radio absoluto de curva, en [m].
- V Velocidad de proyecto, en [km/h].
- p Peralte del camino, en [m/m].
- t Coeficiente de fricción correspondiente a V.

Suponiendo que solo 1/3 de la fuerza centrífuga es absorbida por el peralte y el resto es absorbida por la fricción transversal neumático-pavimento, entonces la ecuación (5.5) puede escribirse como la ecuación (5.6).

$$R = \frac{V^2}{127(p + 2p)} = \frac{V^2}{381p} \quad (5.6)$$

Donde

- R Radio absoluto de curva [m].
- V Velocidad de proyecto [km/h].
- p Peralte del camino [m/m].

Despejando el peralte de la ecuación (5.6) y expresando los valores de peralte en porcentaje, se tiene que el valor de peralte mínimo es

$$p_{\min}[\%] = \frac{V^2}{3.81 \cdot R} \quad (5.7)$$

Teniendo en mente que las 5 curvas descritas en 5.2.1 tienen un radio distinto, se entregan los peraltes mínimos en la Tabla 5.14

Tabla 5.14.- Peraltes mínimos para las diferentes curvas.

Curva	Radio [m]	P_{\min}
C - 1	394.73	1.66
C - 2	518.53	1.27
C - 3	722.66	0.91
C - 4	1054.30	0.62
C - 5	172.20	3.81

Se observa en la Tabla 5.14 que los peraltes necesarios son muy bajos, por otra parte la pendiente transversal máxima se considera como el presentado previamente de 7% de acuerdo con la Tabla 5.11.

Es importante resaltar que se espera que el peralte se desarrolle en un 70% en el tramo recto antes de entrar a la curva. La Figura 5.4 entrega una representación generalizada del desarrollo de peraltes en curvas circulares sin curvas de enlace y giro alrededor del eje de la calzada.

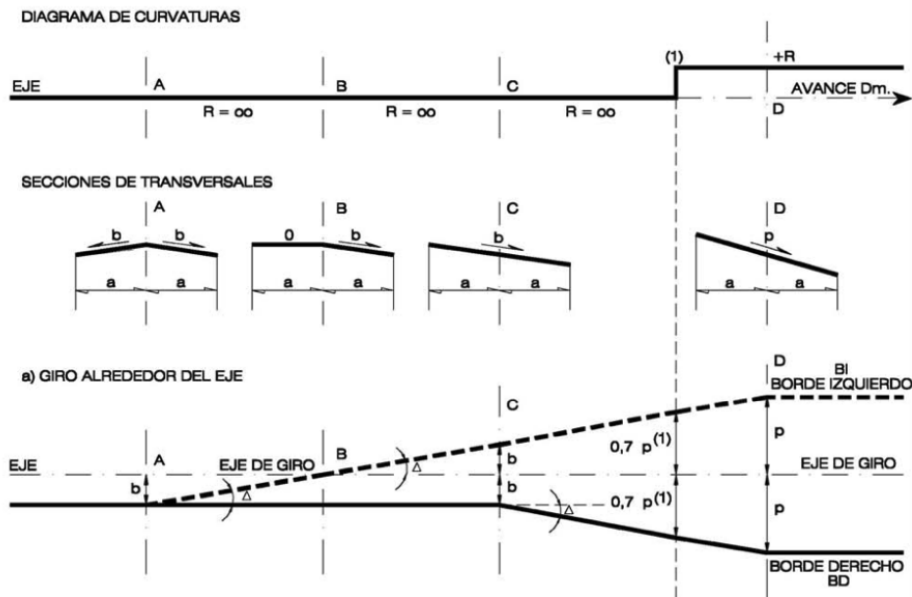


Figura 5.4.- Desarrollo de peralte en curva circular sin curva de enlace, con giro alrededor del eje de la calzada [6].

Finalmente, se escogen peraltes dentro del rango de peralte mínimo de cada curva y el máximo de 7% acorde a la velocidad de proyecto definida. Por otra parte, se considerará un peralte del 4% para que este esté dentro del rango de peraltes establecidos, haya una homogeneidad en el camino y se facilite la construcción.

5.2.3.c. Pendiente relativa al borde

Se define como la inclinación longitudinal del borde de calzada respecto al eje de esta misma. De acuerdo con Manual de Carreteras [6] se tiene que los valores para la pendiente relativa al borde dependen de la velocidad de proyecto, como se muestra en la Tabla 5.15

Tabla 5.15.- Valores admisibles de pendiente relativa al borde (PRB) [6].

V_p	30 – 50	60 – 70	80 – 90	100 – 120
PRB normal	0.70	0.60	0.50	0.35
PRB máx	1.50	1.30	0.90	0.80

De acuerdo con la velocidad de proyecto de 50 [km/h], se considera una pendiente relativa al borde normal de 0.70.

5.2.3.d. Longitud de transición

Se considera la longitud necesaria para pasar desde el bombeo existente al peralte definido para la curva; en la Figura 5.4 es la distancia que hay entre el punto A y el punto D, la cual se define de acuerdo a la ecuación (5.8).

$$L = L_b + L_p = \frac{n \cdot a \cdot b}{PRB} + \frac{n \cdot a \cdot p}{PRB} \quad (5.8)$$

Donde

- L Longitud de transición.
- L_b Longitud de camino necesaria para deshacer el bombeo.
- L_p Longitud de camino necesaria para desarrollar el peralte a partir de la horizontal ($b=0$).
- n Numero de pistas entre punto de giro y extremo.
- a Ancho de pista [m].
- b Pendiente de bombeo del camino, en [%].
- p Peralte para curva, en [%].
- PRB Pendiente relativa al borde, en [%].

Finalmente, considerando que la pendiente de peralte es igual a la pendiente de bombeo, el esquema de la Figura 5.4 sería diferente, lo cual se muestra en la Figura 5.5.

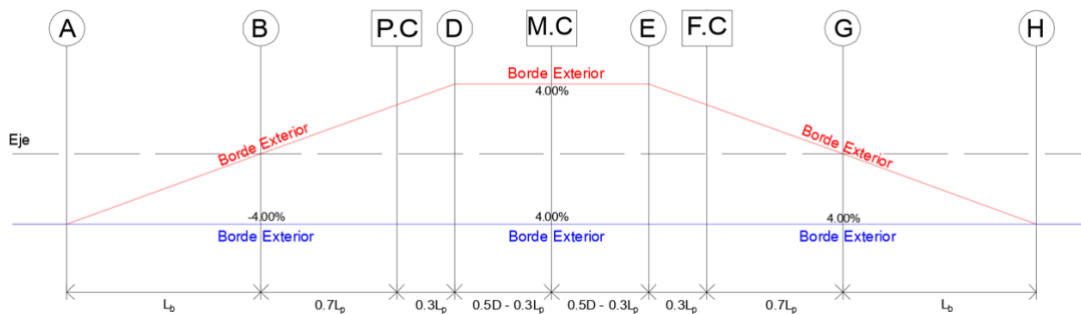


Figura 5.5.- Diagrama de peraltes general para cada curva de Avenida Independencia.

Luego, se entregan los datos para cada curva en la Tabla 5.16.

Tabla 5.16.- Datos para diagrama de peraltes de acuerdo con la Figura 5.5.

	C – 1	C – 2	C – 3	C – 4	C – 5
Dirección giro	Derecha	Derecha	Derecha	Izquierda	Izquierda
Ángulo de Deflexión [grad]	6.56	7.69	9.9	8.52	20.61
Radio de curva [m]	394.73	518.53	722.66	1054.3	172.2
Pendiente de Bombeo [%]	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Peralte [%]	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
L _b [m]	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
L _p [m]	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
A [m]	297.1	445.67	583.41	945.99	1223.99
B [m]	317.1	465.67	603.41	965.99	1243.99
P.C [m]	331.1	479.67	617.41	979.99	1257.99
D [m]	337.1	485.67	623.41	985.99	1263.99
M.C [m]	351.44	510.99	673.6	1050.54	1285.86
E [m]	365.77	536.31	723.79	1115.09	1307.74
F.C [m]	371.77	542.31	729.79	1121.09	1313.74
G [m]	385.77	556.31	743.79	1135.09	1327.74
H [m]	405.77	576.31	763.79	1155.09	1347.74

5.3. Drenaje urbano superficial

Para el drenaje longitudinal de las aguas circulantes en la calzada, producto de la lluvia, se considera una pendiente de bombeo longitudinal con sumideros de acuerdo con las especificaciones MINVU.

5.3.1. Tiempo de concentración

A continuación, la Tabla 5.17 entrega los resultados obtenidos para tiempo de concentración de acuerdo con las ecuaciones (2.19), (2.20) y (2.21).

Tabla 5.17.- Tiempos de concentración según formulas (2.19), (2.20) y (2.21).

TRAMO	tc [min]		
	Kerby	FAA	Kirpich
Tramo 0	4.63	4.61	3.79
Tramo 1	4.43	4.51	3.51
Tramo 2	6.27	6.52	6.23
Tramo 3	6.32	6.97	6.31
Tramo 4	6.83	7.66	7.17
Tramo 5	4.45	4.73	3.54
Tramo 6	3.34	3.50	2.20
Tramo 7	4.20	4.45	3.22
Tramo 8	5.23	5.93	4.62
Tramo 9	6.63	7.82	6.83
Tramo 10	4.17	4.31	3.18
Tramo 11	5.13	5.30	4.47
Tramo 12	7.09	8.09	7.63

Se considera un tiempo de concentración aceptable para el uso del método descrito para la estimación de caudal, que cumpla con las condiciones de diseño dispuestas por el Manual de Carreteras [6] y que provea una intensidad de precipitación considerable dentro de la Figura 4.3 para maximizar las condiciones de diseño. Luego, el tiempo de concentración a utilizar es

$$t_c = 10 \text{ [min]}$$

Continuando con el criterio, se asumirá que la tormenta de diseño tendrá una duración igual al tiempo de concentración.

5.3.2. Periodo de retorno de tormenta

Para el diseño de la infraestructura para aguas lluvias, se considera un periodo de retorno de diseño y de verificación de acuerdo con el Manual de Diseño de Elementos Urbanos de Infraestructura de Aguas Lluvias [10], donde se asume que para el drenaje superficial de una plataforma, tipo camino, se debe diseñar con un periodo de retorno de 2 años, mientras que su verificación debe realizarse con un periodo de retorno de 5 años.

5.3.3. Intensidad de lluvia

Considerando los datos de periodos de retorno y tiempo de concentración, el cual se estimará que es igual al tiempo de duración de la lluvia, es posible obtener la intensidad de la tormenta en base a la gráfica de curvas I.D.F de la Figura 4.3, desde donde se obtienen los datos de la Tabla 5.18:

Tabla 5.18.- Intensidad de lluvia para tormenta de 10 [min] de duración.

	Periodo de retorno [años]	Intensidad [mm/hr]
Diseño	2	22.47
Verificación	5	30.19

5.3.4. Coeficiente de escurrimiento

Considerando que las áreas aportantes estimadas no se componen totalmente de un tipo de cobertura superficial, es que se obtiene un coeficiente de escurrimiento ponderado, el cual, de acuerdo con la ecuación (5.9), depende de la proporción de área aportante compuesta de las diferentes cubiertas superficiales que puedan existir.

$$C_{pond} = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{A_T} \quad (5.9)$$

Donde

- C_{pond} Coeficiente de escurrimiento ponderado.
- C_i Coeficiente de escurrimiento de acuerdo al tipo de capa superficial en la porción i .
- A_i Área correspondiente a superficie i .
- A_T Área aportante total.

5.3.5. Caudal de transporte

Considerando que se está obteniendo el caudal a drenar de una avenida y considerando las dimensiones de las áreas aportantes de acuerdo con la Tabla 4.6, se estima que las áreas aportantes cumplen con la condición de uso para el Método Racional, por lo que se supone que el caudal se puede calcular a partir de la expresión (2.22).

5.3.6. Escurrimiento superficial

La finalidad del diseño para transporte superficial de aguas lluvias, es definir la forma geométrica y dimensiones de la cuneta (canaleta), donde es posible variar el perfil transversal para cumplir con las necesidades de transporte de agua. Para esto, se definen las variables necesarias para utilizar la expresión de Manning, ecuación (2.23) de este trabajo de título.

5.3.6.a. Pendiente longitudinal

Este parámetro es obtenido en base a la topografía existente. Considerando las cotas de la rasante existente en el camino, las diferencias de altura existentes entre ellas y el largo entre éstas, es posible obtener la pendiente promedio entre las distintas pendientes existentes entre el punto más alto de un tramo y su punto de descarga. La Figura 5.6 muestra una simplificación de las ubicaciones relevantes al momento de determinar la pendiente longitudinal.

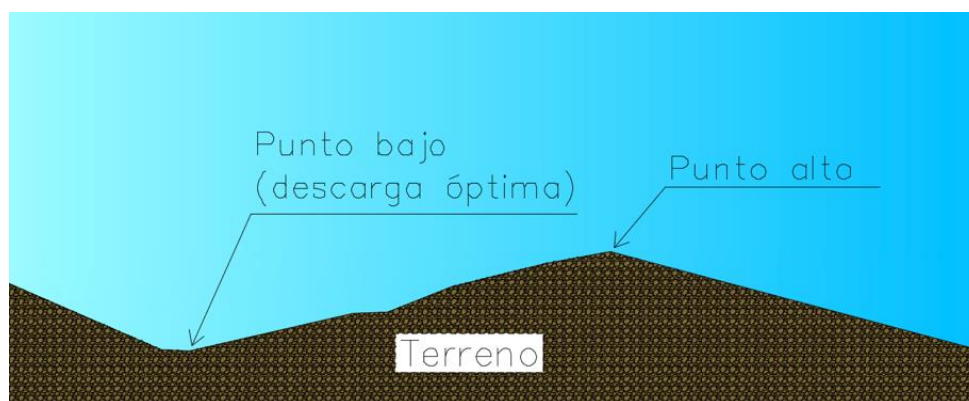


Figura 5.6.- Esquema de puntos relevantes para determinar la pendiente longitudinal.

Los resultados y pendientes longitudinales utilizadas se resumen en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19.- Datos de pendiente, área aportante y caudales para diseño y verificación.

Descarga	IDENTIF	LADO	Área aportante total [m ²]	C _{pond}	Pendiente	Q [m ³ /s] en T=2 años	Q [m ³ /s] en T=5 años
D - 0	PB0 - PA1	Norte	881.5	0.95	0.0141	0.005	0.007
		Sur	9528.47	0.73		0.043	0.058
D - 1	PA1 - PB1	Norte	667.58	0.95	0.01	0.004	0.005
		Sur	3559.51	0.77		0.017	0.023
D - 2	PB1 - PA2	Norte	1429.39	0.95	0.0104	0.008	0.011
		Sur	10806.29	0.76		0.051	0.069
D - 3	PA2 - ESMERALDA S	Norte	1046.5	0.95	0.0051	0.006	0.008
		Sur	6152.3	0.77		0.03	0.04

Tabla 5.20.- Datos de pendiente, área aportante y caudales para diseño y verificación (continuación).

D - 4	Entre Esmeralda y Estacionamiento municipalidad	Norte	1297.06	0.95	0.0044	0.008	0.01
		Sur	19429.51	0.73		0.089	0.119
D - 5	Entre estacionamiento municipal y entrada de Plaza Pichidegua	Norte	653.89	0.95	0.0059	0.004	0.005
		Sur	2544.94	0.82		0.013	0.018
D - 6	Entre la entrada y salida de Plaza Pichidegua	Norte	256.05	0.95	0.0054	0.002	0.002
		Sur	1484.27	0.7		0.006	0.009
D - 7	Entre salida Plaza y Huascar	Norte	437.7	0.95	0.0059	0.003	0.003
		Sur	2779.36	0.79		0.014	0.018
D - 8	Entre Huascar y PA3	Norte	614.92	0.95	0.003	0.004	0.005
		Sur	6636.51	0.75		0.031	0.042
D - 9	Entre PA3 y Condell	Norte	1009.41	0.95	0.0023	0.006	0.008
		Sur	10791.31	0.77		0.052	0.07
D - 10	Entre Condell y PA4	LADO N	714.32	0.95	0.0079	0.004	0.006
		LADO S	5528.29	0.76		0.026	0.035
D - 11	Entre PA4 y Chorrillos S	LADO N	937.08	0.95	0.0096	0.006	0.007
		LADO S	9418.82	0.76		0.045	0.06
D - 12	entre Chorrillos S y Miraflores	LADO N	1568.33	0.95	0.0037	0.009	0.012
		LADO S	11794.72	0.76		0.056	0.075

Es importante destacar que para este estudio no se considera el aporte de aguas lluvias proveniente y transportado por las calles que intersectan la Avenida Independencia, estas aguas lluvias son evacuados a la red de colectores por dispositivos independientes a los de la avenida en cuestión.

5.3.6.b. Velocidad de flujo

Se define como la velocidad del escurrimiento en función del caudal transportado y el área transversal de la cuneta

$$V = Q/A \quad (5.10)$$

Donde

- V Velocidad media de flujo, en [m/s].
- Q Caudal medio de flujo, en [m³/s].
- A Área de la sección transversal de flujo, en [m²].

Considerando que los caudales son expuestos en la Tabla 5.19, las velocidades medias de flujo dependen de la geometría de la cuneta.

5.3.6.c. Área transversal (A) y perímetro mojado (P) de flujo

Dependen del elemento solera utilizada y del bombeo otorgado al camino, el cual se considera que puede variar entre 2% y 4%. En la Figura 5.7 se ilustra una simplificación de la sección transversal del camino.

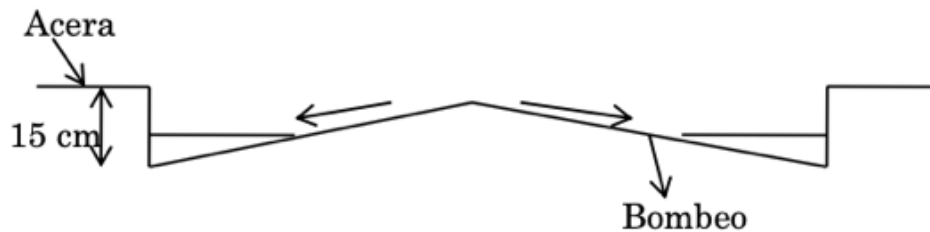


Figura 5.7.- Esquema geométrico simplificado de sección transversal de un camino.

Se busca que la capacidad de escurrimiento de agua sea capaz de transportar los caudales obtenidos en la Tabla 5.19 a velocidades bajas para evitar erosión de la superficie y velocidades superiores a 0.25 [m/s] para evitar la acumulación de sedimentos [6].

Para el análisis, se considera que la cuneta tiene una forma de canal triangular, y utilizando la ecuación de Manning (2.23) se determinan las propiedades de área que cumplan con el caudal de porteo de la calle, donde el ancho superficial del espejo de agua no debe ser mayor a un metro. Un esquema simplificado de cuneta se muestra en la Figura 5.8

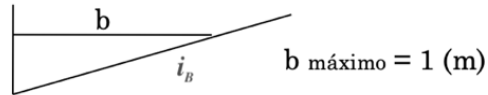


Figura 5.8.- Esquema simplificado de borde de cuneta.

Observando la Figura 5.8 y utilizando relaciones geométricas se tiene que el área transversal de escurrimiento y perímetro mojado pueden ser obtenidos con las ecuaciones (5.11) y (5.12), respectivamente.

$$A = 0.5 \cdot b^2 \cdot i_B \quad (5.11)$$

$$P = b \cdot (1 + i_B) \quad (5.12)$$

En caso de que en condiciones de diseño el ancho del espejo de agua (b) supere un metro, se tienen problemas de inundación de la calle y se debe analizar la posibilidad de realizar una zarpa, elemento con el que se espera aumentar la capacidad. Se presenta un esquema simplificado de la sección transversal de una cuneta con zarpa en la Figura 5.9.

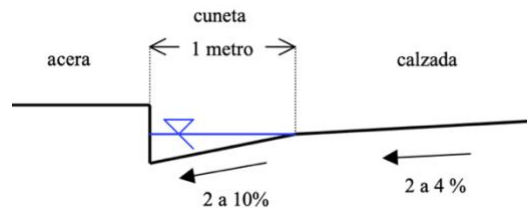


Figura 5.9.- Esquema simplificado de geometría transversal de la cuneta con zarpa.

Inicialmente, este diseño considera la implementación de sumideros necesarios para la evacuación de aguas al final de cada tramo identificado en la Tabla 5.19 (en el punto más bajo de cada tramo). Considerando que ésta es la avenida principal de la comuna y se debe prevenir la acumulación de agua, se considera un bombeo máximo de un 4% en toda su extensión, lo cual mantendrá una homogeneidad en el camino y entrega una mayor capacidad de porteo.

Finalmente, se entrega la Tabla 5.21 a modo de resumen de los cálculos realizados en base a lo descrito previamente.

Tabla 5.21.- Cálculo de sección transversal de cuneta simple necesaria para transporte de caudal aportante.

Descarga	Lado	Bombeo	Q [m3/s]	Pendiente longitudinal [m/m]	A [m2]	P [m]	h [m]	b [m]
D - 0	N	4%	0.005	0.0141	0.0095	0.7158	0.028	0.69
	S	4%	0.043		0.0463	1.5833	0.061	1.52
D - 1	N	4%	0.004	0.0100	0.0087	0.6871	0.026	0.66
	S	4%	0.017		0.0261	1.1895	0.046	1.14
D - 2	N	4%	0.008	0.0104	0.0152	0.9085	0.035	0.87
	S	4%	0.051		0.0588	1.7842	0.069	1.71
D - 3	N	4%	0.006	0.0051	0.0158	0.9239	0.036	0.89
	S	4%	0.030		0.0508	1.6591	0.064	1.59
D - 4	N	4%	0.008	0.0044	0.0196	1.0308	0.040	0.99
	S	4%	0.089		0.1226	2.5769	0.099	2.48
D - 5	N	4%	0.004	0.0059	0.0105	0.7524	0.029	0.72
	S	4%	0.013		0.0259	1.1853	0.046	1.14
D - 6	N	4%	0.002	0.0054	0.0054	0.5385	0.021	0.52
	S	4%	0.006		0.0159	0.9281	0.036	0.89
D - 7	N	4%	0.003	0.0059	0.0078	0.6479	0.025	0.62
	S	4%	0.014		0.0270	1.2093	0.046	1.16
D - 8	N	4%	0.004	0.0030	0.0129	0.8353	0.032	0.80
	S	4%	0.031		0.0642	1.8653	0.072	1.79
D - 9	N	4%	0.006	0.0023	0.0207	1.0592	0.041	1.02
	S	4%	0.052		0.1046	2.3804	0.091	2.29
D - 10	N	4%	0.004	0.0079	0.0100	0.7375	0.028	0.71
	S	4%	0.026		0.0394	1.4611	0.056	1.40
D - 11	N	4%	0.006	0.0096	0.0114	0.7873	0.030	0.76
	S	4%	0.045		0.0546	1.7204	0.066	1.65
D - 12	N	4%	0.009	0.0037	0.0240	1.1413	0.044	1.10
	S	4%	0.056		0.0924	2.2370	0.086	2.15

Se observa que en todo momento se cumple con la altura límite de escurrimiento, 15 [cm], considerados como la altura de la cuneta típica, pero es posible observar que el ancho superficial de agua (b) supera la longitud máxima normativa en casi todos los tramos de escurrimiento de la cuneta sur del camino y algunos tramos del lado norte de este, por lo que es necesaria la implementación de una zarpa, con lo cual se espera generar una conducción con una sección transversal parecida a la mostrada en la Figura 5.9.

En caso de ser necesaria la implementación de una zarpa, generar una con pendiente transversal menor a la pendiente utilizada para el bombeo genera una disminución del área transversal de flujo respecto a una zarpa con una pendiente transversal mayor al bombeo, por lo que se considera una pendiente de zarpa entre un 4% y 10%.

Se propone mantener una homogeneidad en el camino, considerando proyectar una zarpa de 60 [cm] de ancho y una pendiente de un 6%.

Luego, se entrega la Tabla 5.22, donde se resume la información existente y resultados de la sección transversal de transporte de caudal aportante.

Tabla 5.22.- Cálculo de sección transversal de cuneta con zarpa para transporte de caudal aportante.

Descarga	Lado	Bombeo	Q [m ³ /s]	Pendiente longitudinal [m/m]	Pendiente zarpa	x [m]	b [m]	A [m]	P [m]	h [m]
D - 0	N	4%	0.005	0.0141	6%	0.60	0.54	0.0086	0.5696	0.03
	S	4%	0.043				1.45	0.0455	1.5196	0.07
D - 1	N	4%	0.004	0.0100	6%	0.60	0.51	0.0080	0.5467	0.03
	S	4%	0.017				1.04	0.0253	1.0964	0.05
D - 2	N	4%	0.008	0.0104	6%	0.60	0.73	0.0143	0.7735	0.04
	S	4%	0.051				1.65	0.0581	1.7300	0.08
D - 3	N	4%	0.006	0.0051	6%	0.60	0.75	0.0148	0.7921	0.04
	S	4%	0.030				1.52	0.0501	1.5993	0.07
D - 4	N	4%	0.008	0.0044	6%	0.60	0.87	0.0187	0.9178	0.05
	S	4%	0.089				2.43	0.1220	2.5448	0.11
D - 5	N	4%	0.004	0.0059	6%	0.60	0.56	0.0095	0.5988	0.03
	S	4%	0.013				1.04	0.0251	1.0917	0.05
D - 6	N	4%	0.002	0.0054	6%	0.60	0.40	0.0049	0.4285	0.02
	S	4%	0.006				0.75	0.0150	0.7972	0.04
D - 7	N	4%	0.003	0.0059	6%	0.60	0.49	0.0071	0.5156	0.03
	S	4%	0.014				1.06	0.0262	1.1182	0.05
D - 8	N	4%	0.004	0.0030	6%	0.60	0.64	0.0119	0.6823	0.04
	S	4%	0.031				1.73	0.0635	1.8143	0.08
D - 9	N	4%	0.006	0.0023	6%	0.60	0.90	0.0198	0.9503	0.05
	S	4%	0.052				2.24	0.1040	2.3443	0.10
D - 10	N	4%	0.004	0.0079	6%	0.60	0.55	0.0092	0.5869	0.03
	S	4%	0.026				1.32	0.0386	1.3901	0.06
D - 11	N	4%	0.006	0.0096	6%	0.60	0.59	0.0104	0.6265	0.04
	S	4%	0.045				1.59	0.0539	1.6634	0.08
D - 12	N	4%	0.009	0.0037	6%	0.60	0.99	0.0232	1.0429	0.05
	S	4%	0.056				2.10	0.0917	2.1974	0.10

Con la aplicación de zarpa se corrige totalmente el problema de capacidad de calle en la cuneta norte del camino, pero en el borde sur de éste aún se superan las dimensiones máximas de escurrimiento por lo que se requiere aumentar la sección o implementar una solución diferente.

Por otra parte, se realizan verificaciones de la calle, donde se comprueba que la sección transversal del camino sea capaz de transportar el agua para el periodo de retorno de verificación (5 años).

Si bien en esta ocasión no se pide que cumpla las condiciones de ancho superficial de escurrimiento (b), se espera que este no sea mayor a 3.5 [m], que es el ancho de cada pista, así como la altura de agua no supere la altura de cuneta de 15 [cm]. Los cálculos realizados para la verificación se entregan en la Tabla 5.23.

Tabla 5.23.- Cálculo de sección transversal de cuneta con zarpa para transporte de caudal de verificación.

