

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura



Proyecto de Grado
Carrera de Ingeniería Civil

**PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA
CUENCA LUDUEÑA
Distrito de Zavalla, Santa Fe.**

ESTUDIANTES

AICHINO, Fernando (A-4232/3)

LÓPEZ BELTRAMINO, Agustín (L-3028/7)

RICCI, Lautaro (R-4277/3)

RISSO, Santiago Esteban (R-4261/7)

DIRECTORES:

Ing. Raúl Navarro.

Mg. Ing. Claudia Forestieri.

Dra. Ing. Margarita Portapila.

ASESORES:

Dr. Ing. Hernán Stenta

Mg. Ing. Nicolás Bolcatto

Trabajo presentado en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, en cumplimiento parcial de los requisitos para alcanzar la titulación en

Ingeniería Civil

Diciembre de 2025

Índice

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	4
3. Objetivo General.....	4
4. Objetivos Particulares.....	4
5. Conceptualización del problema.....	4
5.1 Cuenca del Arroyo Ludueña.....	4
5.2 Dinámica hídrica del sector a intervenir.....	5
5.3 Problemática existente.....	5
5.4 Solución planteada.....	7
5.4.1 Localización del cierre de la presa.....	8
6. Metodología.....	10
7. Desarrollo.....	11
7.1 Antecedentes.....	11
7.2 Situación actual - Condiciones existentes.....	12
7.3 Proyecto hidrológico - hidráulico.....	18
7.3.1 Descripción del modelo de simulación numérica. Modelo de celdas.....	18
7.3.2 Datos de entrada del software.....	20
7.3.3 Escenarios hidrológicos de diseño.....	21
7.3.4 Obtención de lluvias de diseño.....	22
7.3.5 Hietogramas de diseño.....	23
7.3.6 Desarrollo de la traza , volumen de cierre y canales de descarga.....	25
7.3.7 Verificación a erosión de los canales.....	27
7.3.8 Altura de presa y revanchas.....	27
7.3.9 Diseño geométrico de las obras de control y de salida.....	30
7.3.10 Diseño del dissipador de energía. Obra de cierre del Canal La Legua.....	31
7.3.11 Protección de gasoductos existentes.....	34
7.3.12 Encuentro canal - alcantarilla.....	35
7.4 Diseño geotécnico.....	36
7.4.1 Diseño Geométrico y Estructural del Terraplén.....	36
7.5 Diseño Vial.....	57
7.5.1 Consideraciones.....	57
7.5.2 Ubicación. Accesos. Replanteo de caminos de acceso a lotes. Expropiación.....	57
7.5.3 Diseño estructural.....	59
7.5.4 Diseño Geométrico.....	62
7.5.5. Señalización y seguridad.....	65
7.6 Identificación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) vinculados a este proyecto.....	68
11. Ciudad y comunidades sostenibles.....	68
9. Industria, innovación e infraestructuras.....	69
13. Acción por el clima.....	69
10. Reducción de las desigualdades.....	69
15. Vida de ecosistemas terrestres.....	70
3. Salud y bienestar.....	70
8. Trabajo decente y crecimiento económico.....	71
6. Agua y Saneamiento.....	71

1. Fin de la pobreza.....	71
8. Conclusiones.....	71
9. Bibliografía.....	73
10. Legajo de Planos.....	75
11. Anexos.....	77
1. Plano ubicacion, areas inundable y lotes afectados - Provincia de Santa Fe.....	77
2. Plano de la traza del cierre.....	77
3. Estudio de suelos.....	77
4. Planos tipo.....	77
12. Agradecimientos.....	77

1. Resumen.

El presente proyecto aborda la problemática de anegamientos en la cuenca del Arroyo Ludueña, específicamente en el sector de la cuenca alta al oeste de la Ruta Nacional N°A012. El cambio en los usos del suelo y el avance de la urbanización en localidades como Roldán y Funes han aumentado los coeficientes de escorrentía, saturando la capacidad de evacuación de la infraestructura existente.

El objetivo principal es el diseño de la Presa de Retención de Crecidas La Legua, una obra de regulación destinada a laminar los caudales pico generados por las subcuencas de los canales "La Legua" y "La Carmelita" antes de su cruce con la Ruta Nacional N°A012.

La metodología empleada se basó en la modelación hidrológica-hidráulica distribuida mediante el software VMMHH 1.0 (Riccardi G., Stenta H. y Rentería J), analizando dos escenarios de diseño críticos: una recurrencia de 100 años para el dimensionamiento de los descargadores de fondo y verificación de no ahogamiento de las alcantarillas existentes (AT 020 y AT 021), y una recurrencia de 10.000 años para la verificación de seguridad del terraplén y determinación de la cota de coronamiento de la presa.

La solución técnica propuesta consiste en un cierre mediante una presa de materiales sueltos con núcleo impermeable arcilloso y faldones de limo arcilloso. Las obras de control se diseñaron de la siguiente manera:

Canal La Legua: Estructura de hormigón armado compuesta por dos descargadores de fondo de 1,00 m de diámetro y un vertedero de superficie libre de 20 m de longitud, equipada con un dissipador de energía tipo USBR I para controlar el resalto hidráulico y evitar la erosión aguas abajo.

Canal La Carmelita: Obra de cierre con dos descargadores de fondo de 1,00 m de diámetro, limitando el caudal a la capacidad de la alcantarilla AT 020.

Se realizó un análisis geotécnico utilizando el software GeoStudio (módulos SEEP/W y SLOPE/W). Los resultados validaron la estabilidad de los taludes (1V:3H aguas arriba y 1V:2H aguas abajo) con factores de seguridad superiores a 1.5 y verificaron que las velocidades de filtración ($1,08 \times 10^{-7}$) no presentan riesgo de erosión interna.

Adicionalmente, el proyecto resuelve las interferencias con dos gasoductos de TGN (Transportadora de Gas del Norte S.A) mediante losas de protección de hormigón armado y propone un diseño vial para los caminos de acceso y mantenimiento, garantizando la operatividad de la presa y la accesibilidad a los lotes afectados bajo un esquema de servidumbre de inundación.

2. Introducción.

La cuenca del Arroyo Ludueña cuenta con un área de aporte de aproximadamente 750 km², donde se halla el aglomerado urbano del Gran Rosario, el cual supera el millón de habitantes.

El avance urbanístico hacia el oeste de la cuenca trajo aparejado un aumento de la impermeabilización y de la escorrentía superficial en la cuenca media y alta, en correspondencia con sectores poblados como Roldán, Funes, entre otros. Eventos extremos evidenciaron la incapacidad de estos sectores para evacuar excedentes, generando trasvases y anegamientos.

El proyecto actual busca una mejora a estos problemas a partir de obras de regulación y almacenamiento en el sector de la cuenca alta. Con tal fin, se plantea una presa de retención de crecidas que produzca el control del escurrimiento del canal La Legua y La Carmelita, al oeste de la Ruta Nacional N°A012.

3. Objetivo General.

Diseñar la presa de retención de crecidas de los canales La Legua y La Carmelita, en la subcuenca alta del Arroyo Ludueña.

4. Objetivos Particulares.

- Analizar escenarios hidrológicos a través de simulación numérica.
- Plantear obras de descarga.
- Evaluar diferentes alternativas de diseño del terraplén mediante software especializado.
- Asegurar la accesibilidad para todos los lotes afectados por el emplazamiento del terraplén.

5. Conceptualización del problema

5.1 Cuenca del Arroyo Ludueña

La cuenca del A° Ludueña se encuentra situada en el sector sureste de la provincia de Santa Fe, República Argentina (ver *Figura N°1*). La misma limita al sur con la cuenca del Arroyo Saladillo, al norte y oeste con la cuenca del Arroyo San Lorenzo y al este con el río Paraná, desemboca en éste con un área de aporte de aproximadamente 750 km², donde las ciudades de Rosario, Pérez, Zavalla, Funes, Roldán y otras, constituyen el aglomerado urbano denominado Gran Rosario, el cual supera el millón de habitantes.

En las áreas rurales se desarrolla una agricultura de secano y en las áreas bajas se observa un desarrollo de la ganadería; en tanto, en algunos sectores de la cuenca se practica también la horticultura.

La red hídrica principal de esta cuenca está constituida por el Arroyo Ludueña y los canales Ibarlucea y Salvat, mientras que en épocas de lluvia se adicionan otros cursos naturales (cañadones) y artificiales que dan origen al escurrimiento encauzado.

Tiene una pendiente media de 0.0014 y su cabecera se ubica en la cota 70 del Sistema Geográfico Nacional.

La precipitación media anual es del orden de 1000 mm, con lluvias importantes en los meses de octubre a abril.

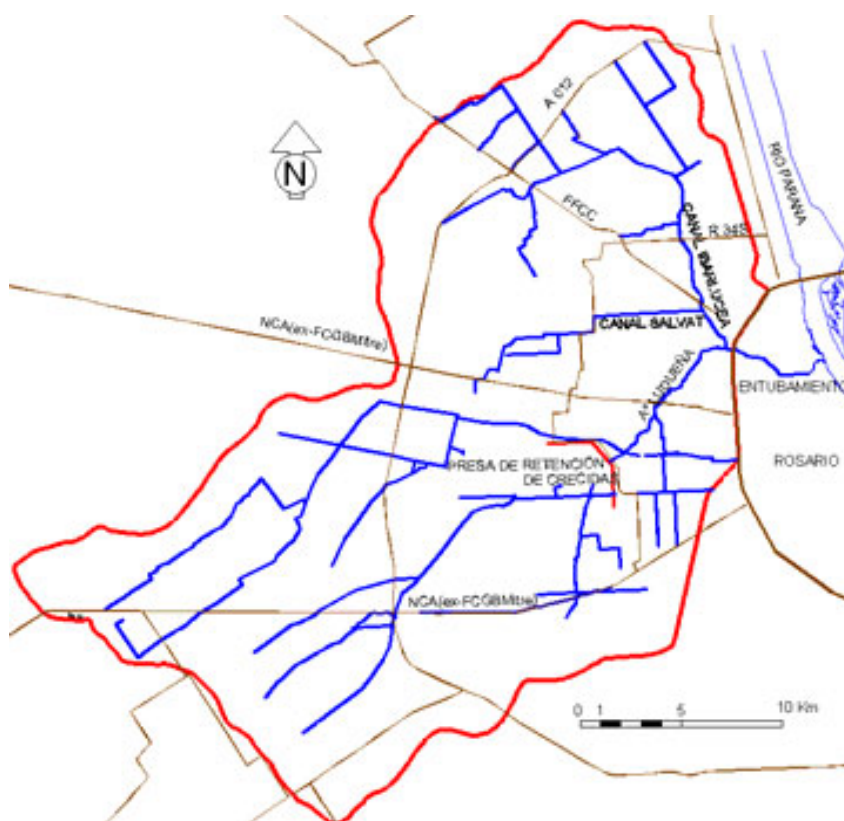


Figura N°1: Cuenca del Arroyo Ludueña. Fuente: Stenta et al. (2010).

5.2 Dinámica hídrica del sector a intervenir

El cierre intervendrá sobre la zona ubicada en las nacientes de la cuenca del arroyo hasta la Ruta Nacional N°A012. Aquí el uso conforme de suelo es eminentemente agrícola-ganadero y el escurrimiento superficial se dirige hacia la presa del arroyo Ludueña a través de los canales y alcantarillas de desagües ubicados sobre la Ruta Nacional N°A012, canales La Legua, La Media Legua, La Carmelita, entre otros.

5.3 Problemática existente

La cuenca del arroyo Ludueña fue dividida en tres grandes áreas. La cuenca alta ubicada al suroeste de la Ruta Nacional N°A012; la cuenca media desarrollada entre la ruta mencionada y la Avenida de Circunvalación 25 de Mayo y la baja que se desarrolla al este de la misma hacia su desembocadura en el río Paraná. Esto se ve en la *Figura N°2*.

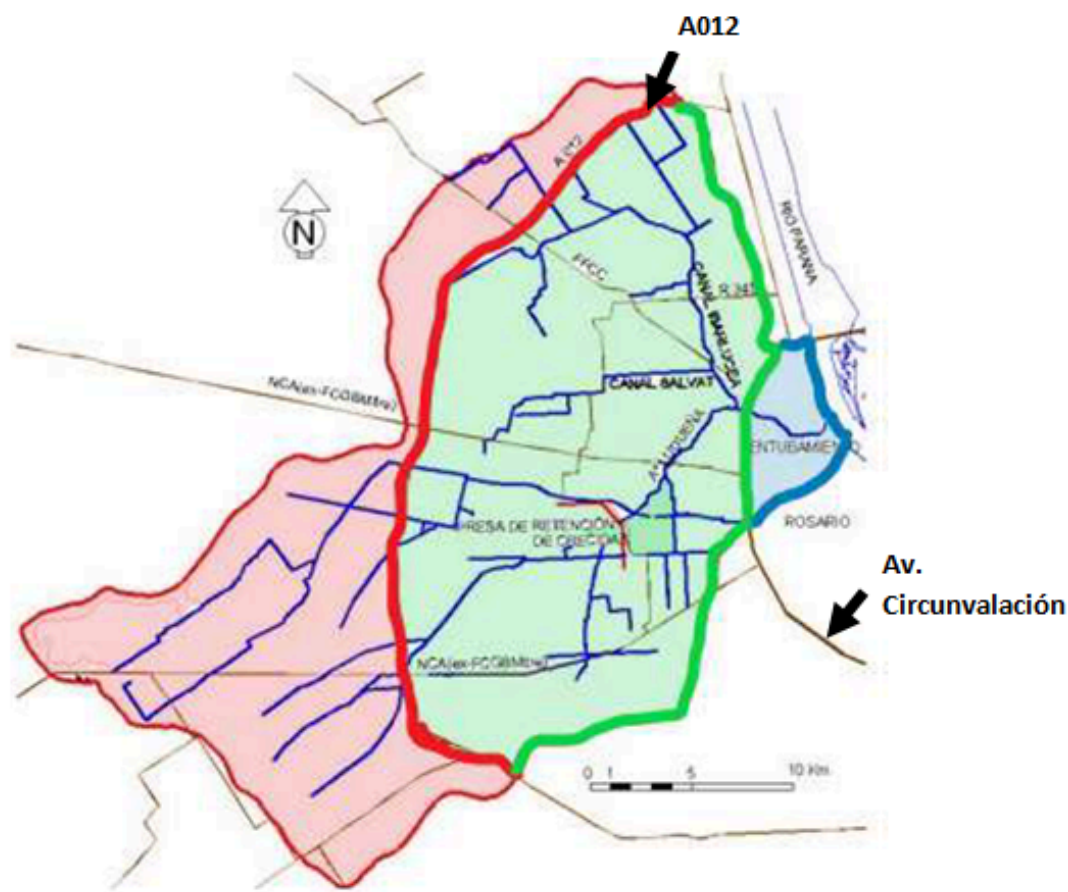


Figura N°2: División de la Cuenca del Arroyo Ludueña. Adaptado de: Stenta et al. (2010).

El avance urbanístico hacia el oeste de la cuenca trajo aparejado un aumento de la impermeabilización y de la escorrentía superficial en la cuenca media y alta, en correspondencia con sectores poblados como Roldán, Funes, entre otros.

Ante episodios de inundación, estudios previos se enfocaron en la cuenca baja, pero los eventos extremos evidenciaron problemas urbanos en la cuenca media y alta para evacuar excedentes, generando trasvases y anegamientos.

En los años 2012 y 2013, se produjeron lluvias que superaron en algunas estaciones pluviométricas los 230mm causando en las cuencas de los arroyos Ludueña y San Lorenzo, anegamientos de importancia en las áreas rurales y urbanas de los distritos de Funes, Roldán y Rosario, afectando no solo los cascos ya urbanizados sino también emprendimientos urbanísticos que se desarrollan en forma acelerada hacia el oeste de la ciudad de Rosario (ver *Figura N°3* y 4).

Uno de los motivos de estas inundaciones es que la región se encuentra atravesada por terraplenes viales y ferroviarios en forma transversal y longitudinal a la pendiente general, condicionando el escurrimiento superficial y dejando superficies encerradas que afectan el sistema hidrológico. Es así entonces que los excedentes pluviales producidos en los eventos extremos pueden tener algún trasvase, entre la Cuenca del Arroyo Ludueña y San Lorenzo, debido a que sus límites altimétricos naturales no son de importancia y/o fueron modificados por la acción antrópica (por la cuadrícula vial y ferroviaria y las limitadas secciones de paso).

El avance urbanístico hacia el oeste de la cuenca produjo un aumento de los caudales de salida y la necesidad de aumentar la capacidad de desagüe, construyendo conductos aliviadores, reacondicionando las secciones de los canales y puentes de paso.

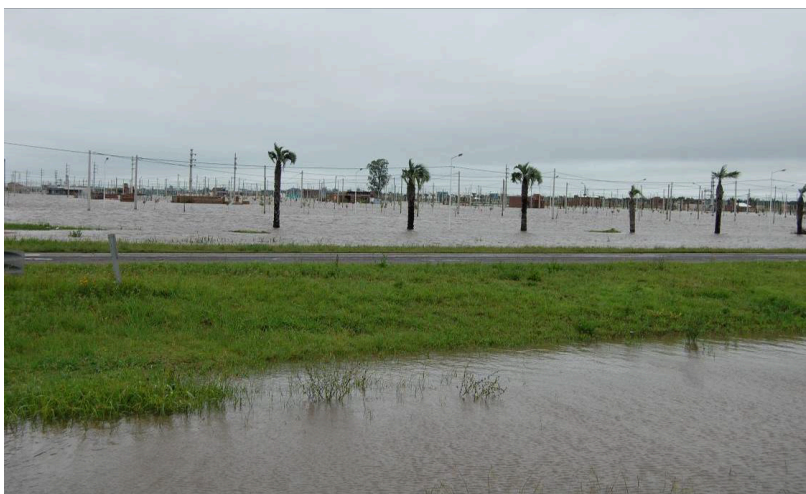


Figura N°3: Crecida ocurrida en Diciembre de 2012 - Desarrollo urbanístico. Fuente: Instituto Nacional del Agua (2015).

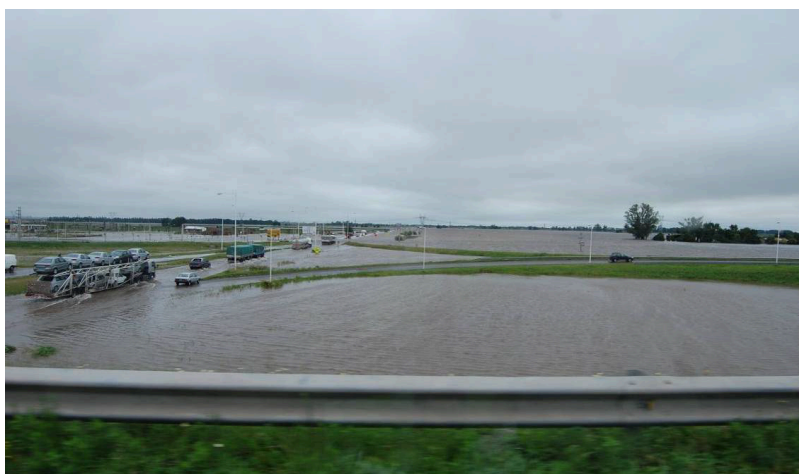


Figura N°4: Anegamiento producido en Diciembre de 2012. Fuente: Instituto Nacional del Agua (2015).

De no mediar estructuras de control de crecidas y fuertes medidas de regulación en la cuenca media y alta, por el aumento de la impermeabilización y de la escorrentía superficial, ante eventos de importancia, las crecidas originadas implicarán en sectores poblados anegamientos cada vez más frecuentes.

5.4 Solución planteada

El Instituto Nacional del Agua estudió la capacidad de regulación y almacenamiento de las cuencas altas y medias de la cuenca del Arroyo Ludueña a través de obras de control en los distritos de Ibarlucea, Funes, Roldán, Palacios entre otros y el diseño de un sistema de evacuación de los excesos pluviales de modo de garantizar que los caudales de aportes a las cuencas bajas sean menores y tengan un menor impacto en el sistema actual de desagüe pluvial.

El estudio de la situación actual existente concluyó en la conveniencia y necesidad de ejecutar una presa de retención de crecidas que regule los aportes de la subcuenca alta del Arroyo Ludueña, siendo estos estudios la base para el desarrollo del presente proyecto.

Esta obra de regulación y almacenamiento logra reducir caudales hacia la cuenca media-baja y mejorar la seguridad hídrica regional, a partir del control de los anegamientos de las diferentes áreas de desarrollos urbanísticos, agrícolas e industriales.

Se proyecta un cierre que produzca el control del escurrimiento de los canales La Legua y La Carmelita, al oeste de la Ruta Nacional N°A012. La presa de regulación permite controlar las subcuencas que aportan a la actual presa Ludueña (un 29% de la cuenca de aporte de ésta) e influye directamente sobre caudales que escurren hacia las áreas urbanas de Roldán y Funes, corrigiendo los mismos y dirigiendo sus caudales de salida hacia la presa del arroyo Ludueña.

5.4.1 Localización del cierre de la presa

La configuración del cierre del canal la Legua, correspondiente al Cierre 3 en los informes del INA, propuesta en el año 2015 por el Instituto Nacional del Agua fue la que se ve en las Figuras N°5a y N°5b.

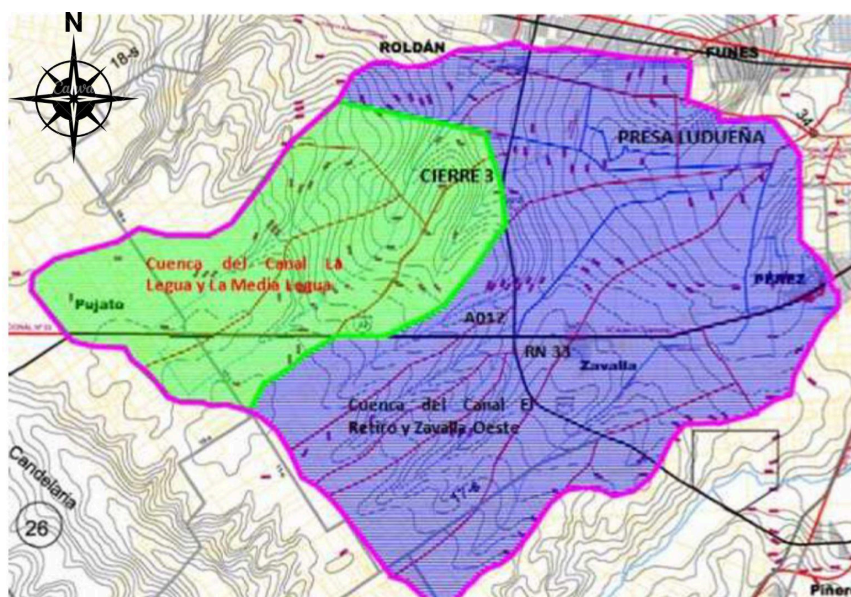


Figura N°5a: Influencia del Cierre 3 del canal La Legua sobre la presa del Ludueña. Fuente: Instituto Nacional del Agua (2015).

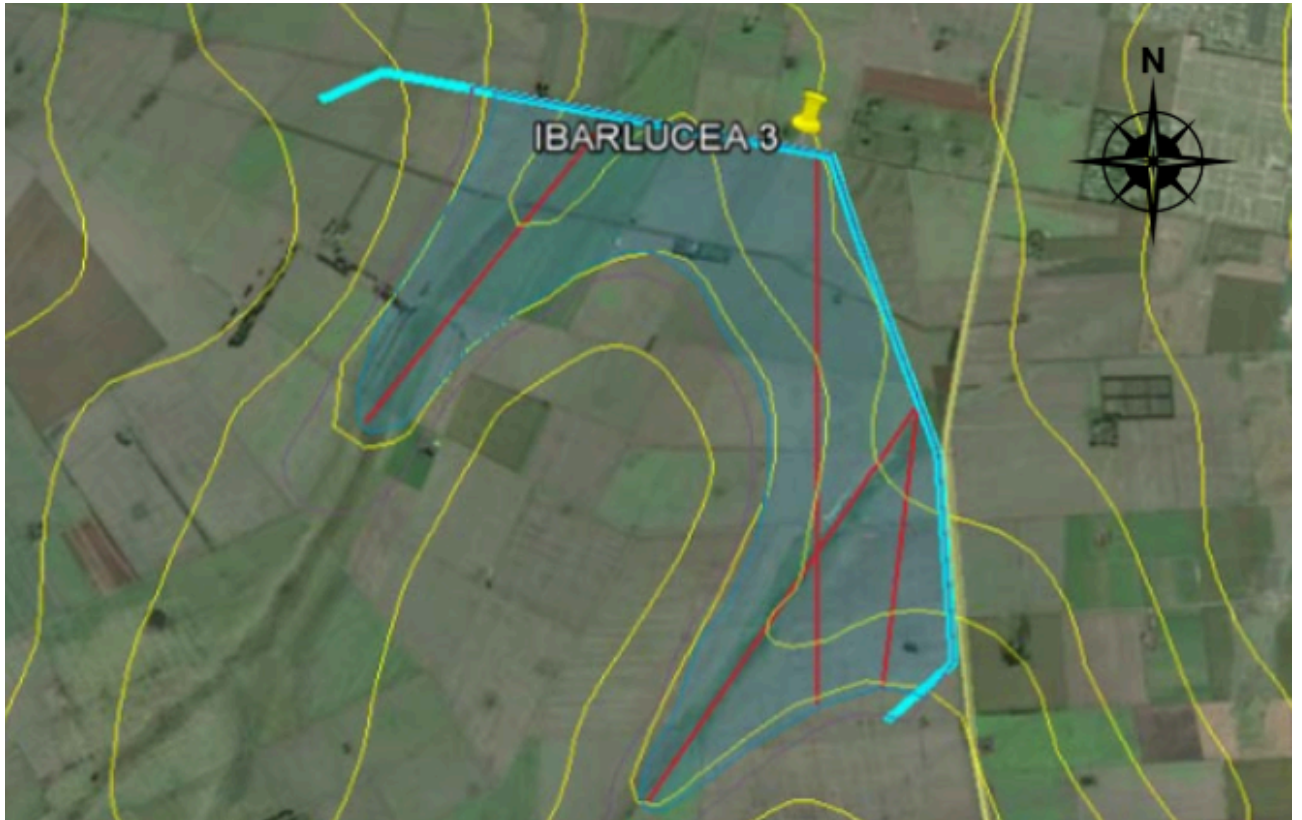


Figura N°5b: Configuración de Cierre 3 del canal La Legua. Fuente: Instituto Nacional del Agua (2015).

En el año 2025, al momento de retomar los estudios del cierre en la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia, se encontraron en el área 2 gasoductos distanciados 8m próximos al cierre, la traza del mismo resultó alterada transcurriendo en su mayoría paralela a los mencionados ductos, alcanzando la traza de la Ruta Nacional N°A012 e incorporando entonces en el embalse las subcuencas del Canal La Carmelita y del Canal La Legua.

Las obras de evacuación y restitución de las aguas al cauce se localizaron una en correspondencia con cada cauce o bajo natural ya que se mantienen los puntos actuales de paso bajo la Ruta Nacional N°A012 (Alcantarillas Transversales 020 y 021 - ver Figuras N°7 y N°8).

En la *Figura N°6* puede observarse la traza del cierre de tierra propuesto y la ubicación de las dos lenguas que conforman el embalse.

Las consideraciones para la ubicación del cierre de tierra son las siguientes:

- Tramo paralelo a los gasoductos existentes: el eje del terraplén de cierre se localiza paralelo al gasoducto que se encuentra más próximo de éste, aproximadamente a unos 80 metros del mismo.
- Tramo paralelo a la Ruta Nacional N°A012: el eje del cierre se proyecta paralelo a la misma, aproximadamente a 50 metros al oeste del alambrado (límite de zona de camino).

- La traza del Cierre en su extremo sur es paralela a un camino público que corre de este a oeste.

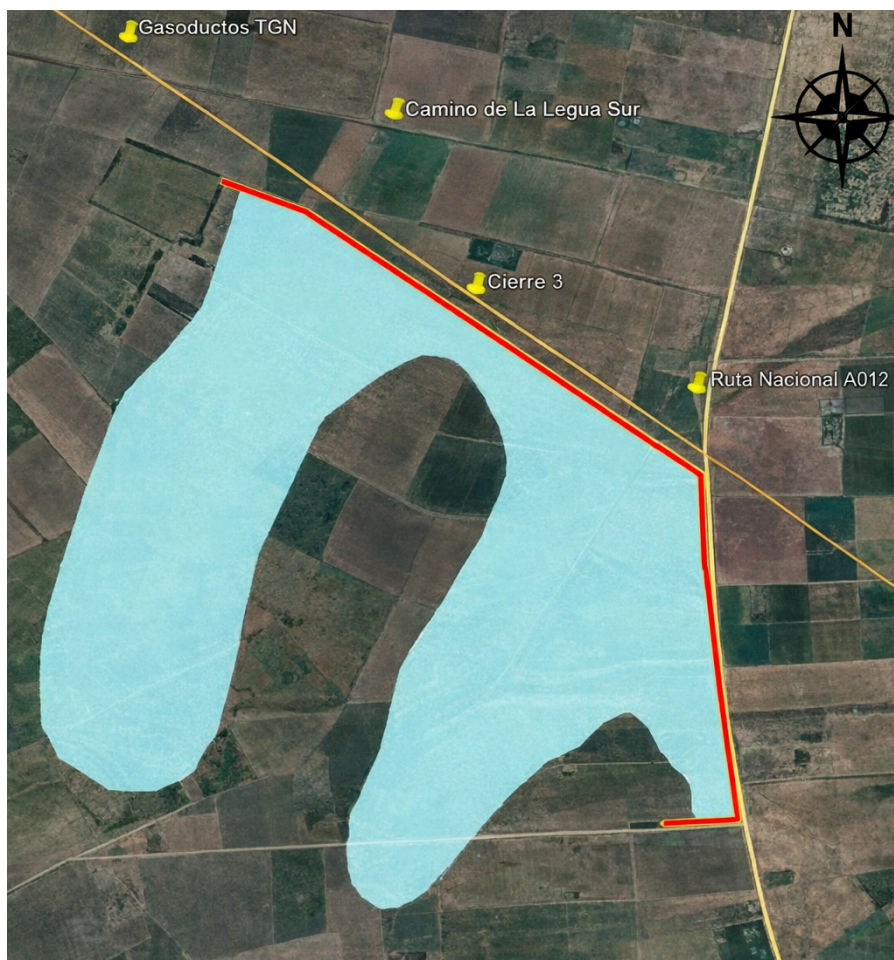


Figura N°:6. Sector del emplazamiento del cierre original. Fuente: Plano 01. Ministerio de Obras Públicas. Prov. Santa Fe.

6. Metodología

Para diseñar la presa de regulación de crecidas se implementará la siguiente serie de pasos:

1) Fase de estudio preliminar

- Definición del propósito y alcances del proyecto.
- Búsqueda y recopilación de antecedentes y estudios previos.
- Revisión de normativa local/provincial.

2) Análisis hidrológico y diseño hidráulico

- Generación de datos de entrada para el modelo matemático hidrológico-hidráulico espacialmente distribuido cuasi-bidimensional VMMHH 1.0 y constitución del mismo para la situación actual.
- Análisis y diseño de canales y obras de cierre (orificios y vertedero), para el escenario R=100 años, D=72hs y CN II a partir del modelo de simulación numérica.
- Análisis y diseño de la presa de tierra junto con los disipadores de energía al pie de la estructura para el escenario R=10.000 años, D=72hs.(CN promedio entre II y III).

3) Diseño geotécnico y estructural

- Diseño del tipo constructivo (presa de tierra, núcleo impermeable u otros) y del cuerpo de la presa (geometría longitudinal y en planta, taludes, filtros).
- Análisis de estabilidad de la presa y cálculo de asentamientos mediante software especializado taludes (ajustado a las distintas condiciones según los escenarios hidrológicos).
- Diseño estructural del disipador de energía: análisis de cargas y proyecto de sección transversal (hormigón armado).

4) Diseño vial

- Análisis de alternativas del camino de acceso.
- Diseño geométrico y estructural del acceso.

5) Aspecto ambiental

- Estudio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) vinculados al proyecto.
- Evaluación de impacto ambiental.

6) Memoria gráfica

- Elaboración de planos (plantas, perfiles, entre otros).

7. Desarrollo

7.1 Antecedentes

- Informes del INA: “ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEDIDAS DE REGULACIÓN EN LAS CUENCAS MEDIA Y ALTA DE LOS ARROYOS LUDUEÑA Y SAN LORENZO”. Informe de avance 2, Tomo 1 y 2 del Informe Final (2015). Convenio suscripto entre la

Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe y el Instituto Nacional del Agua.

- Planos del Cierre. Traza, ubicación y Perfiles Relevados y Actualización de memoria gráfica.- Ministerio de Obras Públicas, Provincia de Santa Fe. (2015 y 2025).
- Relevamiento topográfico: Canales A° Ludueña - Ministerio de Obras Públicas (Ex-MASPyMA) (2009).
- Estudio topográfico: Secundario N° 7 “La Legua” del Arroyo Ludueña. Relevamientos de perfiles transversales y alcantarillas existentes. Dirección general de estudios básicos y gestión de tierras. Roldán-Pujato, Departamento de Rosario.
- Estudio topográfico: Secundario “La Carmelita” del Arroyo Ludueña. Relevamientos de perfiles transversales y alcantarillas existentes. Dirección general de estudios básicos y gestión de tierras. Roldán-Pujato, Departamento de Rosario.
- Curvas de Nivel en Escala 1: 50.000 equidistantes en 1.25 metros. Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Curvas de Nivel en la zona a intervenir con equidistancia 0.5 metros - Ministerio de Obras Públicas.
- Mapa de cuencas hidrográficas de la Provincia de Santa Fe - Ministerio de Asuntos Hídricos (2005).
- Imágenes satelitales sobre la traza de cierre. Ubicación de gasoducto cercano.
- Ley Provincial N° 13.246: Recursos Hídricos - Cuenca de Aporte del sistema del arroyo Ludueña (2012).
- Ley Provincial N° 11.730: Régimen de uso de bienes situados en las áreas inundables dentro de la jurisdicción provincial (2000).
- Ley Provincial N° 13.740: Ley de aguas de la provincia de Santa Fe (2017).
- Curvas Intensidad – Duración – Recurrencia Rosario, Zavalla y Casilda a través del “Informe Derivación de curvas IDR unificadas para la ciudad de Rosario, Santa Fe, Argentina - Basile P., Riccardi G., Zimmermann e., Stenta H., Scuderi C., Rentería J. y Gonzales A. (2011).
- Manual del Usuario del Software del modelo de pronósticos en la cuenca del arroyo Ludueña - Departamento de Hidráulica y CURIHAM - FCEIA (2009).

- Modelo de la cuenca del Arroyo Ludueña en el software VMMHH 1.0 - (Riccardi G., Stenta H. y Rentería J).
- Planos: "Rehidrología y Modelo de Simulación a Tiempo Real en Sistema de Alerta Hidrológico en las Cuencas de los Arroyos Ludueña y Saladillo. Departamento de Hidráulica – Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales - Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (2008).
- Relevamiento de obras de arte - Circunvalación de Rosario Autovía Ruta Nacional N° A012. Tramo: Ruta Nacional N°9 – Ruta Nacional N°11. Dirección Nacional de Vialidad (2012).
- Fotografías de alcantarillas transversales y longitudinales existentes en la Ruta Nacional N° A012. Dirección Nacional de Vialidad (2012).
- Anteproyecto Circunvalación de Rosario Autovía Ruta Nacional N°A012. Tramo: Ruta Nacional N°9 – Ruta Nacional N°11. Dirección Nacional de Vialidad (2013).
- Estudios de suelo en el área a intervenir. 3 perforaciones, perfiles estratigráficos, ensayo SPT, composición granulométrica y humedad (2018).

7.2 Situación actual - Condiciones existentes

- **Alcantarillas**

Datos tomados de la bibliografía: Relevamiento de obras de arte - Circunvalación de Rosario Autovía Ruta Nacional N°A012. Tramo: Ruta Nacional N°9 – Ruta Nacional N°11. Dirección Nacional de Vialidad.

Alcantarilla transversal AT 020

Ubicada en la intersección del canal La Carmelita y la Ruta Nacional N°A012, como se ve en la *Figura n°7*. Posee 2 cuerpos.

CF=40,12m / H=1.6m / L=2m / J=25m.

Alcantarilla transversal AT 021

Ubicada en la intersección del canal La Legua y la Ruta Nacional N°A012, como se ve en la *Figura n°8*. Posee 3 cuerpos.

CF=37,9m / H=2.4m / L=4m / J=25m.



Figura N°7: Alcantarilla 020 La Carmelita. Año 2012. Fuente: DNV.

- **Canales**

Los trabajos topográficos son tomados de la Secretaría de Recursos Hídricos del Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Santa Fe, teniendo como resultado los perfiles transversales de ambos canales.

Canal La Legua

El trabajo de nivelación de dicho canal se inicia en el punto fijo n° 0 materializado en clavo poste de cota +34.634 y coordenadas latitud igual a -32.57120 y longitud igual a -60.52404 .

Dicho estudio se vincula con una nivelación geométrica a un punto fijo I.G.N. ubicado en la localidad de Roldán, dicho punto tiene las siguiente nomenclatura, placa de bronce en pared, PF N52 N° 19. de Cota 38.955



Figura N°8: Alcantarilla 021 La Legua. Año 2012. Fuente: DNV.

Se sigue la traza de dicho canal con un total longitudinal de 16900 metros, realizándose perfiles transversales en la traza del mismo, también se relevaron las obras de arte existentes sobre el mismo.

Todo lo medido, (alcantarillas, puntos fijos y eje de canal) se encuentran georreferenciados. Las coordenadas que se detallan en el presente estudio fueron tomadas con navegador satelital con una precisión de +/-10 mts.

Se anexan al final del presente texto, los planos del perfil longitudinal, perfiles transversales y alcantarillas.

Con los datos del relevamiento topográfico en campo se obtiene un ancho superficial promedio de 8,5 m y profundidad 2,7 m.

Canal La Carmelita

El trabajo de nivelación de dicho canal se inició en la intersección del Canal Secundario La Legua y el Canal Secundario La Carmelita. Se siguió la traza de dicho canal con un total longitudinal de 3300 metros, realizándose perfiles transversales en la traza del mismo, también se relevaron las obras de arte existentes sobre el mismo.

El estudio termina en el P.F. N° 3 cuyas coordenadas son latitud igual a -32.58071 y longitud igual a -60.54559 colocado en el cabezal aguas abajo de alcantarilla.

Todo lo medido, (alcantarillas, puntos fijos y eje de canal) se encuentran georreferenciados. Las coordenadas que se detallan en el presente estudio fueron tomadas con navegador satelital con una precisión de +/-10 mts.

Se anexan al final del presente texto, los planos del perfil longitudinal, perfiles transversales y alcantarillas.

Con los datos del relevamiento topográfico en campo se obtiene un ancho superficial promedio de 3,5m y profundidad 0,75m.

- **Ocupación de la zona de ancho de camino de la Ruta Nacional N°A012**

Durante la etapa de reconocimiento del terreno se detectó que la empresa PNC Remolques ocupa parte del bajo natural, en el sector donde se proyecta la ampliación del canal La Carmelita. Su ubicación se ven en la *Figura n°9* y la *Figura 10*.

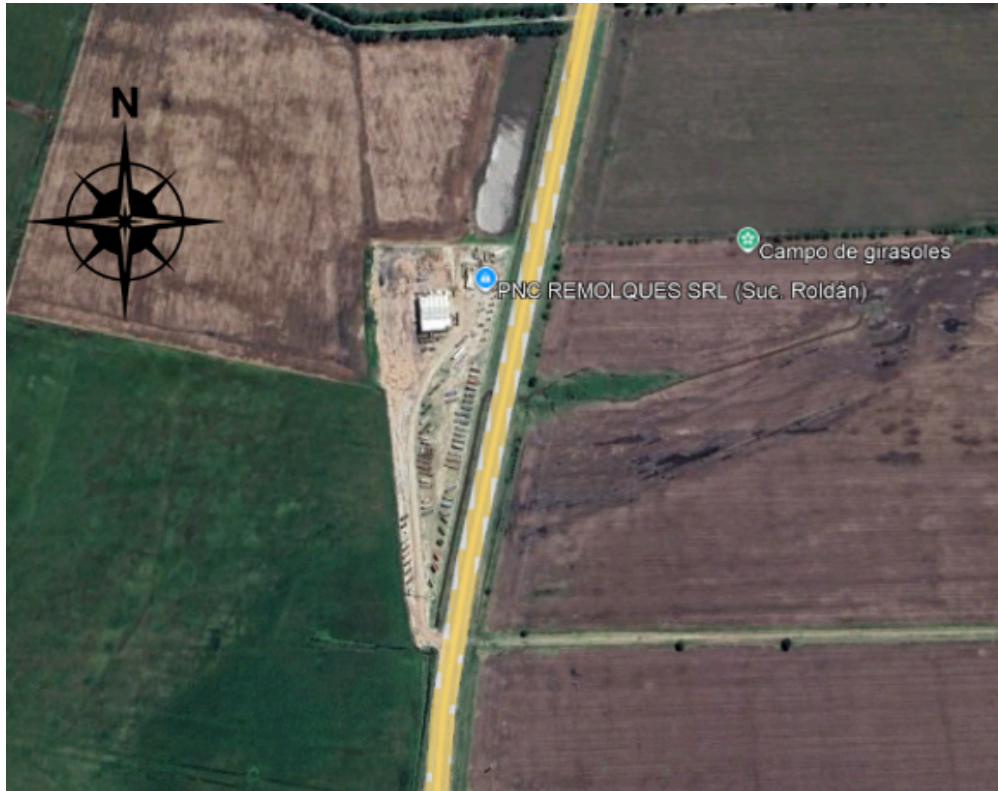


Figura N°:9. Imágen satelital actual canal La Carmelita, Ruta Nacional N°A012 y PNC Remolques. Fuente: Google Earth.



Figura N°:10 Imágen en campo actual canal La Carmelita, Ruta Nacional N°A012 y PNC Remolques. Fuente: Google Street View.

Esta ocupación impide ejecutar correctamente las obras previstas, ya que el espacio necesario para ensanchar la sección de la cuneta se encuentra invadido por construcciones y materiales pertenecientes a la empresa.

La zona de camino forma parte del dominio público vial, y según lo establecido en la Ley de Aguas de la Provincia N.º 13.246, toda intervención o uso que afecte las condiciones naturales de drenaje o impida el funcionamiento de las obras hidráulicas constituye una infracción.

La normativa busca preservar la capacidad de escurrimiento superficial y la integridad de las obras que forman parte del sistema de drenaje regional, por lo que la ocupación detectada representa una interferencia directa con estos objetivos.

En este caso, la invasión del sector no solo limita físicamente la ejecución de la cuneta, sino que también compromete el funcionamiento hidráulico del sistema, al impedir el ensanche necesario para conducir los caudales proyectados.

Por lo tanto, se considera indispensable la liberación del área afectada para poder llevar adelante la obra y restablecer la capacidad hidráulica prevista en el diseño.

- **Hectáreas de campo afectadas por embalse**

Dentro del área de embalse asociada al cierre de la presa propuesta, existen parcelas rurales actualmente destinadas a uso agrícola o ganadero que resultan afectadas por los niveles de inundación correspondientes a eventos de crecida. Las áreas afectadas se ven en la *Figura n°11* y la *Figura n°12*.

Con el fin de minimizar el impacto sobre la propiedad privada y evitar la expropiación total del área de embalse, lo cual podría generar asentamientos irregulares, se propone implementar un esquema mixto de expropiación parcial y servidumbre hidráulica con compensación económica.

La expropiación se limitaría únicamente a los sectores comprendidos por las obras, aquellas que se encuentran por debajo de una cota de embalse de baja recurrencia, por ejemplo 2 años

En cambio, las zonas situadas por encima de dicha cota podrían mantenerse bajo propiedad privada, estableciendo sobre ellas una servidumbre de inundación controlada.

Esta servidumbre implica que, ante precipitaciones extraordinarias, el terreno podrá ser utilizado temporalmente como área de almacenamiento de excedentes hídricos, garantizando la laminación de crecidas sin comprometer la seguridad de las obras ni de las zonas urbanas aguas abajo.

A cambio, se prevé la compensación a los propietarios por las pérdidas productivas ocasionadas durante los períodos de anegamiento, calculadas según la superficie afectada y el valor de la producción perdida.

Este enfoque permite compatibilizar los objetivos hidráulicos del proyecto con la preservación de la actividad económica local, reduciendo los costos asociados a la expropiación total y asegurando un uso racional del territorio en coherencia con la Ley Provincial N.º 13.246, que promueve la implementación de medidas estructurales y no estructurales para la regulación de los escurrimientos superficiales, siguiendo criterios similares a los aplicados en la presa de retención del arroyo Ludueña.

Parcelas afectadas: 2901 hectáreas.

Área inundada aproximada: 1241 hectáreas.

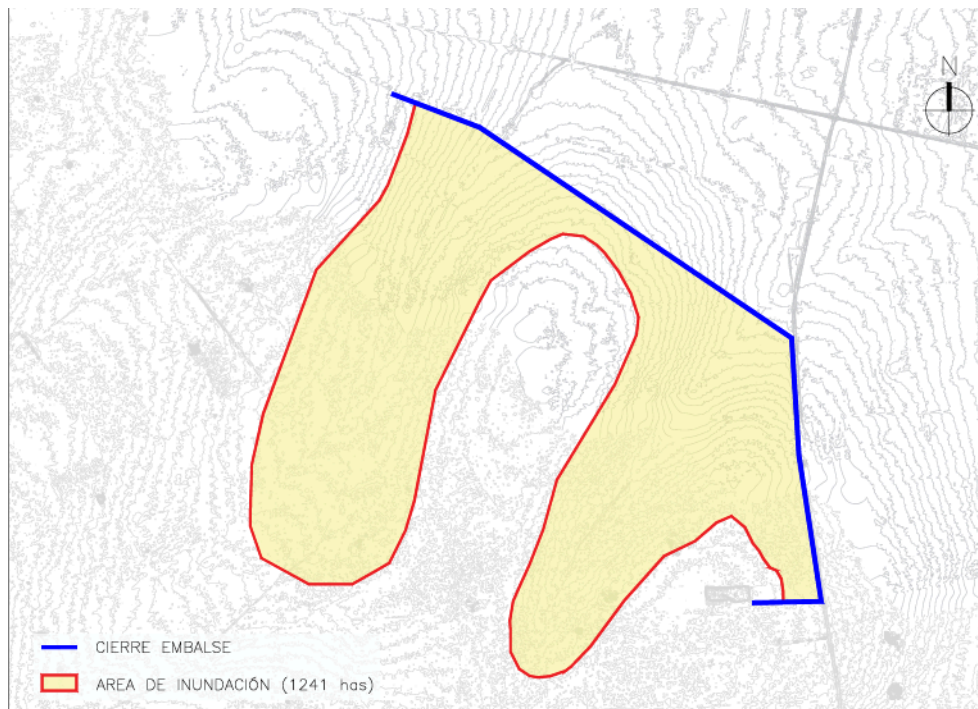
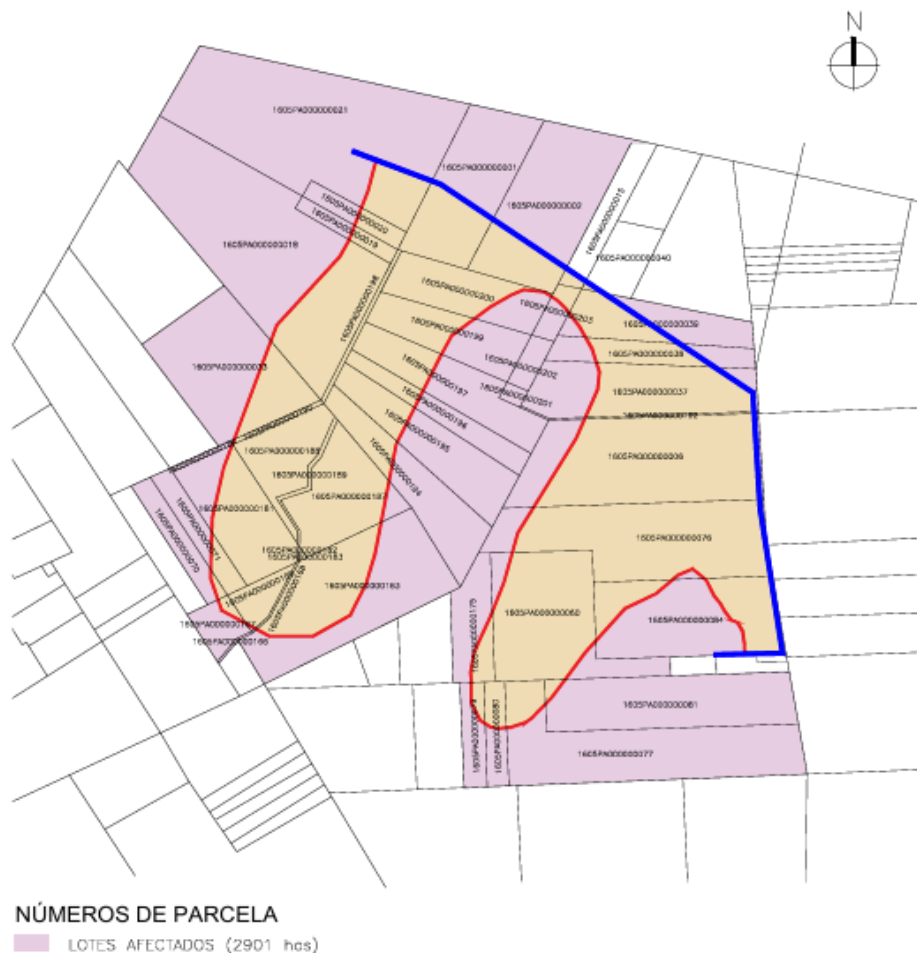


Figura. N°:11. Área de inundación $R=10.000$. Fuente: Plano 01 - Obras de retención en cuenca Ludueña cierre 3. Distrito Zavalla - Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Santa Fe.



7.3 Proyecto hidrológico - hidráulico

El Instituto Nacional del Agua realizó, durante el período 2014–2015, un estudio hidrológico e hidráulico mediante la utilización del sistema de modelación matemática HEC-HMS, un modelo de parámetros semidistribuidos, y del software HEC-RAS para el análisis del flujo en cauces naturales. Este último, a partir de datos geométricos, hidrológicos y de rugosidad, permite calcular perfiles de niveles de agua y velocidades del escurrimiento.

En el presente proyecto, en cambio, se empleó un modelo matemático distribuido y físicamente basado, constituido mediante un esquema de celdas, denominado VMMHH 1.0 (Riccardi et al., 2009), desarrollado en el Departamento de Hidráulica de nuestra facultad. Una de las principales tareas realizadas consistió en la actualización y adecuación del proyecto mediante la implementación de este modelo hidrológico-hidráulico alternativo.

Las limitaciones propias del sistema HEC-HMS evidencian una tendencia a la sobreestimación de los caudales máximos, debido principalmente a la dificultad para reproducir los mecanismos predominantes en la dinámica propagatoria en cuencas de llanura con fuerte intervención antrópica. En particular, el HEC-HMS reproduce los procesos de transformación lluvia-caudal y de traslado con un menor grado de atenuación que el sistema VMMHH 1.0, lo que deriva en la obtención de caudales máximos superiores (Stenta et al., 2010).

7.3.1 Descripción del modelo de simulación numérica. Modelo de celdas.

El modelo utilizado en este proyecto es el VMMHH 1.0 (Riccardi;2000 y Stenta et al; 2005).

Es un modelo matemático hidrológico-hidráulico, espacialmente distribuido cuasi-bidimensional basado en un esquema de celdas interconectadas, que permite la simulación de escurrimientos superficiales multidireccionales en ambientes con áreas urbanas y rurales.

Este modelo distribuido busca representar la variabilidad hidrológica presente en distintas escalas espaciales mediante la subdivisión de la cuenca en múltiples unidades o celdas de análisis. Éstas celdas de igual tamaño (cuadrangulares), interconectadas entre sí, definen así el dominio del sistema hídrico a modelar. En tal aproximación, los procesos con una longitud de escala menor que el tamaño de la celda son representados implícitamente (parametrizados) mientras que los procesos con longitudes de escala mayores que el tamaño de la celda son representados explícitamente a través de las variaciones entre las diferentes celdas que componen la cuenca. Esto se observa en la *Figura n°13*.