Descarga	Lado	Bombeo	Q [m ³ /s]	Pendiente longitudinal [m/m]	Pendiente zarpa	x [m]	b [m]	h [m]
D - 0	N	4%	0.007	0.0141	6%	0.60	0.60	0.04
	S	4%	0.058		6%	0.60	1.63	0.08
D - 1	N	4%	0.005	0.0100	6%	0.60	0.58	0.03
	S	4%	0.023		6%	0.60	1.19	0.06
D - 2	N	4%	0.011	0.0104	6%	0.60	0.85	0.05
	S	4%	0.069		6%	0.60	1.86	0.09
D - 3	N	4%	0.008	0.0051	6%	0.60	0.87	0.05
	S	4%	0.040		6%	0.60	1.72	0.08
D - 4	N	4%	0.010	0.0044	6%	0.60	1.00	0.05
	S	4%	0.119		6%	0.60	2.73	0.12
D - 5	N	4%	0.005	0.0059	6%	0.60	0.65	0.04
	S	4%	0.018		6%	0.60	1.18	0.06
D - 6	N	4%	0.002	0.0054	6%	0.60	0.45	0.03
	S	4%	0.009		6%	0.60	0.88	0.05
D - 7	N	4%	0.003	0.0059	6%	0.60	0.54	0.03
	S	4%	0.018		6%	0.60	1.21	0.06
D - 8	N	4%	0.005	0.0030	6%	0.60	0.76	0.04
	S	4%	0.042		6%	0.60	1.95	0.09
D - 9	N	4%	0.008	0.0023	6%	0.60	1.03	0.05
	S	4%	0.070		6%	0.60	2.51	0.11
D - 10	N	4%	0.006	0.0079	6%	0.60	0.63	0.04
	S	4%	0.035		6%	0.60	1.50	0.07
D - 11	N	4%	0.007	0.0096	6%	0.60	0.70	0.04
	S	4%	0.060		6%	0.60	1.79	0.08
D - 12	N	4%	0.012	0.0037	6%	0.60	1.13	0.06
	S	4%	0.075		6%	0.60	2.36	0.11

Luego, se observa que las dimensiones de diseño satisfacen la condición de verificación.

Con lo mencionado anteriormente, se propone mantener la geometría de la cuneta y zarpa utilizadas para los cálculos presentados en la Tabla 5.22. La Figura 5.10 da una representación esquemática del área transversal de transporte de agua con las condiciones de cuneta y zarpa descritas.

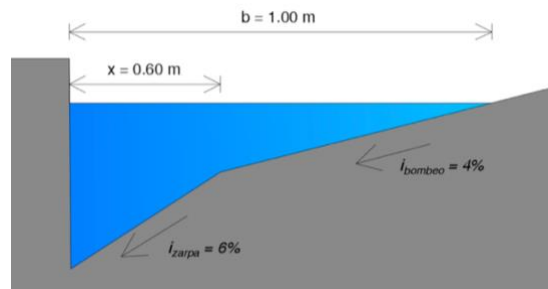


Figura 5.10.- Diagrama de cuneta a implementar en condición de capacidad máxima.

Por otra parte, se propone la implementación de sumideros estudiados por Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) a lo largo del tramo de camino, con la finalidad de disminuir el caudal que circula por las calles, así como el ancho superficial de escurrimiento.

Inicialmente se considera la sección transversal de cuneta descrita previamente para el costado Sur de la calzada, el cual se repite en el costado norte a modo de prevención a lo largo de todo el camino, se verá su capacidad máxima de porteo y con esto se analizará la implementación de sumideros.

Considerando las dimensiones entregadas en la Figura 5.10, en la Tabla 5.24 se muestra un resumen de los cálculos de altura de agua para cada tramo de descarga.

Tabla 5.24.- Geometría y máximo porteo de cada tramo de camino de acuerdo con sección de cuneta utilizada.

Descarga	Pendiente longitudinal [m/m]	h [m]	A [m]	P [m]	Q _{max} porteo [m ³ /s]	% de caudal transportable
D - 0	0.0141	0.052	0.0236	1.0534	0.019	42.7
D - 1	0.0100	0.052	0.0236	1.0534	0.016	91.5
D - 2	0.0104	0.052	0.0236	1.0534	0.016	31.1
D - 3	0.0051	0.052	0.0236	1.0534	0.011	37.7
D - 4	0.0044	0.052	0.0236	1.0534	0.010	11.7
D - 5	0.0059	0.052	0.0236	1.0534	0.012	92.4
D - 6	0.0054	0.052	0.0236	1.0534	0.012	100.0
D - 7	0.0059	0.052	0.0236	1.0534	0.012	87.6
D - 8	0.0030	0.052	0.0236	1.0534	0.009	27.6
D - 9	0.0023	0.052	0.0236	1.0534	0.007	14.4
D - 10	0.0079	0.052	0.0236	1.0534	0.014	52.9
D - 11	0.0096	0.052	0.0236	1.0534	0.015	34.2
D - 12	0.0037	0.052	0.0236	1.0534	0.010	17.0

Se define el porcentaje de caudal transportable como el porcentaje del caudal aportante de diseño obtenido previamente que puede ser transportado por la cuneta de la Figura 5.10 cumpliendo con las limitaciones establecidas por la normativa vigente, dicha relación se muestra en la (5.13).

$$\% \text{ de caudal transportable} = \frac{Q_a}{Q_{\max}} \quad (5.13)$$

Donde

- Q_a Caudal aportante de diseño de cada tramo, entregado en la Tabla 5.19.
 Q_{\max} Caudal máximo de porteo para cuneta.

En la Tabla 5.24 se observa que en el costado sur de la calzada, el caudal que se necesita transportar y pasar por el punto más bajo del tramo sería soportado por esta sección solo en la descarga D – 6, pero en los otros tramos sólo se cumplen los máximos en el costado norte del camino, por lo que para el costado sur de los tramos distintos al D – 6 se requiere la implementación de sumideros en distintos puntos a lo largo de los tramos, buscando que estos ayuden a disminuir el caudal circulante por las cunetas de cada tramo. Considerando que el porcentaje de caudal transportable por la cuneta (para tramos distintos al D – 6) es menor al 100%, es que se busca un criterio para la instalación de sumideros.

5.4. Sumideros

Como se expuso previamente en el capítulo 5.3.6, en las cunetas del costado norte del camino se realizará la implementación de sumideros necesarios al final de cada tramo, mientras que en el costado norte se realizará la implementación de sumideros a medida que se vayan necesitando a lo largo del mismo tramo.

5.4.1. Tipos de sumideros

Para esta ocasión se hace uso de sumideros aprobados por el SERVIU descritos por el manual de diseño MINVU [10].

SERVIU aprueba tres tipos de sumidero

- Sumideros horizontales: Se ubican en la cuneta, funcionan efectivamente dentro de un rango amplio de pendientes de calle, pero las rejillas se obstruyen con facilidad y pueden generar inconvenientes para ciclistas y peatones (tipos S3 y S4 del SERVIU).
- Sumideros laterales de abertura en la solera: Admiten objetos arrastrados por la corriente, pero su capacidad decrece con la pendiente. No recomendado para calles con pendientes longitudinales superiores al 3%. Pueden confeccionarse a partir del tipo S2 del SERVIU.
- Sumideros mixtos: Combinan aberturas horizontales en la cuneta y laterales en la solera. Se recomiendan para un amplio rango de condiciones. Tipo S1 y S2 del SERVIU.

En la Figura 5.11 se muestra un esquema de cada tipo de sumidero descrito previamente.

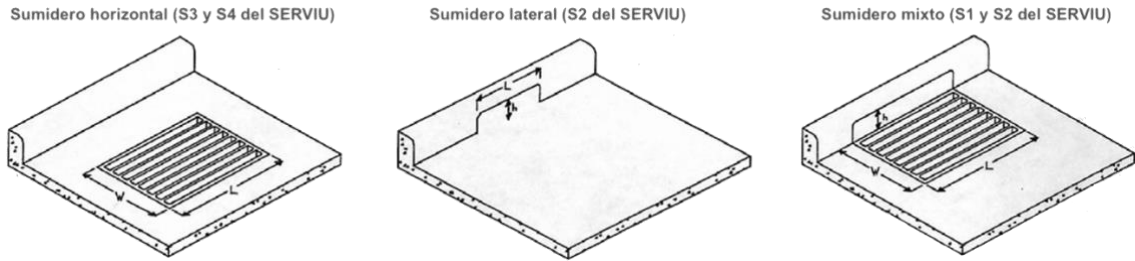


Figura 5.11.- Sumideros tipo SERVIU [10].

En base a estudios hechos por SERVIU, los sumideros mencionados previamente están estandarizados en dimensiones y eficiencia respecto a su capacidad, de acuerdo a la pendiente existente en el lugar y a las condiciones del transporte de agua.

5.4.2. Capacidad máxima de sumideros

La capacidad depende del tipo, tamaño y diseño, donde su capacidad se puede estimar suponiendo que funcionan como vertederos para pequeñas alturas de agua y como orificios para alturas de agua mayores [10].

5.4.2.a. Sumidero horizontal

Un sumidero horizontal de largo L (a lo largo de la cuneta, en metros) y ancho b (transversal a la calle, en metros), con una rejilla de área de aberturas A , en metros cuadrados, puede evacuar como máximo un caudal Q_m [m^3/s], de acuerdo con su comportamiento en función de la altura de agua del escurrimiento, como se muestra en las ecuaciones (5.14) y (5.15).

$$Q_m = 1.66 \cdot (L + 2b) \cdot h^{1.5} \quad \text{si funciona como vertedero: } h < 1.6 \frac{A}{L+2b} \quad (5.14)$$

$$Q_m = 2.66 \cdot A \cdot h^{0.5} \quad \text{si funciona como orificio: } h \geq 1.6 \frac{A}{L+2b} \quad (5.15)$$

Donde h es la altura de agua del escurrimiento en la calle frente al sumidero, en metros.

5.4.2.b. Sumidero lateral

Un sumidero lateral de largo L (a lo largo de la cuneta, en metros), y altura de abertura a (vertical, en metros), puede evacuar como máximo un caudal Q_m [m^3/s], de acuerdo con su comportamiento en función de la altura de agua del escurrimiento, como se muestra en las ecuaciones (5.16) y (5.17).

$$Q_m = 1.27 \cdot L \cdot h^{1.5} \quad \text{si funciona como vertedero: } h < a \quad (5.16)$$

$$Q_m = 2.66 \cdot L \cdot a \cdot h^{0.5} \quad \text{si funciona como orificio: } h \geq 1.6 \frac{A}{L+2b} \quad (5.17)$$

Donde h es la altura de agua del escurrimiento en la calle frente al sumidero, en metros

5.4.3. Capacidad de diseño de sumideros

Estos elementos, no necesariamente logran captar el caudal correspondiente a su capacidad máxima, sólo captan parte del escurrimiento que circula por la cuneta, la fracción no captada escurre aguas abajo y debe agregarse al caudal que recibe la calle, quedando para el siguiente sumidero [10].

La eficiencia global del sumidero es la suma de las eficiencias del sumidero horizontal y del sumidero lateral. Este depende principalmente de las características geométricas de la cuneta, de las características geométricas del sumidero y de la magnitud de caudal que escurre por la cuneta [10]. La capacidad de diseño del sumidero debe considerarse como el valor mínimo obtenido entre los resultados de las ecuaciones (5.18) y (5.19).

$$Q_s = E \cdot Q \quad \text{cuando} \quad E \cdot Q \leq Q_m \quad (5.18)$$

$$Q_s = Q_m \quad \text{cuando} \quad E \cdot Q > Q_m \quad (5.19)$$

Donde

- Q_s Caudal captado por el sumidero.
- Q Caudal que escurre por la cuneta aguas arriba del sumidero.
- Q_m Caudal máximo de captación del sumidero.
- E Eficiencia global del sumidero (máximo 1.00) según la Tabla 5.25.

La Tabla 5.25 muestra las dimensiones y eficiencia de los sumideros según las condiciones de transporte de agua.

Tabla 5.25.- Características geométricas y eficiencia de los sumideros SERVIU [10].

Características	Sumidero S1 o S2	Sumidero S3 o S4	Sum. Especial SERVIU
<u>Sumidero Horizontal</u>			
Largo L [m]	0.98	0.66	3.00
Ancho b [m]	0.41	0.41	0.70
Área libre, rejilla Fe laminado [m ²]	0.22	0.15	0.93
<u>Sumidero Lateral</u>			
Largo L [m]	0.98	---	3.00
Altura a [m]	0.10	---	0.10
<u>Eficiencia de Sumideros</u>			
Condición de diseño (1 [m] en la cuneta) para cualquier pendiente longitudinal	0.90	0.80	1.00
<u>Flujo a cuneta llena</u>			
Pend. long. de la calzada < 0.01	0.45	0.40	0.75
0.01 ≤ Pend. long. de la calzada ≤ 0.05	0.25	0.20	0.75
Pend. Long. de la calzada > 0.05	0.10	0.05	0.50

5.4.5. Sumideros para costado norte del camino

La implementación de sumideros se verá limitada por las condiciones hidráulicas del lugar y de los mismos sumideros, considerando que la capacidad de porteo es mayor que el caudal urbano.

Con ayuda de las ecuaciones y métodos descritos previamente, se considera la implementación de sumideros mixtos (tipo S1 y S2) necesarios, aguas debajo de cada tramo. La Tabla 5.26 entrega un resumen de las capacidades máximas de los sumideros S1 y S2 a implementar en cada tramo de descarga.

Tabla 5.26.- Resumen de cálculo de capacidad máxima de sumideros S1 y S2 para tramos de descarga.

Descarga	Pendiente Longitudinal [m/m]	h [m]	Q [m³/s]	Sumidero Horizontal		Sumidero Lateral		Eficiencia E	Qs [m³/s]	Cant. Sumideros por tramo D
				Función	Qm _H [m³/s]	Función	Qm _L [m³/s]			
D - 0	0.0141	0.03	0.005	Vertedero	0.017	Vertedero	0.007	0.25	0.001	4
D - 1	0.0100	0.03	0.004	Vertedero	0.016	Vertedero	0.007	0.25	0.001	4
D - 2	0.0104	0.04	0.008	Vertedero	0.025	Vertedero	0.010	0.25	0.002	4
D - 3	0.0051	0.04	0.006	Vertedero	0.026	Vertedero	0.011	0.45	0.003	3
D - 4	0.0044	0.05	0.008	Vertedero	0.030	Vertedero	0.013	0.45	0.003	3
D - 5	0.0059	0.03	0.004	Vertedero	0.019	Vertedero	0.008	0.45	0.002	3
D - 6	0.0054	0.02	0.002	Vertedero	0.011	Vertedero	0.005	0.45	0.001	3
D - 7	0.0059	0.03	0.003	Vertedero	0.015	Vertedero	0.006	0.45	0.001	3
D - 8	0.0030	0.04	0.004	Vertedero	0.022	Vertedero	0.009	0.45	0.002	3
D - 9	0.0023	0.05	0.006	Vertedero	0.031	Vertedero	0.013	0.45	0.003	3
D - 10	0.0079	0.03	0.004	Vertedero	0.018	Vertedero	0.008	0.45	0.002	3
D - 11	0.0096	0.04	0.006	Vertedero	0.020	Vertedero	0.008	0.45	0.003	3
D - 12	0.0037	0.05	0.009	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.004	3

De acuerdo con la Tabla 5.26, se observa que para el costado norte del camino, en cada descarga es necesario la implementación de 3 o 4 sumidero tipo S1 y S2 tipo SERVIU según el tramo de descarga.

5.4.6. Sumideros para el costado sur del camino

Para la instalación de sumideros, se precisa determinar los puntos del tramo donde el caudal de captación se vuelve igual o cercana a la máxima capacidad de transporte de la cuneta (capacidad de porteo). Para esto se asume que las áreas aportantes son homogéneas a lo largo del tramo, lo cual es sólo una idealización para simplificar las condiciones existentes y así generar un diseño simple.

Para esto, se consideran sumideros a una distancia D del punto más alto del tramo de camino en base al porcentaje transportable entregado en la Tabla 5.24, por lo que se tiene la ecuación (5.20)

$$D = P \cdot L_t \quad (5.20)$$

Donde

- D Distancia de ubicación entre conjunto de sumideros para evacuar exceso de agua de tramo a lo largo de cada tramo de camino [m].
- P Porcentaje de caudal transportable respecto al caudal aportante [%].
- L_t Largo del tramo de descarga [m].

La Tabla 5.24 tiene los caudales máximos de porteo, para los cuales deben disponerse sumideros a una distancia D, de acuerdo con la expresión (5.20), a partir del punto más alto del tramo. Con esta información, se obtiene la cantidad de tramos en los que se divide el tramo de descarga, luego para simplicidad constructiva se realiza una corrección de la distancia D, la cual representa la distancia entre los puntos de evacuación de aguas lluvias donde se implementan sumideros. Las distancias entre sumideros se presentan en la Tabla 5.27.

Tabla 5.27.- Cálculo de distancia entre sumideros utilizados para controlar porteo de costado sur de camino

Descarga	Pendiente longitudinal [m/m]	Qmax porteo [m ³ /s]	L_t [m]	D [m]	Cant. Tramos largo D	Dcorr [m]
D - 0	0.0083	0.019	111.2	47.47	3	37.1
D - 1	0.0103	0.016	85.2	77.96	2	42.6
D - 2	0.0052	0.016	182.3	56.62	4	45.6
D - 3	0.0020	0.011	130.0	49.00	3	43.3
D - 4	0.0035	0.010	141.9	16.53	9	15.8
D - 5	0.0049	0.012	66.3	61.23	2	33.1
D - 6	0.0080	0.012	34.1	60.57	1	34.1
D - 7	0.0057	0.012	58.3	51.04	2	29.1
D - 8	0.0075	0.009	66.6	18.36	4	16.6
D - 9	0.0125	0.007	96.4	13.88	7	13.8
D - 10	0.0000	0.014	66.5	35.18	2	33.3
D - 11	0.0000	0.015	114.0	39.01	3	38.0
D - 12	0.0000	0.010	141.9	24.11	6	23.7

La cantidad de sumideros mixtos suministrados en cada tramo D, se obtiene con los mismos parámetros y forma definidas en el numeral 5.4.3 de este trabajo de título, por lo que se tiene que en cada tramo de largo D, se debe disponer de los sumideros expuestos en la Tabla 5.28.

Tabla 5.28.- Cantidad de sumideros para cada parte de largo D de los tramos de descarga de aguas lluvias

Descarga	Pendiente Longitudinal [m/m]	h [m]	Q [m ³ /s]	Sumidero Horizontal		Sumidero Lateral		Eficiencia E	Qs [m ³ /s]	Cant. Sumideros por tramo D
				Función	Qm _H [m ³ /s]	Función	Qm _L [m ³ /s]			
D - 0	0.0083	0.052	0.019	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.008	3
D - 1	0.0103	0.052	0.016	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.25	0.004	4
D - 2	0.0052	0.052	0.016	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.007	3
D - 3	0.0020	0.052	0.011	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.005	3
D - 4	0.0035	0.052	0.010	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.005	3
D - 5	0.0049	0.052	0.012	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.005	3
D - 6	0.0080	0.052	0.012	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.005	3
D - 7	0.0057	0.052	0.012	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.005	3
D - 8	0.0075	0.052	0.009	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.004	3
D - 9	0.0125	0.052	0.007	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.25	0.002	4
D - 10	0.0000	0.052	0.014	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.006	3
D - 11	0.0000	0.052	0.015	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.007	3
D - 12	0.0000	0.052	0.010	Vertedero	0.035	Vertedero	0.015	0.45	0.004	3

El agua evacuada de la avenida por medio de los sumideros descritos, es transportada por una red de colectores existente hacia acequias, sistemas de drenes, canales, etc. presentes en las cercanías de la avenida para ser aprovechadas en actividades agrícolas o devueltas al cause natural.

Los sistemas de colectores y todo elemento utilizado para la eficiente evacuación de aguas lluvias deben ser estudiados y analizados. Considerando que el fundamento de este trabajo de título son temáticas de diseño de pavimento y la reutilización de materias primas, no se abordará al verificación hidráulica de elementos existentes ni se proyectarán elementos mas allá de los sumideros para el drenaje superficial.

CAPITULO VI

6. Método Constructivo

De acuerdo con la información entregada en el CAPITULO III del presente trabajo, se considera la reutilización de materiales mediante la tecnología Rubblizing y luego un recapado a partir de mezclas asfálticas en caliente.

En base a las condiciones iniciales esquematizadas en la Figura 4.6, se debe aplicar el método de la siguiente forma:

6.1. Fresado de pavimento asfáltico

Este procedimiento consiste en recortar en frío, con equipo especialmente diseñado para este trabajo, un determinado espesor de la superficie del pavimento, rebajando el nivel superior del pavimento existente [8].

Para este proceso, se considera necesario una máquina fresadora autopropulsada con potencia propia, tracción y estabilidad necesaria para mantener las cotas establecidas en el espesor de corte y pendiente transversal establecidas. Adicionalmente se debe contar con elementos que permitan establecer con exactitud el espesor de corte, los cuales, se espera que tengan variaciones a lo largo de la Avenida. Además, deberá contar con un elemento que cargue el material fresado durante el avance de la máquina (autocargador) o cargado en forma indirecta, así como un equipo barredor a fin de lograr una limpieza adecuada luego de realizado el fresado [9]. La Figura 6.1 muestra una imagen referencial de la maquinaria a utilizar para el proceso de fresado.



Figura 6.1.- Proceso de fresado (imagen referencial) [17].

Si bien en la realidad el espesor de la capa asfáltica podría ser variable de acuerdo con las necesidades del lugar, se considera un espesor estándar de acuerdo con el Manual de Obras Viales, Pavimentación y Aguas Lluvias del Servicio de Vivienda y Urbanismo [9], donde se propone un espesor mínimo de recapado para una vía de servicio de 7 [cm].

6.2. Trituración y Pulverización de losa de hormigón.

Este proceso consiste en la trituración de la losa de hormigón existente mediante golpes controlados de acuerdo con lo que se detalla en la sección 2.6.1. Como se espera disminuir el daño y los posibles cambios en las capas subyacentes (base y subrasante), es que se recomienda la aplicación del método mediante un rompedor resonante (ver sección 2.6.1.b), donde se utiliza una máquina que genere una vibración con una frecuencia de 45 [Hz], 2700 golpes por minuto, con una amplitud de 2 [cm], la cual genera fracturas en el pavimento a 45° respecto a la rasante. La idea es crear un material de base entrelazado con el hormigón triturado, el cual posee un coeficiente estructural superior al de las bases de piedra triturada normalmente utilizadas [11]. La Figura 6.2 entrega una imagen referencial de un rompedor resonante para trituración de losas de hormigón.



Figura 6.2.- Rompedor resonante para proceso de rubblizing (imagen referencial) [18].

6.3. Nivelación

Considerando una cota de rasante existente, se rebaja el camino en 70 [mm] correspondientes al recapado asfáltico existente, de acuerdo con lo explicado en 6.1. Se espera con esto, mantener el perfil longitudinal de la rasante del camino y solamente generar un aumento de cotas homogéneo correspondiente al recapado calculado en la sección 5.1.

Pensando en la probable existencia de partes donde la pendiente transversal del camino existente no cumple con requerimientos de acuerdo con lo analizado en este trabajo de título, es que se propone el movimiento de material, extrayendo material triturado donde las cotas se encuentran sobre la altura correspondiente y rellenando con este mismo material en partes donde se considera que las cotas están bajo la altura definida. Esto espera dar las bases para generar las pendientes de bombeo y peraltes calculados para este proyecto. La Figura 6.3 da una referencia de una motoniveladora, maquina a utilizar para la nivelación de superficies.



Figura 6.3.- Motoniveladora (imagen referencial) [19].

6.4. Compactación

Luego de ejecutada la trituración de la losa de hormigón y la nivelación, se realizan una o dos pasadas de un compactador de rodillo vibrador estándar, donde se espera estabilizar y homogeneizar la base. La Figura 6.4 da una referencia de un rodillo vibrador, utilizado en la compactación de superficies.



Figura 6.4.- Rodillo vibrador (imagen referencial) [20].

6.5. Recapado

Posteriormente a la compactación del punto 6.4, se hace una aplicación de un recapado con mezcla asfáltica en caliente, la cual, debido al tratamiento hecho previamente, no necesita ligantes o adhesivos adicionales.

De acuerdo con el diseño estructural realizado en la sección 5.1, se propone la implementación de dos capas asfálticas:

- La primera capa por implementar es una capa de concreto asfáltico con estabilidad Marshall de 8000 [N] para dar una nivelación final a la superficie donde pudo haberse dificultado la nivelación descrita previamente o dar un perfil sin imperfecciones de nivel al camino. Si bien su implementación está limitada a un espesor variable, se considera un espesor promedio de 50 [mm].
- La segunda es una capa de concreto asfáltico con estabilidad Marshall de 9000 [N], la cual tiene como finalidad dar un acabado a la superficie del camino, así como dar una sobre resistencia a la estructura de pavimento. Su implementación considera un espesor constante de 50 [mm].

Para este proceso se utilizará una maquina asfaltadora como la mostrada en la Figura 6.5, lo cual entrega la capa de asfalto correspondiente.



Figura 6.5.- Pavimentadora de asfalto (imagen referencial) [21].

CAPITULO VII

7. Conclusiones

7.1. Sobre objetivos planteados

De acuerdo a los objetivos principal y generales planteados en la sección 1.2 se establecen las siguientes conclusiones:

Se logra desarrollar una propuesta de diseño estructural y geométrico así como definir un método constructivo para éste.

Fue posible obtener datos relevantes respecto a las condiciones de la zona, datos que son utilizados en este proyecto e incluso pueden ser utilizados en otros proyectos que se estime conveniente y a su vez son compatibles con la implementación de un pavimento asfáltico, de acuerdo con lo dispuesto en el método AASHTO 93, descrito en el Manual de Carreteras [6]. Por otra parte fue posible aplicar la metodología de diseño de pavimentos flexibles, obtener parámetros necesarios e información relevante para este diseño.

Se realiza una revisión del diseño geométrico existente de la avenida, la cual, tiene algunos problemas existentes, lo cual se ve reflejado en las condiciones actuales de la avenida. Con esta revisión se realiza una compatibilidad de lo existente con un nuevo diseño de peraltes de acuerdo a la geometría y bombeos para la evacuación de aguas lluvias.

7.2. Sobre el diseño

Se logra aplicar de manera exitosa el método AASHTO 93, donde se buscaba analizar la compatibilidad de este método de diseño con la reutilización del pavimento existente. Luego de esto se obtienen las dimensiones de capa en base a las solicitaciones calculadas en base a los datos de la Dirección de Vialidad y al aporte estructural que genera el tratamiento del pavimento existente.

Con la revisión del diseño geométrico es posible realizar una compatibilidad de la geometría existente y la velocidad de proyecto con un nuevo diseño de peraltes. Por otra parte, se analiza el saneamiento de la calzada, se obtienen los bombeos necesarios para la evacuación de aguas lluvias correspondiente a las condiciones hidrológicas, topográficas y de urbanización existentes.

7.3. Sobre método constructivo

Se considera que la utilización de la tecnología Rubblizing modifica la forma de construir, ya que no sólo entrega un material con un alto aporte estructural a la base de un camino, sino que también disminuye los escombros y desperdicios producto de la demolición del camino existente, lo cual se traduce en un impacto positivo al medioambiente y en una eliminación de costos asociados al transporte y eliminación de desperdicios, así como el de compra de nuevos materiales.

7.4. Comentarios finales

Sería interesante realizar un estudio económico y ambiental de la implementación de la tecnología Rubblizing, si bien es una tecnología con resultados prometedores y ha sido estudiada en algunos papers de instituciones nacionales, como por ejemplo la Universidad Católica de Chile [11], sería interesante ver a qué escala y de qué forma este método genera una conveniencia en la construcción de caminos.

Por otra parte, dentro de este trabajo de título sólo fueron analizados los sistemas de evacuación de aguas lluvias para la calzada, sería interesante analizar los sistemas de colectores existentes, su comportamiento y compatibilidad con los caudales que deben ser evacuados de las calles.

CAPITULO VIII

8. Bibliografía

- [1] Instituto Nacional de Estadísticas, «Censo de Población y Vivienda,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/censos-de-poblacion-y-vivienda/poblacion-y-vivienda>.
- [2] Subdere.gov.cl s/f. , «Pichidegua | Subdere,» [En línea]. Available: <http://www.subdere.gov.cl/división-administrativa-de-chile/gobierno-regional-de-ohiggins/provincia-de-cachapoal/Pichidegua>.
- [3] Direccion de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras, Volumen N°2, 2020.
- [4] PROCCSA Ingeniería Civil / Vias terrestres, «Diseño de Pavimentos,» [En línea]. Available: <https://www.proccsa.com.mx/disenio-de-pavimentos.html>.
- [5] Laboratorio Nacional de Vialidad - Ministerio de Obras Publicas, «Mezclas asfálticas en Caliente,» [En línea]. Available: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Mezclas%20Asfálticas.pdf>. [Último acceso: julio 2021].
- [6] Direccion de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras - Volumen N°3, 2020.
- [7] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 2018.
- [8] Direccion de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, «Manual de Carreteras - Volumen N°7,» 2020.
- [9] SERVIU Metropolitano, Manual de Obras Viales, Pavimentación y Aguas Lluvias, 2018.
- [10] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Guia de Diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas llluvias, 2005.
- [11] D. P. B. Akerman, Utilización de Modelos Hidráulicos Bidimensionales en la determinación del Tiempo de Concentración, Madrid, 2015.