Las celdas pueden ser tipo valle o río, que representan el flujo superficial y encauzado, respectivamente. De esta forma, las celdas tipo río representan cursos de agua permanente y/o

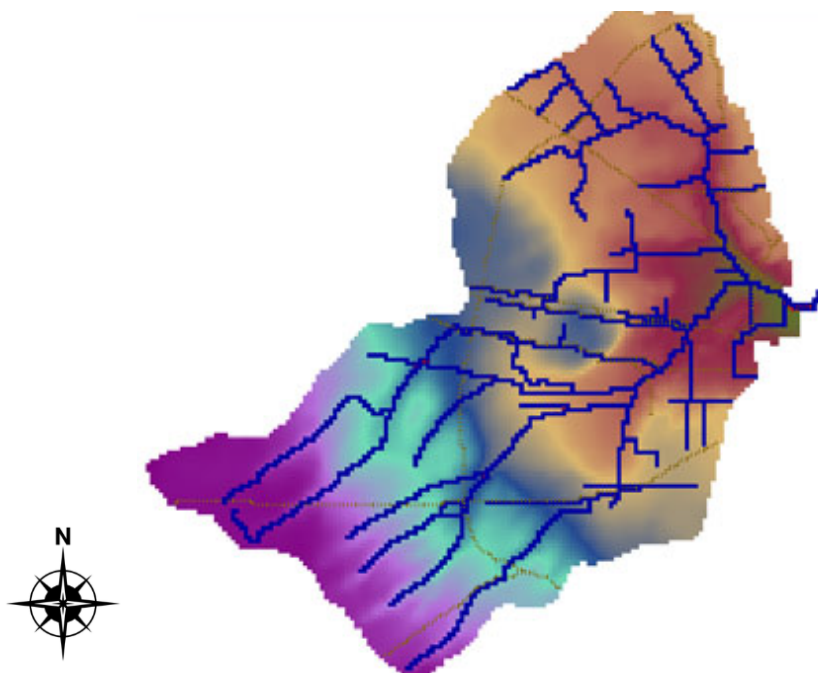


Figura. N°:13. Modelo de la cuenca del A° Ludueña mediante el sistema VMMHH 1.0. Fuente: Stenta et al. (2010).

transitorios de importancia, y las celdas tipo valle representan las áreas tributarias a éstos, así como las planicies de inundación.

Esta herramienta tecnológica parametriza la variabilidad de la morfología del terreno dentro de la celda, considerando una sección trapezoidal con un punto bajo central y pendientes laterales. La sección transversal efectiva de almacenamiento y conducción es, entonces, representada por una aproximación trapezoidal dentro de cada celda.

Desde el punto de vista de la descripción de la dinámica propagatoria del escurrimiento, la ventaja fundamental de este modelo está relacionada con la posibilidad de transmitir información en cualquier dirección del dominio bidimensional. Esto hace que no se deban prefijar los sentidos de escurrimiento y especificar los funcionamientos hidráulicos de elementos, pudiendo el modelo discernir en cada paso de tiempo las direcciones del escurrimiento superficial de acuerdo con los gradientes hidráulicos. El modelo es particularmente apto para simulación de flujos con variaciones lentas de caudales y alturas, donde los términos inerciales resultan despreciables, como es el caso en estudio.

En cada celda de la capa superficial es posible plantear el ingreso de flujo proveniente de una precipitación neta, aporte de caudales externos e intercambio de caudales con celdas adyacentes.

Para la determinación de lluvia neta en cada celda se utiliza la metodología del Servicio de Conservación del Suelo de Estados Unidos. El escurrimiento resultante puede ser propagado en un dominio espacial 2D mediante un espectro de leyes de descarga desde aproximaciones cinemáticas a difusivas de la ecuación de momento, permitiendo el tránsito por ríos, canales y valles de inundación.

Para contemplar alternativas puntuales de flujo, se incorporaron leyes de descarga para puentes, vertederos y alcantarillas. Las ecuaciones gobernantes consideradas son la de continuidad y distintas simplificaciones de la ecuación de cantidad de movimiento transformadas en formulaciones de descarga entre celdas.

Del programa pueden obtenerse: alturas de agua en cada una de las celdas (ya sean del tipo valle o río), cotas de agua en elementos río y velocidad y caudales en las distintas vinculaciones entre celdas (valle-valle, valle-río, alcantarillas, vertederos, terraplenes, entre otros).

7.3.2 Datos de entrada del software

Se presenta a continuación una imagen de la interfaz del software, donde puede apreciarse la representación del cierre de la presa junto con los cursos de agua característicos del emplazamiento y la presencia de la Ruta Nacional N°A012 (ver *Figura n°14*).

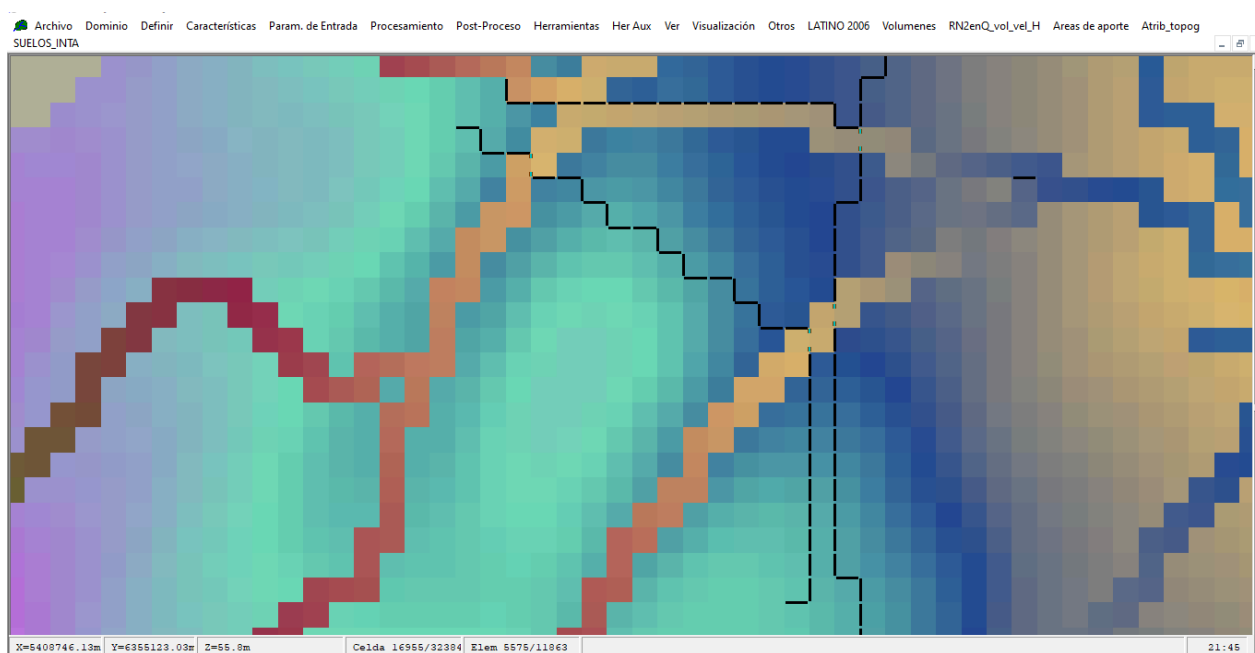


Figura. N°14. Interfaz del programa. Emplazamiento de la presa en el área de estudio. Fuente: Stenta et al. (2010).

Como parámetro de entrada al modelo se han incorporado los hietogramas de lluvia neta obtenidos, lo cuál permite simular el escurrimiento superficial sobre el modelo digital del terreno para ambas frecuencias.

El terraplén de tierra del cierre de la presa se ha modelado a partir de la vinculación parcial tipo terraplén entre celdas. A la cuál se le debe establecer: cota de coronamiento, cota al pie del terraplén y coeficiente de descarga (ver *Figura n°15*)

Terraplén: Elem. 6003- 6107

Cota de Coronamiento	51	(m)
Coef. de Descarga	0.2	
Cota al pie del ter en elem 6003	46.82	(m)
Cota al pie del ter en elem 6107	48.17	(m)
Zcg (6003)	46.82	(m)
Zcg (6107)	48.17	(m)

Fig. N°15. Características de una vinculación parcial tipo terraplén. Fuente: *Elaboración propia.*

En tanto que para las obras de cierre de hormigón (canales La Legua y La Carmelita) y para las alcantarillas correspondientes a la Ruta Nacional N°A012, la vinculación utilizada entre celdas río es del tipo parcial alcantarilla/vertedero. En este caso deben definirse los siguiente parámetros (ver *Figura n°16*):

- Tipo de descarga (alcantarilla o vertedero).
- Número de escalones, particularmente en este proyecto siempre serán 2. Uno correspondiente a los descargadores de fondo, o paso por alcantarilla, y el otro a la cota de coronamiento del vertedero (canal La Legua), de la presa (canal La Carmelita) o cota de rasante existente de la ruta.

7.3.3 Escenarios hidrológicos de diseño.

Los escenarios que se plantean, con los objetivos a alcanzar con cada uno, son los siguientes:

- **Escenario 1: R=10.000 años. Condición de humedad del suelo severa.**
 - Diseño de cota de coronamiento de presa y altura terraplén de tierra.
 - Diseño del dissipador de energía.
- **Escenario 2: R=100 años. Condición de humedad del suelo moderada.**
 - Proyectar altura al vertedero (CCV) sobre la obra de cierre del Canal La Legua, tal que actúe para una lluvia mayor a R=100 años.
 - Caudal de salida vía descargadores de fondo circulares en ambas obras de cierre.

- Diseño de canales de descarga aguas abajo hasta la Ruta Nacional N°A012. Verificación a erosión.
- Correcto funcionamiento de las alcantarillas transversales de la Ruta Nacional N°A012 (Alcantarillas AT 020 y AT 021).

Alcantarilla: Elem. 5897- 5896

1er Escalón	
Base de Fondo (BF1)	1.25 [m]
Coef. de Desc	0.899
Cota de fondo (CF1)	43.56 [m]
2er Escalón	
Base de Fondo (BF2)	30.8 [m]
Coef. de Desc	0.99
Cota de fondo (CF2)	51 [m]

Tipo de descarga

Alcantarilla H= 1.25 (m)

Vertedero

Cotas de entrada y salida (CA; CP)

Cota Ant 43.06 Zcg (5897) 41.38

Cota Post 43.06 Zcg (5896) 43.06

Nro de Escalones

1

2

3

Aceptar

Cancelar

Salir

Figura. N°16. Características de una vinculación parcial tipo alcantarilla/vertedero. Fuente: Elaboración propia.

La definición de estos escenarios de diseño son de igual recurrencia pero con menor duración a los definidos en los estudios realizados en el año 2008 donde intervino el Departamento de Hidráulica (FCEIA), la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Santa Fe y la Municipalidad de Rosario en el convenio "Rehidrología y modelo de simulación a tiempo real en sistema de alerta hidrológico en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo".

7.3.4 Obtención de lluvias de diseño

El desarrollo de la tormenta de diseño para las diferentes frecuencias estadísticas fueron generadas a partir de las curvas IDR parametrizadas de la ciudad de Rosario, obtenidas del estudio "Derivación y Parametrización de curvas IDR para Rosario, Casilda y Zavalla" Basile P., Riccardi G., Zimmermann e., Stenta H., Scuderi C., Rentería J. y Gonzales A. (2011). Estas fueron confeccionadas a partir de la información meteorológica del aeropuerto de Rosario, estación ubicada aproximadamente a 13 kilómetros del área de estudio.

Se trabaja con las curvas correspondientes a Rosario debido a que su información proviene de la estadística de datos subdiarios, mientras que la información de lluvias para las curvas IDR de Zavalla proviene de datos diarios, es decir, que resultan más precisas las curvas IDR de Rosario.

Se consideran frecuencias de interés de 100 años y 10.000 años porque corresponden al rango recomendado por la literatura internacional para el diseño de dispositivos del sistema de drenaje mayor y menor, como es el caso de los reservorios, alcantarillas, conducciones, cotas de embalse, etc.

7.3.5 Hietogramas de diseño

Para el desarrollo del modelo hidrológico se generaron los hietogramas de lluvia neta correspondientes a dos recurrencias de diseño: 100 años y 10.000 años, considerando una condición antecedente de humedad moderada para el primer caso y severa para el segundo. Estas condiciones reflejan la capacidad del suelo para infiltrar o escurrir el agua en función de su grado previo de saturación, variable que influye de manera determinante en la formación del escurrimiento superficial.

La condición antecedente del suelo es uno de los factores más relevantes del proceso hidrológico. El comportamiento del escurrimiento depende fuertemente del sustrato geológico sobre el cual se desarrolla la cuenca: la estratigrafía, la textura de los sedimentos, la permeabilidad y la rugosidad superficial condicionan la infiltración, la retención y la velocidad de escurrimiento. En consecuencia, estos factores controlan el balance entre infiltración y escorrentía, que son los dos componentes esenciales de la respuesta hidrológica ante una precipitación.

Para representar este proceso se adopta el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS), de carácter empírico, ampliamente utilizado en ingeniería hidrológica. Este método permite estimar la precipitación neta o lluvia efectiva, es decir, la porción de la precipitación total que contribuye directamente al escurrimiento superficial. La magnitud de la precipitación neta depende de tres variables principales: la precipitación total, la condición de humedad antecedente y las características del complejo suelo-vegetación-uso del suelo.

De acuerdo con la clasificación del SCS, se identifica un suelo tipo C, correspondiente a materiales con potencial de escurrimiento medio, tales como suelos francos, franco-limosos o algunos franco-arcillosos poco profundos. Estos presentan una capacidad de infiltración inferior a la media cuando se encuentran húmedos o saturados, condición coherente con la realidad estratigráfica de la cuenca del arroyo Ludueña.

El comportamiento del escurrimiento se representa mediante el número CN, parámetro adimensional que sintetiza las condiciones del suelo, el tipo de cobertura vegetal y el uso del terreno. Este valor, que varía entre 0 y 100, fue determinado a partir de estudios previos y tablas experimentales derivadas de numerosas cuencas aforadas. Cuanto mayor es el CN, mayor es la fracción de lluvia que genera escurrimiento directo.

Para el presente estudio se adopta un uso de suelo correspondiente a cosecha fina con pendiente baja (menor al 0,5%), obteniéndose un CN II = 69, asociado a una condición de humedad moderada.

En el caso de la tormenta de recurrencia 10.000 años, se considera un aumento del grado de saturación del suelo, empleando un valor de CN = 76,3, correspondiente al promedio entre CN II = 69 y CN III = 83,7. Este criterio se justifica en las recomendaciones establecidas por la Ley Provincial N° 13.246.

La precipitación total para cada escenario se obtiene a partir de las curvas IDR (Intensidad–Duración–Frecuencia) parametrizadas para la ciudad de Rosario, considerando una duración de tormenta de 3 días. Multiplicando la intensidad correspondiente a cada intervalo de clase ($\Delta t = 1$ h) por su duración, se deriva la precipitación acumulada para cada paso temporal. Posteriormente, aplicando el método SCS con los valores de CN adoptados, se determina la precipitación neta o lluvia efectiva en cada intervalo. Los resultados para las recurrencias de 100 años se ven en la *Figura n°17* mientras que en la *Figura n°18* se ven los resultados para las recurrencias de 10.000 años.

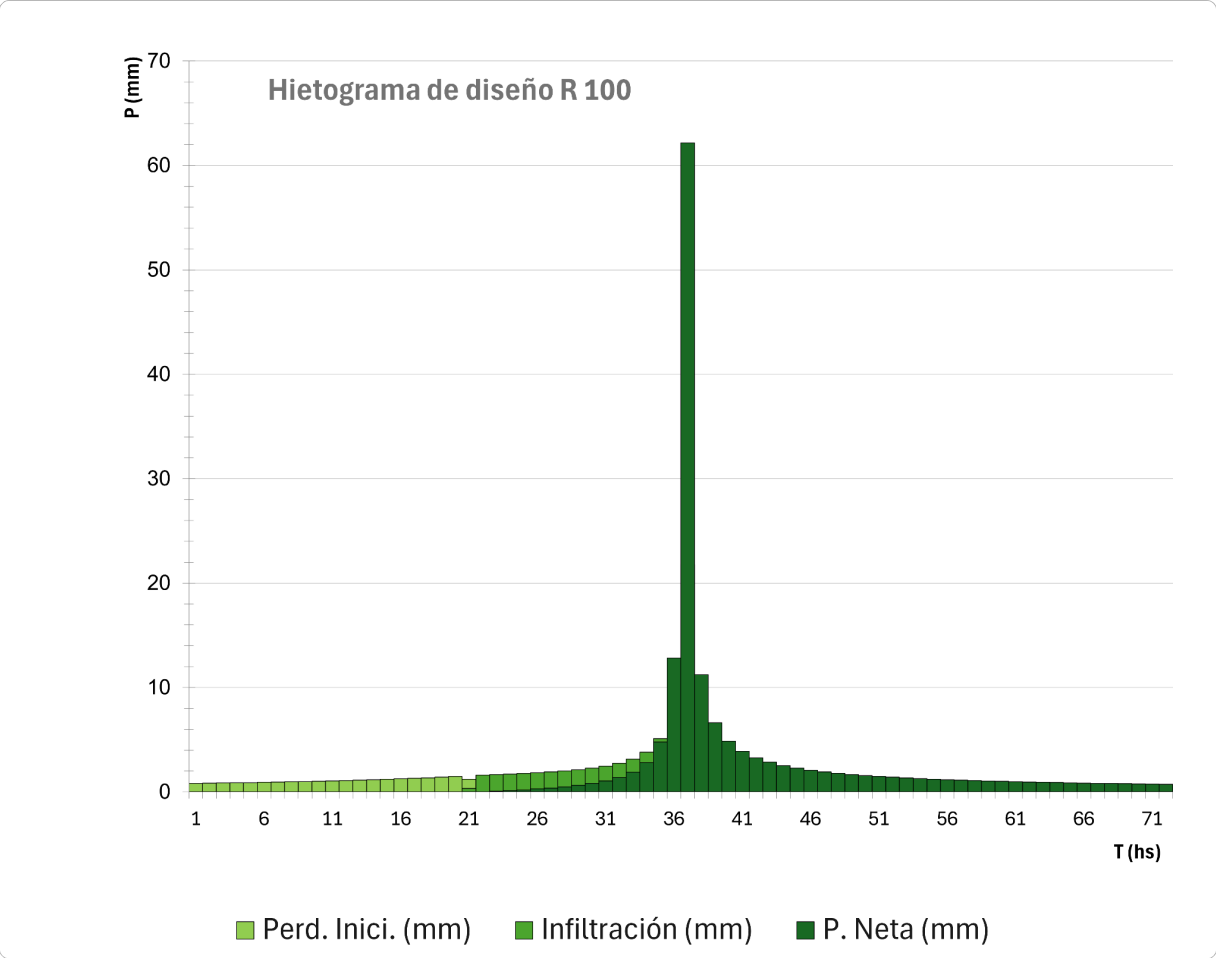


Figura. N°:17. Hietograma de lluvia neta. R=100. D=72hs. CN II. Fuente: Elaboración Propia

7.3.6 Desarrollo de la traza , volumen de cierre y canales de descarga

El punto de partida del diseño fue el análisis de las condiciones hidráulicas aguas abajo, que constituyen el principal factor de control del proceso de laminación del embalse.

Se toma como referencia inicial la cota de las alcantarillas AT 020 (CF=+40.12) y AT 021 (CF=+37.9) ubicadas en la Ruta Nacional A012, dado que éstas condicionan los niveles de

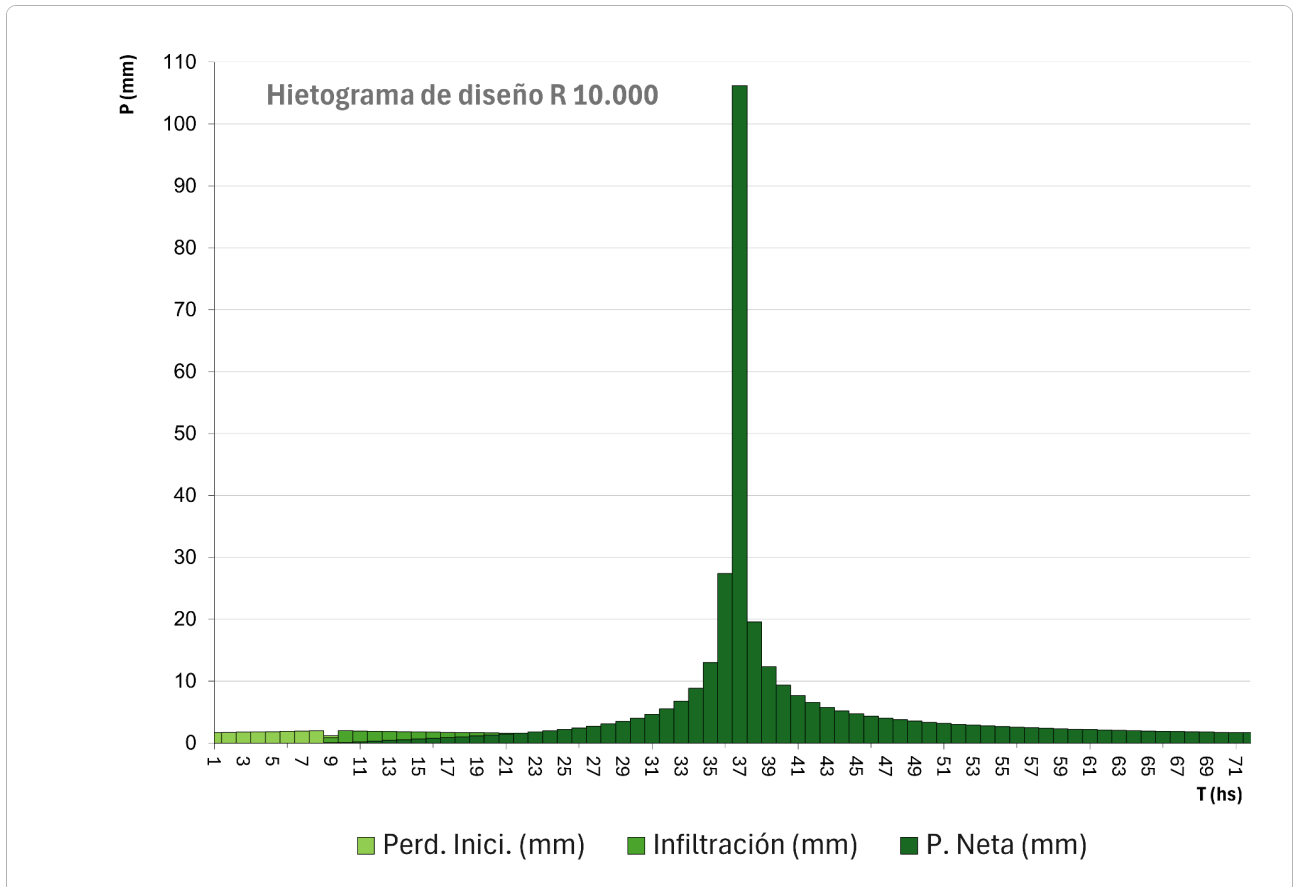


Figura. N°:18. Hietograma de lluvia neta. R=10.000. D=72hs CN promedio entre II y III. Fuente: Elaboración propia

descarga del sistema y su modificación implicaría un costo e intervención importante.

A partir de dichas cotas se proyectan los canales de evacuación (La Legua y La Carmelita) hacia aguas arriba, adoptando una pendiente mínima tal que permita garantizar la continuidad hidráulica y una capacidad de conducción suficiente sin generar velocidades que puedan producir fenómenos de erosión ni sedimentación.

Durante esta etapa, ambos canales fueron redimensionados y reacondicionados geoméricamente, ajustando cotas de fondo y secciones de diseño de modo que pudieran conducir los caudales correspondientes al evento de 100 años de recurrencia sin superar las cotas máximas admisibles ni comprometer la estabilidad de los taludes.

El embalse descarga simultáneamente en ambos canales, aunque estos también reciben el escurrimiento superficial directo de las subcuencas aguas abajo de la presa.

Por esta razón, en el proceso de diseño es necesario considerar el aporte combinado de ambos componentes: el caudal proveniente del reservorio y el generado por la cuenca aguas abajo.

Este condicionante impone la necesidad de ajustar la capacidad de descarga del embalse para que el caudal total en cada canal no excediera la capacidad hidráulica proyectada.

Para alcanzar dicho equilibrio se desarrolla un proceso iterativo de simulación hidráulica, en el cual se modifican la cota del vertedero y los diámetros de los orificios de descarga, hasta obtener un buen comportamiento del sistema.

El criterio de diseño adoptado es que el vertedero no actúe durante la tormenta de diseño de 100 años, y que la presa no se vea superada para el evento de 10.000 años. Asimismo, se busca que los caudales descargados por los orificios, para un escenario de recurrencia 100 años y 72 horas de lluvia, no excedieran la capacidad de conducción de los canales, garantizando su funcionamiento dentro de las condiciones de no erosión.

Para el proceso de ajuste, se evalúan diferentes configuraciones de orificios: al incrementar su diámetro, el caudal de descarga del embalse aumentaba y el canal receptor aumentaba el tirante y la cota máxima de cada alcantarilla era superada ; por lo tanto, se reduce el diámetro hasta alcanzar una condición de equilibrio entre la descarga del reservorio y el escurrimiento superficial adicional que recibe cada canal para que las alcantarillas no trabajen para una condición ahogada para un escenario $R=100$ años o menor.

El punto 7.3.9 de este informe habla en particular sobre el diseño geométrico de las obras de control y de salida.

La traza del cierre fue respetada de acuerdo con la actualización de los estudios hidrológicos hidráulicos de la cuenca del Arroyo Ludueña hasta la presa Ing. Gualberto Venesia (2025), manteniendo su ubicación y forma original, la cual está afectada por dos gasoductos de alta presión pertenecientes a Transportadora de Gas del Norte.

Sobre esta base, las simulaciones permitieron definir las cotas de embalse para ambos escenarios y una cota aproximada del coronamiento de la presa, logrando un diseño coherente con la topografía del sitio y con las condiciones hidráulicas de descarga.

La cota del coronamiento se nombra como aproximada porque en el punto 7.3.8 se lleva a cabo el diseño de las revanchas a tener en cuenta para el cálculo de la cota de coronamiento final.

En conjunto, el proceso permitió obtener un sistema, capaz de almacenar y evacuar los excedentes pluviales de manera controlada, reduciendo los caudales pico transmitidos aguas

abajo, aumentando la protección de las ciudades de Roldán y Funes y garantizando la estabilidad y seguridad hidráulica de la presa proyectada sobre la cuenca del arroyo Ludueña.

Diseño Canal La Legua

Base de fondo= 5,5 metros. Profundidad= 2,5 metros. Pendiente= 1‰.

Diseño Canal La Carmelita

Base de fondo= 5 metros. Profundidad= 1,55 metros. Pendiente= 1,65‰.

7.3.7 Verificación a erosión de los canales

Se aplica el método Lischvan-Lebediev para la verificación a erosión de los canales La Legua y La Carmelita aguas abajo de la presa de retención de crecidas.

El dimensionamiento se realiza verificando las condiciones de no erosión en función de la rugosidad del cauce y del tipo de suelo existente, de forma tal que las velocidades y tensiones de corte resulten compatibles con el suelo del lecho y las márgenes.

En el método se calcula la erosión máxima general que se puede presentar en la sección transversal de proyecto al transitar por la misma una crecida asociada al escenario de recurrencia de 100 años.

Para ello se comparan la velocidad erosiva U_e (dependiente de los suelos cohesivos de la zona) y la velocidad real U_r dada sobre el canal para el episodio de lluvia analizado (se aplica la ecuación de Chezy-Manning y se determina la velocidad media del flujo).

Sobre los 2 canales analizados, los resultados arrojaron una velocidad real U_r menor a la velocidad erosiva U_e , lo cuál conlleva a una verificación de la condición de **no** erosión para R=100 años y duración de 72 hs.

7.3.8 Altura de presa y revanchas

Como se mencionó anteriormente, en este punto se muestra el proceso de diseño para la obtención de la cota que llevará el coronamiento en toda su longitud.

La presa de tierra es incapaz de trabajar como estructura vertedora (es decir, que pueda escurrir agua sobre la misma) sin riesgo de colapso por erosión. Considerando que una falla de este tipo es catastrófica, la probabilidad de ocurrencia debe mantenerse muy baja.

Para ello se comienza proponiendo en el proyecto dos escenarios críticos:

Escenario 1 (R 100 años):

- Cota del pelo de agua = 49,65 m
- Fetch: dirección suroeste-noreste.
- Longitud máxima del embalse en la dirección del viento: 2,79 km
- Profundidad media: 2,03 m
- Velocidad del viento: 120km/h
- Duración 45 minutos.

Escenario 2 (R 10.000años):

- Cota del pelo de agua = 50,48 m
- Fetch: dirección suroeste-noreste.
- Longitud máxima del embalse en la dirección del viento: 3,08 km
- Profundidad media: 2,17 m
- Velocidad del viento: 80 km/h
- Duración 45 minutos.

Los datos de velocidad, duración y dirección del viento son obtenidos de la cátedra de Obras Hidráulicas de nuestra facultad, parte de la rosa de los vientos del Aeropuerto Internacional Rosario Islas Malvinas (AIR) para el cálculo de la revancha en la presa del Arroyo Ludueña la cuál es cercana a éste proyecto.

Para el dimensionamiento de la cota de coronamiento (CCP) de la presa se analizaron dos escenarios hidrológicos independientes, correspondientes a las recurrencias de 100 y 10.000 años. Ambos escenarios fueron modelados en paralelo con el objetivo de determinar, para cada uno, los niveles máximos de embalse sobre los cuales se evalúan los efectos combinados de viento y oleaje. Finalmente, se adoptó como CCP la mayor de las cotas resultantes:

$CCP = \max \{NAMO + R_{100}, NAME + R_{10000}\}$; donde NAMO es el nivel de agua máximo ordinario correspondiente al evento de recurrencia 100 años para cada cierre y NAME el nivel máximo extraordinario correspondiente al evento de recurrencia 10.000 años.

En cada escenario hidrológico se emplearon velocidades de viento distintas, en función de su severidad. Para el escenario de 100 años se adoptó una condición más severa de viento, considerando que es más probable que se produzca el evento. Para el escenario de 10.000 años, en cambio, se utilizó una condición menos severa, debido al carácter extraordinario del evento. Esta diferenciación permite hacer los cálculos para cada escenario y así representar lo mejor posible el comportamiento esperado del embalse.

Dado que el proyecto contempla dos obras de descarga (una hacia el canal La Legua y otra hacia el canal La Carmelita), se procedió a calcular el fetch efectivo en dos ubicaciones

distintas, para cada combinación entre obra de descarga y escenario hidrológico (R=100 y R=10.000).

Tras evaluar los cuatro fetch y sus respectivas alturas de ola, se seleccionó para cada escenario hidrológico el valor crítico, garantizando así que la CCP cubra la condición más exigente.

La revancha total se obtuvo sumando los siguientes componentes:

$$R = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

- Embalsamiento por viento h_1 . Se analiza en la *Figura n°19*.

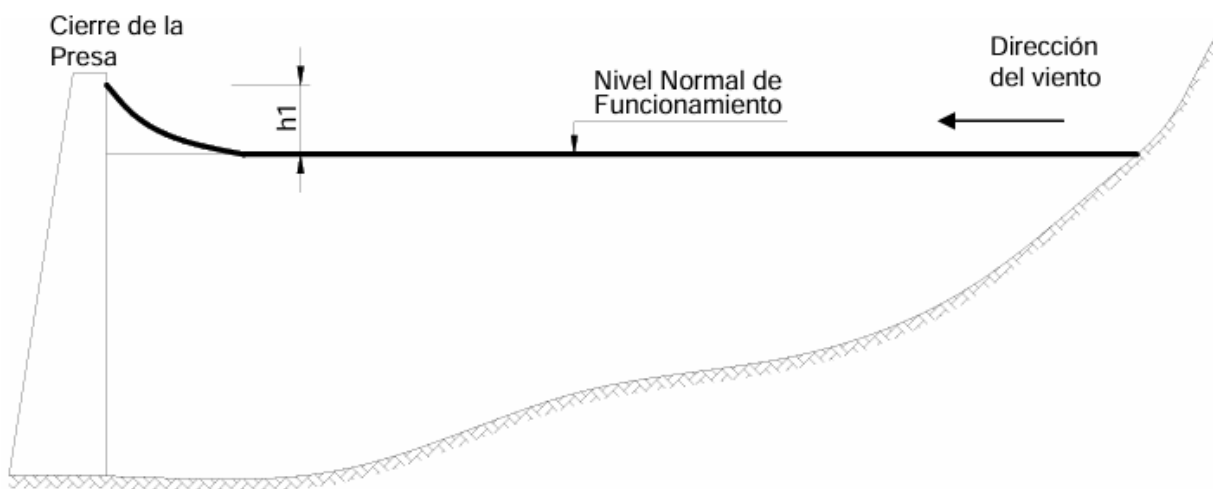


Figura. N°:19. Análisis factor ' h_1 '. Fuente: Elaboración propia

- Altura de ola h_0 ;
- Sobreelevación por ola (componentes h_2 y h_3); $h_2 = h_3 = \frac{2}{3} h_0$. Se analizan en la *Figura n°20*.

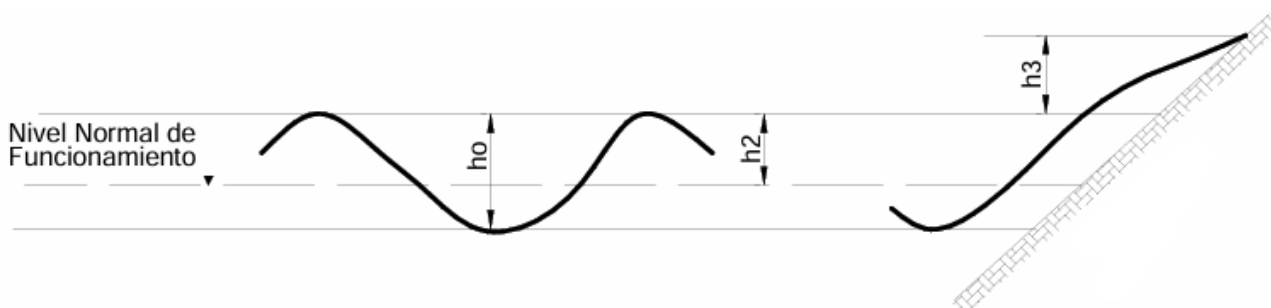


Figura. N°:20. Análisis factor ' h_2 ' y ' h_3 '. Fuente: Elaboración propia.

- Asentamientos estimados del cuerpo de la presa h_4 ;

- Margen de seguridad h_5 .

El escenario que resultó ser el más desfavorable fue para R10.000 con dirección de viento SO-NE sobre el cierre proyectado en La Legua.

- Fetch crítico de 3,08 km;
- Profundidad media 2,17 m;
- Velocidad de viento 80 km/h;
- Altura de ola resultante de 0,82 m;
- Asentamiento 2,5 cm
- Margen adicional de 0,50 m, por estar en zona de llanura.

La revancha total calculada fue de 1,765 m. Esta revancha se sumó al nivel máximo obtenido del modelo hidrológico para R10.000:

- NAME (R=10.000 años) = 50,48 m

Resultando una cota de coronamiento adoptada de 52,25 m.

Esta cota garantiza que, bajo ambos escenarios hidrológicos seleccionados y estudiados, la presa opere en condiciones seguras frente a oleaje, viento y rodamiento, manteniendo márgenes adecuados frente a eventos extraordinarios y condiciones extremas de operación.

7.3.9 Diseño geométrico de las obras de control y de salida.

El diseño geométrico de las obras de control y de salida tiene como objetivo garantizar la correcta regulación de los caudales provenientes del embalse, permitiendo su evacuación de forma controlada hacia los canales receptores. Éste se basa en los resultados de la simulación hidrológica-hidráulica, considerando los caudales de diseño correspondientes a las tormentas de 100 y 10.000 años de recurrencia.

Las cotas de implantación de los orificios se definen en función de la topografía del fondo del embalse y de las condiciones de tirante mínimo necesarias para asegurar la capacidad de evacuación prevista en los distintos escenarios de crecida.

El esquema a adoptar corresponde a un reservorio único, con dos salidas independientes: una hacia el canal La Legua y otra hacia el canal La Carmelita.

Obra de Cierre Canal La Legua

Se proyecta una estructura de cierre que combina orificios de descarga en fondo y vertedero superficial, buscando compatibilizar las necesidades de laminación del embalse con la seguridad hidráulica de la alcantarilla AT021 ubicada en la Ruta Nacional N°A012 aguas abajo.

La obra de cierre está compuesta por dos orificios circulares de 1,00 m de diámetro y un vertedero libre de 20,00 m de longitud, lo cuál en su totalidad se ejecuta en hormigón armado.

El vertedero fue ubicado de modo tal que actúe únicamente durante eventos de mayor magnitud ($R > 100$ años), funcionando como elemento de alivio una vez superada la capacidad de regulación de los orificios.

Para proteger la llegada del escurrimiento superficial sobre la obra de cierre se plantean cabezales cilíndricos de hormigón sobre el terraplén que direcciona el flujo hacia los descargadores de fondo y el vertedero, logrando un acompañamiento de las líneas de corriente junto con una protección flexible de colchonetas reno de espesor 17 cm en un ancho igual a dos base de fondo del Canal La Legua y evitando procesos erosivos aguas arriba sobre el pie del vertedero.

Aguas abajo de la obra de cierre, se proyecta un dissipador de energía de platea horizontal y una transición de hormigón desde la sección rectangular del mismo hasta la sección trapezoidal de ancho correspondiente al canal natural proyectado. Además, entre esta transición y el canal natural, se coloca una protección flexible de colchonetas reno de espesor 17 cm en un ancho igual a una base de fondo del Canal La Legua.

Obra de Cierre Canal La Carmelita

Se proyecta una estructura de cierre que únicamente posee descargadores de fondo, buscando compatibilizar las necesidades de laminación del embalse con la seguridad hidráulica de la alcantarilla AT 020 ubicadas en la Ruta Nacional N°A012 aguas abajo.

La obra de cierre del canal La Carmelita está formada por dos orificios de 1 metro de diámetro ejecutados con conductos de hormigón armado según el Plano Tipo A-82 (ver Anexo 4).

Resulta de suma importancia la ejecución de los mismos, donde se plantea una pendiente del 0,5%, una adecuada ejecución de la base de asiento de hormigón que sirve de base para los mismos, compactación de las capas de suelos que se coloquen entre y sobre los mismos y además el agregado de mortero asfáltico en las juntas 1:3. Todas las especificaciones técnicas se pueden observar en el Plano Tipo A-82 adjunto al final de éste informe.

Asimismo, se estudió que las velocidades de salida a través de los orificios se mantuvieran dentro de los límites admisibles para las condiciones del terreno y el material de la obra, y que la sección de descarga en el canal receptor presente capacidad suficiente para conducir los caudales proyectados sin provocar desbordamientos locales. A raíz de este análisis, pudo detectarse la gran carga hidráulica que se genera por el embalse aguas arriba, lo que conlleva una gran velocidad de salida a través de los orificios. Por esto mismo, se decide colocar un

disipador de energía de hormigón sobre la descarga para no comprometer la estabilidad de la presa de retención de crecidas ni el canal diseñado aguas abajo.

Luego de esta protección rígida, el escurrimiento superficial se da sobre el canal natural ya que se verifica la condición de no erosión a 100 años. Podría plantearse de ser necesario, ante la ocurrencia de eventos extraordinarios, el diseño en una segunda etapa de una transición flexible de colchonetas entre el hormigón y el canal natural o solo pensarse en un mantenimiento con rellenos de tierra en caso de darse escenarios de lluvia que provoquen procesos erosivos al pie de la protección de hormigón.

7.3.10 Diseño del disipador de energía. Obra de cierre del Canal La Legua.

Aquí se describe el proceso de cálculo hidráulico del disipador a colocar a la salida del vertedero en la Legua y de los orificios, ya que se producen grandes velocidades a la salida de éstos.

El disipador de energía es una estructura que se utiliza para disminuir la velocidad del agua después de que pasa por el vertedero y orificios. Cuando el agua cae desde cierta altura o se mueve muy rápido, llega con mucha energía y, si no se controla, puede generar erosión y dañar el canal aguas abajo.

Por eso, la función principal del disipador es reducir esa energía en una distancia corta, de manera segura.

El disipador que se usa en este proyecto funciona haciendo que el flujo forme un resalto hidráulico. Esto ocurre cuando el agua cambia de un flujo rápido y poco profundo (supercrítico) a uno más lento y profundo (subcrítico). Esa transformación brusca genera turbulencia, y justamente en esa turbulencia es donde la energía se disipa.

Según la clasificación del USBR, el disipador corresponde al Tipo I, que es un resalto hidráulico sobre una platea horizontal sin bloques ni dientes. La idea es que el resalto se forme encima de la platea y que toda la turbulencia quede contenida ahí, evitando que el flujo erosione al canal aguas abajo.

El resalto hidráulico tiene dos tirantes característicos:

- y_1 : tirante inicial, antes del resalto (flujo supercrítico).
- y_2 : tirante conjugado, después del resalto (flujo subcrítico).

En el resalto se conserva la fuerza específica, y la diferencia de energía entre y_1 e y_2 es justamente la energía que se pierde en forma de turbulencia. Cuando el número de Froude de entrada es grande ($F_1 > 9$), el salto es fuerte y muy eficiente, pudiendo disipar más del 80% de la energía del flujo. Puede verse este análisis en la *Figura n°21*.

Otro factor importante es la longitud del resalto (L_r), que se mide desde donde comienza el cambio brusco de profundidad hasta donde termina el remolino aguas abajo. En los diseños del USBR esta longitud depende de y_2 , y por eso suele usarse la relación L_r / y_2 con F_1 para calcular la longitud del dissipador de platea horizontal. Se ve en la *Figura n°22*.

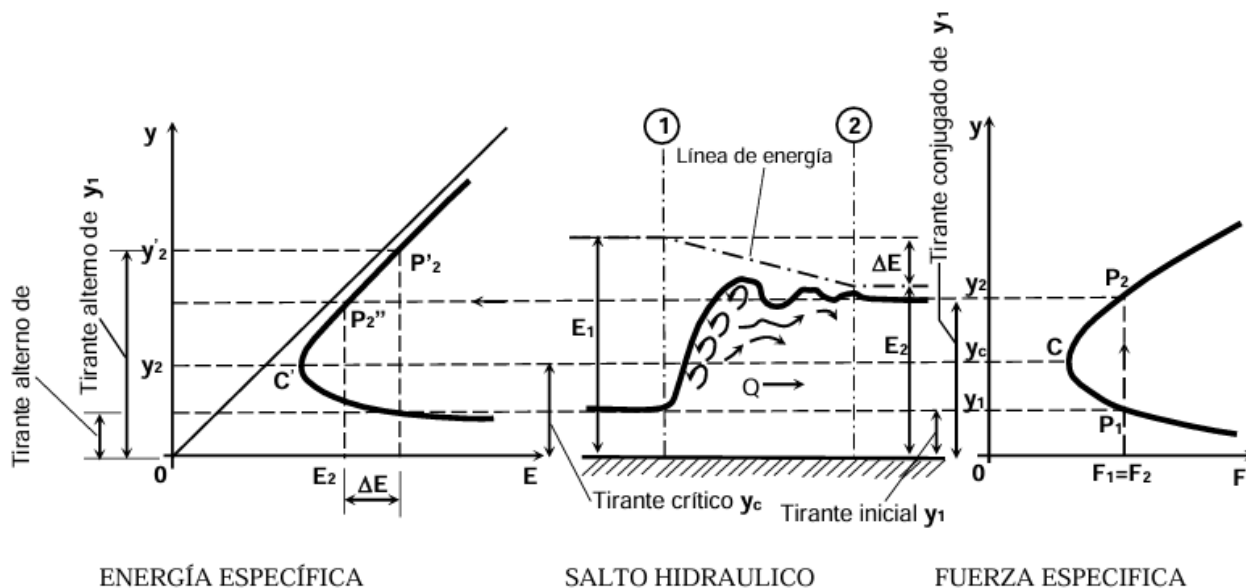


Figura 1.1. Resalto Hidráulico interpretado en función de las curvas de Fuerza y Energía Específicas (Chow, 1994)

Figura. N°:21. Tirantes conjugados. Extraído de: *Apuntes de Obras Hidráulicas. Disipadores de Energía.*

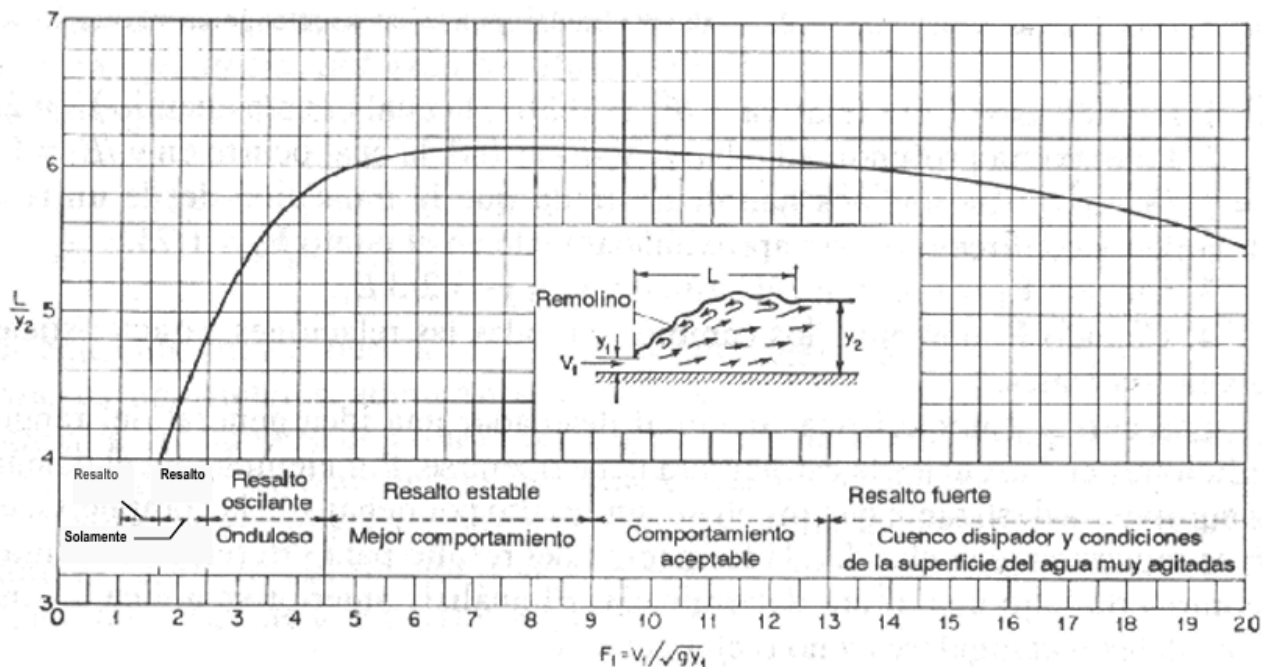


Figura 1.5. Longitud en términos del tirante conjugado y_2 de resaltos en canales horizontales (Chow, 1994)

Figura. N°:22. Resalto hidráulico. Extraído de: *Apuntes de Obras Hidráulicas. Disipadores de Energía.*

En este proyecto se utiliza un dissipador de platea horizontal de hormigón, de 15,5 m de largo y 20 cm de espesor.

El flujo llega al dissipador desde:

- El vertedero cuya cresta está a la cota 49,65 m.
- Dos orificios de 1 m de diámetro (cota de inferior 43,56 m).

El caudal de diseño para $R = 10.000$ años es $Q = 50,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Luego del dissipador se realiza la transición revestida en hormigón para poder conectar la sección rectangular ancha de la platea horizontal con el canal natural de sección trapezoidal. Para evitar erosión por el cambio de material de fondo (hormigón y suelo natural), se coloca una transición con colchonetas tipo Reno de una base de fondo (5,5 m) de longitud y espesor 17 cm.

7.3.11 Protección de gasoductos existentes

A lo largo del trazado de los canales La Legua y La Carmelita se identificó la presencia de dos gasoductos pertenecientes a TGN (Transportadora de Gas del Norte S.A.), los cuales cruzan por debajo de ambos canales. Estos ductos constituyen una interferencia crítica para el proyecto, por lo que fue necesario diseñar una protección que garantice su seguridad y evite cualquier inconveniente durante la operación hidráulica del sistema.

Los ductos poseen diámetros de 24" y 30", respectivamente, y se encuentran separados entre sí 8 metros planimetricamente. En cuanto a su posición vertical, la altimetría registrada indica que la cota de extradós del caño más alto (diámetro 24") se ubica a cota +40,60 m (IGN), mientras que el extradós del segundo (diámetro 30") se encuentra unos 30 cm por debajo, a cota +40,30 m IGN.

La norma N.A.G-100 exige una separación vertical mínima de 1,20 m entre un gasoducto existente y la superficie. En este contexto, tal artículo no puede cumplirse por lo que se procede a colocar una losa de hormigón como protección lo cual permite reducir esta tapada mínima a 50 cm, siempre que se garantice que no habrá contacto directo ni transmisión de cargas perjudiciales al caño.

Ambos gasoductos atraviesan los dos canales proyectados, por lo que fue necesaria una solución de protección duplicada: una para el canal La Legua y otra para el canal La Carmelita.

Canal La Legua

Se coloca una losa de hormigón de espesor 10 cm sobre los ductos, con una separación de 70 cm por encima del extradós del gasoducto más elevado, por lo que en este caso se cumple con la normativa correspondiente.

La losa se extiende lateralmente a una distancia igual a 2 bases de fondo del canal a cada lado de los ductos. Atendiendo a este criterio, el largo total de la zona protegida resulta de 30,70 m para el canal.

Canal La Carmelita

Al momento de llevar adelante el desarrollo del proyecto ejecutivo y previo a las gestiones licitatorias para la construcción de la obra por parte de las autoridades provinciales se debe acordar colocar una losa de hormigón de espesor 10 cm sobre los ductos, con una separación de 2 cm por encima del extradós del gasoducto más elevado, que en este caso no cumple con los 50 centímetros establecidos por la N.A.G-100 como separación mínima pero garantizando que no haya contacto directo ni transmisión de cargas perjudiciales gracias a las elevadas velocidades admisibles que soporta el hormigón.

La losa se extiende lateralmente a una distancia igual a 2 bases de fondo del canal a cada lado de los ductos. Según este criterio, el largo total de la zona protegida por hormigón resulta de 28,70 m para el canal.

Por lo tanto, se proyectó una losa de hormigón de 31 m y otra de 29 m de longitud, cubriendo completamente el ancho total del canal trapezoidal correspondiente, con un espesor de 10 cm.

En ambos bordes de la losa de protección se colocan dientes de anclaje, cuya función es evitar la socavación en los bordes de la protección, resguardando a los gasoductos ante la posible existencia de hoyas erosivas. Los dientes se proyectaron con una profundidad equivalente a alcanzar la cota inferior del gasoducto (base) ubicado a mayor profundidad (cota de extradós +40,30 m).

Luego para evitar que el flujo transite bruscamente desde un revestimiento rígido (losa de hormigón) hacia suelo natural, se incorporan transiciones de protección flexible de longitud igual a 1 base de fondo, constituidas por: colchonetas tipo Reno, espesor: 17 cm, ubicadas aguas arriba y aguas abajo de la protección de hormigón ejecutada.

De esta manera, esta solución se adapta de la mejor manera posible a la búsqueda de asegurar la integridad del sistema de transporte de gas y la operación confiable de las obras hidráulicas proyectadas, evitando riesgos a corto y largo plazo.

7.3.12 Encuentro canal - alcantarilla

Al interceptar los canales proyectados y las cunetas de la Ruta Nacional N°A012 con las alcantarillas AT-020 y AT-021, se presenta una incompatibilidad entre la sección trapezoidal del canal y la sección rectangular propia de las alcantarillas, además de un cambio en la materialidad

del fondo y las márgenes. Para garantizar una transición hidráulica adecuada y evitar fenómenos de socavación local o concentraciones de velocidad, se proyecta una transición geométrica desde la sección trapezoidal hacia una sección rectangular coincidente con la entrada de las alcantarillas.

Previo al ingreso a las mismas, se dispone una protección flexible mediante colchonetas Reno, de 17 cm de espesor, con una longitud equivalente a una base de fondo del canal. Esta protección atenúa los gradientes de velocidad y evita erosión en el tramo donde cambia el material.