- [12] A. G. M. G. G. Thenoux, «Estudio, diseño y evaluación económica de la técnica de trituración/pulverización (Rubblizing) de pavimentos de hormigón mediante vibración resonante,» Santiago, Chile, 2004.
- [13] Glaciar Ingeniería, «Levantamiento topográfico Avda. Independencia de Pichidegua,» Pichidegua, 2021.
- [14] Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, «Información de Tránsito,» 2019. [En línea]. Available: <http://servicios.vialidad.cl/censo/index.htm>. [Último acceso: 26 agosto 2021].
- [15] Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, «Precipitaciones Máximas en 1, 2 y 3 días,» Santiago.
- [16] CONTROLAB - Laboratorio de ensayo de Materiales, «Informe de Ensayo Oficial N°165169/21,» 2021.
- [17] Interempresas.net, «Una fresadora W 200 de Wirtgen participa en la rehabilitación de dos de las principales autopistas de Brasil,» [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/222591-fresadora-W-200-Wirtgen-participa-rehabilitacion-dos-principales-autopistas-Brasil.html>. [Último acceso: septiembre 2021].
- [18] Resonant Machines, «Rehabilitación de Pavimentos Rígidos in situ,» [En línea]. Available: <https://rubblizing.es>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [19] Caterpillar, «Nueva Motoniveladora 140GC Cat,» [En línea]. Available: https://www.cat.com/es_MX/news/machine-press-releases/new-cat-140-gc-motor-grader-combines-high-performance-and-low-per-hour-owning-operating-costs.html. [Último acceso: Octubre 2021].
- [20] Caterpillar, «Rodillos Vibratorios en Tándem,» [En línea]. Available: https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/compactors/tandem-vibratory-rollers.html. [Último acceso: Octubre 2021].
- [21] Salfa|Maquianria, «Maquina Pavimentadora de Asfalto Super 1800-3 - Salfa Maquinarias,» [En línea]. Available: <https://salfamaquinaria.cl/productos/super-1800-3/>. [Último acceso: Octubre 2021].
- [22] Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Manual de Carreteras - Volumen N°8, 2020.

[23] Red Agroclimática Nacional, Ministerio de Agricultura, «Red Agroclimática Nacional,» [En línea]. Available: <https://www.agromet.cl>. [Último acceso: Agosto 2021].

[24] Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Manual de Calculo de Crecidas y Caudales mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica, Santiago, 1995.

CAPITULO IX

9. Anexos

A continuación, se presentan algunos documentos utilizados en la elaboración de este trabajo, así como láminas con información relevante respecto a lo obtenido.

Para esto se anexan los siguientes documentos:

- Tabla resumen de cálculos de Ejes equivalentes según datos de censo de tránsito [13].
- Informe de Mecánica de suelos calle Sargento Aldea, Pichidegua [16].
- Levantamiento topográfico de Avda. Independencia, Pichidegua [12].
- Láminas con especificaciones para de diseño geométrico y de evacuación de aguas lluvias.

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES PARA AVDA INDEPENDENCIA

TASA CRECIMIENTO	10.08%
AÑOS DE DISEÑO	20
FACTOR DE PISTA	1

AÑO	AUTOS	CAMIONETAS	CAMIONES 2 EJES	CAMIONES MAS 2 EJES	SEMI REMOLQUE	REMOLQUE	LOCOMOCION COLECTIVA		TMDA	EE/AÑO	EE ACUM
	0.007	0.007	3.17	6.34	4.00	12.68	3.17				
2019	3210	1028	327	61	14	21	154	4815	826161	826161	
2020	3534	1132	360	67	15	23	170	5301	908551	1734712	
2021	3890	1246	396	74	17	25	187	5835	999451	999451	
2022	4282	1372	436	81	19	28	206	6424	1102044	2101495	
2023	4714	1510	480	89	21	31	227	7072	1214026	3315521	
2024	5189	1662	528	98	23	34	250	7784	1335410	4650931	
2025	5712	1830	581	108	25	37	275	8568	1467371	6118302	
2026	6288	2014	640	119	28	41	303	9433	1618324	7736626	
2027	6922	2217	705	131	31	45	334	10385	1782201	9518827	
2028	7620	2440	776	144	34	50	368	11432	1963649	11482476	
2029	8388	2686	854	159	37	55	405	12584	2161533	13644009	
2030	9234	2957	940	175	41	61	446	13854	2381967	16025976	
2031	10165	3255	1035	193	45	67	491	15251	2622357	18648333	
2032	11190	3583	1139	212	50	74	540	16788	2886508	21534841	
2033	12318	3944	1254	233	55	81	594	18479	3174147	24708988	
2034	13560	4342	1380	256	61	89	654	20342	3492559	28201547	
2035	14927	4780	1519	282	67	98	720	22393	3844946	32046493	
2036	16432	5262	1672	310	74	108	793	24651	4232813	36279306	
2037	18088	5792	1841	341	81	119	873	27135	4659371	40938677	
2038	19911	6376	2027	375	89	131	961	29870	5128450	46067127	
2039	21918	7019	2231	413	98	144	1058	32881	5644736	51711863	
2040	24127	7727	2456	455	108	159	1165	36197	6217544	57929407	
	231619	74174	23577	4376	1033	1521	11174	347474	57929407		

Nº de Informe: 165169/21
Fecha de Informe: 20/04/2021
Nº de OT: 149874

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

I.O.C.T. Resolución MINVU N°476 del 22-02-2021

Correlativo de Obra N° 1

DATOS DEL CLIENTE	
Nombre	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua
Dirección	: Av. Independencia N° 525, Pichidegua
Contacto	: José Pinto Teléfono : 973682773
DATOS DE LA OBRA	
Nombre de la obra	: Proyecto Extensión AP y AS Calle Sargento Aldea
Contratista	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua
Dirección	: Av. Independencia N° 525,, Pichidegua
Provincia / Región	: Provincia Cachapoal, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
Mandante	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua

DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA

Ref. Normativa: Método para determinar la granulometría Mét. 8.102.1 Dic. 2003 M.C.V.8

Fecha de Ensayo		17/03/2021					
Identificación de la(s) Muestra(s)		149874					
TAMICES		% QUE PASA	% QUE PASA	% QUE PASA	Especificaciones		
(ASTM)	(NCh)						
6"	150 mm						
5"	120 mm						
4"	100 mm						
3"	80 mm						
2½"	63 mm						
2"	50 mm						
1½"	40 mm						
1"	25 mm						
¾"	20 mm						
⅜"	10 mm						
Nº 4	5 mm	100					
Nº 10	2,0 mm	89					
Nº 40	0,5 mm	41					
Nº 200	0,080 mm	18					

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

Ref. Normativa: Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido NCh1517/1.Of1979

Fecha de ensayo	18/03/2021			
Límite Líquido (%)	-----			
Tipo de acanalador empleado (casa grande o ASTM)	ASTM			
Método de ensayo empleado (mecánico o puntual)	Mecánico			

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

Ref. Normativa: Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico NCh1517/2.Of1979

Fecha de ensayo	18/03/2021			
Límite Plástico (%)	-----			
Índice de Plasticidad IP (%)	N/P			

DETERMINACIÓN RELACIÓN HUMEDAD/DENSIDAD

Ref. Normativa: Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 460 mm de caída NCh1534/II.Of1979

Fecha de ensayo	19/03/2021			
D.M.C.H. (Gr/Cm3)	2,231			
Humedad Óptima (%)	8,2			
D.M.C.S. (Gr/Cm3)	2,04			
Método de ensayo empleado (modificado A, B, C o D)	B			
Método C y D (% de material retenido en 20 mm)	0			

DETERMINACIÓN DE LA CUBICIDAD DE PARTÍCULAS

Ref. Normativa: Método para determinar la cubicidad de las partículas Mét. 8.202.6 Jun. 2009 M.C.V.8

Fecha de ensayo				
Chancado (%)				
Rodado (%)				
Laja (%)				

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO - MÉTODO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES

Ref. Normativa: Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto - Método de la Máquina de los Angeles NCh1369-2010

Fecha de ensayo				
Desgaste (%)				
Grado de Ensayo				

ANTECEDENTE(S) DE LA(S) MUESTRA(S)

- Muestreado por : Laboratorio Controlab
- Muestra tomada por Laboratorista Sr. : Mario Rojas
- Procedencia de la Muestra : C-1
- Lugar de Muestreo : Calle Sargento
- Fecha Muestreo : 21/01/2021
- Fecha Recepción : 21/01/2021
- Lugar de Realización de Ensayo(s) : Laboratorio Controlab

Nota(s): Muestra asociada a las estructuras de Sello de Fundación .-

Clasificación de suelo según sistema USCS : SM-Arena Limosa

Clasificación de suelo según sistema AASHTO : A-1-b Fragmentos de Roca, Grava Y Arena

Controlab declara que los resultados de este informe se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.

ROBERTO CACERES PALOMINO
Constructor Civil
Jefe Área Mec. De Suelos y Hormigones



Nº de Informe: 165169/21
Fecha de Informe: 20/04/2021
Nº de OT: 149874

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

I.O.C.T. Resolución MINVU N°476 del 22-02-2021

Correlativo de Obra N° 1

DETERMINACIÓN DE LA RAZÓN DE SOPORTE (NCh 1852. Of81) DETERMINACIÓN DE HUMEDAD (NCh 1515 Of 1979)

DATOS DEL CLIENTE	
Nombre	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua
Dirección	: Av. Independencia N° 525, Pichidegua
Contacto	: José Pinto Teléfono : 973682773
DATOS DE LA OBRA	
Nombre de la obra	: Proyecto Extensión AP y AS Calle Sargento Aldea
Contratista	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua
Dirección	: Av. Independencia N° 525,, Pichidegua
Provincia / Región	: Provincia Cachapoal, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
Mandante	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua

Identificación de la(s) Muestra(s)	149874		Especificación
Razón de Soporte C.B.R. (%)	35		
Medido a 0.2" de penetración al 95% de D.M.C.S.			

ANTECEDENTES DE ENSAYO(S)

a) Método empleado para preparar y compactar la probeta (A.B ó C. NCh 1534/2.Of2008)	B		
b) Acondicionamiento de la Muestra Sumeraida (Si) ó No Sumeraida (No)	Si		
c) Densidad seca de la muestra			
c1) Antes de la inmersión (Gr/cm3)	2.05		
c2) Después de la inmersión (Gr/cm3)	2.04		
d) Humedad de la Muestra			
d1) Antes de la compactación (%)	8.3		
d2) Después de la compactación (%)	8.1		
d3) Cada superior de 25.4 mm después de la inmersión (%)	10.3		
d4) Promedio después de la inmersión (%)	10.2		
e) Expansión porcentaie de la altura inicial (%)			
Molde 56 Golpes	0.00		
Molde 25 Golpes	0.00		
Molde 10 Golpes	0.00		
f) Sobrecarga (gr)	> 4540		

NORMA(S) Y/O ESPECIFICACION(ES) DE ENSAYO(S)

Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio

: NCh1852.Of1981

Determinación de la humedad

: NCh1515.Of1979

ANTECEDENTE(S) DE LA(S) MUESTRA(S)

1. Muestreado por	: Laboratorio Controlab		
2. Muestra tomada por Laboratorista Sr.	: Mario Rojas		
3. Procedencia de la Muestra	: C-1		
4. Lugar de Muestreo	: Calle Sargento		
5. Fecha Muestreo	: 21/01/2021		
6. Fecha Recepción	: 21/01/2021		
7. Fecha Inicio de Ensayo	: 22/03/2021		
8. Fecha Término de Ensayo	: 26/03/2021		
9. Lugar de Realización de Ensayo(s)	: Lab. Controlab		

Controlab declara que los resultados de este informe se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.

Nota(s): Muestra asociada a las estructuras de Sello de Fundación .-



ROBERTO CACERES PALOMINO
Constructor Civil
Jefe Área Mec. De Suelos y Hormigones



N° de Informe: 165169/21

Fecha de Informe: 20/04/2021

N° de OT: 149874

INFORME DE ENSAYO OFICIAL

I.O.C.T. Resolución MINVU N°476 del 22-02-2021

Correlativo de Obra N° 1

**DETERMINACIÓN IN-SITU DE LA DENSIDAD DE SUELOS
MÉTODO NUCLEAR (MÉT. 8.502.1 DIC. 2003 M.C.V.8)**

DATOS DEL CLIENTE						
Nombre	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua					
Dirección	: Av. Independencia N° 525, Pichidegua					
DATOS DE LA OBRA						
Nombre de la obra	: Proyecto Extensión AP y AS Calle Sargento Aldea					
Contratista	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua					
Dirección	: Av. Independencia N° 525,, Pichidegua					
Provincia / Región	: Provincia Cachapoal, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins					
Mandante	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua					
Identificación de la(s) Muestra(s)	149874					
Control N°	1					
Profundidad Controlada	25 cm					
Estructura	Sello					
Capa	Cota 1,30Mts					
Tipo de Material	Grueso Según USCS					
Ubicación del Control	C-1 Calle Sargento Aldea F/Poste 937036					
D.C.H. (g/cm3)	2,019					
Humedad (%)	13,4					
D.C.S. (g/cm3)	1,780					
D.M.C.S. (g/cm3)	2,04					
Densidad Relativa	Máxima					
	Mínima					
Compactación (%)	87					
Especificación (%)						

ANTECEDENTE(S) DE LA(S) MUESTRA(S)

1. Ensayado por		: Laboratorio Controlab
2. Ensayo realizado por Laboratorista Sr.		: Mario Rojas
3. Procedencia del Material	C-1	
4. Fecha de Ensaye	21/01/2021	

Nota(s): El valor obtenido de la D.M.C.S o Densidad Relativa, se encuentra en el Informe de referencia Laboratorio Controlab N°165169




ROBERTO CÁCERES PALOMINO
Constructor Civil
Jefe Área Mec. De Suelos y Hormigones



INFORME N° 156372/20 ANEXO 1
PROSPECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE SUELOS
Perfil Estratigráfico en Pozos de Exploración
Procedimiento (Visual-Manual) LNV Geotécnica 12.1 - 98

DATOS DEL CLIENTE	
Nombre	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua
Dirección	: Av. Independencia N° 525, Pichidegua
Contacto	: José Pinto Teléfono : 973682773
DATOS DE LA OBRA	
Nombre de la obra	: Proyecto Extensión AP y AS Calle Sargento Aldea
Contratista	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua
Dirección	: Av. Independencia N° 525,, Pichidegua
Provincia / Región	: Provincia Cachapoal, Región del Libertador Gral. Bernardo O'Higgins
Mandante	: Ilustre Municipalidad de Pichidegua

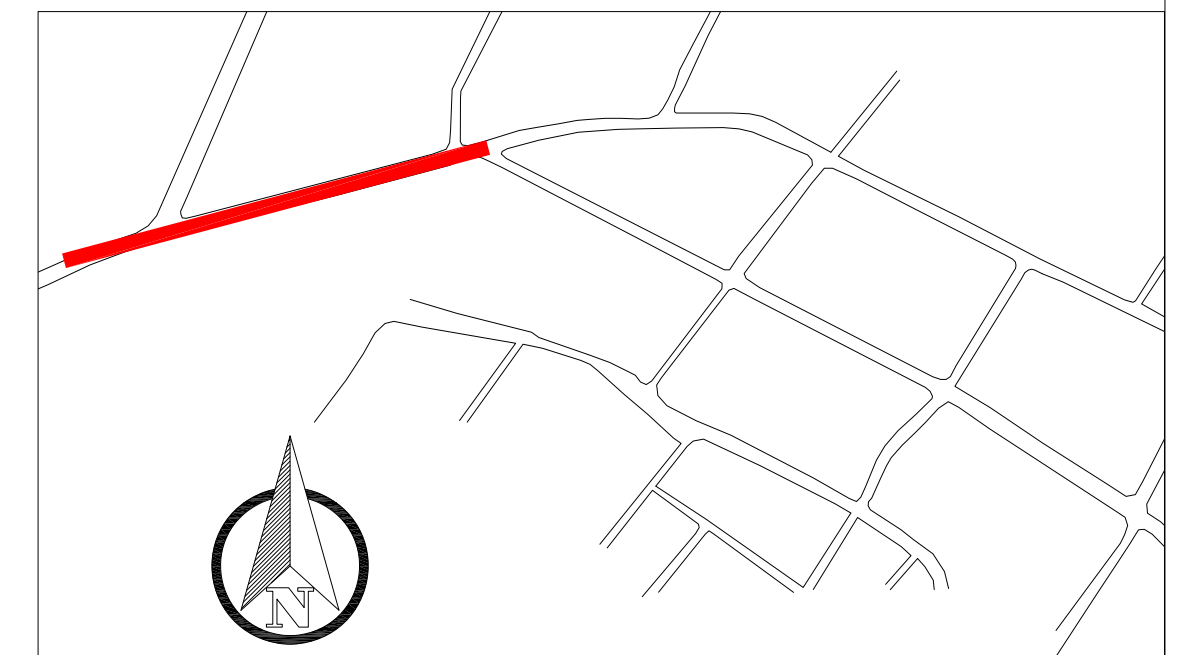
Pozo N° (Calicata)		Calicata C-1		
Estrato N° (Horizonte)		H-1	H-2	H-3
Profundidad estratigráfica	Capa Vegetal (m)	0,20	----	
	Desde (m)	0,00	0,20	
	Hasta (m)	0,20	1,50	
Granulometría del Suelo	Total	----	5	
	Fracción menor que tamiz 80 mm	T. Max. (mm)	----	---
		Bolones (% > 80mm)	----	---
		Grava (%)	----	---
	Arena (%)	----	82	
	Fino (%)	----	18	
Color en estado natural / olor		Cafe Terreo		
Graduación / Resistencia Seca		Resistencia Alta		
Plasticidad		Baja		
Forma de Partículas (de la grava)		----		
Humedad		Seco		
Consistencia / Compacidad natural		Consistencia Firme		
Estructura		Homogéneo		
Cementación		Fuerte		
Origen		Natural		
Materia orgánica o raíces		Sin Indicios		
Clasificación según sistema AASHTO (Propósito de Carretera)		A-1-b		
Clasificación según sistema USCS (Propósito de Ingeniería)		SM		
Nombre Local del suelo (AASHTO)		Fragmentos de Roca Grava y Arena		
Nombre Local del suelo (USCS)		Arena Limosa		
Muestreo	N° Profundidad (m)	Cota -1,30 mts		
	Cantidad (kgs)	100		

ANTECEDENTE(S) DE LA(S) MUESTRA(S)	
1. Muestreado por	: Laboratorio Controlab
2. Muestra tomada por Laboratorista Sr.	: Mario Rojas
3. Estructura	: Pozo de Exploración
4. Procedencia del Material	: Estrato 1
5. Lugar de Muestreo	: Calicata IN-SITU
6. Fecha de Exploración	: 21/01/21
7. Referencia al procedimiento de muestreo empleado	: ITT30 A-1
8. Durante la faena de exploración se detectó presencia de agua subterránea.	: No

ROBERTO CACERES PALOMINO
 Constructor Civil
 Jefe Área Mec. de Suelos y Hormigones

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA.
INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

CUADRO DE COORDENADAS			
PR	NORTE	ESTE	COTA
PR13	6 196 149.951	289 457.369	171.127
PR14	6 196 113.507	289 365.510	172.016
PR15	6 196 093.134	289 241.755	171.303



PLANO DE UBICACION
ESC. 1:5000

SIMBOLOGIA

	BORDE CAMINO		GRIFO
	DESÍNDICES		CESPED
	VEREDAS		HORMIGON
	EDIFICACIONES EXISTENTES		EDIFICACIONES EXISTENTES
	SOLERAS		VEREDAS
	EJE CALZADA		POSTE DE MADERA
	FOSO - GUNETA		ACCESO VEHICULAR
	PR		TERRENO NATURAL
	POSTE DE HORMIGON LUMINARIA		CONTENEDOR DE BOTELLAS
	POSTE DE HORMIGON		CAMARAS DE INSPECCION
	POSTE DE FIERRO		BANCAS DE HORMIGON
	TIRANTE POSTE CUERDA ACERADA		BOLARDOS
	TIRANTE POSTE DE FIERRO		PARADERO
	TIRANTE POSTE DE HORMIGON		BICICLETERO
	SENALETICA		MEDIDOR AGUA POTABLE
	MOBILIARIO HORMIGON		VEREDA ACCESIBLE
	CAMARA AGUAS SERVIDAS		PALMERA
	PAVIMENTOS DE HORMIGON		ARBOL
			VEGETACION

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PLANTA TOPOGRAFICA

PROFESIONAL RESPONSABLE:

FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

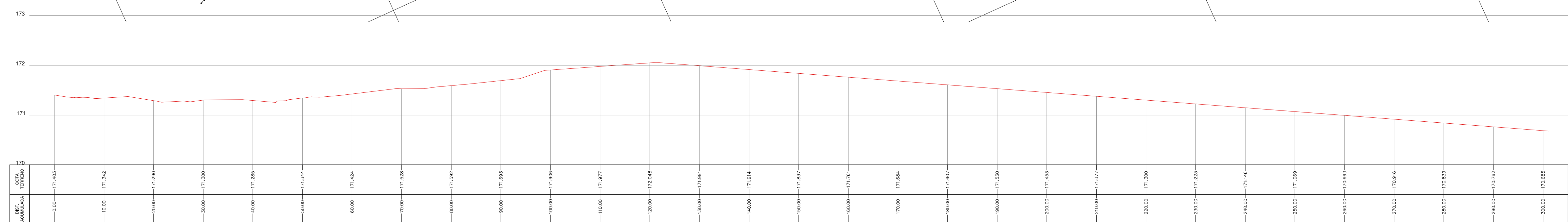
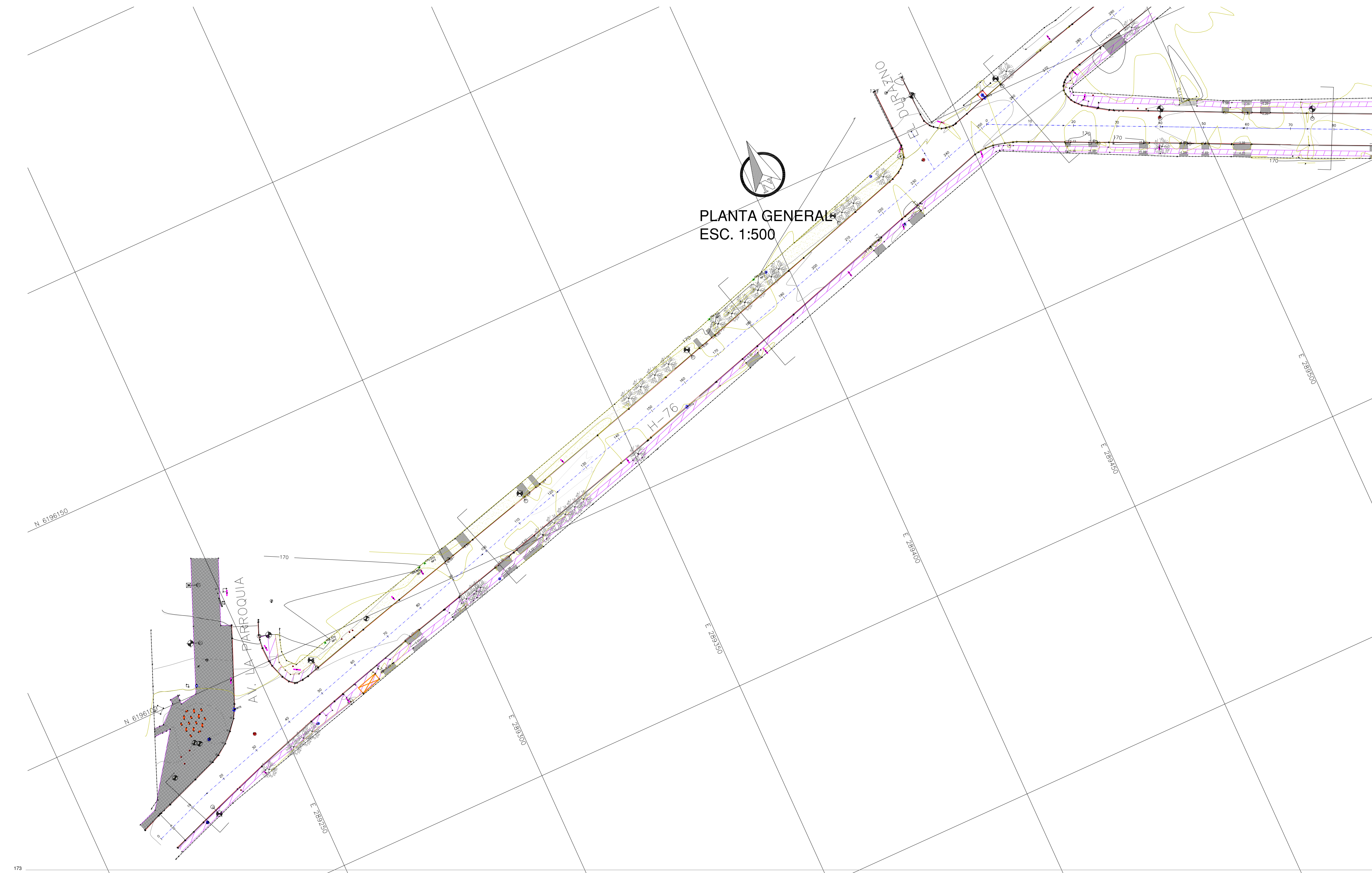
GLACIAR INGENIERIA:



Lamina:

1 DE 10

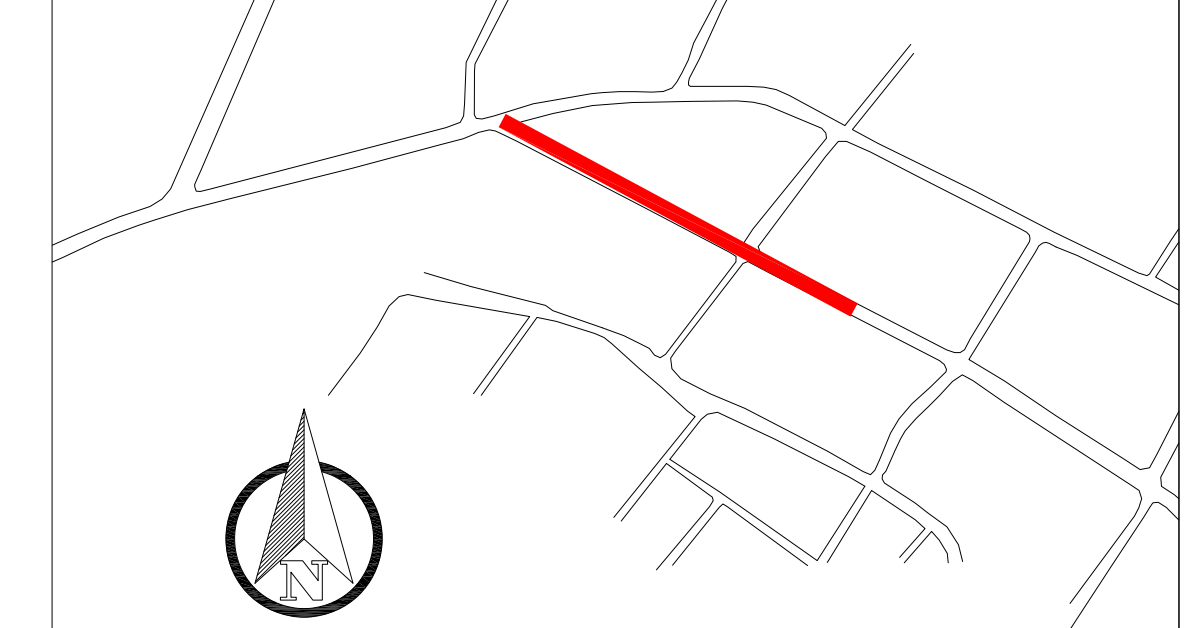
PLANTA GENERAL
ESC. 1:500



CORTE LONGITUDINAL H-76
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA.
INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