El diseño de la transición y de la protección asociada se encuentra dimensionado para soportar las velocidades de flujo correspondientes a la crecida de recurrencia $R = 100$ años, garantizando la correcta operación hidráulica de las alcantarillas, el comportamiento estable de los taludes y la integridad del revestimiento en condiciones de diseño.

Se anexan los planos de detalle de llegada para ambas alcantarillas .

7.4 Diseño geotécnico

7.4.1 Diseño Geométrico y Estructural del Terraplén.

Se desarrolla a continuación, el diseño preliminar del cierre del reservorio sobre el Canal La Legua cuya obras de control están integradas por una presa de materiales sueltos, de altura suficiente para contener una crecida de recurrencia de 10.000 años con un adecuado resguardo de seguridad y una estructura de descarga.

El objeto del terraplén es materializar el cierre del vaso amortiguador de crecidas. La cota de coronamiento de la obra queda entonces fijada por las condiciones hidráulicas de verificación de paso de la crecida de diseño a la que se adiciona una revancha o borde libre mínimo para evitar el rebasamiento del terraplén. Se toma el escenario número 1 estudiado previamente para la recurrencia de 10.000 años y condición de humedad del suelo.

Para el siguiente análisis se cuentan con estudios de suelo en 3 perforaciones de la zona. Las mismas nos indican las características de los suelos presentes y el número SPT propio de cada estrato, definiendo así los siguientes estratos, que se ven en la *Tabla n°1*, en la *Tabla n°2* y en la *Tabla n°3*.

En la sección Anexo de este informe, se incluye el estudio de suelo descrito anteriormente.

Ahora, se debe parametrizar los datos que se tienen para poder realizar la simulación de lo que ocurre dentro del terraplén. Se busca 2 familias de datos del suelo: **resistentes** para analizar la estabilidad del talud e **hidráulicos** para analizar las filtraciones dentro del mismo.

Los datos de resistencia se obtienen a partir de estimaciones en base a los valores de número 'N_{SPT}' provenientes del ensayo 'SPT' realizado en las perforaciones y los valores de límite líquido 'LL' y límite plástico 'LP'.

Tabla N°:1. Perforación 1.

Perforación 1						
	Profundidad Superior	Profundidad Inferior	Altura	Tipo de Suelo	Caracterización	Napa
Estrato 1	-0.64 m	-0.95 m	0.31 m	CH	Marrón grisáceo. Arcilla de alta plasticidad. Raicillas.	-1.54
Estrato 2	-0.95 m	-2.80 m	1.85 m	ML	Marrón. Limo algo arcilloso de baja plasticidad de consistencia firme. Puntos negros.	
Estrato 3	-2.80 m	-5.70 m	2.90 m	ML	Marrón rojizo. Limo algo arcilloso de baja plasticidad de consistencia media a firme. Puntos negros. Nódulos resistentes. Infiltración calcárea. Algunas tosquillas.	
Estrato 4	-5.70 m	-8.79 m	3.09 m	ML	Marrón verdoso. Limo arcilloso de plasticidad media de consistencia muy firme. Puntos negros. Nódulos resistentes. Infiltración calcárea. Tosquillas.	

Tabla N°:2. Perforación 2.

Perforación 2						
	Profundidad Superior	Profundidad Inferior	Altura	Tipo de Suelo	Caracterización	Napa
Estrato 1	-0.55 m	-0.80 m	0.25 m	CL	Marrón grisáceo. Arcilla de plasticidad media. Raicillas.	-1.45
Estrato 2	-0.80 m	-1.90 m	1.10 m	ML	Marrón. Limo algo arcilloso de baja plasticidad de consistencia media. Nódulos resistentes.	
Estrato 3	-1.90 m	-2.75 m	0.85 m	ML	Marrón rojizo. Limo de baja plasticidad de consistencia muy blanda. Nódulos resistentes.	
Estrato 4	-2.75 m	-4.55 m	1.80 m	ML	Marrón rojizo. Limo de baja plasticidad de consistencia media a firme. Puntos negros. Nódulos resistentes. Infiltración calcárea. Algunas tosquillas.	
Estrato 5	-4.55 m	-8.70 m	4.15 m	ML	Marrón rojizo. Limo algo arcilloso de baja plasticidad de consistencia firme a muy firme. Puntos negros. Nódulos resistentes. Infiltración calcárea. Tosquillas.	

Tabla N°:3. Perforación 3.

Perforación 3						
	Profundidad Superior	Profundidad Inferior	Altura	Tipo de Suelo	Caracterización	Napa
Estrato 1	-0.49 m	-0.90 m	0.41 m	CH	Marrón grisáceo. Arcilla de alta plasticidad. Raicillas.	-1.39
Estrato 2	-0.90 m	-2.60 m	1.70 m	CL	Marrón a marrón rojizo. Arcilla de plasticidad media. Restos de raicillas en la parte superior. Nódulos resistentes.	
Estrato 3	-2.60 m	-4.50 m	1.90 m	ML	Marrón rojizo. Limo de baja plasticidad de consistencia firme. Puntos negros. Nódulos resistentes. Infiltración calcárea. Tosquillas.	
Estrato 4	-4.50 m	-8.64 m	4.14 m	ML	Marrón rojizo. Limo algo arcilloso de baja plasticidad de consistencia firme a muy firme. Puntos negros. Nódulos resistentes. Infiltración calcárea. Tosquillas.	

Primero, se debe realizar un análisis estadístico de resultados y selección de valores representativos, debido a la pluralidad de valores que existen. Se supone una distribución normal de probabilidad. Así, se podrán estimar intervalos de confianza.

Se definen los siguientes parámetros:

Promedio de una muestra ' μ ':

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n N_{SPT}}{n}$$

Siendo:

' N_{SPT} ' el número de golpes proveniente del ensayo 'SPT'.

' n ' la cantidad de valores ' N_{SPT} '.

Desvío estándar ' σ '

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{SPT} - \mu)^2}{n-1}}$$

Coeficiente de variación 'COV':

$$COV = \frac{\sigma}{\mu}$$

Se tiene que la muestra estadística no es numerosa, ya que se poseen de 2 a 4 valores de 'N_{SPT}' por estrato. Así, conviene tomar como referencia valores de COV para cada parámetro y determinar el desvío estándar a partir de la media muestral y el valor de COV estimado. Estos valores son:

- Para el parámetro 'N_{SPT}', se puede adoptar un valor de 'COV' de 15% a 45%.
- Para los parámetros de límites de Atterberg, se puede adoptar un valor de 'COV' de 6% a 30%.

Luego, se debe estimar un valor conservador para el promedio. Se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N_{SPT-x} = \mu \cdot (1 \pm k_{95} \cdot COV)$$

Siendo:

'k₉₅' un valor definido en 1,16 si se tienen 2 muestras, 0,95 si se tienen 3 muestras y 0,82 si se tienen 4 muestras.

Se define también el parámetro índice plástico 'IP', de la siguiente forma:

$$IP = LL - LP$$

Siendo:

- 'LL' el límite líquido de un suelo.
- 'LP' el límite plástico de un suelo.

La forma de progresar es tomar estos parámetros y evaluar la perforación con peores condiciones. Ese será el estrato con el que se modeliza la situación. A continuación, se muestra en la *Tabla n°4*, la *Tabla n°5* y la *Tabla n°6* los parámetros de interés.

Analizando en detalle, se aprecia que la Perforación 2 es la que tiene peores valores de 'N₆₀' y de índice plástico 'IP' de las 3 perforaciones. Así, se toma este estrato de referencia para modelarlo.

De esta forma, se establecen parámetros críticos de los estratos a la hora de desarrollar el cálculo del terraplén y poder establecer si estos suelos pueden ser aptos o no para su materialización o si se debe recurrir a préstamos para su correcta construcción y verificación.

Para el modelo y cálculo del terraplén, se utiliza el software GeoStudio 2018 R2, el cual aplica un modelo matemático de elementos finitos para evaluar utilizando los módulos 'SEEP/W' y 'SLOPE/W', respectivamente, el régimen de filtraciones dentro del cuerpo del terraplén y la seguridad global frente a la falla por deslizamiento en condiciones saturadas y no saturadas.

Tabla N°:4. Cuadro resumen Perforación 1.

Perforación 1									
	N prom	N COV	k N	N60	N90	IP Prom	IP COV	k IP	IP
Estrato 1	--	--	--	--	--	--	--	--	29
Estrato 2	10.5	0.3	1.16	7	5	28	0.18	1.16	33
Estrato 3	12		0.95	8	6	13		0.95	15
Estrato 4	22		0.95	16	10	15		0.95	18

Tabla N°:5. Cuadro resumen Perforación 2.

Perforación 2									
	N prom	N COV	k N	N60	N90	IP Prom	IP COV	k IP	IP
Estrato 1	--	--	--	--	--	--	--	--	22
Estrato 2	6	0.3	--	6	4	13	0.18	--	13
Estrato 3	2		--	2	1	10		--	10
Estrato 4	9.5		1.16	6	4	11		1.16	13
Estrato 5	18.25		0.82	14	9	14		0.82	16

Tabla N°:6. Cuadro resumen Perforación 3.

Perforación 3									
	N prom	N COV	k N	N60	N90	IP Prom	IP COV	k IP	IP
Estrato 1	--	--	--	--	--	--	--	--	34
Estrato 2	5	0.3	1.16	3	2	30	0.18	1.16	37
Estrato 3	14		1.16	9	6	13		1.16	16
Estrato 4	20		0.82	15	10	11		0.82	13

El terraplén se configura con un núcleo arcilloso impermeable, flanqueado por faldones de material más permeable, con pendientes distintas en cada lado para reproducir su comportamiento real ante condiciones hidrodinámicas extremas.

En el módulo 'SEEP/W', se determina la distribución del potencial total, las líneas de flujo, la posición de la línea freática, y los valores característicos de gradiente hidráulico y caudal total de descarga. Estos resultados permiten identificar las zonas más críticas desde el punto de vista de la filtración y el riesgo de erosión interna.

A partir de las presiones intersticiales obtenidas en el análisis hidráulico, se desarrolla posteriormente el análisis de estabilidad del talud con 'SLOPE/W', considerando la condición más desfavorable correspondiente a la máxima altura del embalse. Se aplica el método de equilibrio límite (Morgenstern-Price), evaluando el factor de seguridad 'FS' global y la ubicación de la superficie crítica de deslizamiento.

Este procedimiento permite verificar si el terraplén cumple con los requerimientos de seguridad establecidos para estructuras de retención de agua y definir medidas correctivas o de diseño, en caso necesario.

Se describe las siguientes hipótesis utilizadas en ambos modelos de análisis:

'SEEP/W':

- Se modela el flujo de agua subterránea 'Saturado'. Es decir, se simula que la totalidad de los poros del suelo de los estratos y del terraplén están colmados de agua. Este análisis se realiza de esta forma debido a que el análisis alternativo ('Saturado - No Saturado') implica la definición de modelos matemáticos para evaluar la modificación de la humedad dentro del suelo con la transición del flujo de agua. Como se tiene un análisis en estado 'Permanente' (es decir, se toma que el agua está en reposo), el nivel freático a -1,45m y un núcleo arcilloso, se prevee que no habrá mayor error a la hora de esta suposición. Cabe recordar que los suelos arcillosos tienen ascenso del nivel del agua por capilaridad hasta 20 metros (*Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Burt Look. 2007*). Se ve en la *Tabla n°7*.

Tabla N°:7. Coeficiente de permeabilidad.

Table 7.20 Capillary rise based on the soil type (Vaughan et al, 1994).

Type of soil	Coefficient of permeability m/s	Approximate capillary rise
Sand	10^{-4}	0.1–0.2 m
Silt	10^{-6}	1–2 m
Clay	10^{-8}	10–20 m

- Los valores de Conductividad Saturada ' k_x ' se definen según la siguiente tabla, extraída del libro '*Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Burt Look. 2007*'. Se ve en la *Tabla n°8*.

A partir de la nomenclatura 'UCS', podemos determinar los valores de permeabilidad. Más adelante en el informe, entregaremos un cuadro resumen con las propiedades de cada suelo.

- El valor 'Contenido volumétrico saturado de agua' se define, para suelos en estado de saturación, como su valor de porosidad, acorde al manual para este módulo del programa, llamado "Heat and Mass Transfer Modeling". El valor de porosidad se obtiene de la siguiente tabla, extraída del libro '*A manual of Field Hydrogeology. Sanders, L. 1998*'. Se ve en la *Tabla n°9*.

Se aclara que los valores de coeficientes se expresan en porcentajes.

- Los valores de coeficiente de compresibilidad ' β ' se extrajeron del texto '*Soil Mechanics. John Wiley & Sons. 1979*'. Allí, se describe que los valores varían entre 0.01 y 0.0001 para

los suelos que estamos estudiando. De esta forma, se estiman distintos valores para el núcleo, los faldones, la base y los estratos, según su finalidad y su grado de compactación.

- Se considera que el material es isótropo en todos los casos (es decir, no hay diferencia de permeabilidad en caso que el agua tenga un movimiento vertical y horizontal).

Tabla N°:8. Conductividad saturada.

Table 8.4 Permeability based on soils classification.

Soil type	Description	USC symbol	Permeability, m/s
Gravels	Well graded	GW	10^{-3} to 10^{-1}
	Poorly graded	GP	10^{-2} to 10
	Silty	GM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	GC	10^{-8} to 10^{-6}
Sands	Well graded	SW	10^{-5} to 10^{-3}
	Poorly graded	SP	10^{-4} to 10^{-2}
	Silty	SM	10^{-7} to 10^{-5}
	Clayey	SC	10^{-8} to 10^{-6}
Inorganic silts	Low plasticity	ML	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	MH	10^{-9} to 10^{-7}
Inorganic clays	Low plasticity	CL	10^{-9} to 10^{-7}
	High plasticity	CH	10^{-10} to 10^{-8}
Organic	with silts/clays of low plasticity	OL	10^{-8} to 10^{-6}
	with silts/clays of high plasticity	OH	10^{-7} to 10^{-5}
Peat	Highly organic soils	Pt	10^{-6} to 10^{-4}

Tabla N°:9. Porosidad.

	total	eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fraturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomías NO carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

SLOPE/W:

- Realiza análisis de estabilidad de taludes (suelo y roca) utilizando la metodología de equilibrio límite.
- El método de cálculo utilizado es el de Morgenstern-Price, debido a que es el más difundido y el que mejores resultados arroja según los profesionales consultados.

- Se realiza el estudio de estabilidad sólo en la parte aguas abajo del terraplén. El método utilizado es el de 'Entrada-Salida'. Este método es el también recomendado por profesionales. Se tiene también como función lateral la denominada 'Medio-Seno'.
- Para determinar los pesos unitarios, nos guiamos con la siguiente tabla, extraída de '*Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Burt Look. 2007*'. Se ve en la *Tabla n°10*.

Tabla N°:10. Pesos unitarios.

Table 7.3 Representative range of dry unit weight.

Type	Soil description	Unit weight range (kN/m ³)	
		Dry	Saturated
Cohesionless	Soft sedimentary (chalk, shale, siltstone, coal)	12	18
Compacted Broken rock	Hard sedimentary (Conglomerate, sandstone)	14	19
	Metamorphic Igneous	18 17	20 21
Cohesionless	Very loose	14	17
	Loose	15	18
Sands and gravels	Medium dense	17	20
	Dense	19	21
	Very dense	21	22
Cohesionless	Loose		
	Uniformly graded	14	17
Sands	Well graded	16	19
	Dense		
	Uniformly graded	18	20
	Well graded	19	21
Cohesive	Soft – organic	8	14
	Soft – non organic	12	16
	Stiff	16	18
	Hard	18	20

Se utilizan los **pesos saturados**.

- En condiciones **no drenadas**, donde el ángulo de fricción ' ϕ ' es nulo para determinar los valores de cohesión del suelo ' s_u ', se seleccionan de 2 fuentes distintas. Primero, se observa la siguiente tabla extraída de '*Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Burt Look. 2007*'. Se ve en la *Tabla n°11*.

Tabla N°:11. Valores de cohesión.

Table 5.3 Clay strength from SPT data.

Material	Description	SPT – N (blows/300 mm)	Strength
Clay	V. Soft	≤2	0–12 kPa
	Soft	2–5	12–25 kPa
	Firm	5–10	25–50 kPa
	Stiff	10–20	50–100 kPa
	V. Stiff	20–40	100–200 kPa
	Hard	> 40	> 200 kPa

Luego, se tiene una gráfica resumen del texto ‘*Parametrización de Suelos*’ de Prof. Ing. Augusto José Leoni. Esta gráfica se ejecuta en función a un desarrollo de varias ecuaciones incluídas en el texto. Se ve en la *Figura n°23*.

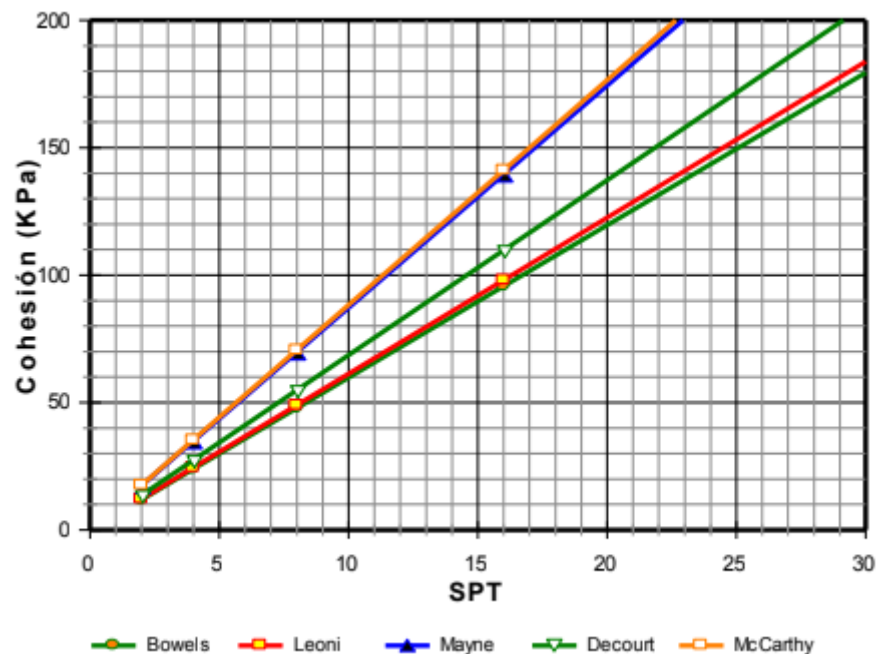


Figura. N°:23. Cohesión no drenada vs SPT.

Estas 2 fuentes arrojan valores similares, por lo que se toman los valores más conservadores.

- En condiciones **drenadas**, para el valor de ángulo de fricción del suelo ‘φ’ y los valores de cohesión ‘c_u’, se tienen 2 fuentes también. El libro ‘*Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Burt Look. 2007*’ arroja la *Tabla n°12*.

Luego, el texto antes citado, ‘*Parametrización de Suelos*’ de Prof. Ing. Augusto José Leoni, indica la siguiente ecuación para determinar el parámetro buscado:

$$\phi = 2^\circ + 0,66 \cdot N_{60}$$

Finalmente, se utiliza la ecuación expresada anteriormente, debido a que arroja resultados más conservadores que los de la tabla antes vista.

Tabla N°:12. Ángulo de fricción.

Table 7.9 Effective strength of cohesive soils

Type	Soil description/state	Effective cohesion (kPa)	Friction angle (degrees)
Cohesive	Soft – organic	5–10	10–20
	Soft – non organic	10–20	15–25
	Stiff	20–50	20–30
	Hard	50–100	25–30

El análisis de deformaciones es una etapa crítica en el diseño geotécnico, cuyo objetivo es garantizar que los movimientos del terreno se mantengan dentro de los límites tolerables por la estructura. Dentro de este análisis, el **Módulo de Elasticidad** (E_s), también conocido como módulo de deformación, es el parámetro fundamental para calcular los **asentamientos inmediatos** o elásticos. Para determinar estos valores, en la siguiente tabla que se adjunta a continuación, se dan los resultados obtenidos en función de la consistencia de los suelos finos y para valores de tensiones dentro del **rango elástico** para el que consideramos un valor del coeficiente de seguridad de $F_s = 2$. se observaron las siguientes correlaciones extraídas de 'Parametrización de suelos.' de Prof. Ing. Augusto José Leoni, que se ven en la *Tabla n°13*.

Tabla N°:13. Valores adoptados

TABLA N° 5

Consistencia	Valores del SPT	"Es" calculado ($F_s = 2$) MPa
	N_{60}	
Arcillas blandas	2 a 4	8 – 13
Arcillas Medianamente Compactas	4 a 8	13 – 21
Arcillas compactas	8 a 15	21 – 37
Arcillas muy compactas	15 a 30	37 – 72
Arcillas duras	> 30	> 72

Se presentan los valores adoptados para los estratos tomados, en la *Tabla n°14*, la *Tabla n°15*, la *Tabla n°16* y la *Tabla n°17*.

Tabla N°:13. Valores adoptados.

Perforación 2			
	Conductividad Saturada	Contenido Volumétrico de Agua	Compresibilidad
Estrato 1	4.35e-06 m/seg	0.5	0.0020 1/kPa
Estrato 2	4.35e-06 m/seg	0.4	0.0002 1/kPa
Estrato 3	4.35e-06 m/seg	0.4	0.0002 1/kPa
Estrato 4	4.35e-06 m/seg	0.4	0.0002 1/kPa
Estrato 5	4.35e-06 m/seg	0.4	0.0002 1/kPa
Núcleo	1e-7 m/seg	0.7	0.0010 1/kPa
Faldón	1e-05 m/seg	0.6	0.0015 1/kPa
Base	1e-06 m/seg	0.5	0.0015 1/kPa

Tabla N°:14. Valores adoptados para condiciones drenadas.

Perforación 2			
	Peso Propio	Cohesión	Ángulo de Fricción
Estrato 1	17 kN/m ³	10 kN/m ²	2°
Estrato 2	20 kN/m ³	35 kN/m ²	6°
Estrato 3	20 kN/m ³	15 kN/m ²	3°
Estrato 4	20 kN/m ³	35 kN/m ²	6°
Estrato 5	20 kN/m ³	82 kN/m ²	11°
Núcleo	18 kN/m ³	80 kN/m ²	10°
Faldón	18 kN/m ³	80 kN/m ²	10°
Base	18 kN/m ³	80 kN/m ²	10°

Tabla N°:15. Valores adoptados para condiciones no drenadas.

Perforación 2			
	Peso Propio	Cohesión	Ángulo de Fricción
Estrato 1	17 kN/m ³	4 kN/m ²	0°
Estrato 2	20 kN/m ³	30 kN/m ²	0°
Estrato 3	20 kN/m ³	12 kN/m ²	0°
Estrato 4	20 kN/m ³	30 kN/m ²	0°
Estrato 5	20 kN/m ³	70 kN/m ²	0°
Núcleo	18 kN/m ³	50 kN/m ²	0°
Faldón	18 kN/m ³	50 kN/m ²	0°
Base	18 kN/m ³	50 kN/m ²	0°

Tabla N°:16. Módulos de elasticidad adoptados.

MODULO E [Mpa]	
Estrato 1	2
Estrato 2	9
Estrato 3	4
Estrato 4	9
Estrato 5	17
Núcleo	11
Faldón	11
Base	11

En resumen, las siguientes 3 formas de análisis permiten definir 2 parámetros claves a la hora del cálculo del terraplén:

- Red de filtraciones.
- Cuña de falla.
- Asentamientos.

La ventaja a la hora de utilizar este tipo de software, es que permite realizar los 3 análisis simultáneamente.

Luego de volcar la información que se tiene de la configuración geométrica (descrita más adelante) el esquema dentro del programa se vio de la siguiente forma, que se ve en la *Figura n°24*.

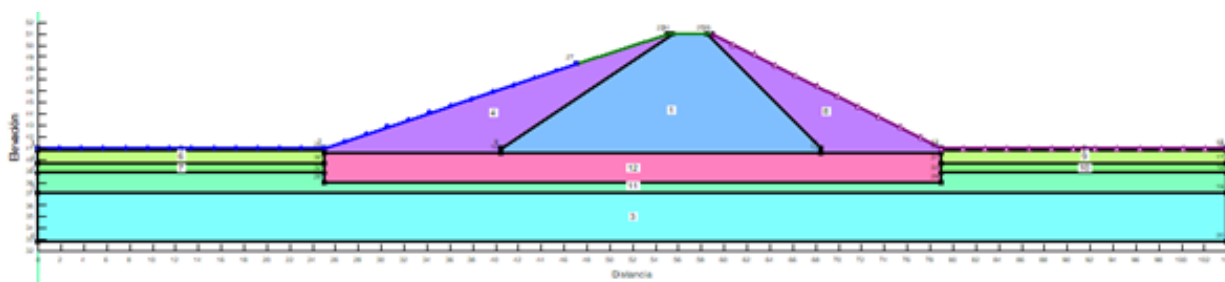


Figura. N°:24. Esquema del terraplén en interfaz del software utilizado

Se puede apreciar que el terraplén de tierra consta de 2 faldones y un núcleo arcilloso prácticamente impermeable, junto a una base de espesor de 2,5m. Este elemento descansa sobre los estratos ya estudiados del estudio de suelo.

Los materiales se definen en base a las hipótesis antes enunciadas. A modo de ejemplo, mostramos cómo queda la interfaz de la definición de propiedades del elemento 'núcleo' que se ve en la *Figura n°25* y la *Figura n°26*.

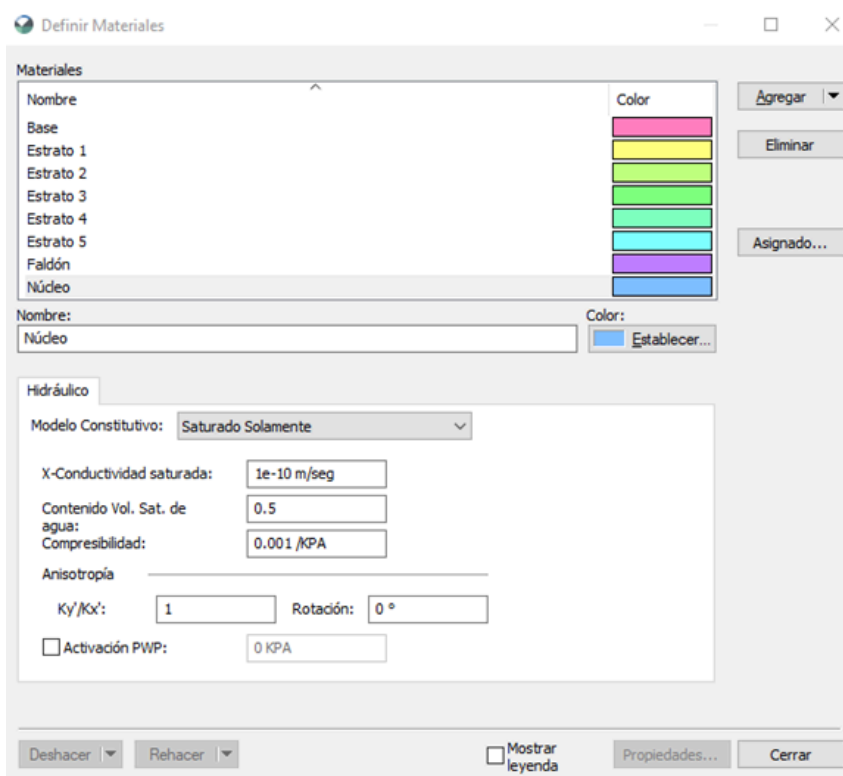


Figura. N°:25. Definición de material del núcleo: características hidráulicas.

El nivel de agua se define en base al 'NAME' expresado en el análisis del Escenario 1, como se mencionó previamente. Se muestra en el programa cómo se determina este parámetro. Se ve en la *Figura n°27*.

Por último, se debe indicar el comienzo y el fin de las superficies de falla. Previamente se indicó cómo se ejecutarán.

Para las características geométricas de la masa de tierra, se decide usar las que fueron adoptadas por el convenio **INA-MASPYMA** con el objetivo de realizar un cálculo más preciso, ya que en este trabajo no cuenta con estudio de suelos a una profundidad adecuada que permita obtener los datos necesarios y consistentes de los suelos presentes, además de que, el nivel de la napa pudo haber cambiado con el pasar de los años y con esto, alguna de las características del suelo.

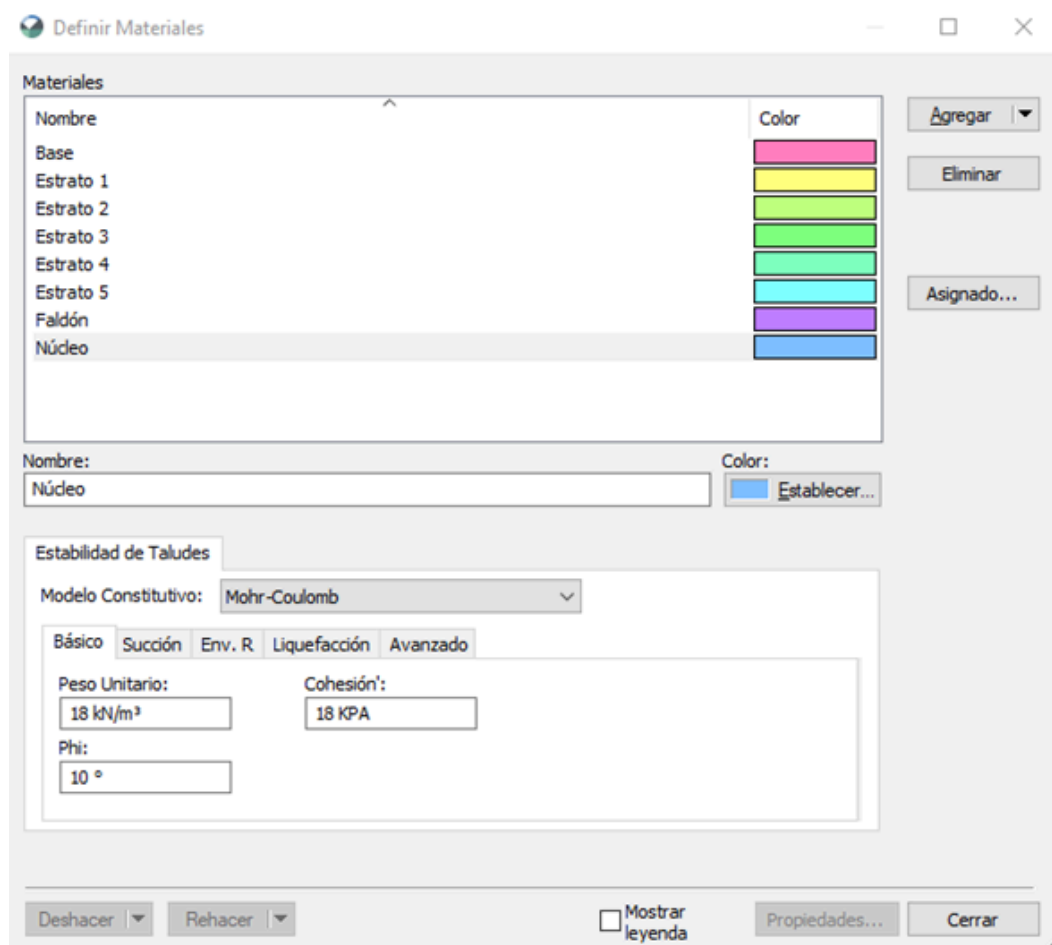


Figura. N°:26. Definición de material del núcleo: características de estabilidad.

Por lo tanto, se adopta:

Características definidas según Convenio INA-MASPYMA:

Características geométricas:

- Pendiente talud aguas arriba: 1V:3H
- Pendiente talud aguas abajo: 1V:2H
- Ancho de coronamiento superficial: 5m

Características materiales:

- Núcleo: suelo arcilloso de mediana plasticidad.
- Faldones: suelo limo arcilloso para faldones.
- Filtro de talón (sugerido).

Características definidas por el primer estudio de suelos.

- Estratificación adoptada según tipos de suelos encontrados en el estudio de suelos (pozos de 5m con muestras en cada metro).
- Se plantea el retiro y sustitución de primeros 2.50m desde la superficie.

Definir Condiciones de Límite

Categoría de CB (condición de borde):

Todo Condiciones de borde

Nombre	Categoría	Color
Drainage	Hidráulico	
Reservorio	Hidráulico	
Zero Pressure	Hidráulico	

Nombre: Color:

Clase:

Tipo de condición borde

Constante:

Función:

Revisión de Filtración potencial

Figura. N°:27. Definición de línea piezométrica del talud.

Otras consideraciones adoptadas:

- Ancho de coronación de núcleo: 4 m
- Pendiente faldón aguas arriba: 1V: 1 ½H
- Pendiente faldón aguas abajo: 1V: 1H
- Cota de Coronamiento de la Presa: 51.00m
- Nivel de Terreno Natural: 42.00m (zona de obra de descarga)

Se verifica los siguientes parámetros para poder establecer que la masa de tierra se encuentra en condiciones de estabilidad y seguridad:

- Velocidad máxima.
- Falla por deslizamiento.

A continuación, se muestran los resultados para cada parámetro, en cada condición de análisis. La forma de exhibirlos es mediante capturas tomadas de la interfaz del software utilizado, para análisis de filtraciones y de estabilidad de taludes. Primero, se mostrarán los resultados en condiciones drenadas. Se ven en la *Figura n°28*, la *Figura n°29* y la *Figura n°30*.

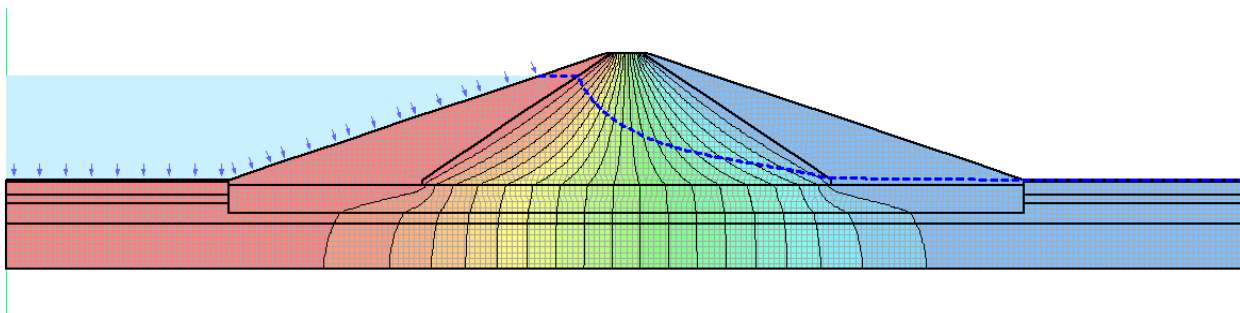


Figura. N°:28. Flujo de agua dentro del terraplén. Condiciones drenadas.

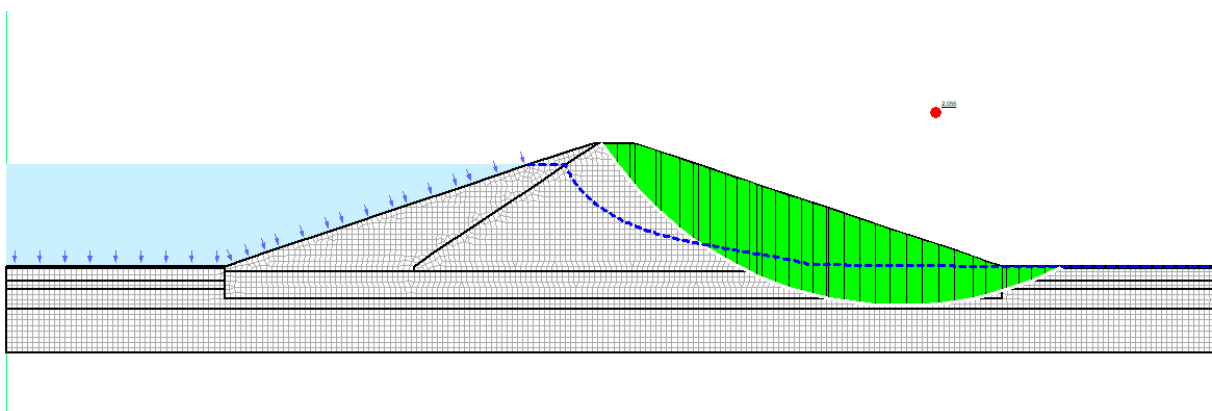


Figura. N°:29. Esquema de falla por deslizamiento del terraplén. Condiciones drenadas.

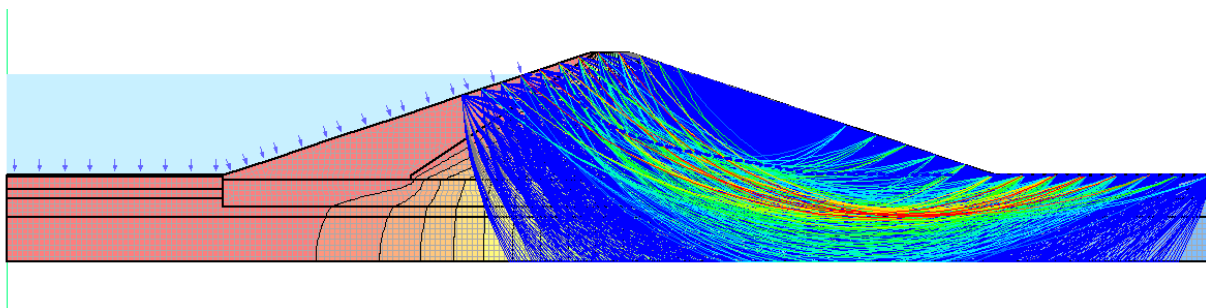


Figura. N°:30. Superficies de falla ensayadas por el programa, junto al esquema de flujo de agua del terraplén. Condiciones drenadas.

En estas imágenes, se muestra que el flujo de agua que atraviesa el terraplén respeta los sentidos de circulación y las velocidades lógicas, además de ser coherente con la disminución de las presiones intersticiales provocadas por el agua.

Por último, para el análisis de estabilidad de taludes, el programa analiza más de 1700 combinaciones de falla por deslizamiento. La condición crítica indica un 'FS' de 2,80

Se compara con la condición crítica de cada suelo para establecer sus condiciones de seguridad:

Velocidad máxima:

El programa permite obtener los valores de velocidad en la sección crítica y obtener como son las mismas a lo largo de la sección transversal. Estos valores se detallan en la siguiente imagen, la *Figura n°31*.

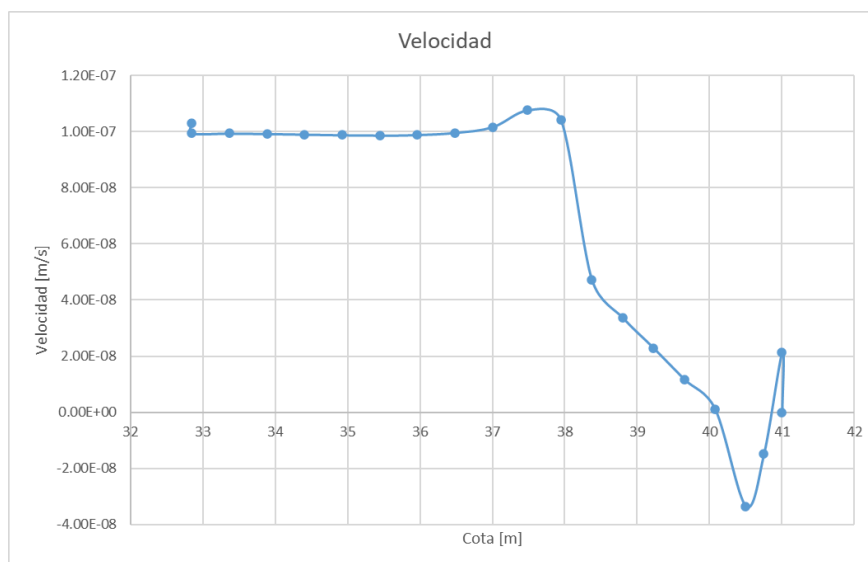


Figura. N°:31. Malla de sección de parámetros límite (al pie del talud) junto a las características de la sección crítica analizada. Condiciones drenadas.

Se destaca que la velocidad máxima, según el modelo de análisis es de $1,08 \times 10^{-7}$, el cual debe compararse con el valor de velocidad máxima admisible para los suelos componentes de la presa. Para determinar estos valores, se observa la siguiente tabla extraída de 'Geotechnical engineering of dams, 2nd edition', que se ve en la *Figura n°32*.

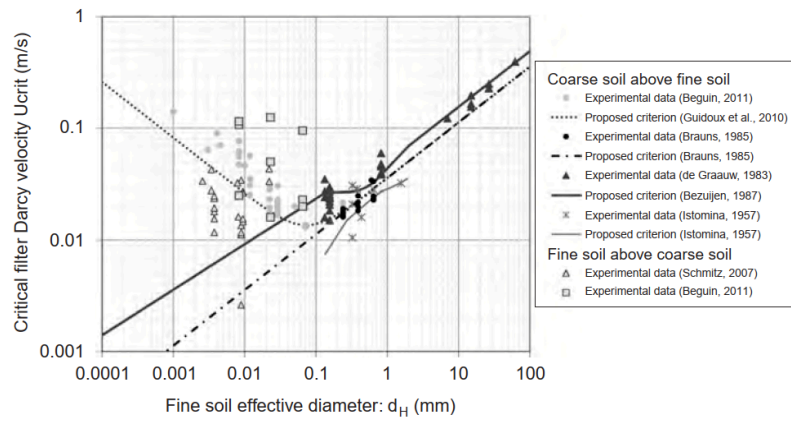


Figura. N°:32. Valores límites de velocidad. *Geotechnical engineering of dams, 2nd edition*

Se puede observar que para los suelos limosos o de partículas finas, los valores límites según ensayos experimentales realizados por los distintos especialistas, alcanzan valores entre 0,1 m/s y 0,01 m/s.

Por lo tanto, comparando este rango de valores con el resultado obtenido del modelo de cálculo, se concluye que:

$$1,08 \times 10^{-7} \text{ m/s} < 0,1 \text{ m/s y } 0,01 \text{ m/s}$$

El suelo se encuentra en buenas condiciones de velocidades, asegurándose contra la no erosión de la presa.

Falla por deslizamiento:

El valor a comparar con el 'FS' obtenido (que antes se mencionó que es de 2,80) es de 1,5. Estos valores son válidos para este tipo de obras. Por lo tanto, podemos considerar que estamos en buenas condiciones.

A continuación, se destacan los resultados del análisis realizado en **condiciones no drenadas**. Se ven los resultados en la *Figura n°33*, *Figura n°34*, *Figura n°35* y la *Figura n°36*,

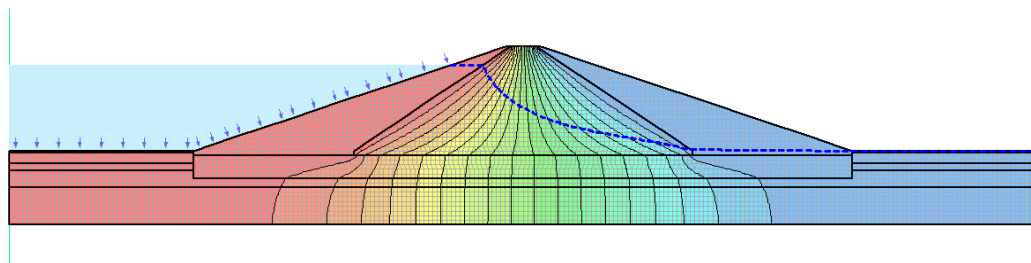


Figura. N°:33. Flujo de agua dentro del terraplén. *Condiciones no drenadas.*

Se destaca que en las condiciones no drenadas, el valor de factor de seguridad a la hora del cálculo de estabilidad, resulta de 2,60, lo cual indica que el talud está en buenas condiciones de seguridad con respecto a los factores de seguridad mínimos antes mencionados (FS = 1,50).

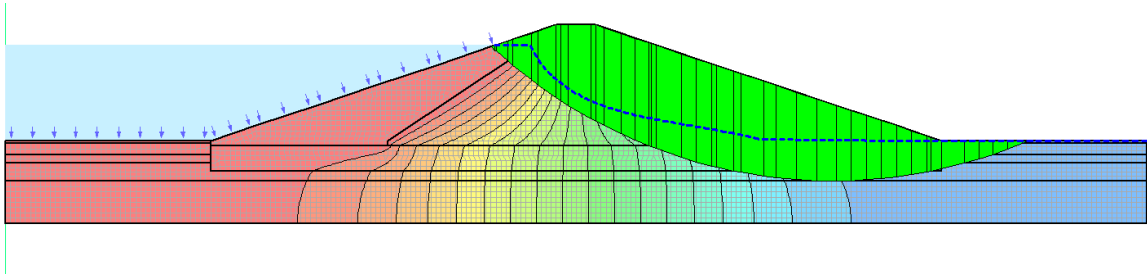


Figura. N°:34. Esquema de falla por deslizamiento del terraplén. Condiciones no drenadas.

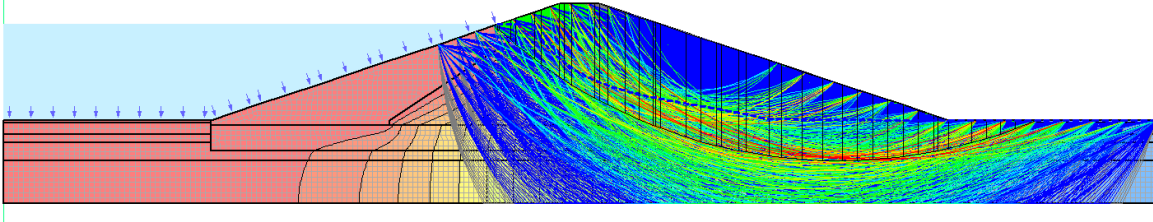


Figura. N°:35. Superficies de falla ensayadas por el programa, junto al esquema de flujo de agua del terraplén. Condiciones no drenadas.

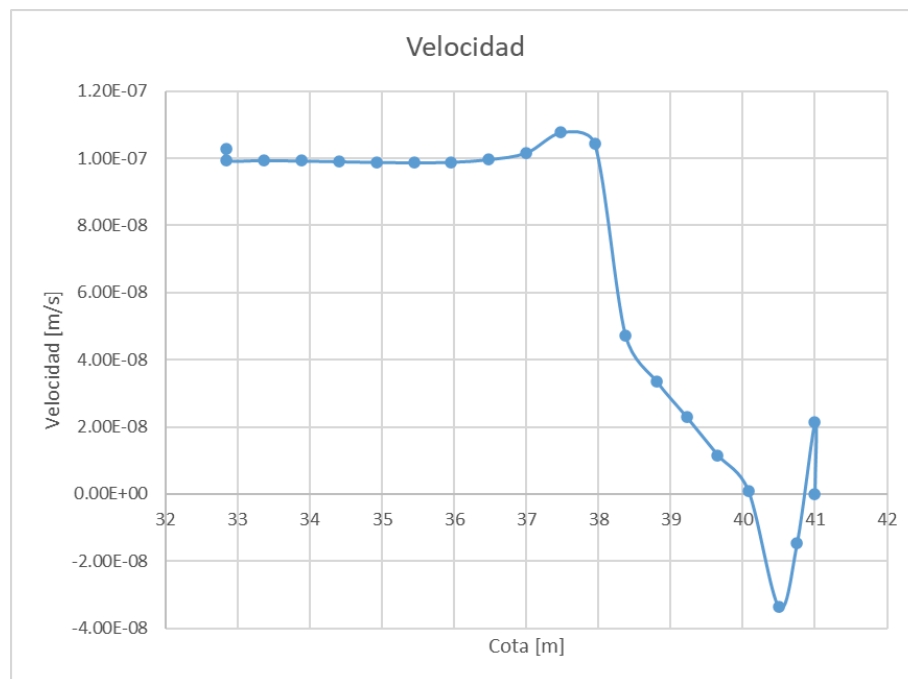


Figura. N°:36. Malla de sección de parámetros límite (al pie del talud) junto a las características de la sección crítica analizada. Condiciones no drenadas.

Con respecto a los valores de velocidad, el valor máximo es de $1,08 \times 10^{-7}$, siendo menor a los valores máximos admisibles correspondientes a los suelos estudiados.

Asentamientos

En el marco del diseño de la presa de tierra se realizó un análisis de **asentamientos** con el objetivo de evaluar la respuesta deformacional del terraplén y del sustrato bajo las cargas

generadas por el peso propio y la presencia del embalse. Para ello se desarrolló un **modelo numérico** mediante el software GeoStudio (SIGMA/W), que permite simular el comportamiento tensional–deformacional de medios geotécnicos.

El modelo incluye la geometría completa de la presa, las diferentes capas de materiales y las condiciones de borde representativas del apoyo real. Se consideraron las propiedades geotécnicas obtenidas de los estudios de suelo previamente mencionados. La simulación se ejecutó en etapas, representando la construcción del terraplén y la posterior carga hidráulica asociada al llenado del embalse.

Los resultados muestran que los **asentamientos máximos** se localizan típicamente en el eje de la presa, disminuyendo hacia los estribos. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango esperado para estructuras de tierra con materiales de compacidad media a alta. Asimismo, el patrón de deformaciones indica un comportamiento estable, sin indicios de mecanismos de falla por compresión excesiva ni gradientes de deformación incompatibles con la integridad estructural del terraplén.

Se muestra a continuación, cómo se desarrolla el proceso constructivo de la presa de tierra, mostrando el resultado de la deformada del terraplén y el resultado final al cabo de este proceso:

Etapa 1: Terreno natural. Se ve en la *Figura n°37*.

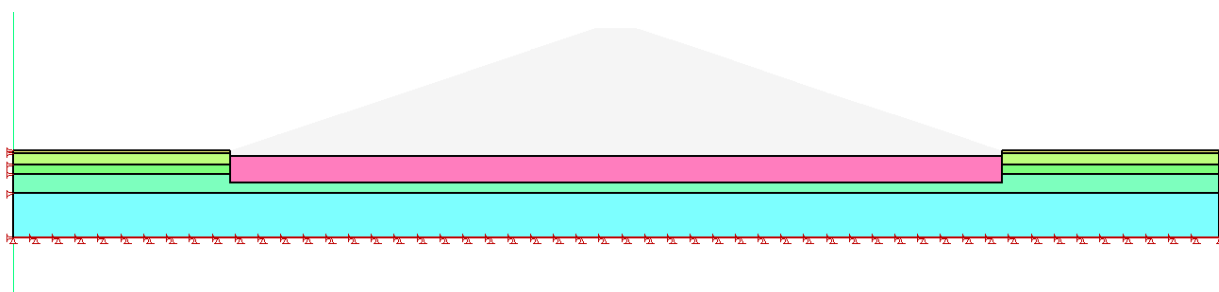


Figura. N°:37. Etapa 1 de construcción del terraplén.

Etapa 2: Primera capa de construcción. Se ve en la *Figura n°38*.

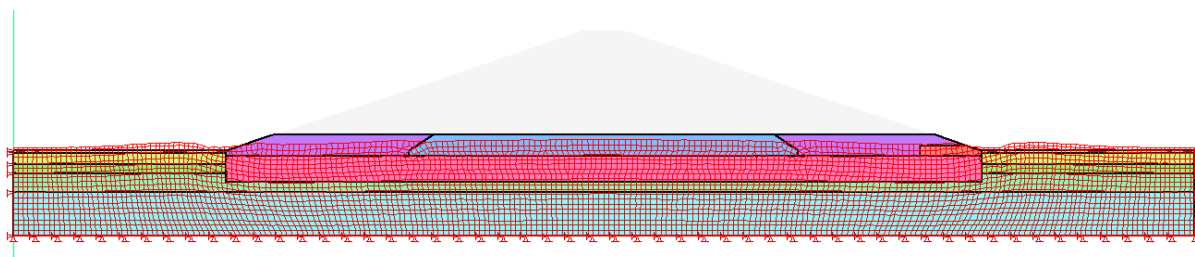


Figura. N°:38. Etapa 2 de construcción del terraplén

Asentamiento en el punto medio del terraplén: 0,00344 m

Etapa 3: Segunda capa de construcción. Se ve en la *Figura n°39*.