CUADRO DE COORDENADAS			
PR	NORTE	ESTE	COTA
PR10	6 196 011.207	289 723.507	172.343
PR11	6 196 064.480	289 636.650	171.542
PR12	6 196 085.569	289 570.573	172.420
PR13	6 196 149.951	289 457.369	171.127



PLANO DE UBICACION
ESC. 1:5000

SIMBOLOGIA

	BORDE CAMINO		GRIFO
	DESLINDES		CESPED
	VEREDAS EXISTENTES		HORMIGON
	EDIFICACIONES EXISTENTES		VEREDAS EXISTENTES
	VEREDAS		POSTE DE MADERA
	FOSO - GUÑETA		ACCESO VEHICULAR
	PR		TERRENO NATURAL
	POSTE HORMIGON LUMINARIA		CONTENEDOR DE BOTELLAS
	POSTE DE HORMIGON		CAMARAS DE INSPECCION
	POSTE DE FIERRO		BANCAS DE HORMIGON
	TIRANTE POSTE CUERDA ACERADA		BOLARDOS
	TIRANTE POSTE DE FIERRO		PARADERO
	TIRANTE POSTE DE HORMIGON		BICICLETERO
	SENALETICA		MEDIDOR AGUA POTABLE
	MOBILIARIO HORMIGON		VEREDA ACCESIBLE
	CAMARA AGUAS SERVIDAS		PALMERA
	PAVIMENTOS DE HORMIGON		ARBOL
			VEGETACION

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PLANTA TOPOGRAFICA

PROFESIONAL RESPONSABLE:

FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

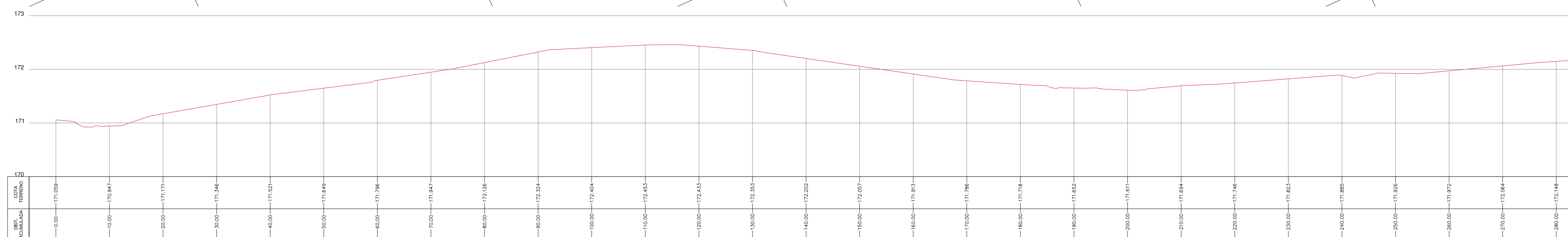
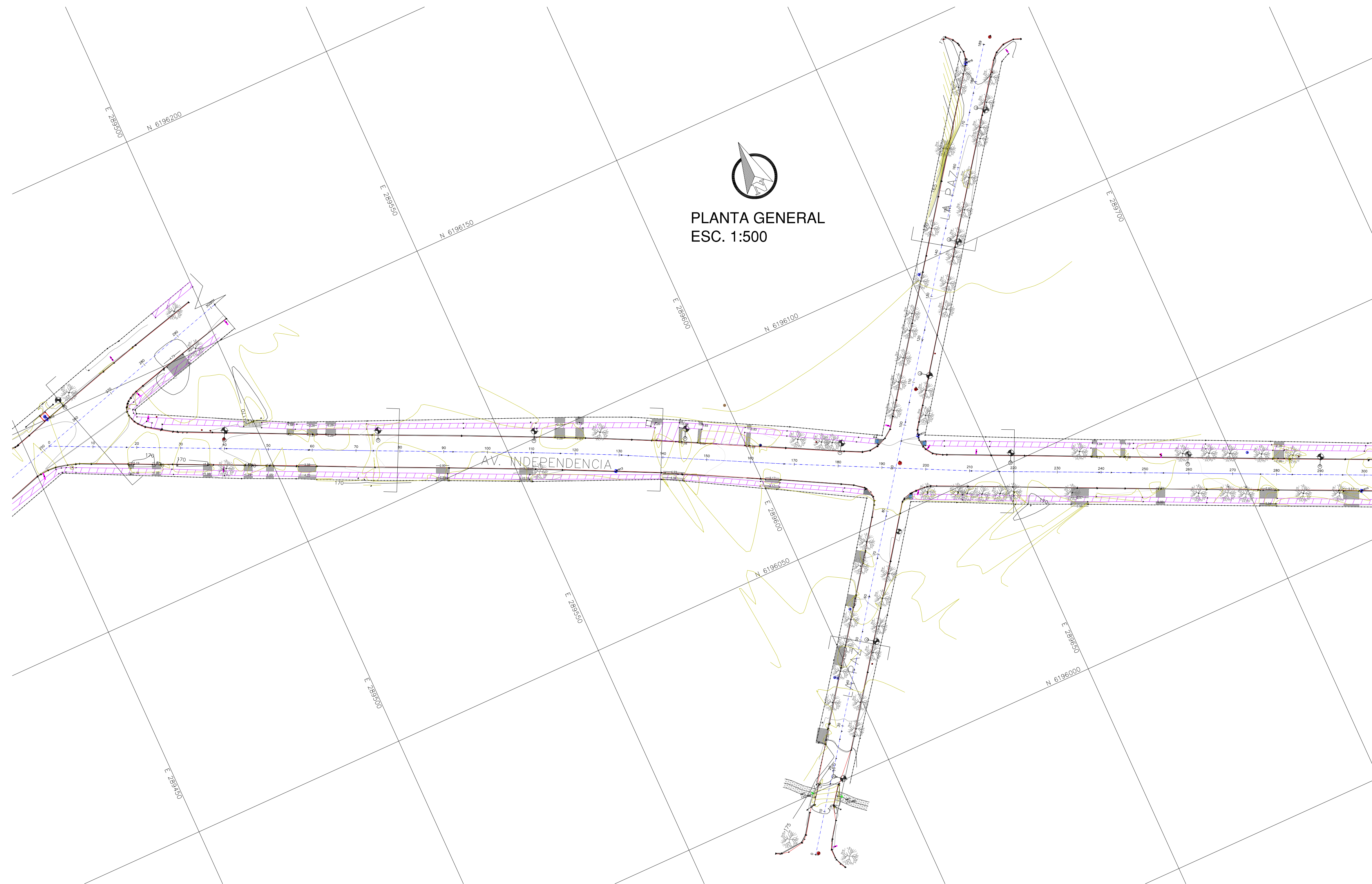
GLACIAR INGENIERIA:

Lamina:



2 DE 10

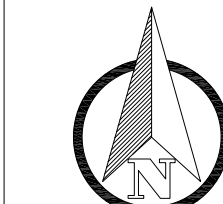
PLANTA GENERAL
ESC. 1:500



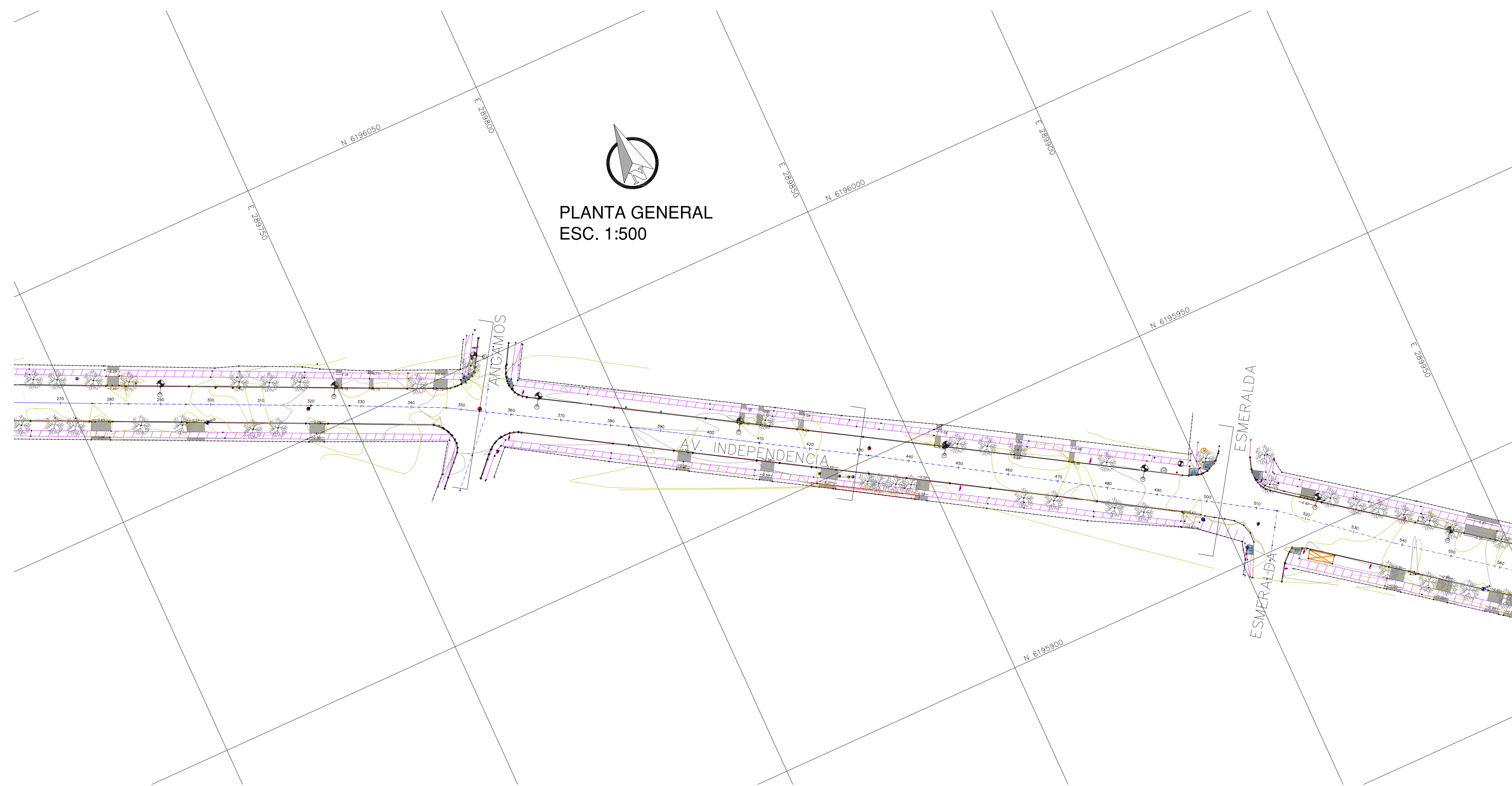
CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 0 - 280
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA.
INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

CUADRO DE COORDENADAS			
PR	NORTE	ESTE	COTA
PR8	6 195 875.676	289 941.575	173.118
PR9	6 195 946.112	289 855.323	173.285
PR10	6 196 011.207	289 723.507	172.343



PLANO DE UBICACION
ESC. 1:5000



PLANTA GENERAL
ESC. 1:500

SIMBOLOGIA

	BORDE CAMINO		GRIFO
	VEREDAS		CONCRETO
	EDIFICACIONES EXISTENTES		HORMIGON
	VEREDAS EXISTENTES		EDIFICACIONES EXISTENTES
	EJE CALZADA		VEREDAS
	FOSO - CUNETETA		POSTE DE MADERA
	PR		ACCESO VEHICULAR
	POSTE DE HORMIGON LUMINARIA		TERRENO NATURAL
	POSTE DE HORMIGON		CONTENEDOR DE BOTELLAS
	POSTE DE FIERRO		CAMARAS DE INSPECCION
	TRIANTE POSTE GUERDA ACERADA		BANCAS DE HORMIGON
	TRIANTE POSTE DE FIERRO		BOLARDOS
	TRIANTE POSTE DE HORMIGON		PARADERO BICICLETERO
	SENALETICA		MEIDOR AGUA POTABLE
	MOBILIARIO HORMIGON		VEREDA ACCESIBLE
	CAMARA AGUAS SERVIDAS		PALMERA
	PAVIMENTOS DE HORMIGON		ARBOL
			VEGETACION

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PLANTA TOPOGRAFICA

PROFESIONAL RESPONSABLE:

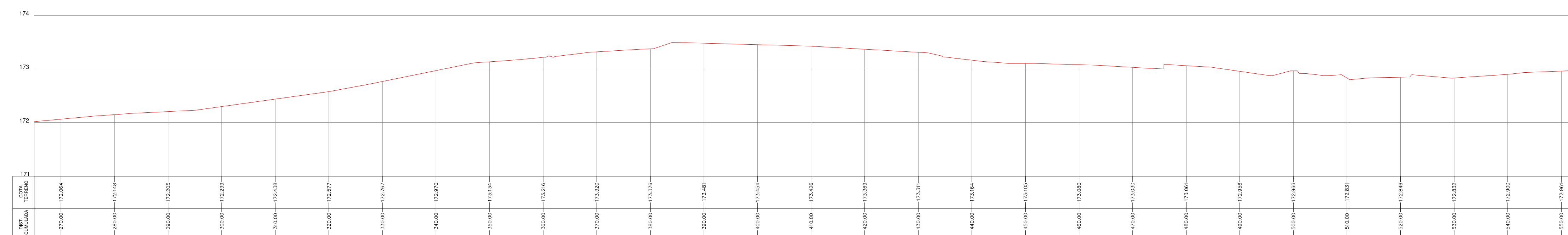
FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

GLACIAR INGENIERIA:



Lamina:

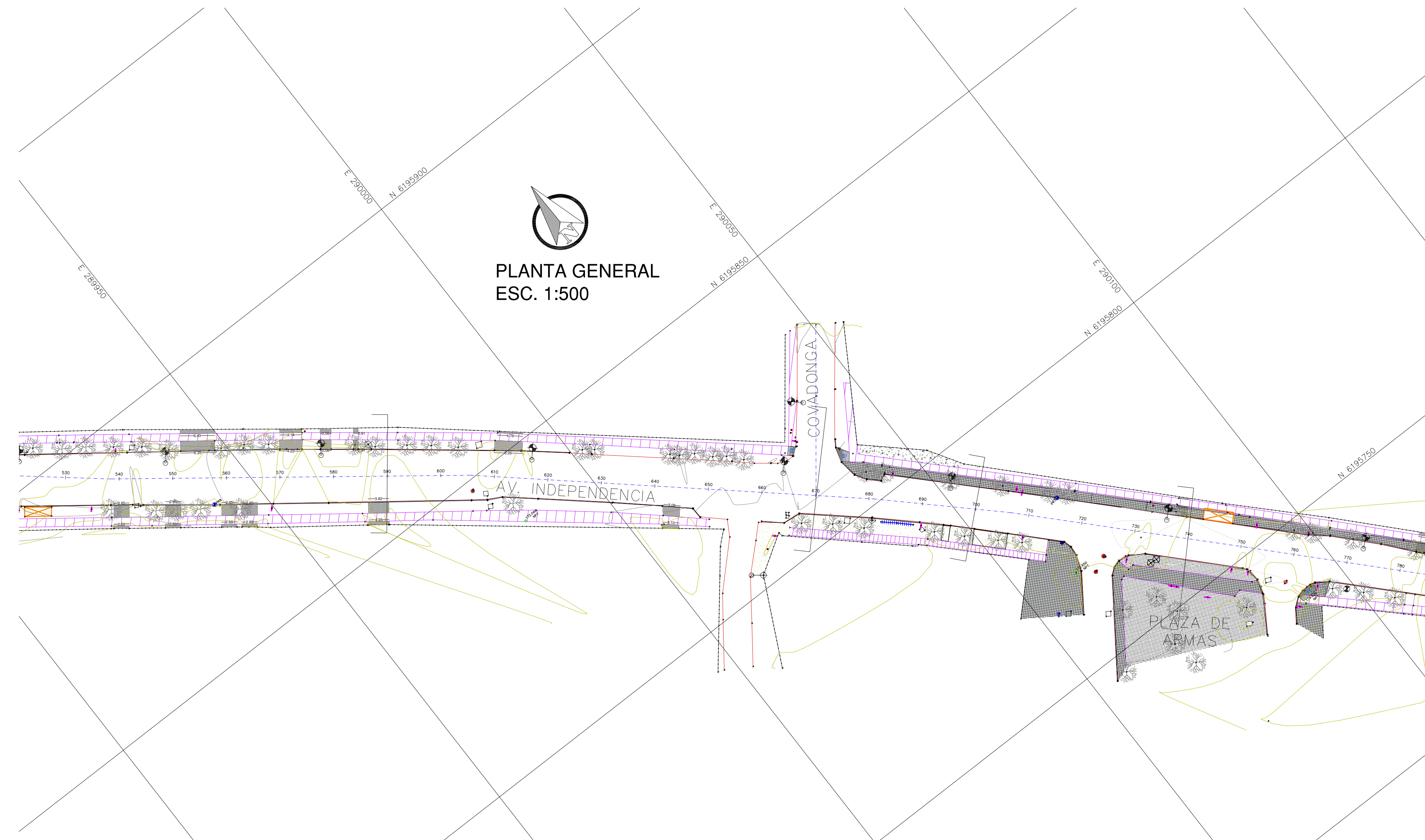
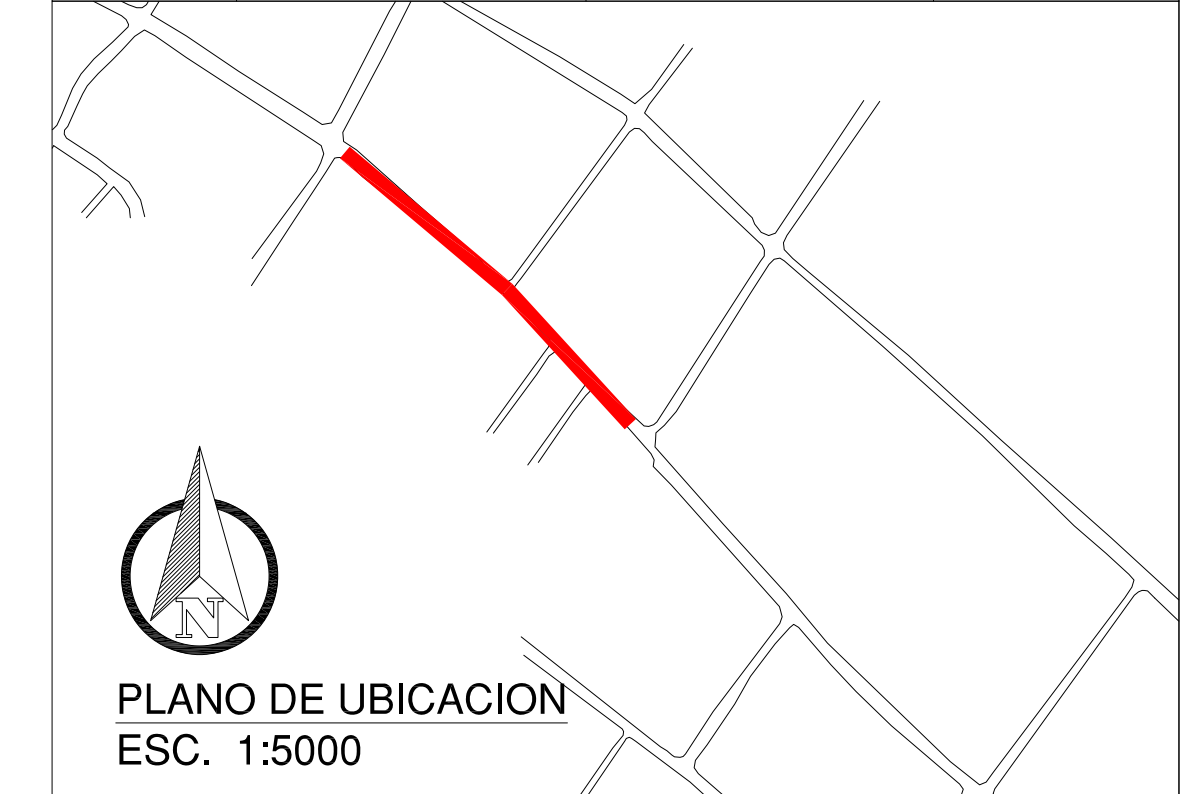
3 DE 10



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 270 - 550
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA.
INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

CUADRO DE COORDENADAS			
PR	NORTE	ESTE	COTA
PR7	6 195 780.103	290 066.330	173.892
PR8	6 195 875.676	289 941.575	173.118



SIMBOLOGIA

	BORDE CAMINO		GRIFO
	DESLINDES VEREDAS		CESPED
	EDIFICACIONES EXISTENTES		HORMIGON
	SOLERAS		EDIFICACIONES EXISTENTES
	EJE CALZADA		VEREDAS
	FOSO - CUJETA		POSTE DE MADERA
	PR		ACCESO VEHICULAR
	POSTE HORMIGON LUMINARIA		TERRENO NATURAL
	POSTE DE HORMIGON		CONTENEDOR DE BOTELLAS
	POSTE DE FIERRO		CAMARAS DE INSPECCION
	TIRANTE POSTE CUERDA ACERADA		BANCA DE HORMIGON
	TIRANTE POSTE DE FIERRO		BOLARDOS
	TIRANTE POSTE DE HORMIGON		PARADERO
	SENALETICA		BICICLETERO
	MOBILIARIO HORMIGON		MEDIDOR AGUA POTABLE
	CAMARA AGUAS SERVIDAS		VEREDA ACCESIBLE
	PAVIMENTOS DE HORMIGON		PALMERA
			ARBOL
			VEGETACION

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PLANTA TOPOGRAFICA

PROFESIONAL RESPONSABLE:

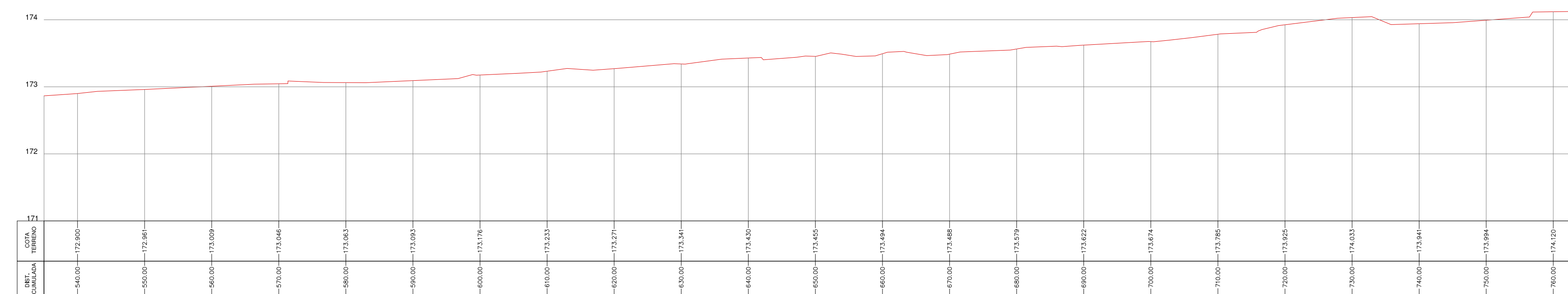
FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

GLACIAR INGENIERIA:

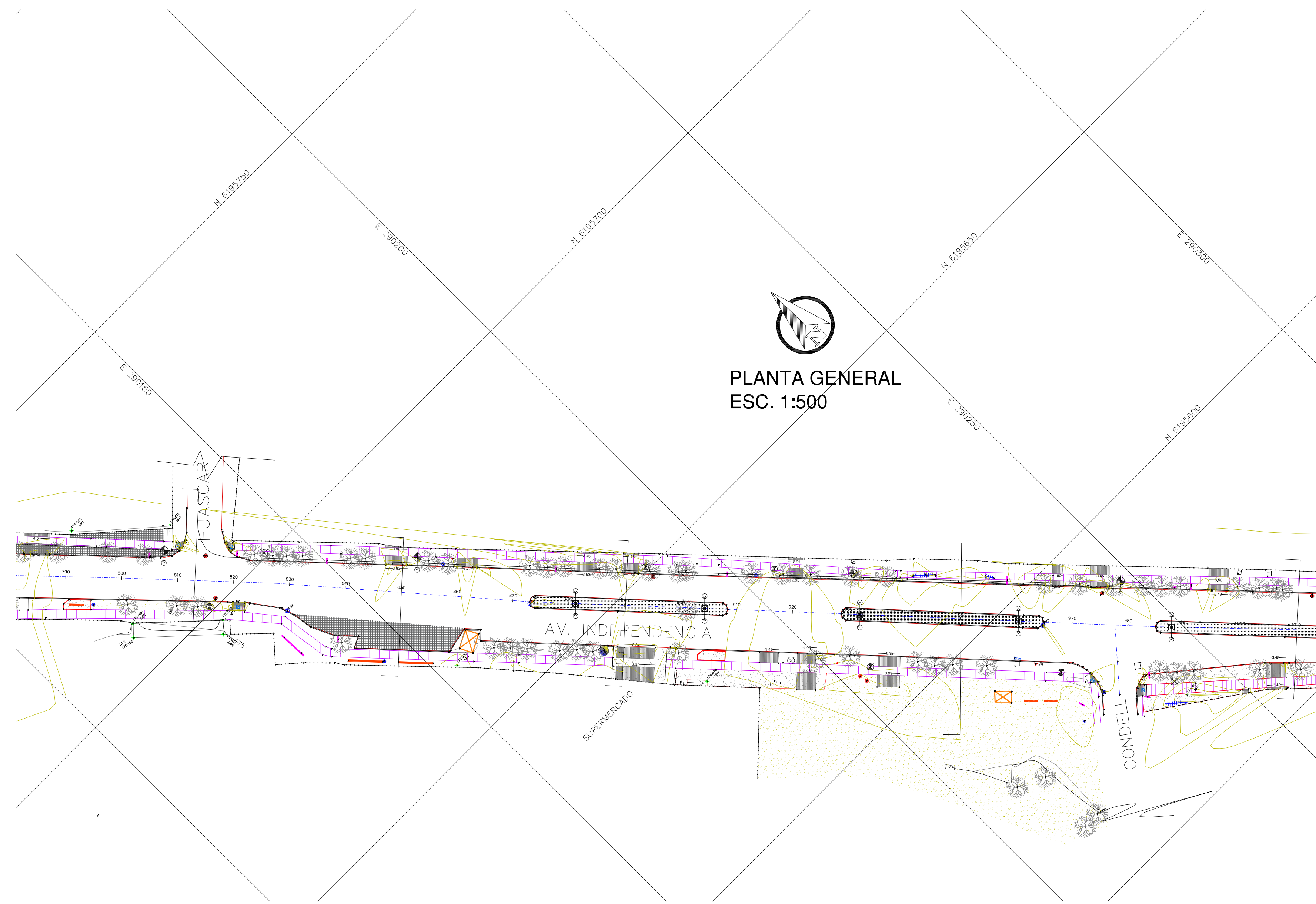
Lamina:



4 DE 10

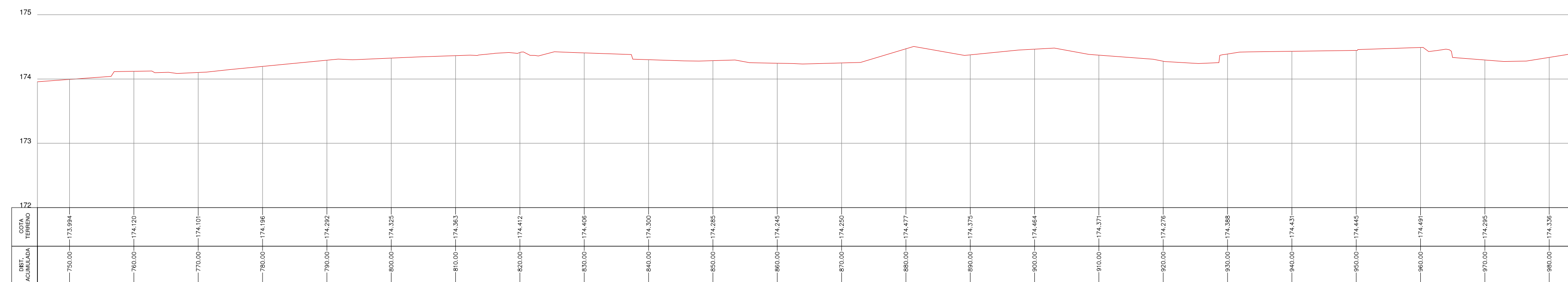


CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 540 - 760
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



PLANTA GENERAL
ESC. 1:500

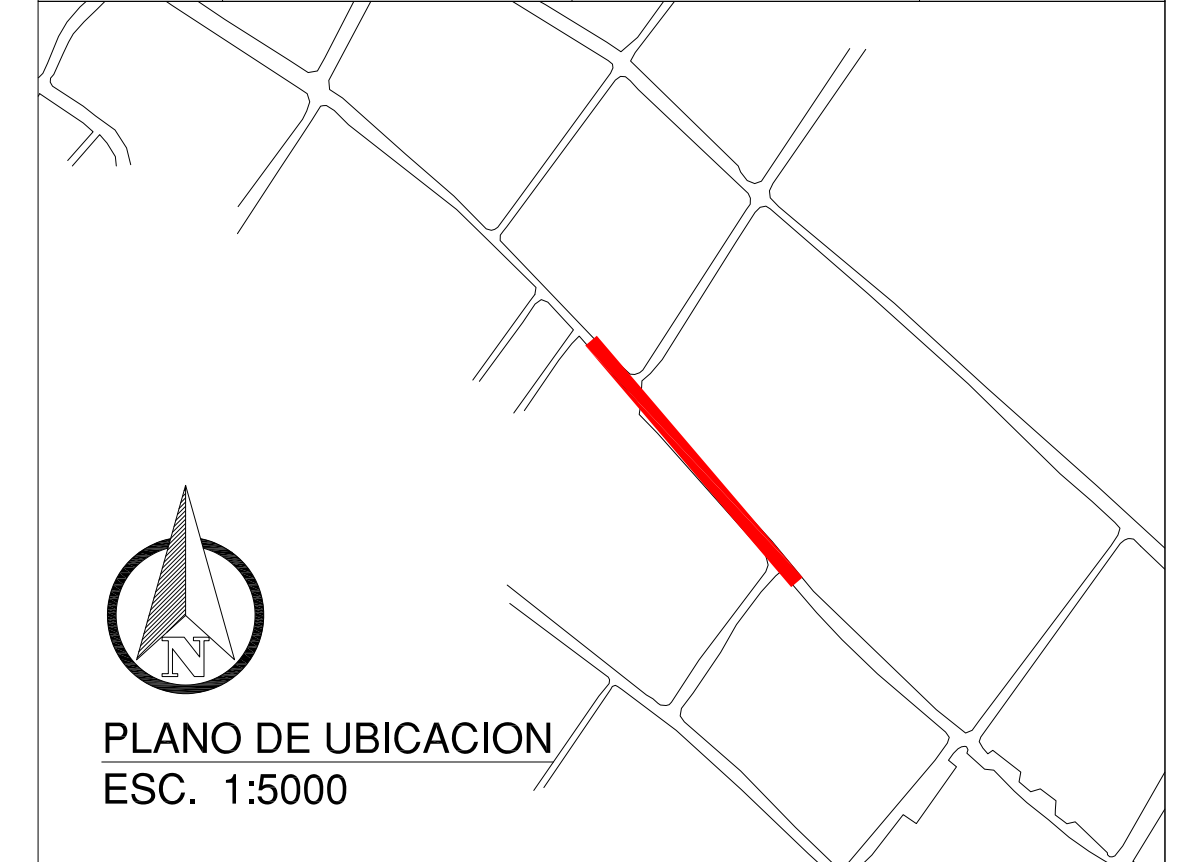
SIMBOLOGIA			
	BORDE CAMINO		GRIFO
	VEREDAS		CESPED
	EDIFICACIONES EXISTENTES		HORMIGON
	SOLERAS		EDIFICACIONES EXISTENTES
	EJE CALZADA		VEREDAS
	FOSO - GUNETA		POSTE DE MADERA
	PR		ACCESO VEHICULAR
	POSTE HORMIGON LUMINARIA		TERRENO NATURAL
	POSTE DE HORMIGON		CONTENEDOR DE BOTELLAS
	POSTE DE FIERRO		CAMARAS DE INSPECCION
	TIRANTE POSTE CUERDA ACERADA		BANCAS DE HORMIGON
	TIRANTE POSTE DE FIERRO		BOLARDOS
	TIRANTE POSTE DE HORMIGON		PARADERO
	SENALETICA		BICICLETERO
	MOBILIARIO HORMIGON		MEDIDOR AGUA POTABLE
	CAMARA AGUAS SERVIDAS		VEREDA ACCESIBLE
	PAVIMENTOS DE HORMIGON		PALMERA
			ARBOL
			VEGETACION



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 750 - 980
ESC. H 1:500
ESC. V 1:50

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA.
INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

PR	CUADRO DE COORDENADAS		
	NORTE	ESTE	COTA
PR5	6 195 592.996	290 232.315	174.522
PR6	6 195 690.497	290 139.010	174.542
AUX1	6 195 660.683	290 170.481	174.448



PLANO DE UBICACION
ESC. 1:5000

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
PROVINCIA : CACHAPOAL
COMUNA : PICHIDEGUA
UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
1.- PLANTA TOPOGRAFICA

PROFESIONAL RESPONSABLE:

FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
JEFE DE TOPOGRAFIA
FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
TELEFONO 45 2 326464

GLACIAR INGENIERIA:



Lamina:

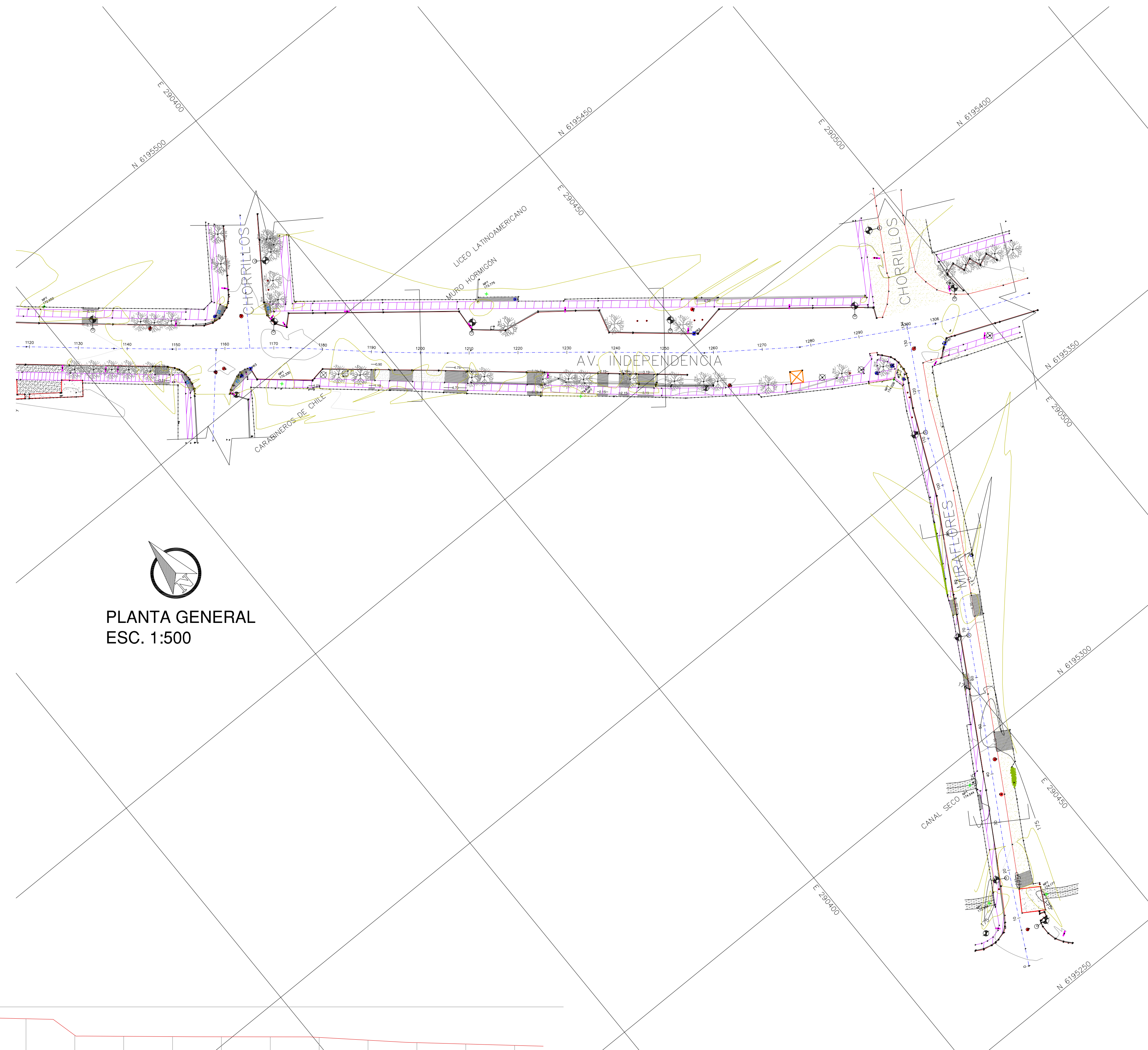
5 DE 10

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA. INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

CUADRO DE COORDENADAS			
PR	NORTE	ESTE	COTA
PR1	6 195 367.826	290 489.980	173.727
PR2	6 195 401.837	290 451.464	173.803
PR3	6 195 453.624	290 376.538	173.746



PLANO DE UBICACION
ESC. 1:5000



PLANTA GENERAL
ESC. 1:500

SIMBOLOGIA

	BORDE CAMINO		GRIFO
	VEREDAS		CESPED
	EDIFICACIONES EXISTENTES		HORMIGON
	SOLERAS		EDIFICACIONES EXISTENTES
	EJE CALZADA		VEREDAS
	FOSO - CUNETTA		POSTE DE MADERA
	PR		ACCESO VEHICULAR
	POSTE HORMIGON LUMINARIA		TERRENO NATURAL
	POSTE DE HORMIGON		CONTENEDOR DE BOTELLAS
	POSTE DE FIERRO		CAMARAS DE INSPECCION
	TIRANTE POSTE CUERDA ACERADA		BANCAS DE HORMIGON
	TIRANTE POSTE DE FIERRO		BOLARDOS
	TIRANTE POSTE DE HORMIGON		PARADERO
	SEÑALETICA		BICICLETERO
	MOBILIARIO HORMIGON		MEDIDOR AGUA POTABLE
	CAMARA AGUAS SERVIDAS		VEREDA ACCESIBLE
	PAVIMENTOS DE HORMIGON		PALMERA
			ARBOL
			VEGETACION

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PLANTA TOPOGRAFICA

PROFESIONAL RESPONSABLE:

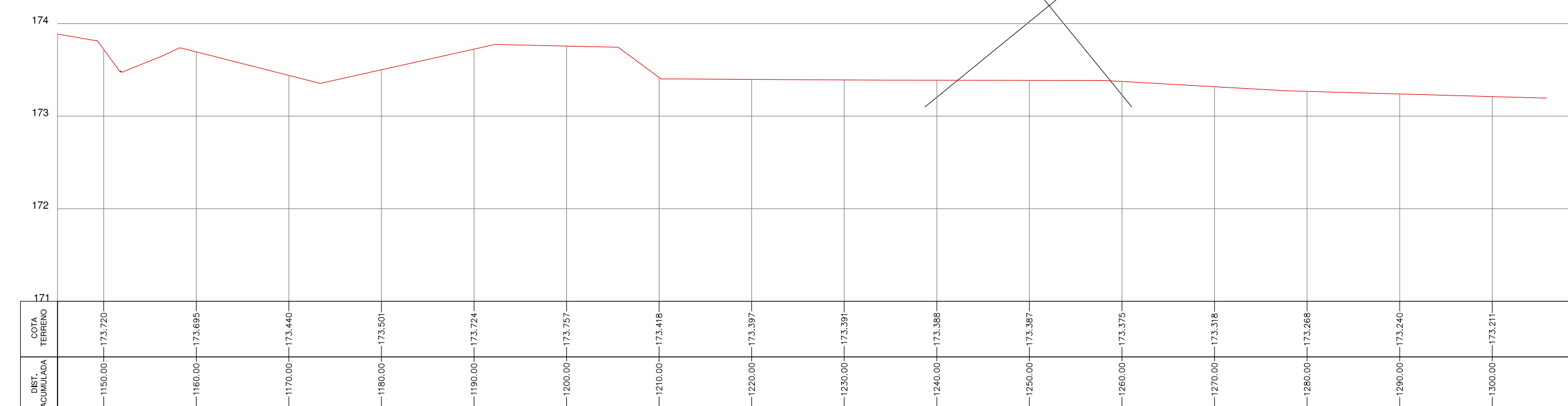
FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

GLACIAR INGENIERIA:

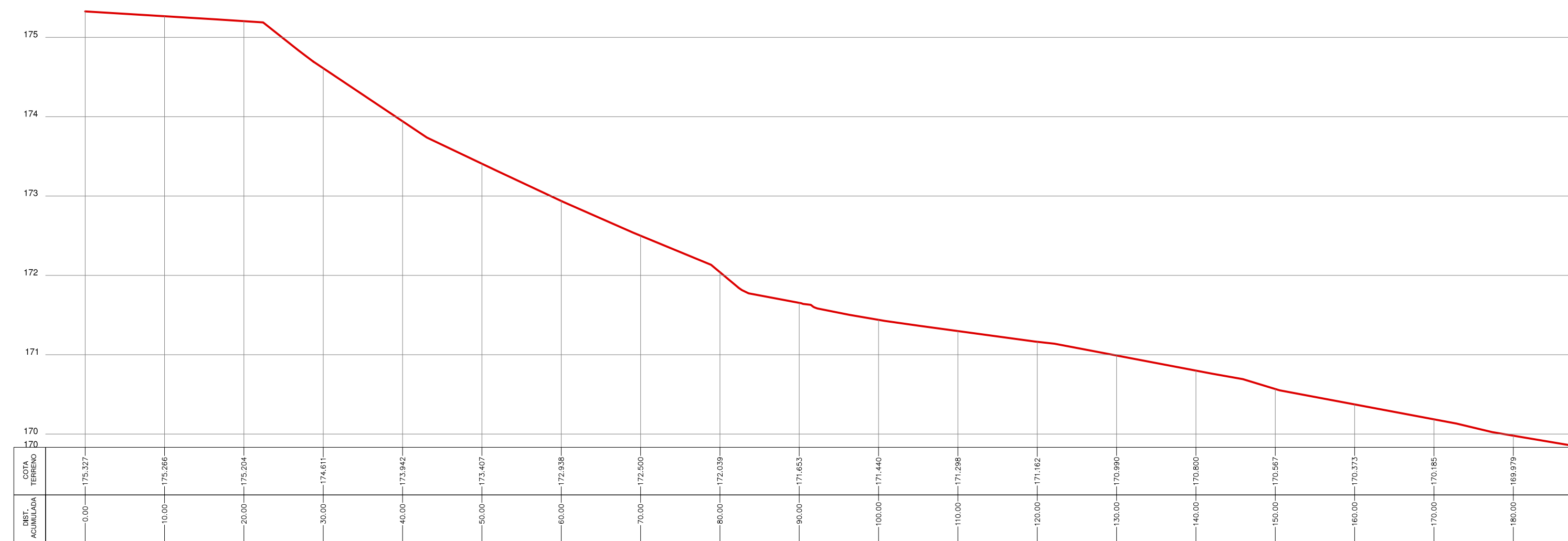
Lamina:



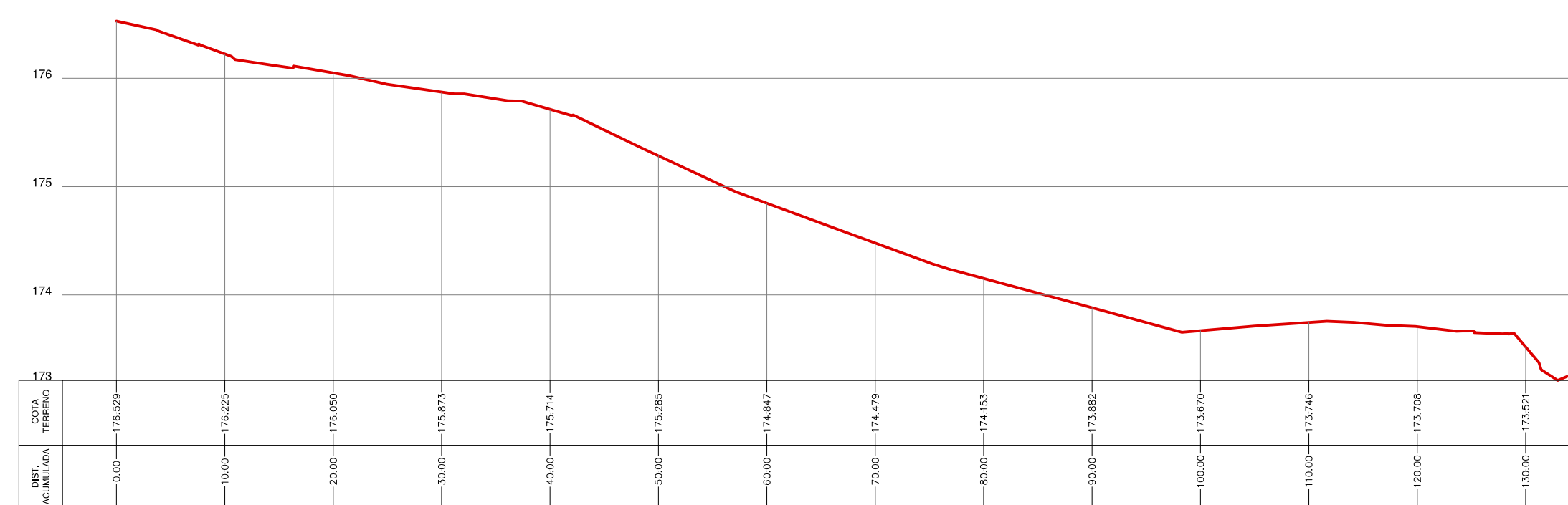
7 DE 10



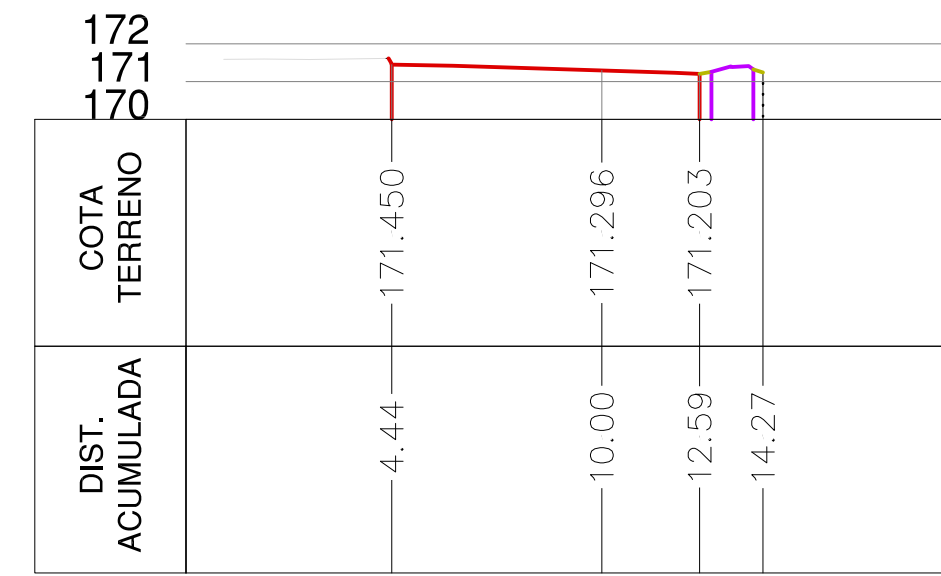
CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 1150 - 1306
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



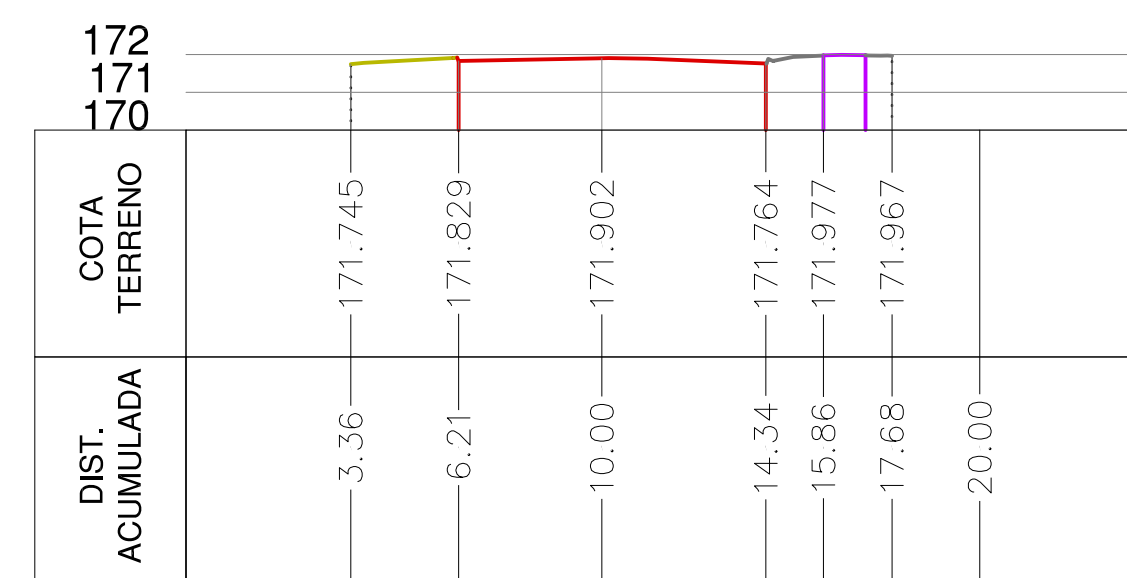
CORTE LONGITUDINAL LA PAZ
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



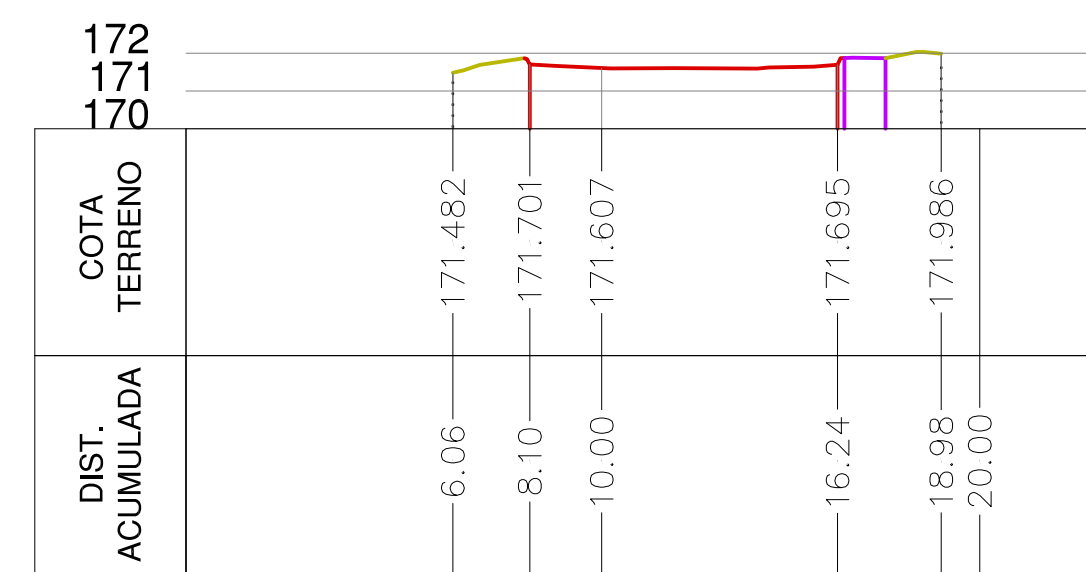
CORTE LONGITUDINAL MIRAFLORES
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



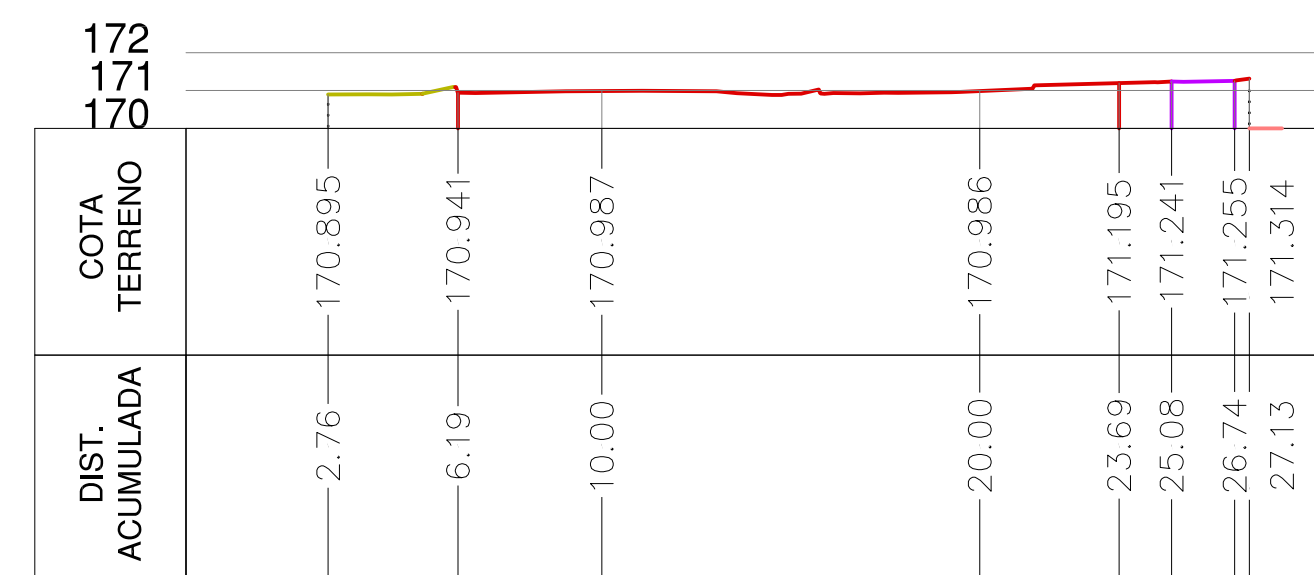
CORTE TRANS. H-76 K. 10
 ESC. 1:200



CORTE TRANS. H-76 K. 100
 ESC. 1:200



CORTE TRANS. H-76 K. 180
 ESC. 1:200



CORTE TRANS. H-76 K. 260
 ESC. 1:200

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA. INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