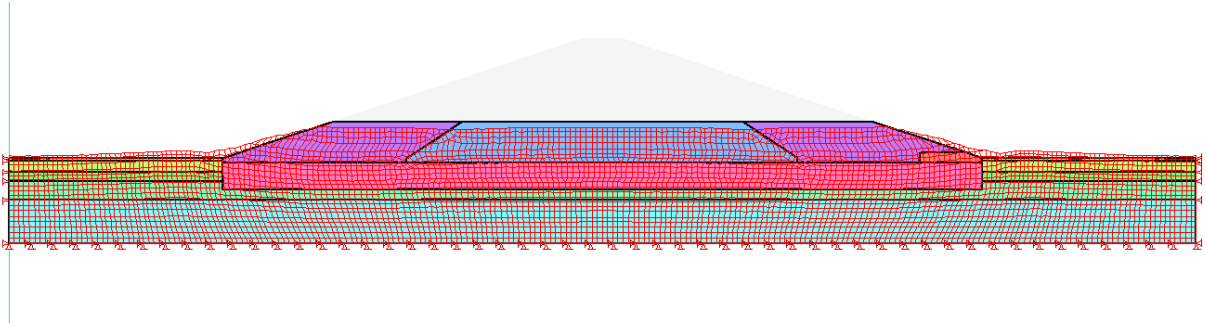


Figura. N°:39. Etapa 3 de construcción del terraplén

Asentamiento en el punto medio del terraplén: 0,00145 m

Etapa 4: Tercera capa de construcción. Se ve en la *Figura n°40*.

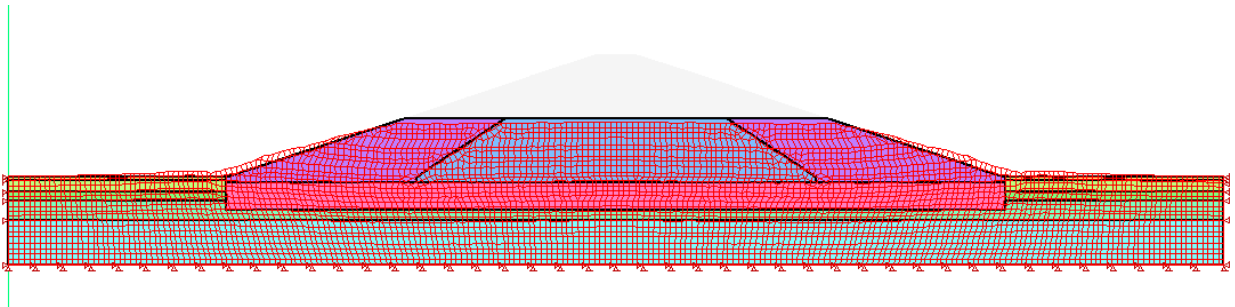


Figura. N°:40. Etapa 4 de construcción del terraplén

Asentamiento en el punto medio del terraplén: 0,00626 m

Etapa 5: Cuarta capa de construcción. Se ve en la *Figura n°41*.

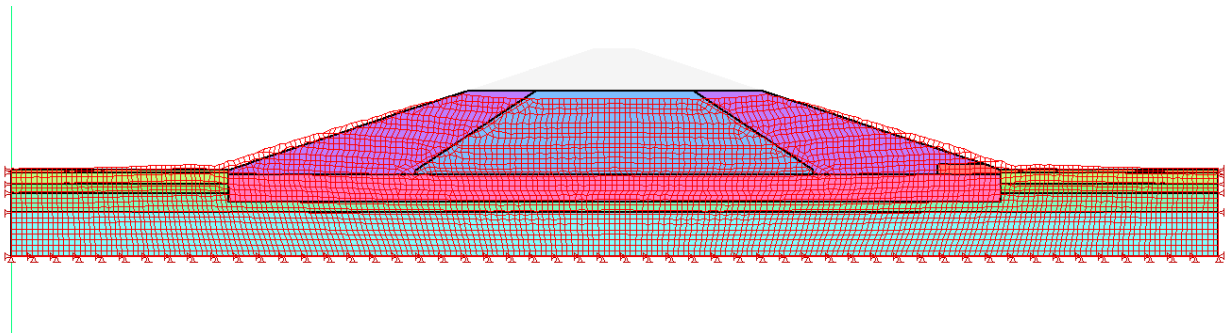


Figura. N°:41. Etapa 5 de construcción del terraplén

Asentamiento en el punto medio del terraplén: 0,0105 m

Etapa 6: Quinta capa de construcción. Se ve en la *Figura n°42*.

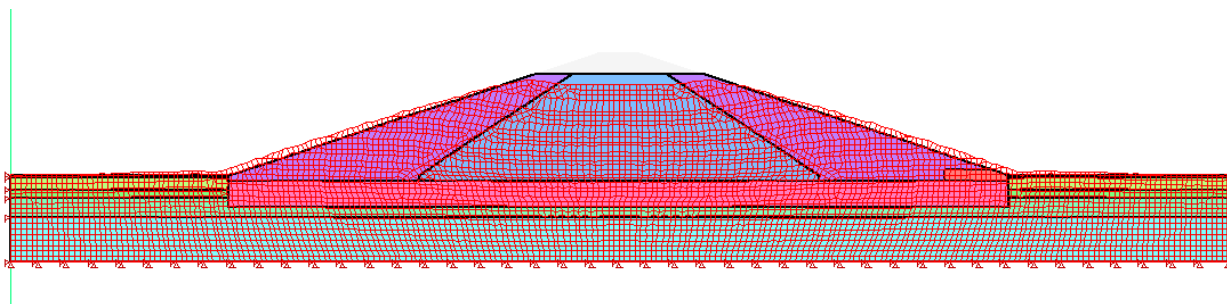


Figura. N°:42. Etapa 6 de construcción del terraplén

Asentamiento en el punto medio del terraplén: 0,0161 m

Etapa 7: Sexta capa de construcción. Se ve en la *Figura n°43*.

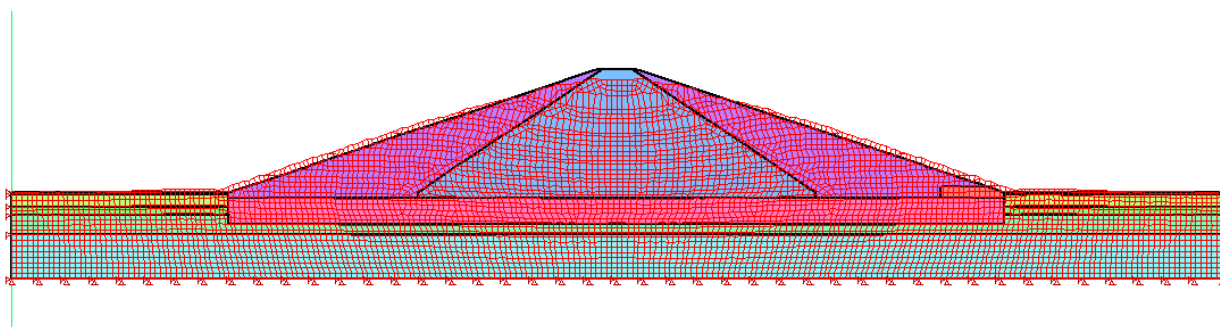


Figura. N°:43. Etapa 7 de construcción del terraplén

Asentamiento en el punto medio del terraplén: 0,025 m

Finalmente, se verificó que los asentamientos totales y diferenciales son compatibles con los criterios habituales de diseño establecidos en la literatura para presas de tierra, por lo que no se esperan afectaciones significativas al desempeño hidráulico o estructural de la obra. Este análisis permite respaldar la validez de los materiales propuestos y del procedimiento constructivo considerado.

Como conclusión, se observa que ante los criterios de análisis desarrollados en los apartados anteriores, la presa se encuentra en buenas condiciones de seguridad.

Desde el punto de vista geotécnico, el emplazamiento es apto y el diseño propuesto es técnicamente viable y seguro, siempre y cuando se respete la sustitución de suelo de fundación y el control estricto de la compactación de los materiales, especialmente dada la sensibilidad de los limos locales al agua.

Desde el punto de vista de filtraciones, la velocidad real del agua dentro de la presa es varios órdenes de magnitud inferior al límite peligroso. Esto significa que el suelo se encuentra en buenas condiciones de seguridad y se asegura la no erosión interna de la presa. El diseño del núcleo impermeable y los faldones cumple su función de frenar el paso del agua eficazmente.

7.5 Diseño Vial

7.5.1 Consideraciones.

Para realizar el siguiente trabajo, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se realizará un retrazado de los caminos rurales ya establecidos debido a la construcción de la presa de retención de crecidas y el camino de mantenimiento. El objetivo es tener a disposición una zona en la que puedan acceder camiones para realizar tareas de acondicionamiento de la presa de tierra, además de que los lotes que se ven afectados para su ingreso por la propia presa sigan siendo accesibles.
- Se realizan 2 accesos, debido a la imposibilidad de recorrer la presa desde un extremo al otro por la presencia del cierre de hormigón situado sobre el arroyo La Legua.
- Se plantean curvas con radios de giro mínimo según la velocidad de circulación máxima para los vehículos que se encargarán del mantenimiento. La misma es de 15 km/h.
- Se considera una pendiente longitudinal máxima, recomendada para el tipo de vehículos.
- Se considera que en el camino sobre el terraplén circulará 1 camión tipo S1-D1 (definido más adelante en el informe) por año, por lo que no se realiza cálculo estructural del paquete estructural y se determina con espesores mínimos y capas que cumplan funciones de seguridad y confort vial. Se toma el mismo justificativo para el camino rural que conectará los lotes afectados.

7.5.2 Ubicación. Accesos. Replanteo de caminos de acceso a lotes. Expropiación.

La situación actual del parcelario rural en la región de emplazamiento se muestra en la *Figura n°44*.

En el *Plano 1B* (ver en 'Legajo de Planos', página 81) se realiza un detalle de los caminos rurales públicos existentes y el nuevo camino planteado para darle acceso a aquellos lotes que se ven perjudicados por el emplazamiento del terraplén.

Por cuestiones de mantenimiento, se plantea un camino vial sobre el coronamiento de la presa. En una primera instancia, planteamos un acceso en cada extremo del terraplén. Los mismos son los denominados "Acceso norte" y "Acceso sur".

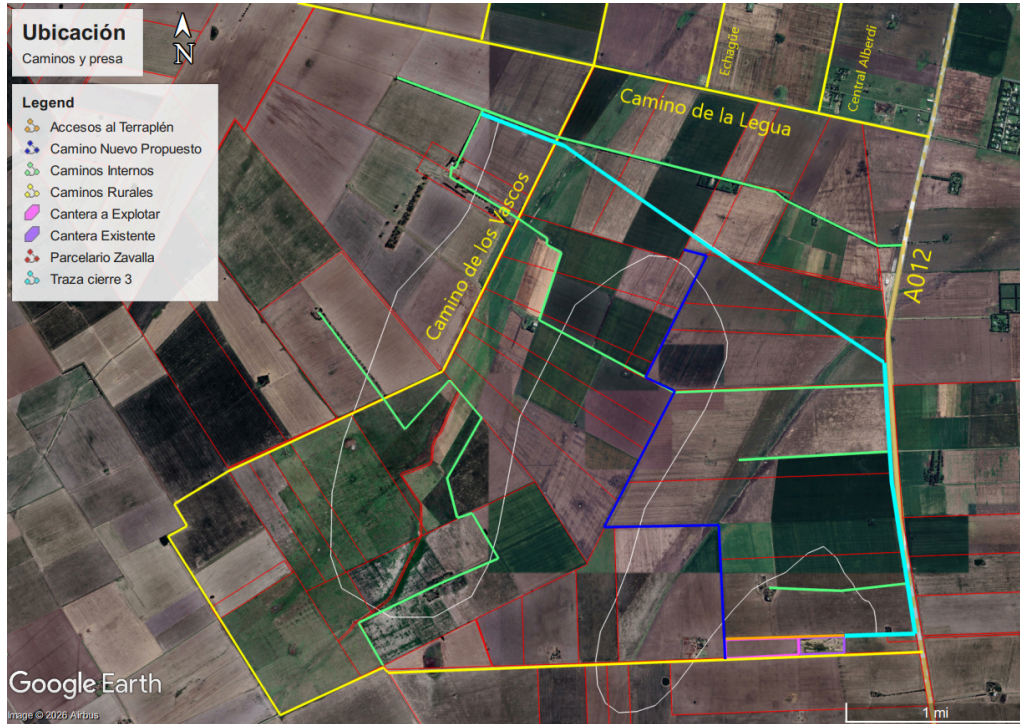


Figura. N°:44. Loteo en la zona de emplazamiento de la presa. Fuente: Elaboración propia.

En el acceso norte, se presenta la situación de que el terraplén planteado finaliza dentro de una propiedad privada. Allí, se realizará una expropiación de la zona afectada. Se plantea la realización de una intersección entre el camino público “Camino de los Vascos” y el propio terraplén. En el *Plano 6A* (ver en ‘Legajo de Planos’, página 81) se realizó una planialtimetría de la zona de estudio. En la *Figura n°45* se ve la situación croquizada.



Figura. N°:45. Acceso Norte al terraplén. Fuente: Elaboración propia.

En el acceso sur, se presenta que el terraplén diseñado finaliza en una cantera de suelo abierta. En paralelo, corre otro camino rural. Aquí, se plantea la expropiación del terreno al lado de la cantera de explotación con 2 objetivos: Generar el ingreso al terraplén mediante un camino en rampa y tener una zona de donde realizar una cantera para la utilización del suelo para construir el terraplén. La cota del terreno natural también es de +50,00 m IGN. Se realiza también en el *Plano 6B* (ver en 'Legajo de Planos', página 81) una planialtimetría para describir la situación de la zona de estudio. En la *Figura n°46* se ve la situación croquizada.

Por último, se plantea un camino rural tal que pueda dar acceso a aquellos lotes que fueron afectados en su ingreso debido a la presencia del terraplén. Este camino se plantea sobre los límites de los lotes de forma tal de que sea lo menos invasivo el proceso de expropiación. Esta situación se observa croquizada en la *Figura n°44* y en el *Plano 1b* (ver en 'Legajo de Planos', página 81).

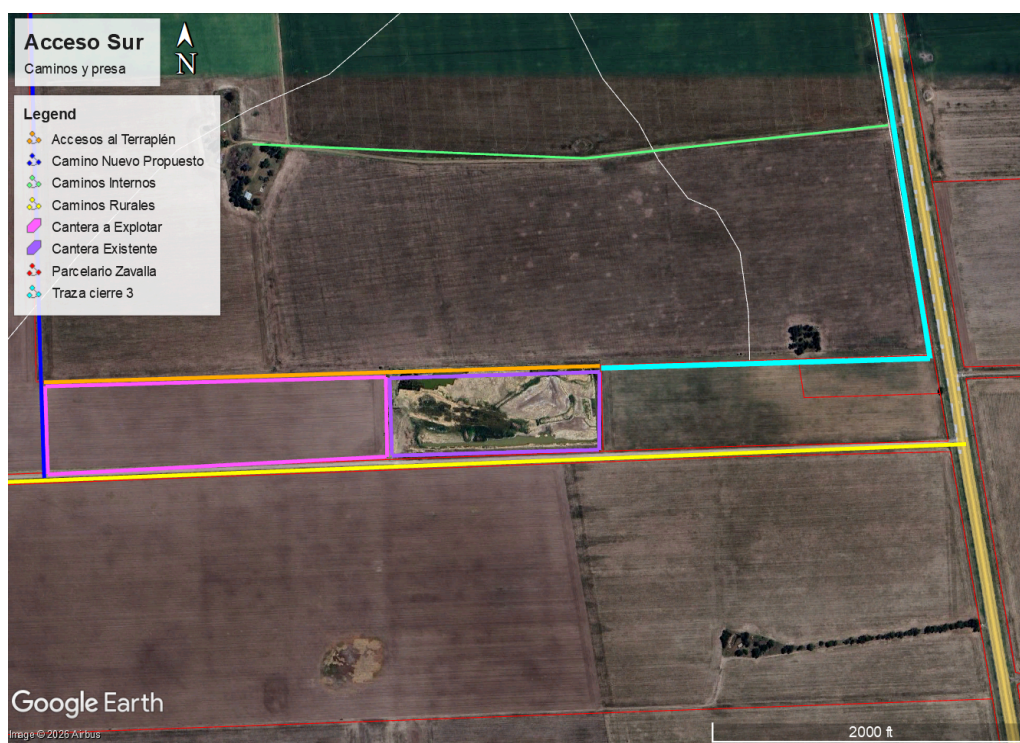


Figura. N°:46. Acceso Sur al terraplén. Fuente: Elaboración propia.

7.5.3 Diseño estructural

Para esta sección, se busca definir un paquete estructural que resista las cargas producidas por el tránsito circulante, tanto en el camino sobre el terraplén a ejecutar como en el camino interno que conectará a los lotes afectados por la presencia de la presa. Se establece una estructura formada por una única capa sobre la que actuarán cargas producidas por vehículos, y se buscará también que transmitan estas cargas hacia el suelo sin superar límites máximos de tensiones y deformaciones. Asimismo, se intenta que la superficie permita la circulación del

tránsito, en condiciones de seguridad y comodidad, bajo cualquier condición climática en un tiempo prolongado.

Debido al bajo tránsito de vehículos que circularán por la zona (tanto del terraplén como del nuevo camino), se plantea la ejecución de un camino enripiado. Este tipo de caminos son de mejores condiciones de transitabilidad que los de tierra, pero menos que los de pavimentos asfálticos. Se propone realizar una compactación sobre este estabilizado granular. El objetivo es mejorar la capacidad de carga del mismo, reducir la variabilidad de propiedades mecánicas y minimizar los deterioros en la superficie de los pavimentos. Simplificadamente, este proceso consiste en poner a las partículas de suelo más en contacto unas con las otras, expulsando el aire de los poros

El mismo estará compuesto por agregado grueso, agregado fino y partículas más finas de suelo (limos y arcillas). Las dosificaciones que se buscan son: Entre 40% y 70% de agregado grueso, entre 20% y 50% de agregado fino y entre 10% y 25% de suelos finos. Con estas combinaciones, se asegura que el agregado grueso pueda aportar al conjunto fricción y resistencia al impacto y al desgaste. El agregado fino, aporta trabazón a la estructura y los suelos finos actúan como relleno para impedir el movimiento de las partículas gruesas y suministran poros diminutos que sostienen las delgadas películas de agua que desarrollan una fuerte cohesión.

Se exige también que el límite líquido (*LL*) de la combinación del estabilizado granular esté por debajo del 35%, que el límite del índice plástico (*IP*) esté entre el 5% y el 10% y el valor de soporte relativo (*CBR*) sea mayor o igual al 80%. Debe recordarse que este último parámetro es el que se utiliza para apreciar la resistencia de los materiales no ligados. El mismo se obtiene tras realizar el ensayo establecido en "VN-E6-84 - Determinación del valor soporte e hinchamiento de suelos", extraído de "Normas de Ensayo de Vialidad Nacional", una recopilación de todas las normas que deben utilizarse en este tipo de obras.

De todos modos, antes de realizar este ensayo, se debe determinar la humedad que debe tener el suelo para obtener su densidad adecuada (un exceso de agua hace que las partículas se separen y no se cumplan los objetivos de la densificación).. También, se debe determinar la energía con la que se compactará el suelo. Esto se traduce en seleccionar el equipo adecuado y la presión que debe realizar el mismo sobre el suelo. Los valores de energía de compactación a emplear y de humedad del suelo necesaria para un resultado acorde se consiguen mediante los ensayos establecidos en "VN-E5-93 - Compactación de suelos".

Así, con estas condiciones, se debe ejecutar el ensayo '*Proctor T-180*', que determina la energía de compactación que se debe entregar al estabilizado granular para poder obtener la resistencia mecánica esperada. A su vez, la exigencia de resistencia debe ser alcanzada con una

densidad seca menor o igual al 97% de la densidad seca máxima teórica obtenida a partir de la “VN-E5-93 - Compactación de suelos”.

Se propone que el estabilizado granular esté compuesto por: piedra triturada 10-30 (como agregado grueso), arena silíceo (como agregado fino) y suelo (que sea limo-arcilloso, como el de la zona de emplazamiento de la obra). Las proporciones deberán ajustarse para cumplir con lo solicitado anteriormente. De esta forma, tenemos que el TMN será de 30mm. Así, se propone un espesor de 15 centímetros.

Por último, se deja asentado que no se utilizarán capas de riego.

A continuación, en la *Figura n°47*, se muestra un croquisado del paquete estructural antes mencionado, sobre el camino nuevo a ejecutar. En la *Figura n°48*, se muestra lo mismo pero para el terraplén de la presa.

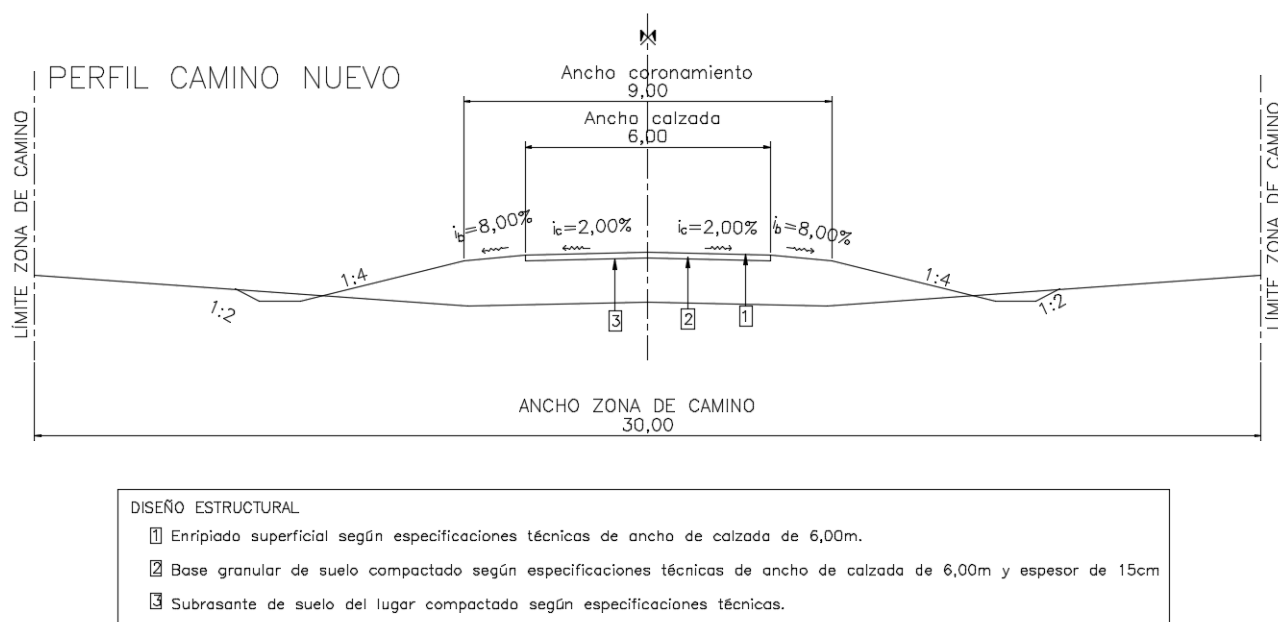


Figura. N°:47. Perfil transversal tipo del camino. Fuente: Elaboración propia.

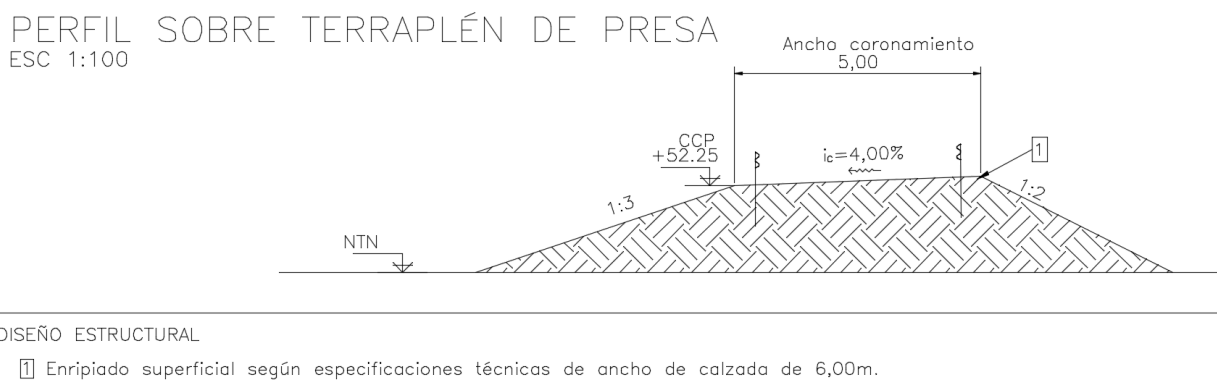


Figura. N°:48. Perfil transversal tipo del terraplén de presa. Fuente: Elaboración propia.

7.5.4 Diseño Geométrico.

Se comienza con el planteo del camino rural a desarrollar. Se desarrolla un perfil transversal tipo, que se ve en la *Figura n°49*. Se puede ver más en detalle en el *Plano 6c* (ver en 'Legajo de Planos', página 81).

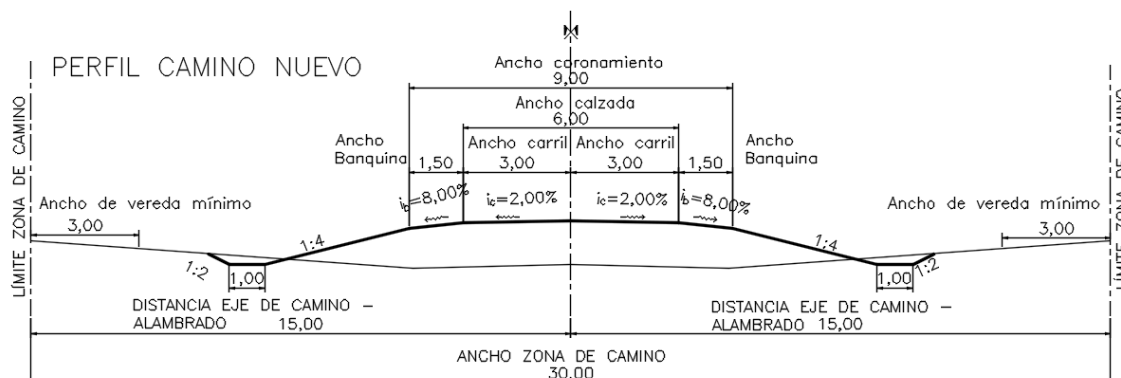


Figura. N°:49. Perfil transversal tipo. Fuente: Elaboración propia.