SIMBOLOGIA

- CALLE
- VEREDAS
- TERRENO NATURAL
- HORMIGÓN

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PERFILES TRANSVERSALES

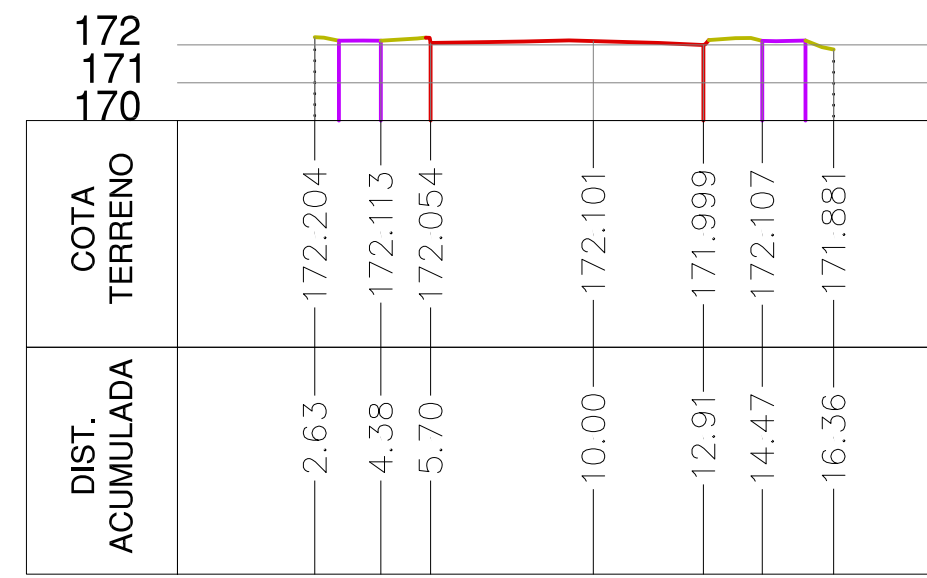
PROFESIONAL RESPONSABLE:

FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

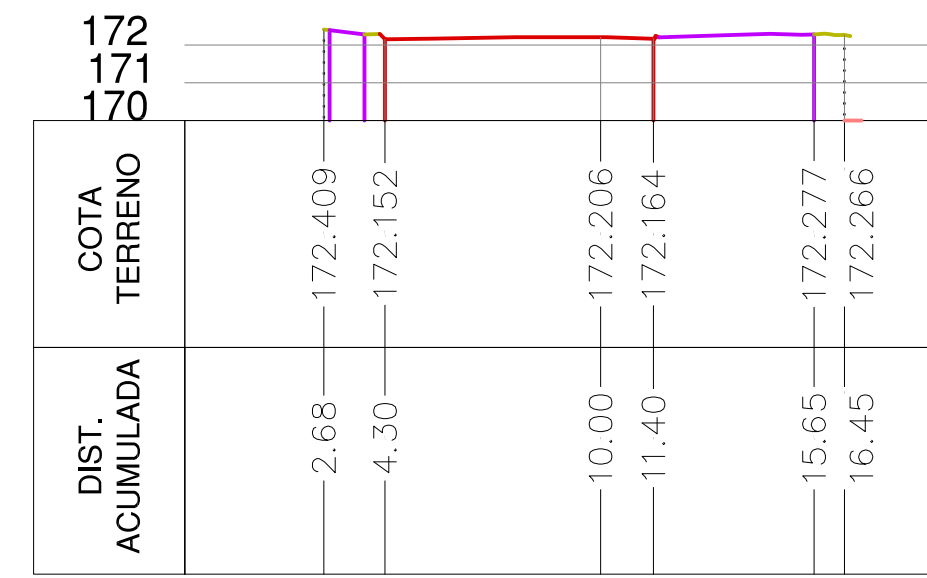
GLACIAR INGENIERIA:



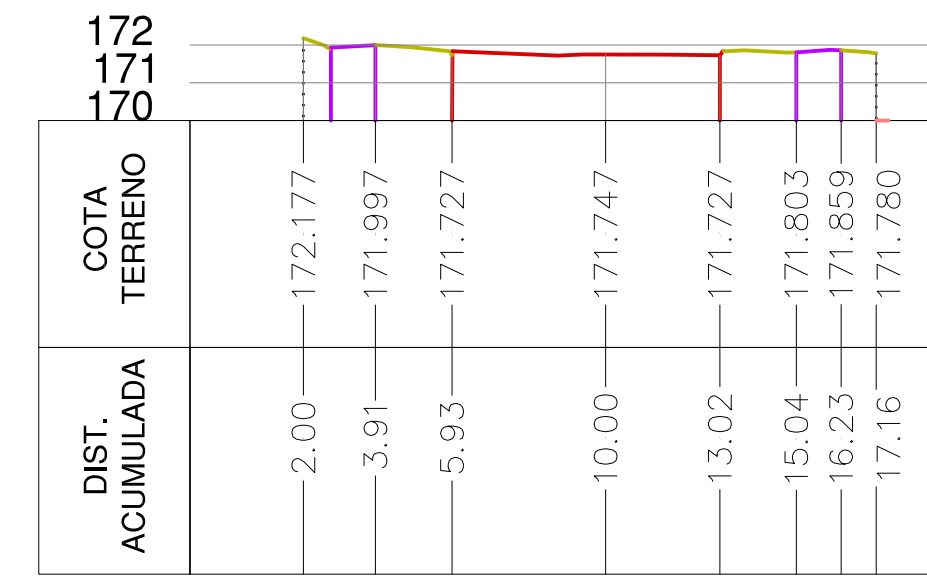
Lamina:



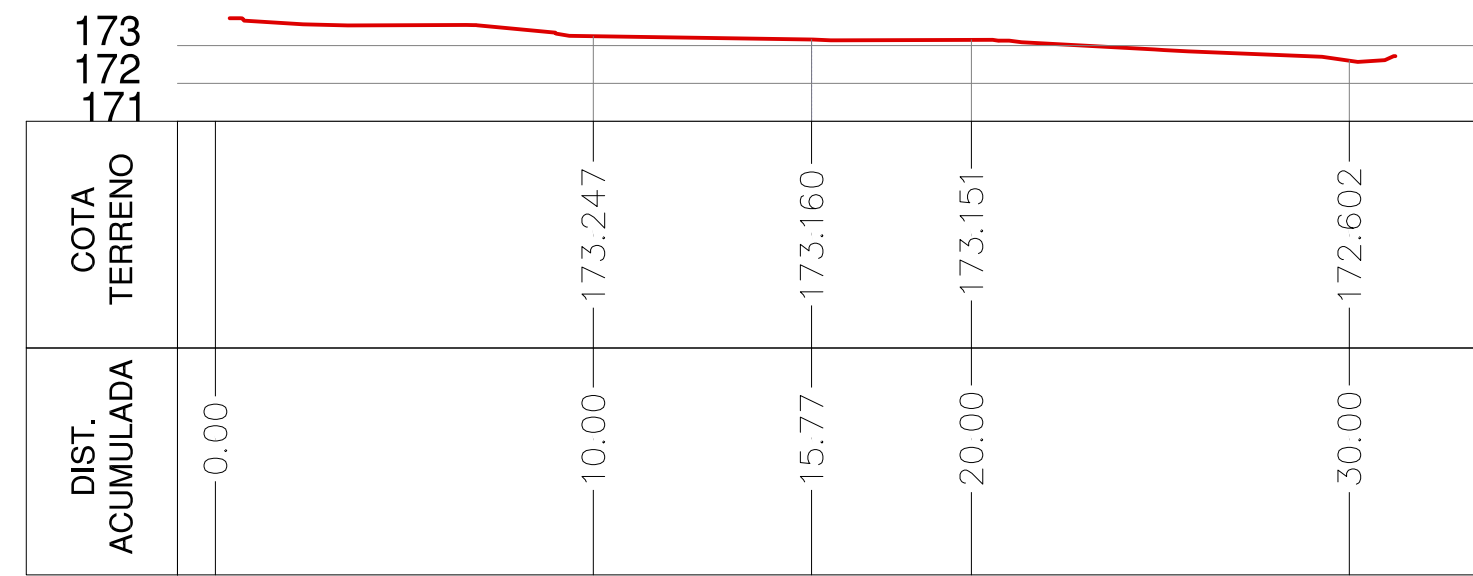
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 80
ESC. 1:200



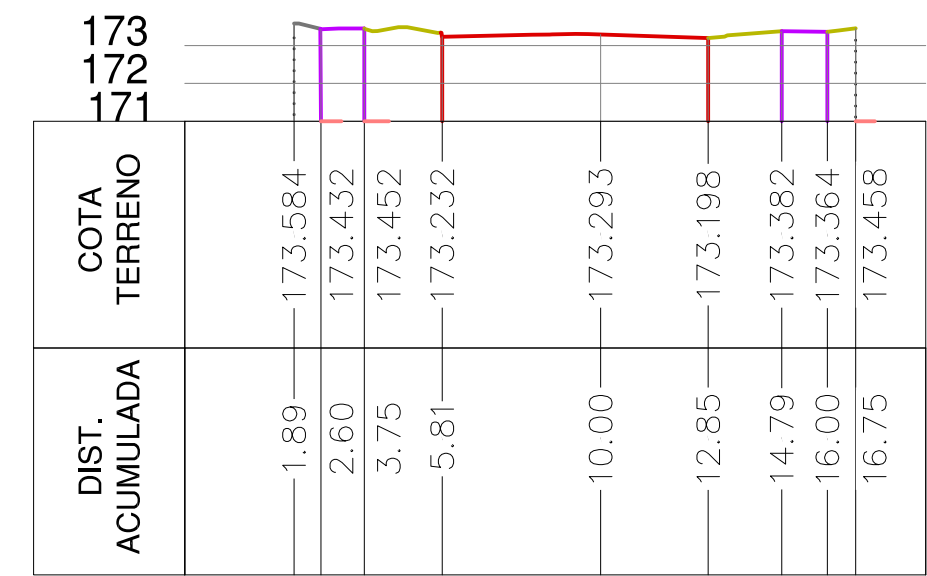
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 140
ESC. 1:200



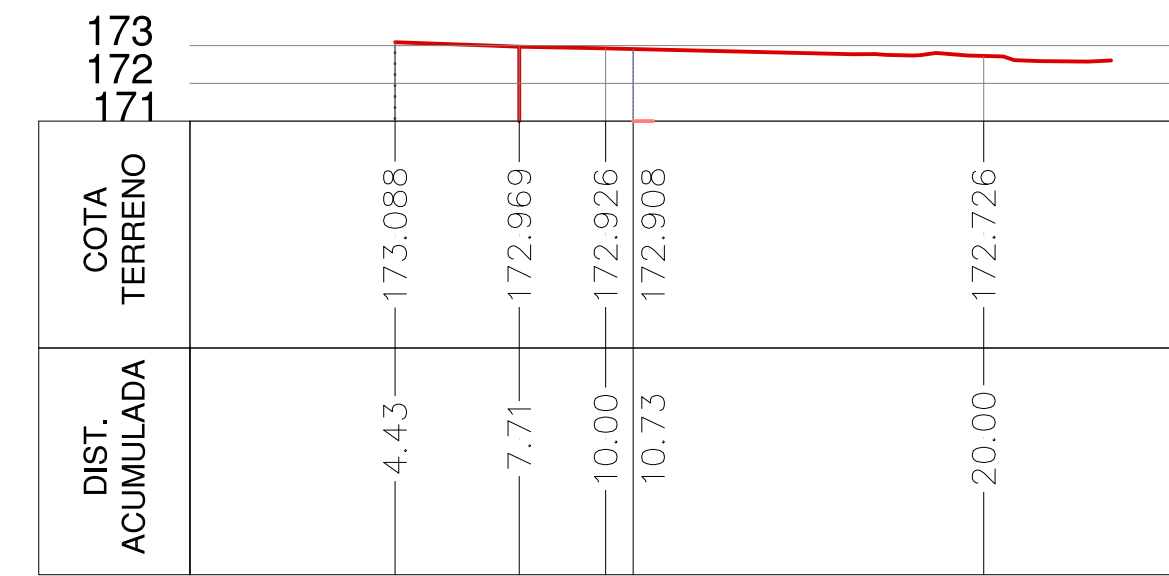
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 220
ESC. 1:200



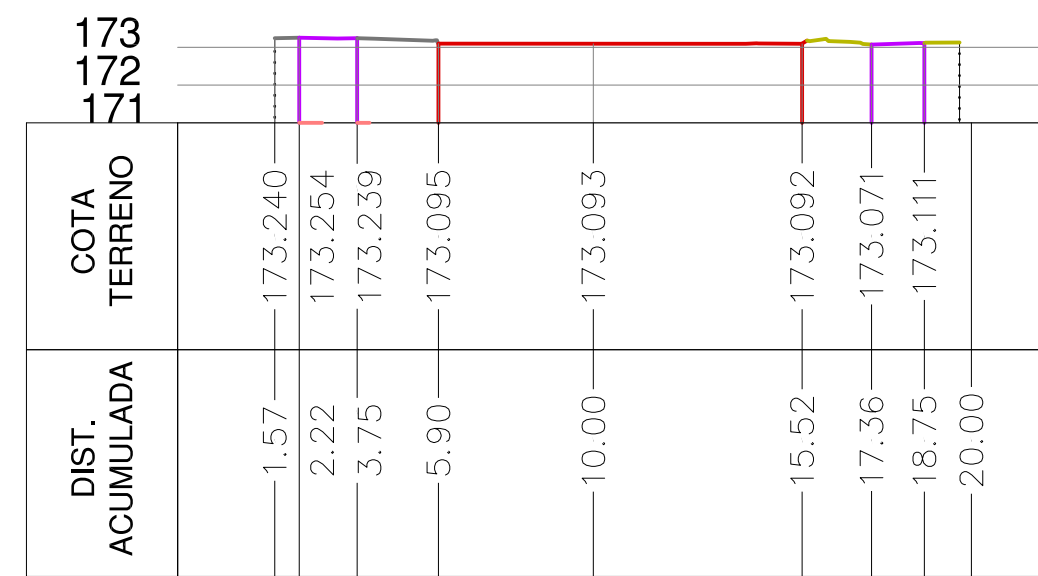
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. ANGAMOS
ESC. 1:200



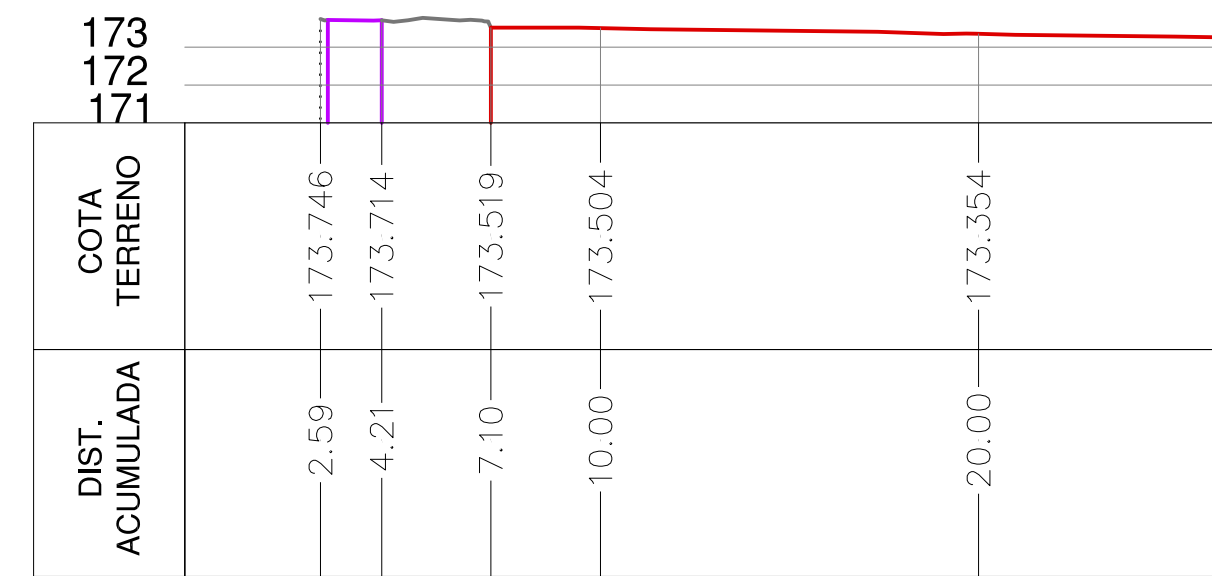
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 430
ESC. 1:200



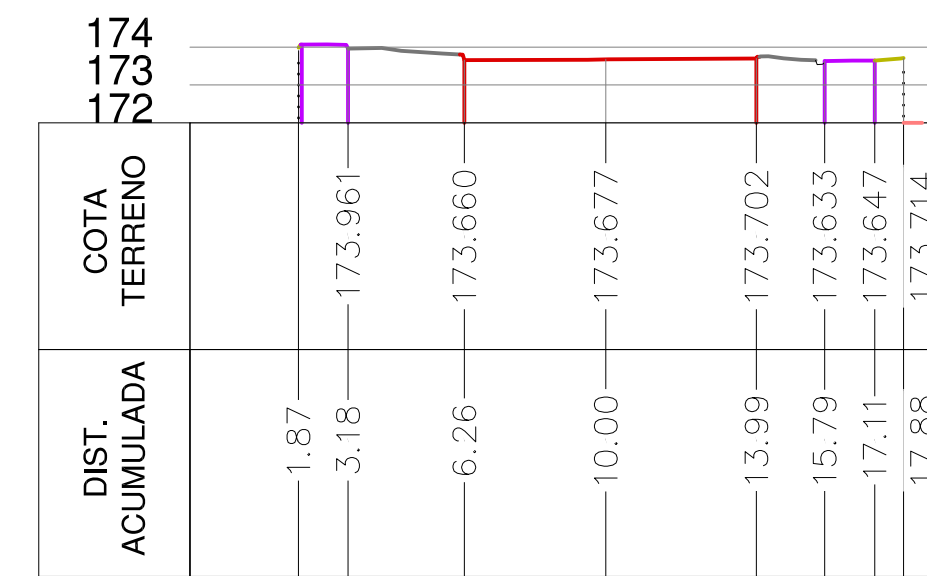
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. ESMERALDA
ESC. 1:200



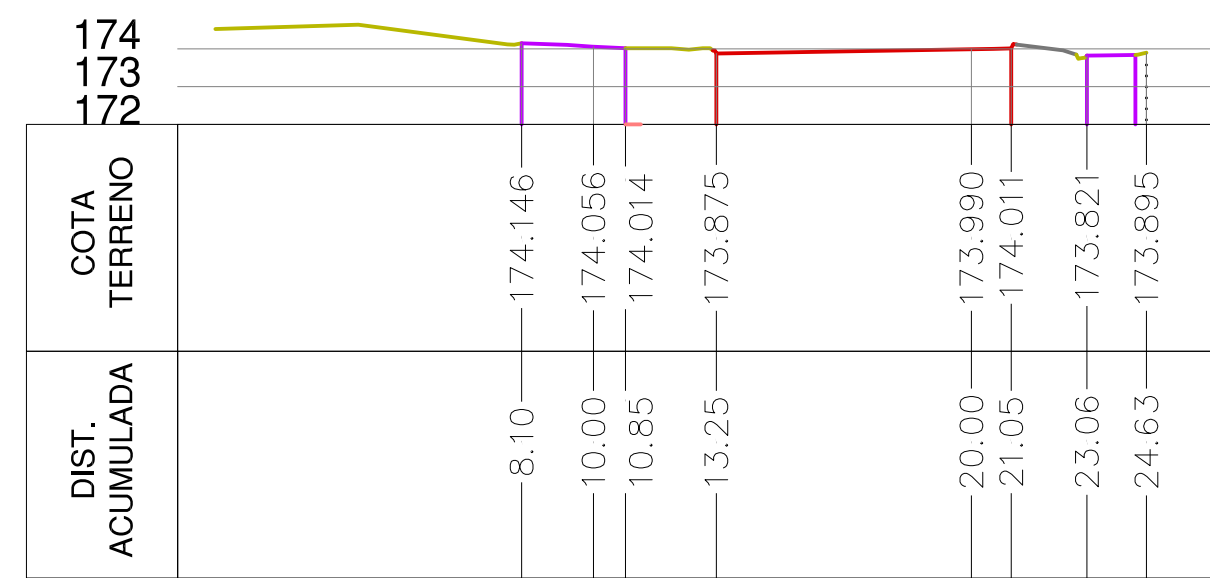
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 590
ESC. 1:200



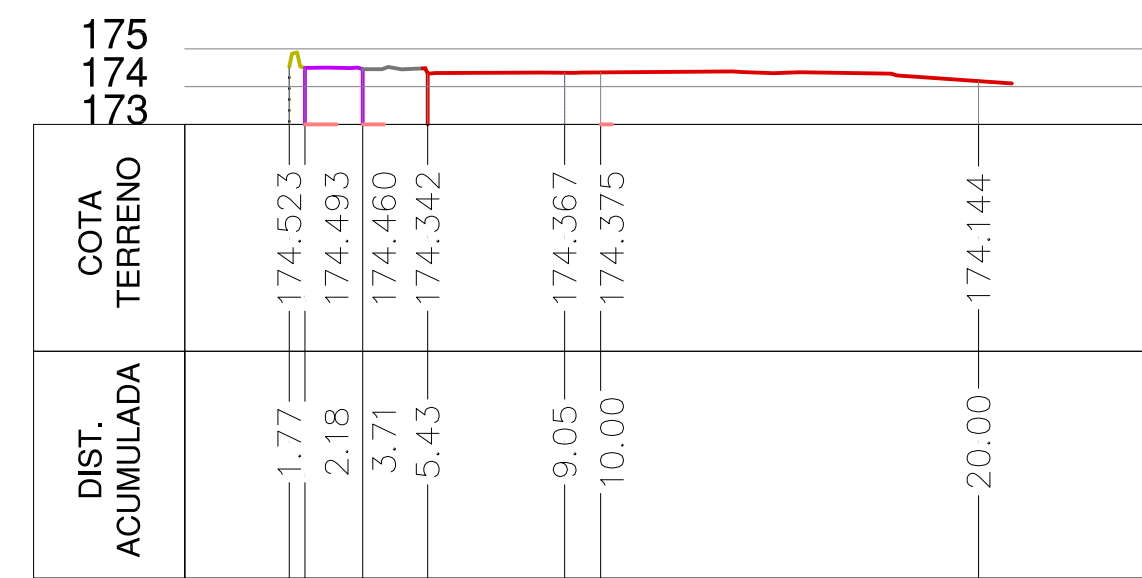
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. COVADONGA
ESC. 1:200



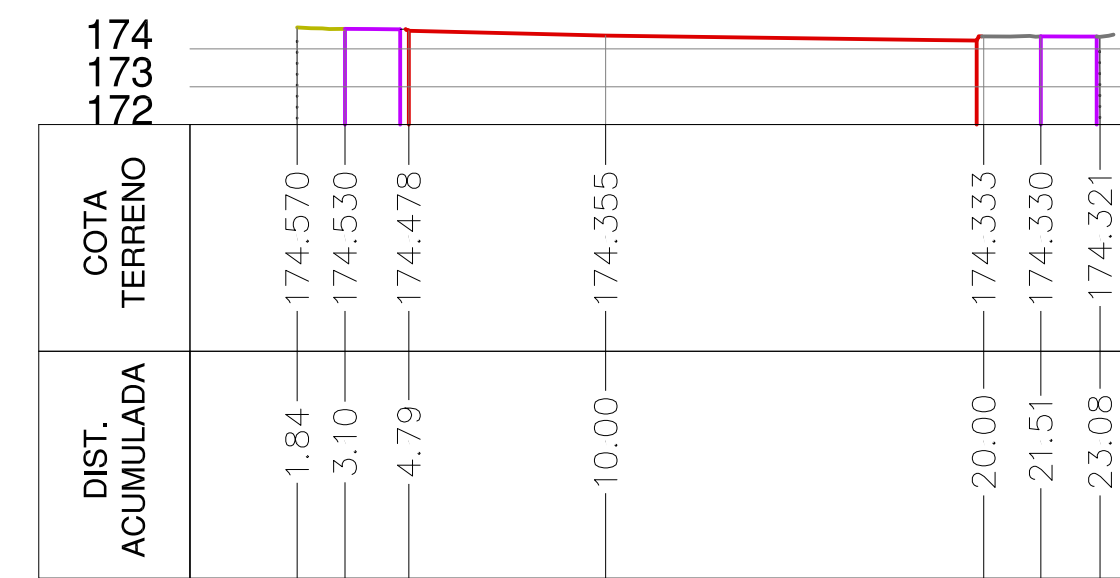
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 700
ESC. 1:200



CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 740
ESC. 1:200



CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. HUASCAR
ESC. 1:200



CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 850
ESC. 1:200

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA. INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

SIMBOLOGIA

- CALLE
- VEREDAS
- TERRENO NATURAL
- HORMIGÓN

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PERFILES TRANSVERSALES

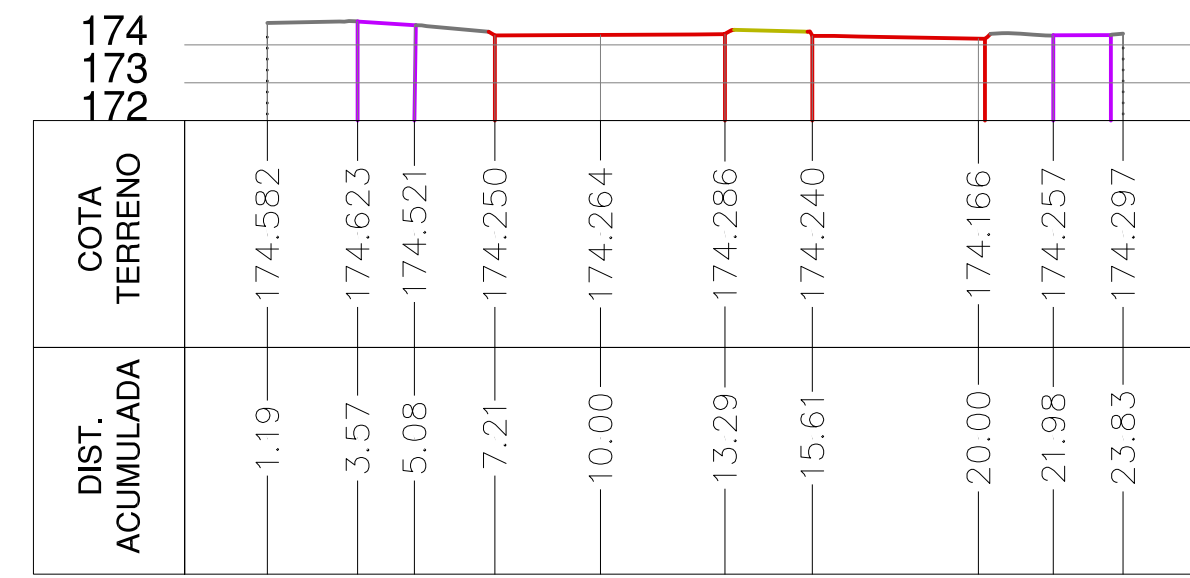
PROFESIONAL RESPONSABLE:

FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

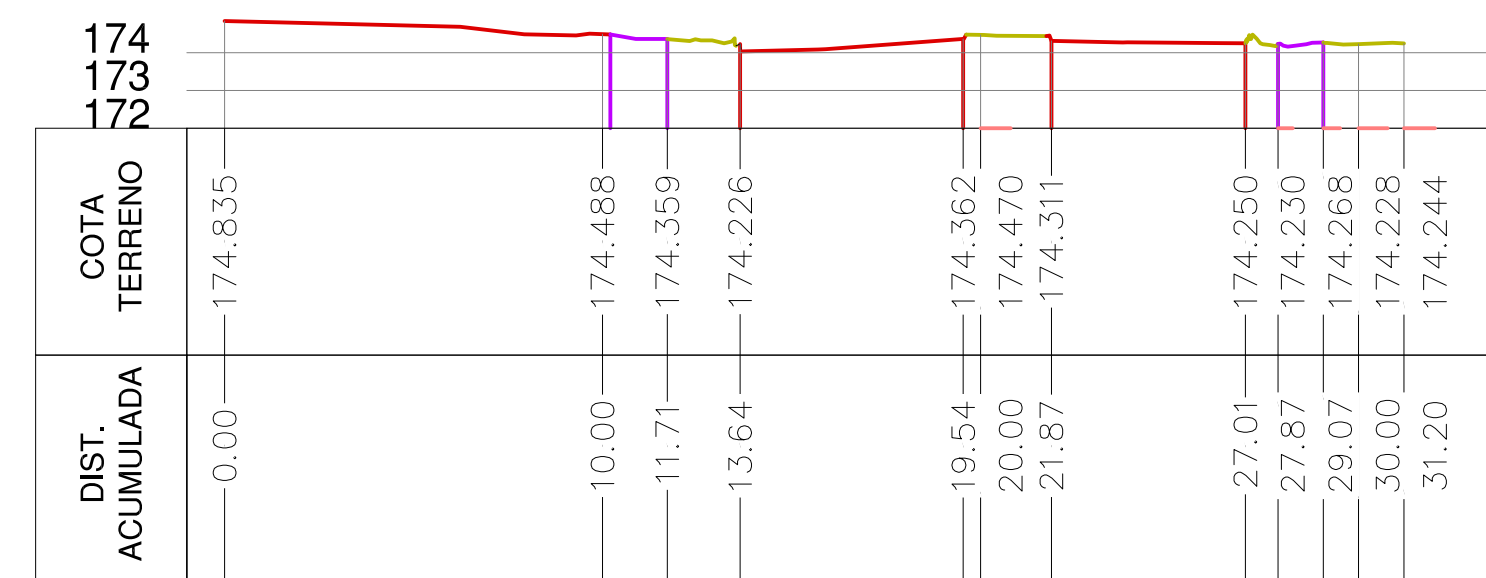
GLACIAR INGENIERIA:



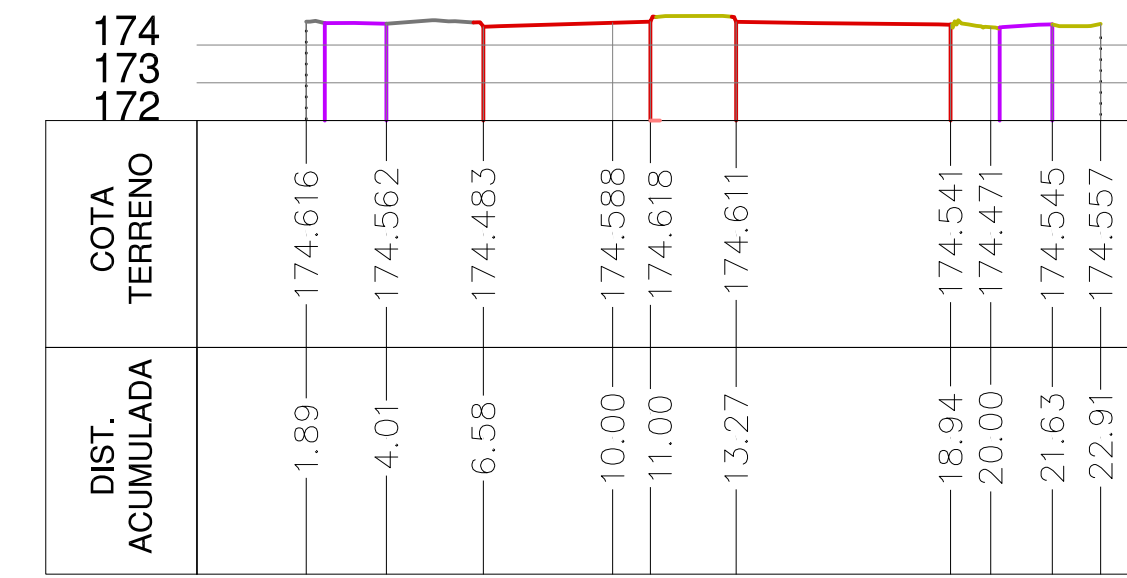
Lamina:



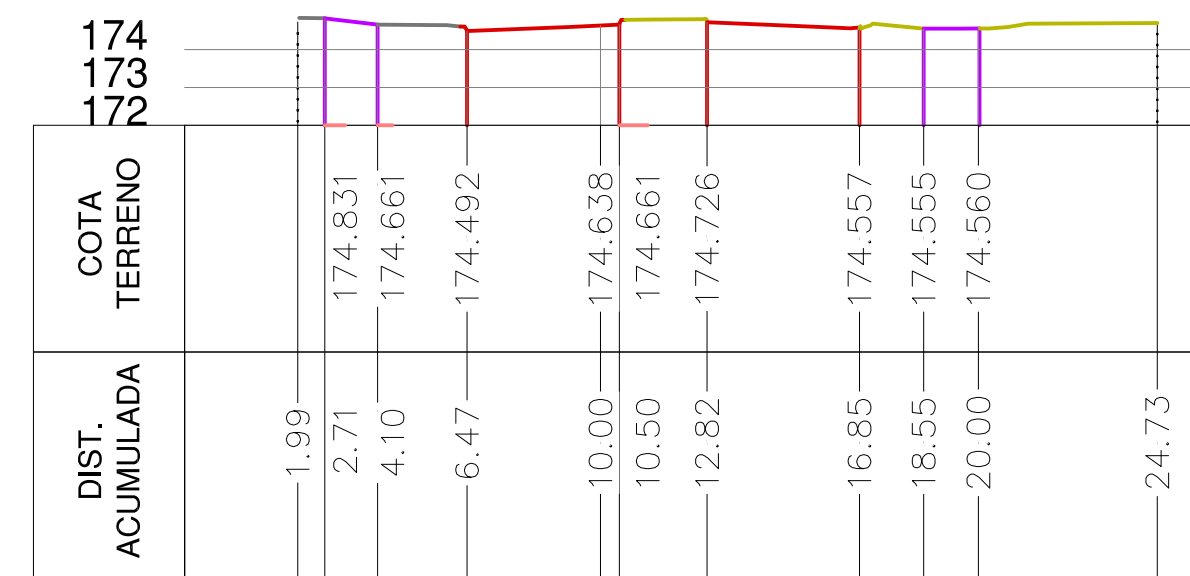
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 890
ESC. 1:200



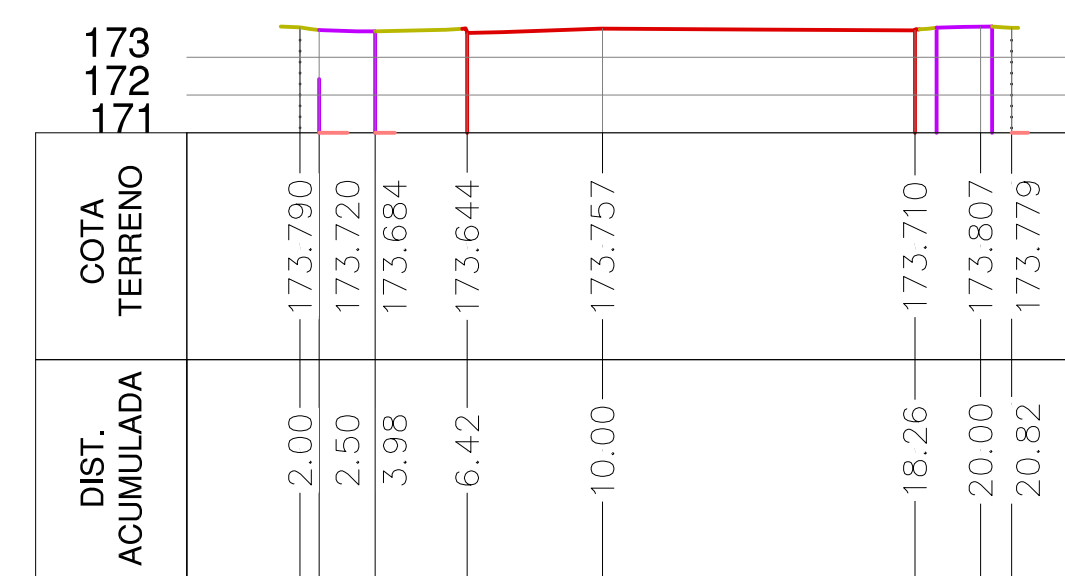
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 950
ESC. 1:200



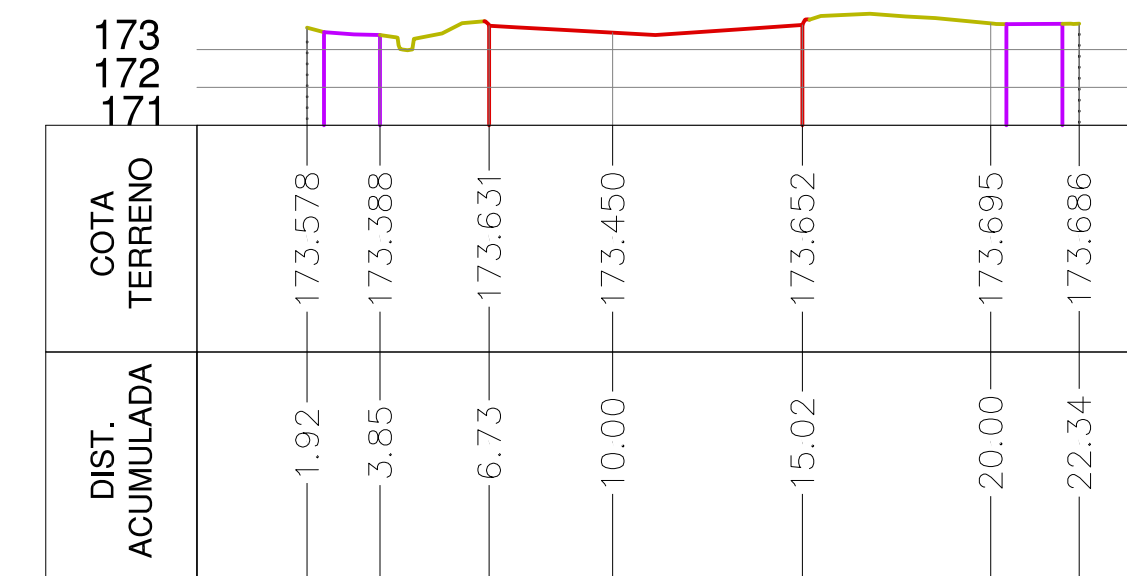
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 1010
ESC. 1:200



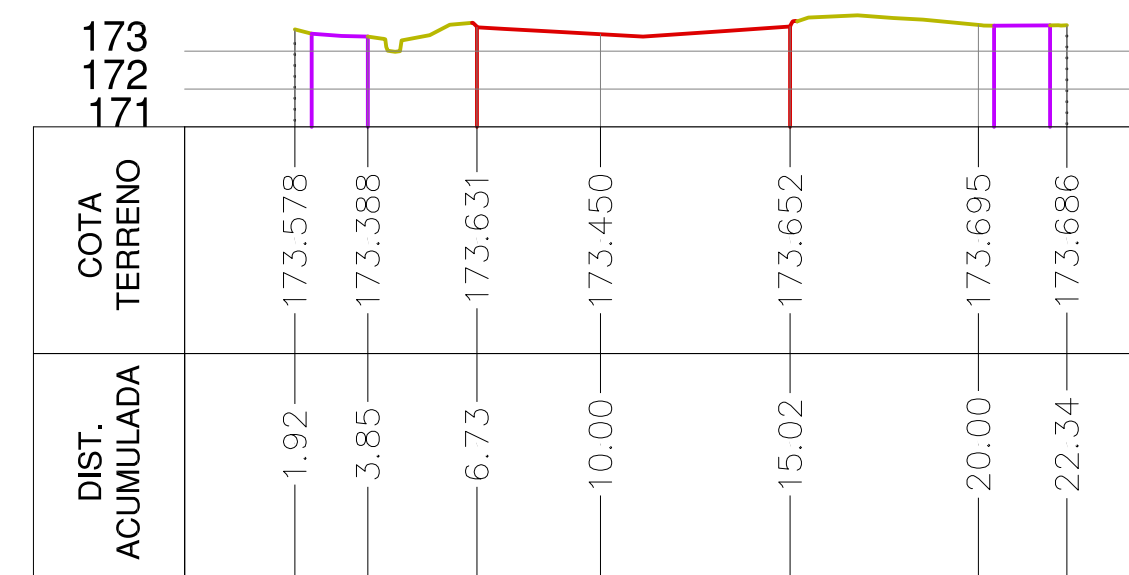
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 1060
ESC. 1:200



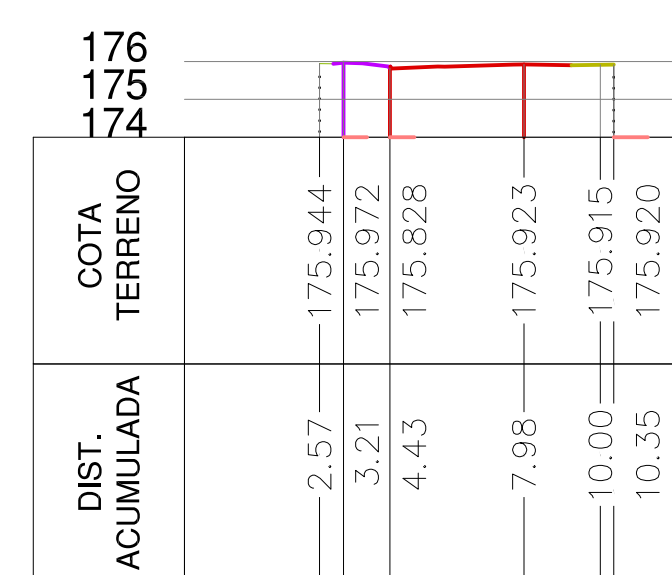
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 1200
ESC. 1:200



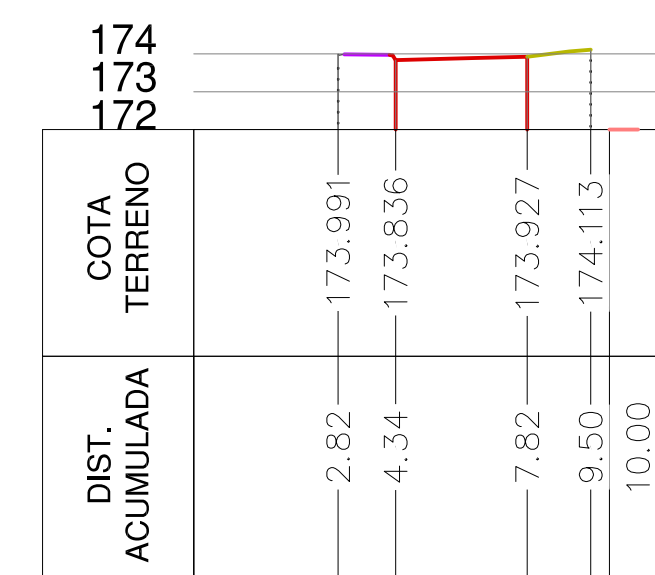
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 1250
ESC. 1:200



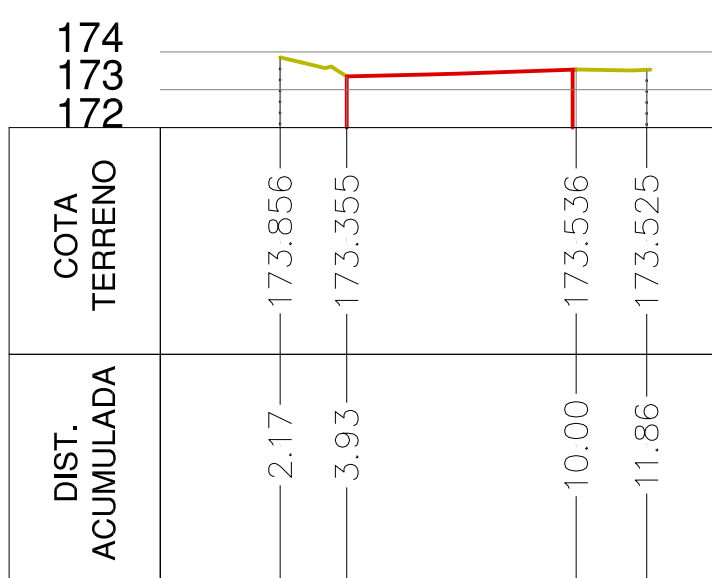
CORTE TRANS. INDEPENDENCIA K. 1250
ESC. 1:200



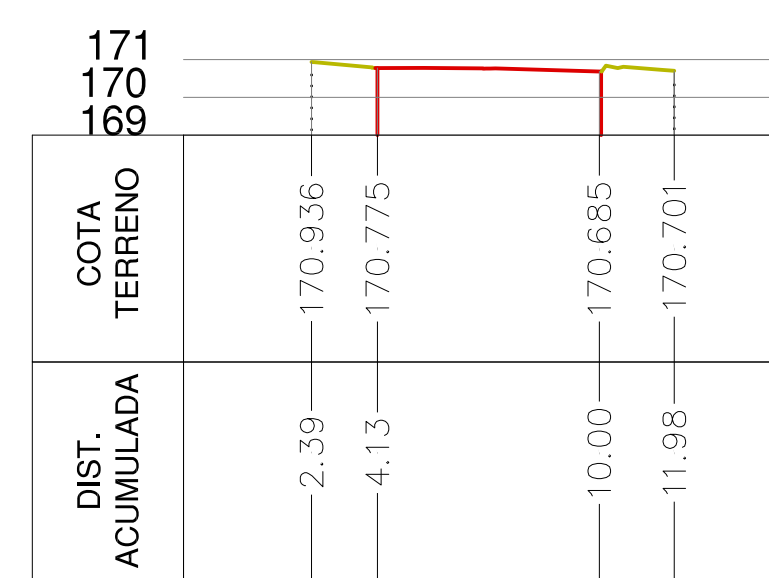
CORTE TRANS. MIRAFLORES K. 9
ESC. 1:200



CORTE TRANS. MIRAFLORES K. 30
ESC. 1:200



CORTE TRANS. LA PAZ SUR
ESC. 1:200



CORTE TRANS. LA PAZ NORTE
ESC. 1:200

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO AVDA. INDEPENDENCIA DE PICHIDEGUA

SIMBOLOGIA

- CALLE
- VEREDAS
- TERRENO NATURAL
- HORMIGÓN

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : VARIAS CALLES DEL CENTRO URBANO

PROYECCION CARTESIANA WGS 84 UTM ZONA 19 SUR
 FECHA: 23-12-19 | ESCALA: LAS INDICADAS | REVISION : C

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PERFILES TRANSVERSALES

PROFESIONAL RESPONSABLE:

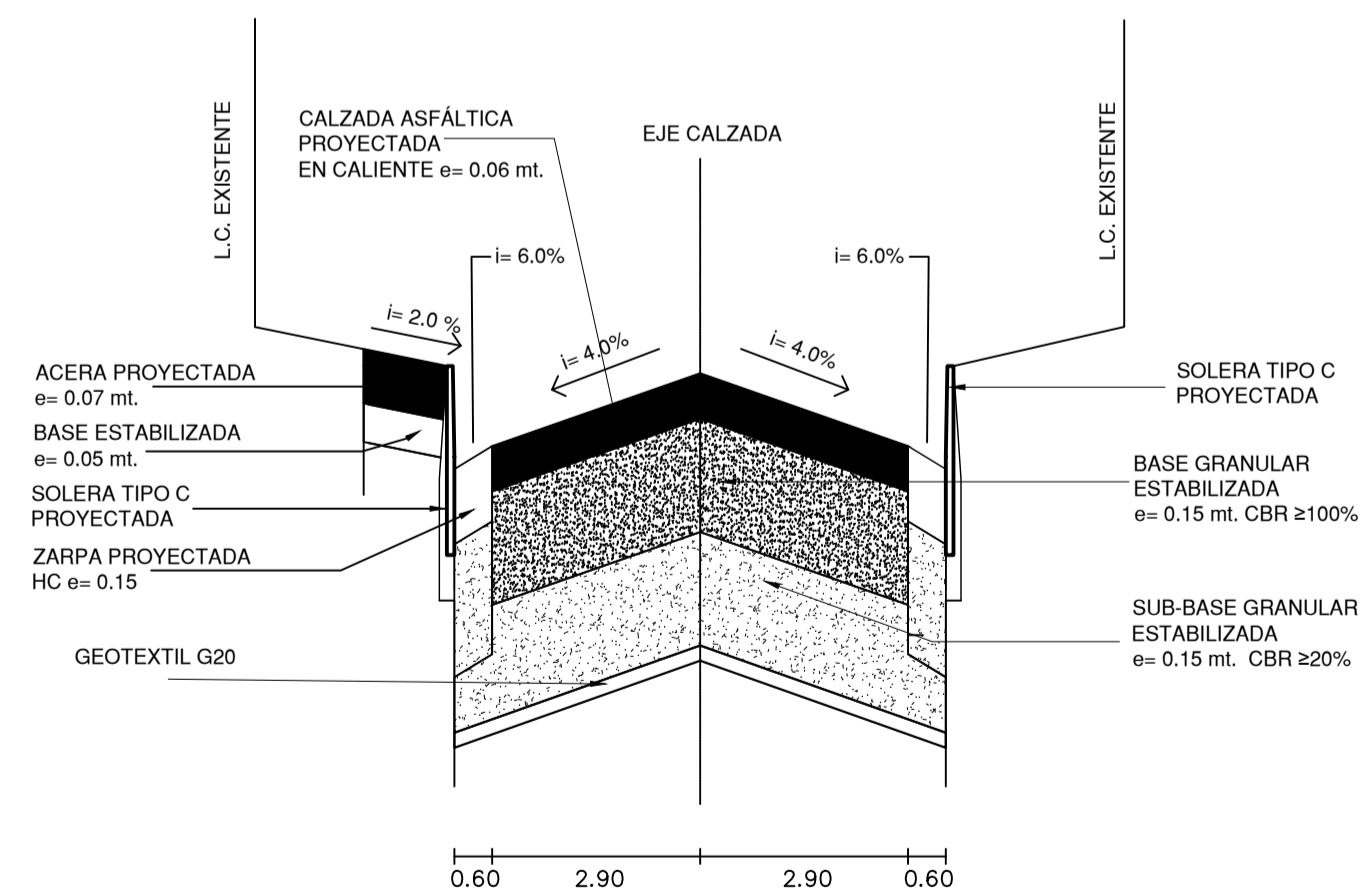
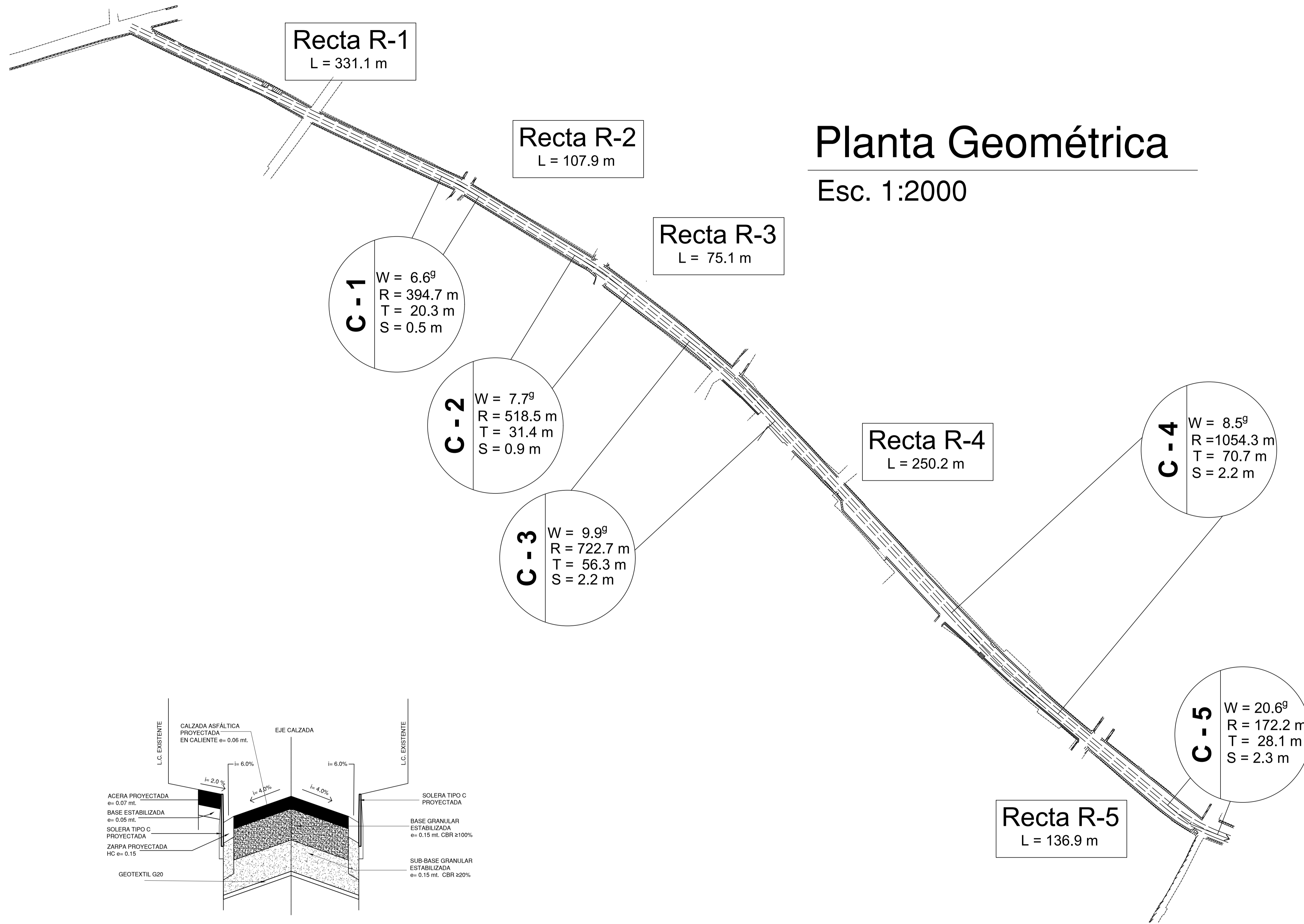
FRANCISCO MUÑOZ MANDIOLA
 JEFE DE TOPOGRAFIA
 FMUNOZ@GLACIARINGENIERIA.CL
 TELEFONO 45 2 326464

GLACIAR INGENIERIA:

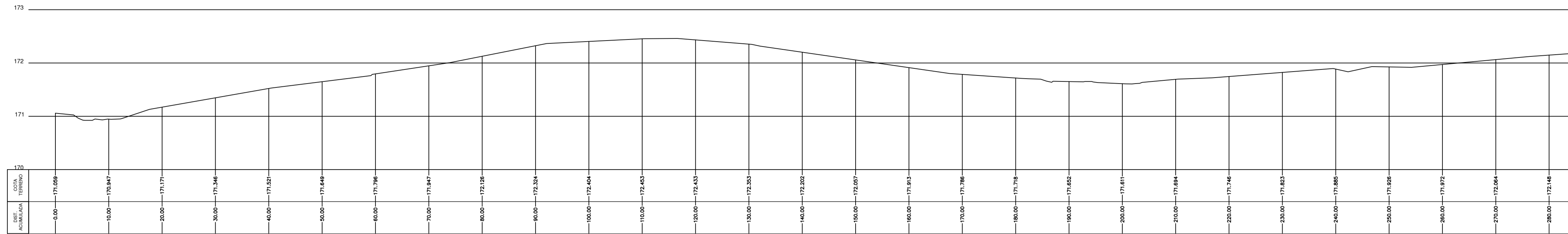


Lamina:

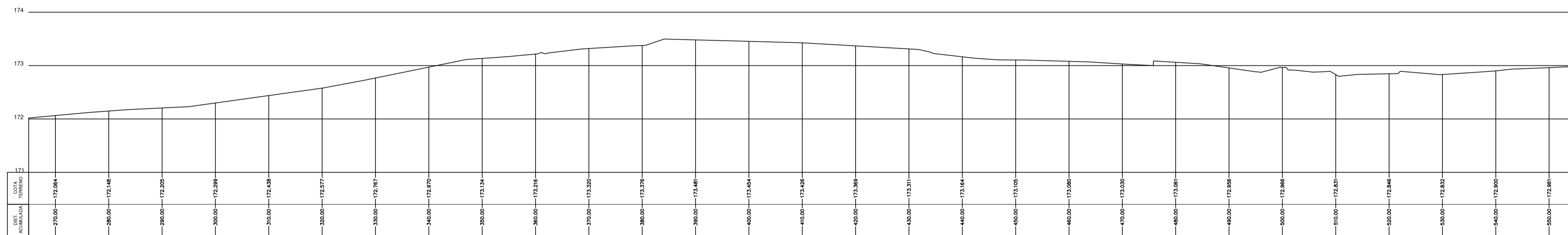
10 DE 10



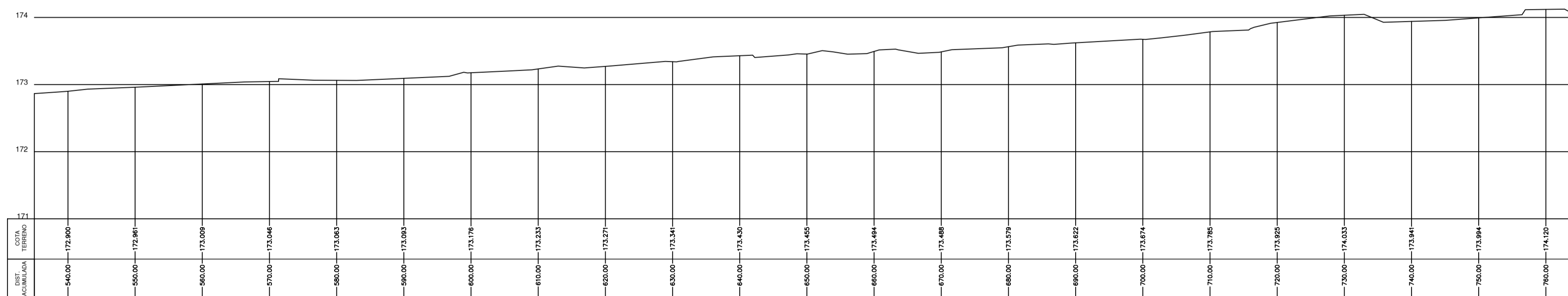
REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS	
PROVINCIA : CACHAPOAL	
COMUNA : PICHIDEGUA	
UBICACION : AVENIDA INDEPENDENCIA	
FECHA: 13-12-21	
CONTENIDO LAMINA: 1.- PLANTA GEOMÉTRICA 2.- SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO DE CAMINO	
PROFESIONAL RESPONSABLE:	
<small>JULIO EDUARDO AGUIRRE LEIVA MEMORISTA JULIO.AGUIRRE@ALUMNOS.UV.CL TELÉFONO +56987267617</small>	
Lamina:	
1 DE 4	



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 0 - 280
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 270 - 550
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 540 - 760
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : AVENIDA INDEPENDENCIA

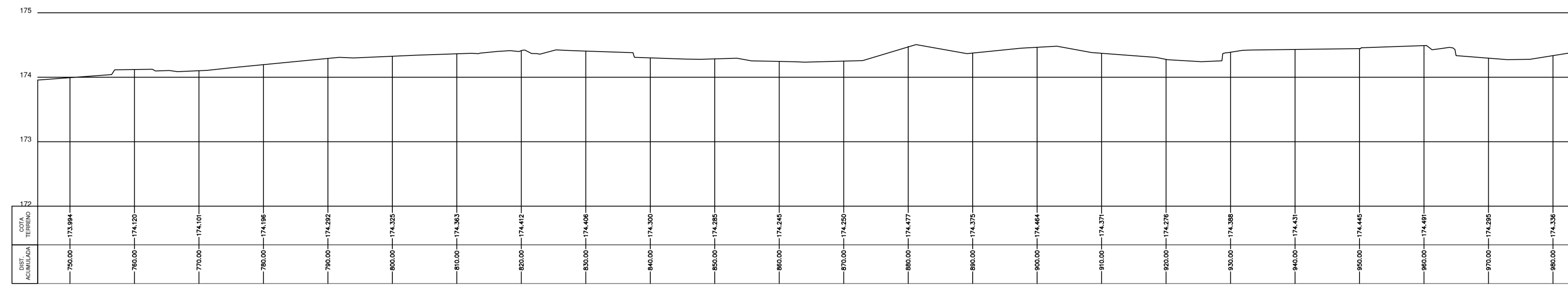
FECHA: 13-12-21

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PERFILES TRANSVERSALES AVDA INDEPENDENCIA
 PTE. 1

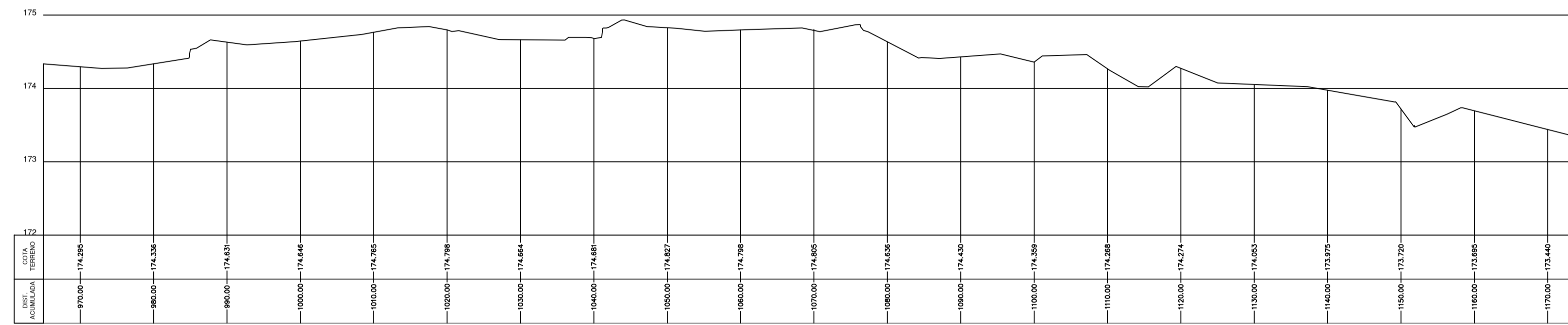
PROFESIONAL RESPONSABLE:

JULIO EDUARDO AGUIRRE LEIVA
 MEMORISTA
 JULIO.AGUIRRE@PALMINOS.LIV.CL
 TELEFONO +56987267617

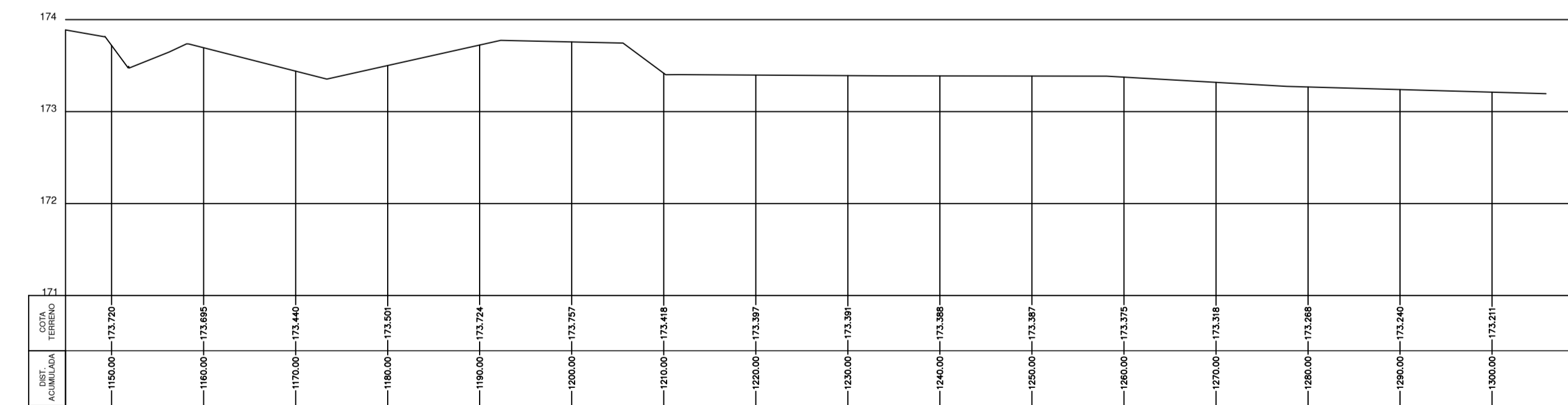
Lamina:



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 750 - 980
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 970 - 1170
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50



CORTE LONGITUDINAL INDEPENDENCIA K. 1150 - 1306
 ESC. H 1:500
 ESC. V 1:50

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS
 PROVINCIA : CACHAPOAL
 COMUNA : PICHIDEGUA
 UBICACION : AVENIDA INDEPENDENCIA

FECHA: 13-12-21

CONTENIDO LAMINA:
 1.- PERFILES TRANSVERSALES AVDA. INDEPENDENCIA
 PTE 2

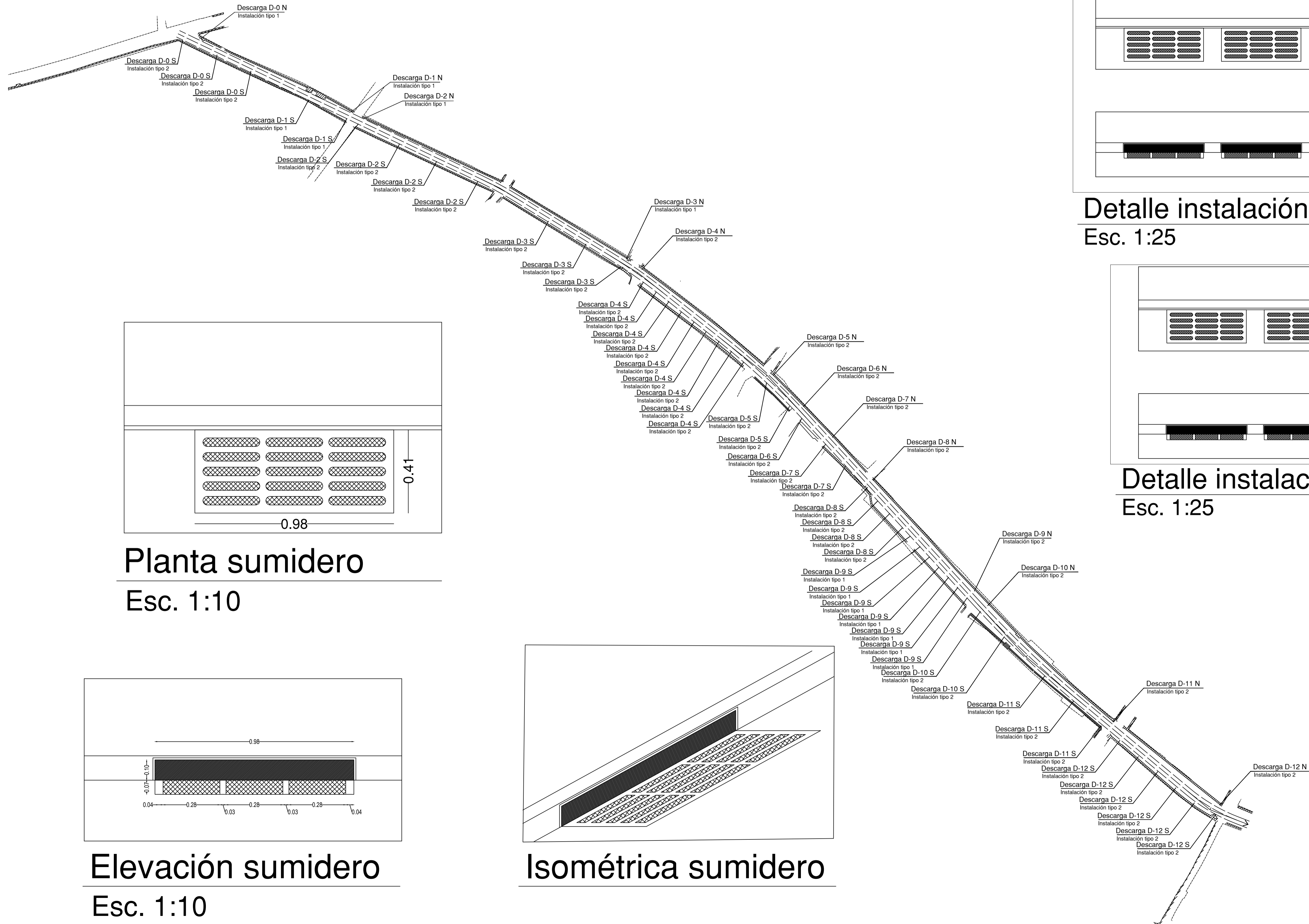
PROFESIONAL RESPONSABLE:

JULIO EDUARDO AGUIRRE LEIVA
 MEMORISTA
 JULIO.AGUIRRE@PALMINOS.LIV.CL
 TELEFONO +56987267617

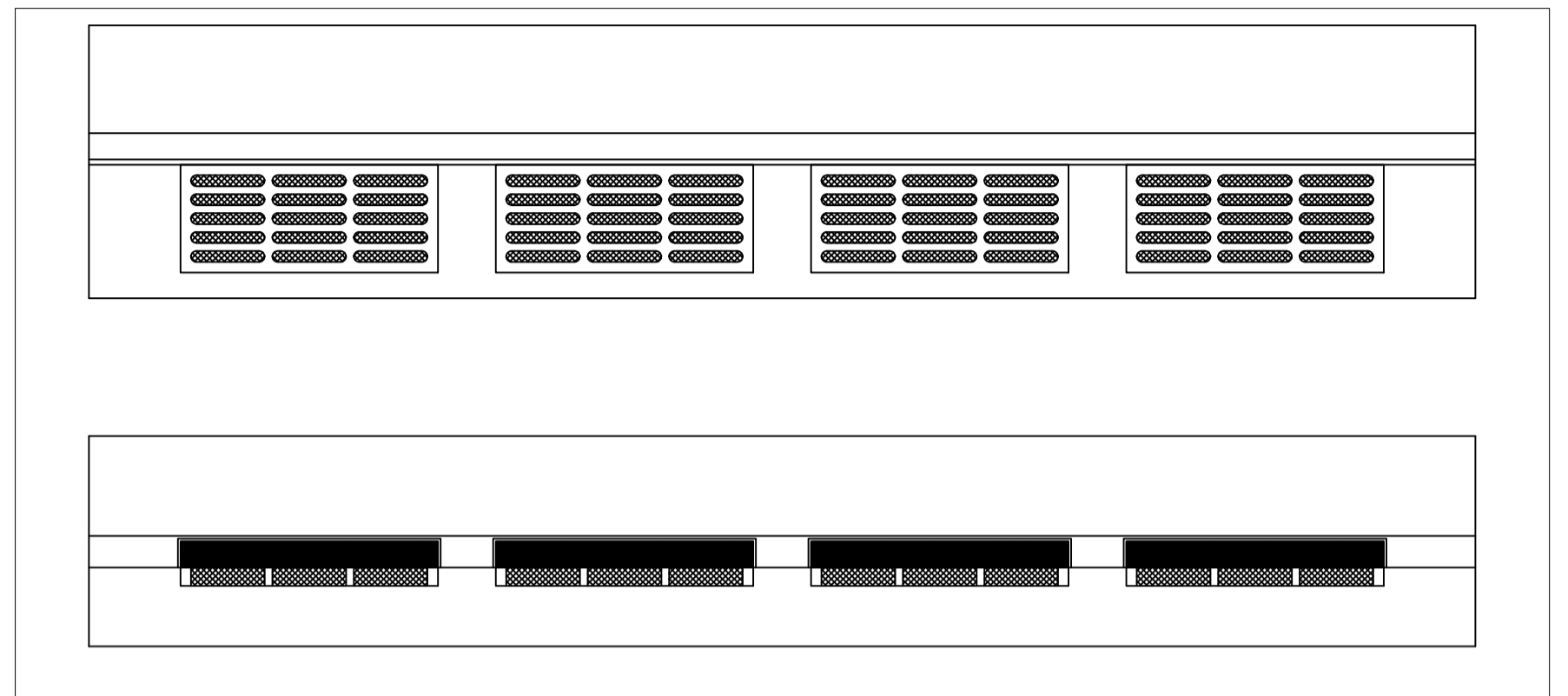
Lamina:

Planta de implementación de sumideros

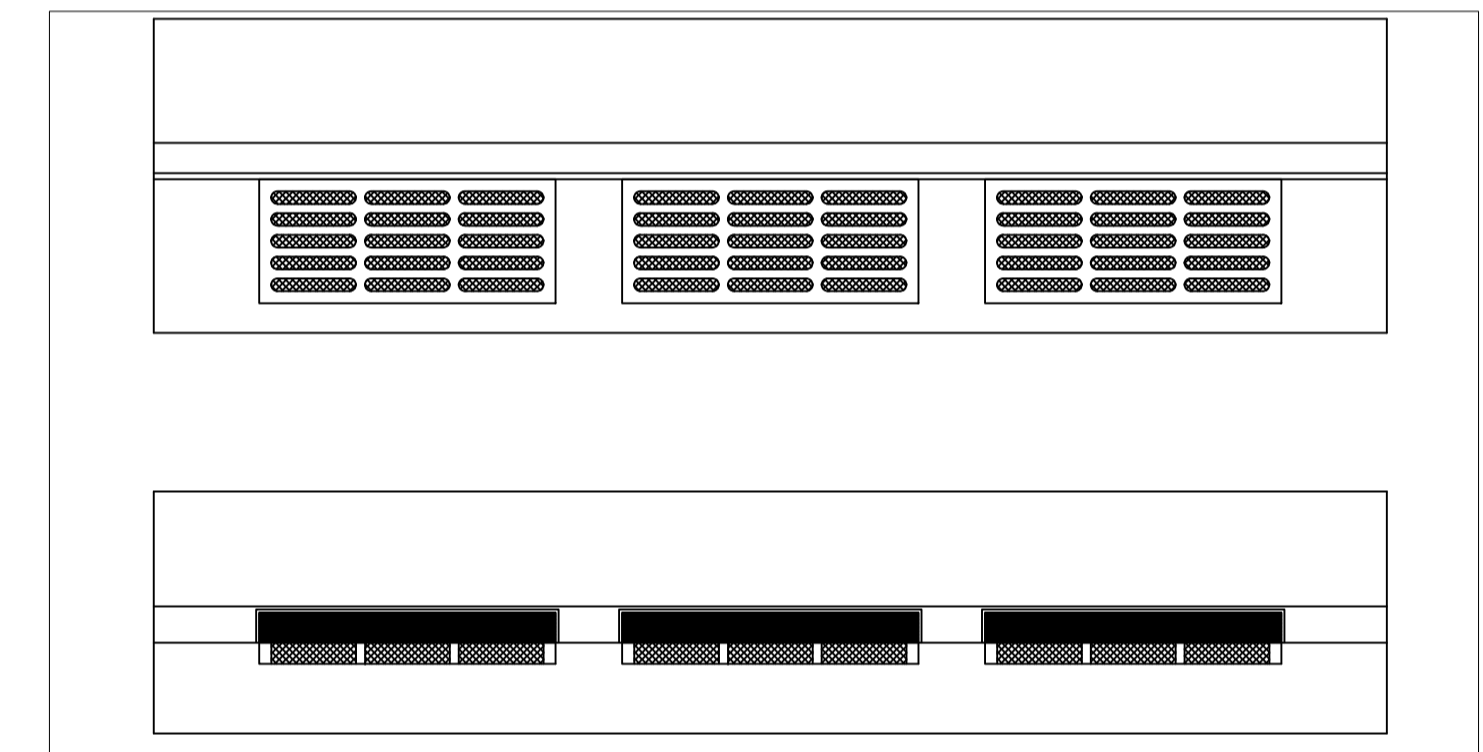
Esc. 1:2000



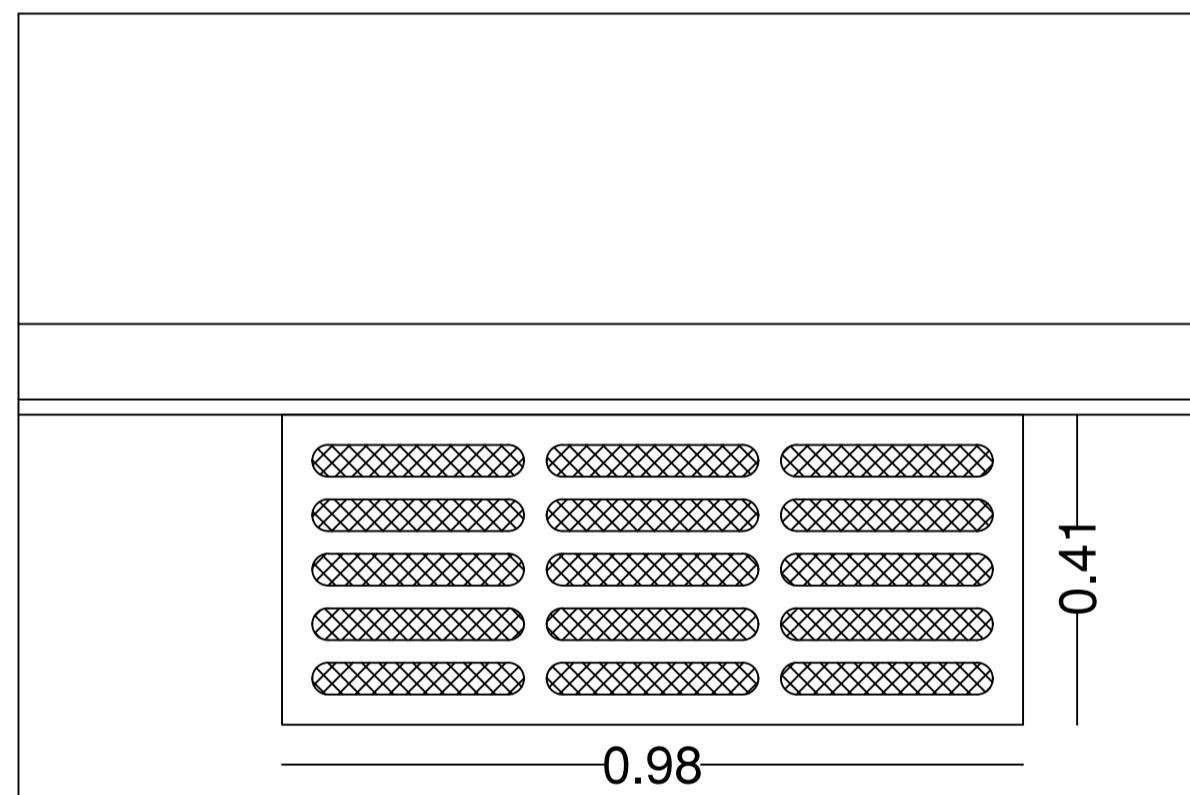
Instalación tipo 1 : Implementación de 4 sumideros tipo S1 y S2
 Instalación tipo 2 : Implementación de 3 sumideros tipo S1 y S2



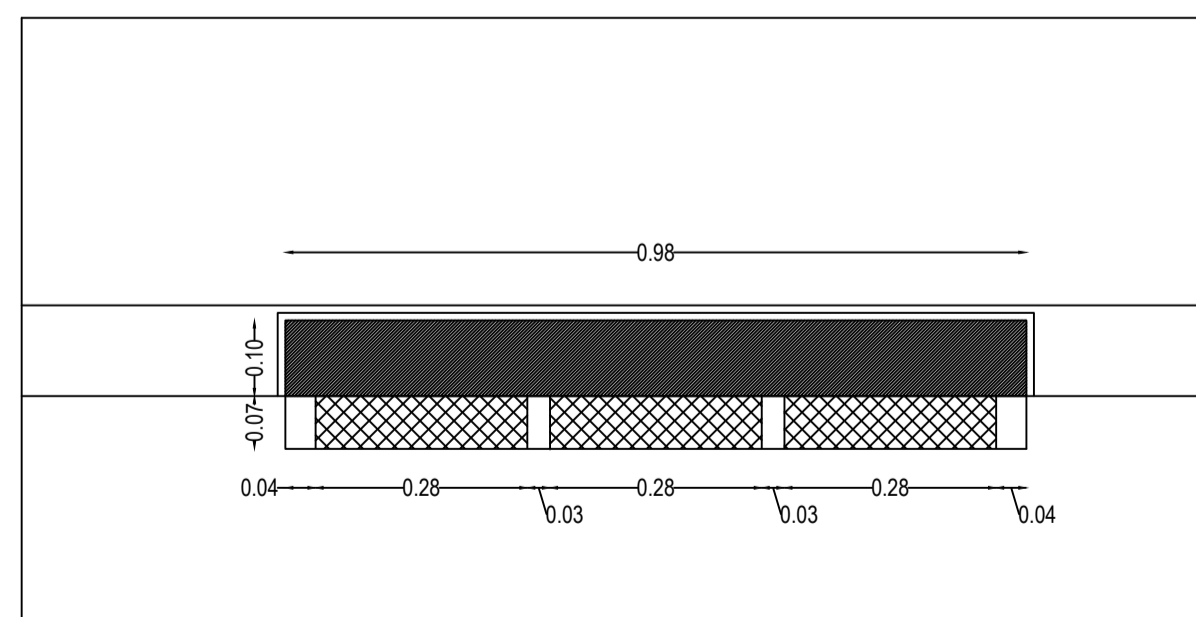
Detalle instalación tipo 1
 Esc. 1:25



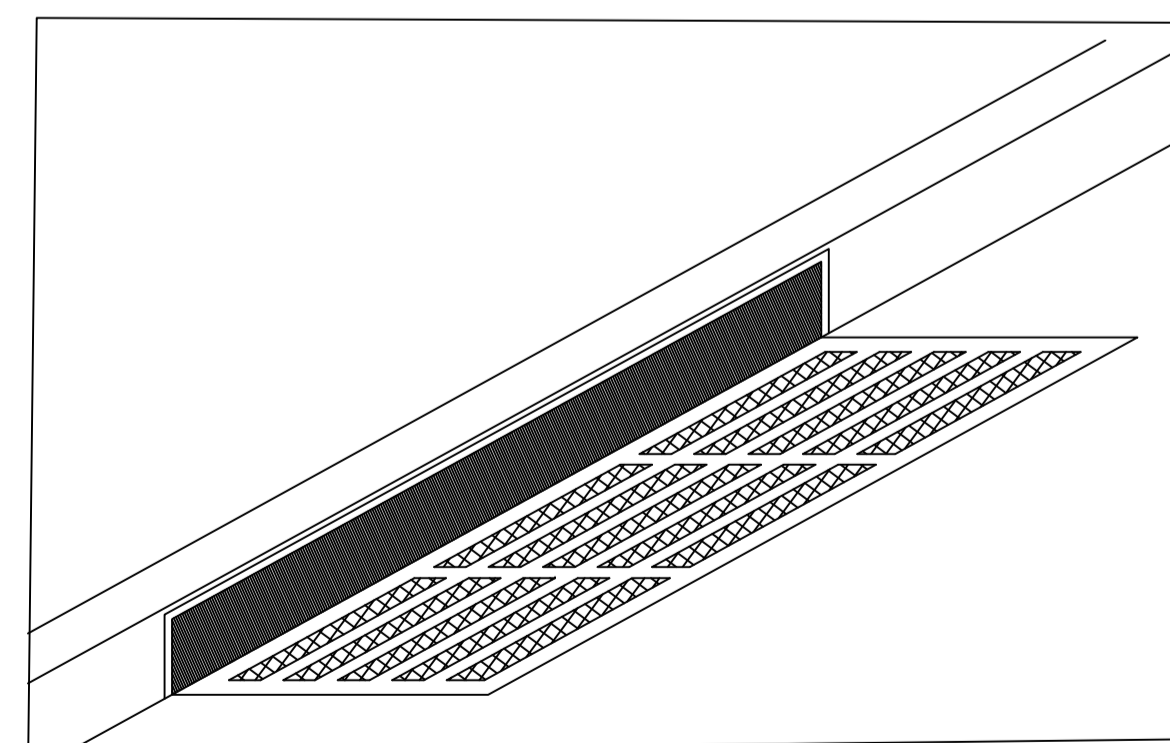
Detalle instalación tipo 2
 Esc. 1:25



Planta sumidero
 Esc. 1:10



Elevación sumidero
 Esc. 1:10



Isométrica sumidero

REGION : LIBERTADOR BERNARDO O'HIGGINS	
PROVINCIA : CACHAPOAL	
COMUNA : PICHIDEGUA	
UBICACION : AVENIDA INDEPENDENCIA	
FECHA: 13-12-21	
CONTENIDO LAMINA: 1.- PLANTA IMPLEMENTACIÓN DE SUMIDEROS 2.- SUMIDEROS TIPO S1 Y S2 3.- TIPOS DE INSTALACIONES DE SUMIDEROS	
PROFESIONAL RESPONSABLE: JULIO EDUARDO AGUIRRE LEIVA MEMORISTA JULIO.AGUIRRE@PLUMINOS.LIV.CL TELEFONO +56987267617	
Lamina:	4 DE 4