El mismo se realizó con los lineamientos expuestos en el libro “Manual de Caminos Rurales”, Capítulo 4, de la Comisión de Caminos Rurales, del año 2018, y con los apuntes de la Cátedra de Transporte II, de la FCEIA. En los mismos, se establece que la pendiente transversal de la calzada sea mínimo de 2% para “para facilitar la rápida evacuación del agua”. También, se indica que para banquetinas de césped la pendiente sea del 8%, como se indica en la *Tabla n°17*.

Tabla N°:17. Pendiente de banquetinas.

TIPO DE BANQUINA	PENDIENTE TRANSVERSAL	
	CALZADA SIN CORDÓN	CALZADA CON CORDÓN
TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL	3% - 5%	2%
ESTABILIZADO GRANULAR	4% - 6%	2% - 4%
CÉSPED	8%	3% - 4%

También, se recomienda que los anchos mínimos de cunetas sean de 1 metro, y que los taludes tengan una pendiente 1:4 debido a que “presentan favorables condiciones de seguridad, ya que sobre dicha pendiente puede circular un vehículo en emergencia sin que el conductor pierda el control del mismo, no necesitando barandas de defensa, cualquiera sea la altura del terraplén” y que los contrataludes tengan una pendiente de 1:2.

Por otro lado, los anchos de carriles, banquetinas y zona de camino son los recomendados por la bibliografía y son los que se tienen en la zona actual de emplazamiento, logrando que la solución propuesta sea acorde a lo ya establecido en la zona. El ancho de zona de camino se plantea de 30,00m, con un ancho de coronamiento de 9,00m y un ancho de carril de 6,00m.

Se continua con el análisis del camino sobre el terraplén, siguiendo alineamientos generales. Se realizara el diseño planialtimétrico de los accesos. El vehículo tipo adoptado se ve en la *Figura n°50*. Este camión es el que circula una vez por año sobre el terraplén, encargado de

su mantenimiento. Se adopta una pendiente longitudinal máxima del 4% o menor, en consideración de que la velocidad máxima adoptada de circulación es de 15 km/h.

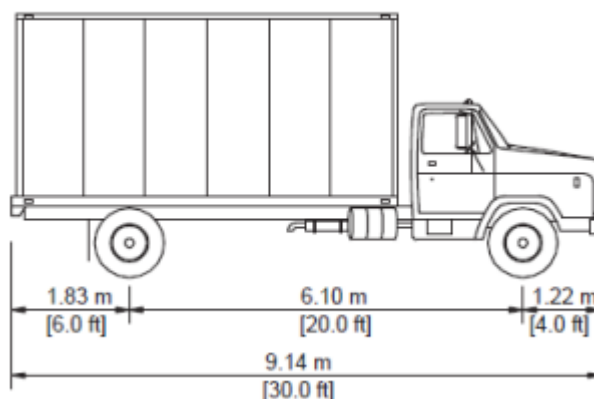


Figura. N°:50. Camión tipo (S1-D1).

El ancho de coronamiento del terraplén es de 5 metros, considerando el tipo de camión de diseño. Se propone un ancho de carril de 4 metros, ya que se dispone de barandas a ambos lados del camino debido a que se tienen pendientes de 1:2 y 1:3 a ambos lados. A su vez, se propone una pendiente transversal del 4% para garantizar el escurrimiento superficial y colaborar con la circulación en curvas.

Se complementa a este dato los valores para radios de curva asociados a este tipo de vehículo que se ven en la *Figura n°51* y los anchos de curvas que se deben adoptar, en la *Tabla n°18*.

Asimismo, se realizan los cálculos para peraltes en curvas horizontales y sus sobreanchos, junto con los cálculos para las curvas verticales en los accesos al terraplén (ver *Anexo n°3*).

Se detalla a modo de resumen las hipótesis adoptadas para el diseño de las curvas.

- Vehículo de diseño: Camión S1-D1. Se realizan los cálculos a partir de la adopción del mismo. Se considera que los trabajos de mantenimiento del terraplén se podrán realizar con el mismo.
- Pendiente longitudinal máxima. Se adopta del 4%, con el cual el camión elegido podrá circular en condiciones de seguridad y confort. Además, se toma una velocidad de circulación de 15km/h.

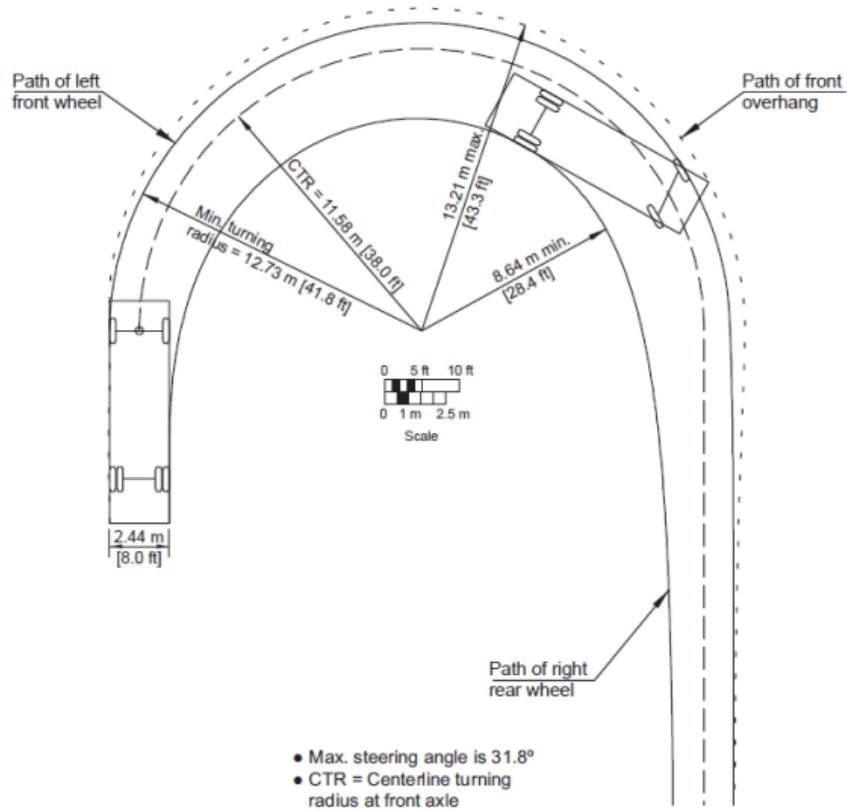


Figura. N°:51. Radios de giro para camión S1-D1. Fuente: Manual de Caminos Rurales, capítulo 4.

Tabla N°:18. Anchos de diseño de carril para curvas. Fuente: Plano Tipo OB-2 de Vialidad Nacional.

RADIO DEL BORDE INTERNO DEL PAVIMENTO	CASO I: 1 CARRIL 1 SENTIDO DE MARCHA S / SOBREPASO DE VEHÍCULO DETENIDO			CASO II: 1 CARRIL 1 SENTIDO DE MARCHA C / SOBREPASO DE VEHÍCULO DETENIDO			CASO III: 2 CARRILES 1 ó 2 SENTIDOS DE MARCHA		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5.50	5.50	7.00	7.00	7.50	8.75	9.50	10.50	12.75
20	4.75	5.25	5.75	6.25	7.00	8.25	8.75	10.00	11.25
30	4.50	4.75	5.50	6.00	6.75	7.50	8.50	9.50	10.50
45	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	7.25	8.25	9.00	10.00
60	4.00	4.75	4.75	5.75	6.25	7.00	8.25	8.75	9.50
90	4.00	4.50	4.75	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	9.00
120	4.00	4.50	4.75	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
150	3.65	4.50	4.50	5.50	6.00	6.75	8.00	8.50	8.75
RECTA	3.65	4.50	4.50	5.25	5.75	6.25	7.50	8.25	8.25
MODIFICACIÓN DEL ANCHO SEGÚN EL TRATAMIENTO LATERAL USADO									
BANQUINA NO ESTABILIZADA	NINGUNA			NINGUNA			NINGUNA		
CORDÓN MONTABLE	NINGUNO			NINGUNO			NINGUNO		
CORDÓN NO MONTABLE * 1 LADO 2 LADOS	AUMENTAR EN 0.25 AUMENTAR EN 0.50			NINGUNA AUMENTAR EN 0.25			AUMENTAR EN 0.25 AUMENTAR EN 0.50		
BANQUINA ESTABILIZADA EN UNO O AMBOS LADOS	NINGUNA			DEDUCIR EL ANCHO DE LA BANQUINA ESTABILIZADA DEL PAV. MÍNIMO. ABSOLUTO = CASO I					

CONDICIÓN A CUANDO EL NÚMERO DE AUTOS ES PREDOMINANTE, PERO SE TIENEN TAMBIÉN EN CUENTA ALGUNOS CAMIONES DE DOS EJES Y OMNIBUS.

CONDICIÓN B CUANDO EL NÚMERO DE CAMIONES DE DOS EJES Y OMNIBUS SON SUFICIENTE COMO PARA GOBERNAR EL DISEÑO (DEL 5 AL 10% DEL TRÁNSITO TOTAL), PERO TAMBIÉN SE TIENEN EN CUENTA ALGUNOS CAMIONES CON ACOPLADOS Y SEMIRREMOLQUES .

CONDICIÓN C CUANDO EL NÚMERO DE CAMIONES CON ACOPLADOS Y SEMIRREMOLQUES ES SUFICIENTE PARA GOBERNAR EL DISEÑO.

- Ancho del carril. Será de 4 metros de ancho, debido a que el terraplén tiene un ancho de coronamiento de 5 metros y, debido a las pendientes de los faldones, se

colocan barandas de seguridad. Las mismas se colocan a 0,50 metros de los extremos del coronamiento.

- Radio de curvas horizontales. El mínimo está estipulado en 13,21m. Sin embargo, se adopta un radio de curva horizontal de 20m.
- Pendiente transversal del carril. Será del 4% para garantizar el escurrimiento del agua hacia el interior del embalse.
- Peralte en curvas horizontales. En el *Anexo n°3* se desarrolla el cálculo para obtenerlos.
- Sobreanchos en curvas horizontales. Se calculan a partir de las características del vehículo de diseño. En el *Anexo n°3* se desarrolla el cálculo para obtener su valor. Se analizó también tomar los sobreanchos indicados en la *Tabla n°18*. No se los utilizó debido a que se ajustaban mejor a las características del proyecto los sobreanchos calculados a partir del camión S1-D1.
- Cálculo de curvas verticales. Se plantean según necesidad. En caso de tener una pendiente relativa ' i_0 ' menor a 0,5%, puede omitirse. Es el caso del acceso sur.

Se comienza el análisis del trazado propuesto con el acceso norte. Se mencionó sobre el mismo que estará planteado en la intersección entre el camino público "Camino de los Vascos" y el propio terraplén. En esta zona, el camino se encuentra sobre la cota +46,00m IGN. Se debe salvar una altura hasta llegar a la cota +50,68m IGN correspondiente al terraplén. Se plantea una rampa con una pendiente del 4% para llegar a ella. Ocurre lo mismo en la continuación del camino, salvo que se parte de la cota +50,48m IGN. Se plantean curvas verticales para garantizar confort y seguridad en la circulación del camino.

En la zona de la intersección, se plantean 4 curvas. El sentido de circulación para ambos caminos es doble. Al buscar que las curvas horizontales se desarrollen en una superficie de pendiente longitudinal 0,00%, queda una zona con esta superficie de 40,00m de largo en ambas direcciones. Así, la zona de giro es lo suficientemente grande como para no calcular sobreanchos sobre la misma, para cualquiera sea el sentido de circulación y el sentido de giro. El peralte sobre las curvas también será nulo, debido a la baja velocidad de circulación.

En la *Figura n°52* se ve la situación descrita en planimetría. En la *Figura n°53* se la muestra en altimetría. En el *Plano n°6A* (ver en 'Legajo de Planos', página 81) se analiza en planialtimetría la situación propuesta.

Para el acceso sur, se plantea una rampa de acceso al terraplén contigua a las cantera a explotar y la cantera existente. Tiene una longitud de 1.085,00m de longitud, y salva una diferencia de cotas de +50,00m IGN (cota del terreno natural) y +52,25m IGN (cota de coronamiento del terraplén). En la *Figura n°54* se ve la situación descrita, en planimetría. En el *Plano n°6B* (ver en 'Legajo de Planos', página 81) se analiza en planialtimetría la situación propuesta.

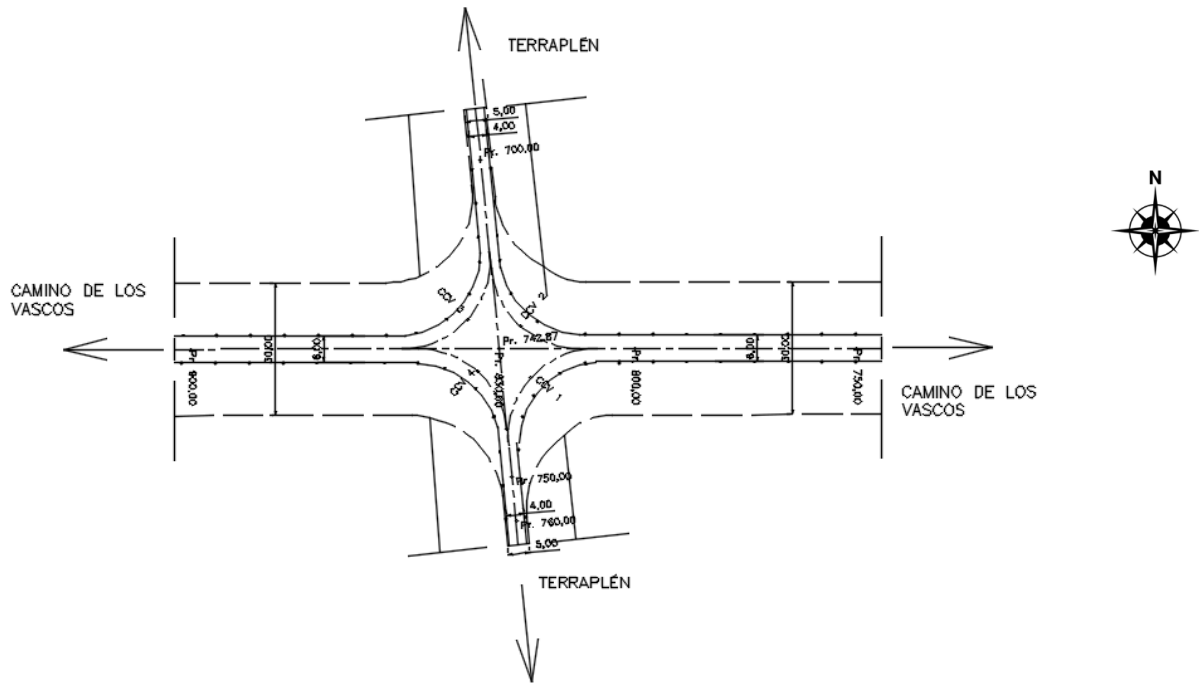


Figura. N°:52. Acceso norte. Planimetría. Fuente: Elaboración propia.

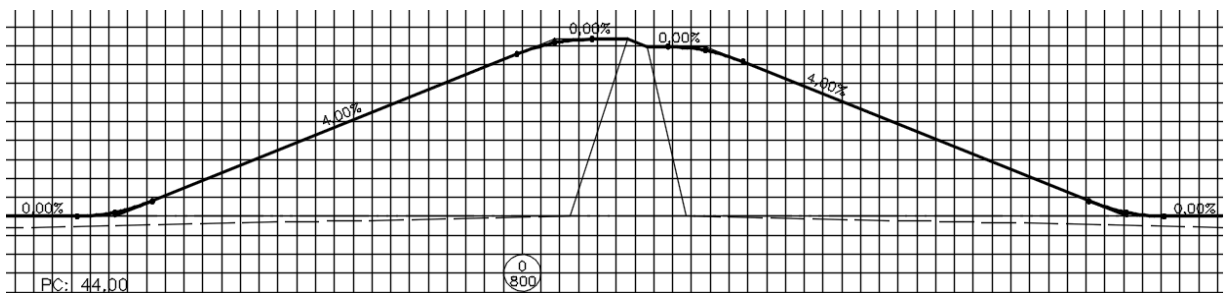


Figura. N°:53. Acceso norte. Altimetría. Fuente: Elaboración propia.

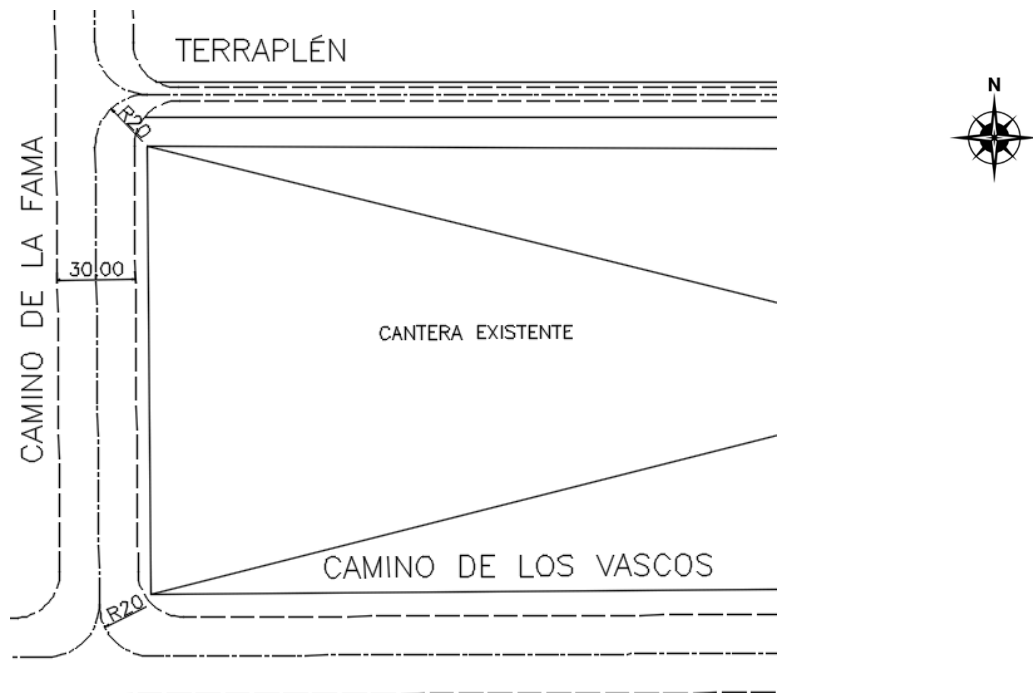


Figura. N°:54. Acceso sur. Planimetría. Fuente: Elaboración propia.

Se muestra también un detalle en la *Figura n°55* del perfil transversal sobre el terraplén. Se respetan todos los lineamientos antes descritos.

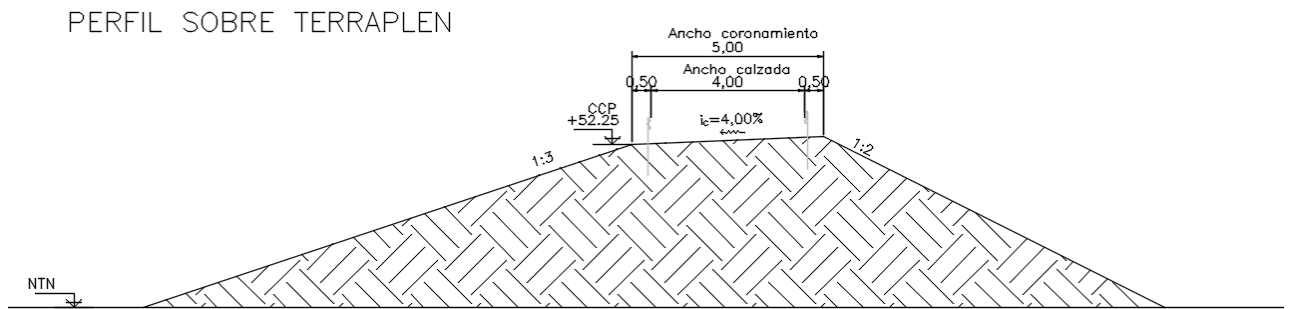


Fig. N°:55. Perfil transversal sobre el terraplén. Fuente: Elaboración propia.

Se plantea la resolución de los 2 quiebres que presenta el terraplén. En estas zonas, se plantean 2 curvas con las características ya descritas: se plantean con radios de 20 metros, sin peralte (además de no necesitar, la propia pendiente transversal del camino ayuda a su estabilidad) y con sobreanchos. Los detalles se encuentran en el *Plano 6E* y en el *Plano 6F* (ver en 'Legajo de Planos', página 81). A continuación, en la *Figura n°56* y en la *Figura n°57* vemos las situaciones antes descritas croquizadas.

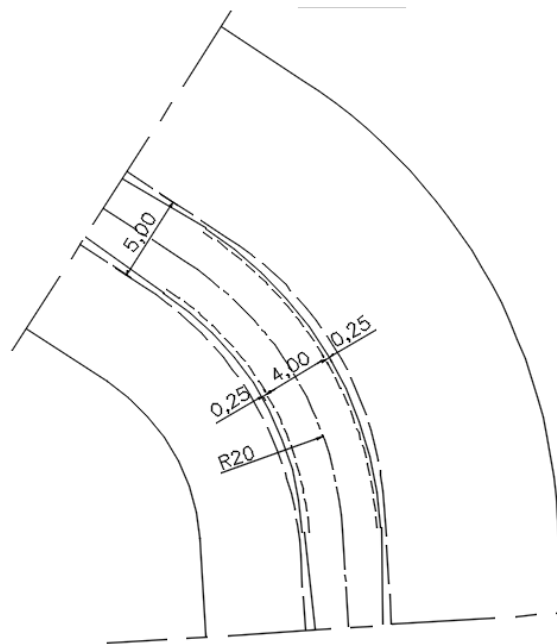


Figura. N°:56. Quiebre 1. Fuente: Elaboración propia.

Se plantea también la resolución de la circulación del vehículo S1-D1 en la zona del cierre de la presa de hormigón. Allí, el camión de mantenimiento debería poder realizar un giro en 'U' para volver a tomar el acceso por el que se entró. Así, en la *Figura n°58*, se muestra un croquis de la resolución del sector. Se tomó como criterio los radios de giro mínimo que necesita este camión, que se ven en la *Figura n°51*.

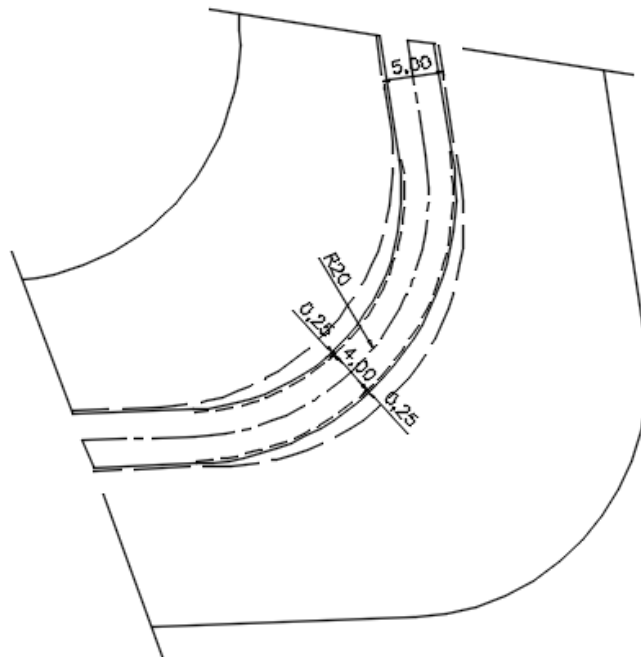


Figura. N°:57. Quiebre 2. Altimetría. Fuente: Elaboración propia.

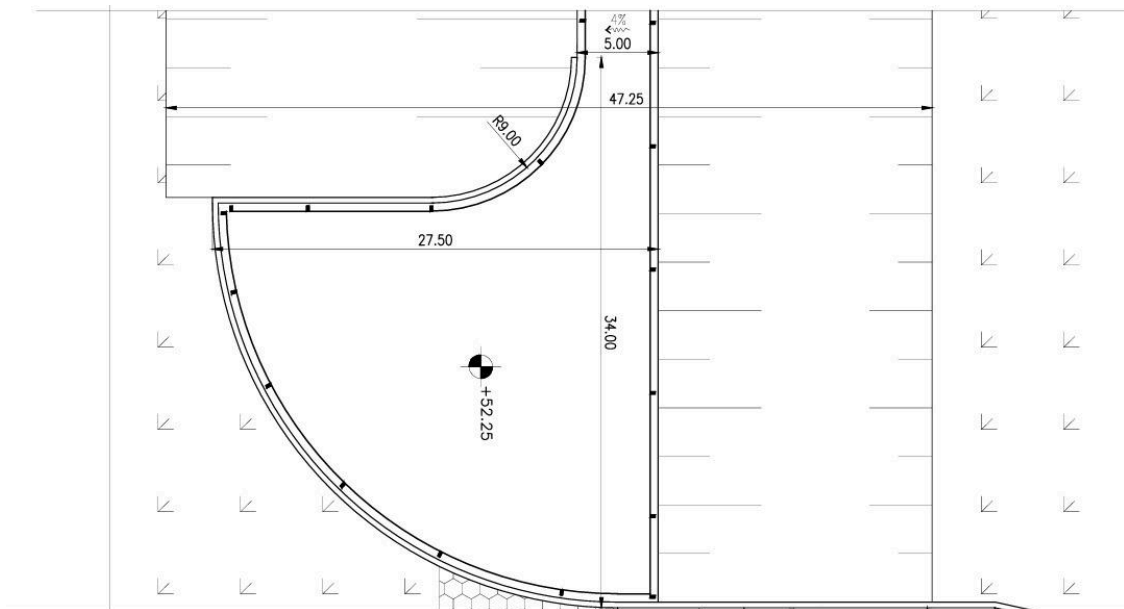


Figura. N°:58. Zona cierre de presa de hormigón. Fuente: Elaboración propia.

En última instancia, se hace un planteo sobre el desagüe que tendrá el camino nuevo, “Camino de la Fama”. Se esquematiza la situación en el *Plano n°6G* (ver en ‘Legajo de Planos’, página 81). A partir de las curvas de nivel, se plantean 2 situaciones: que el camino tenga cunetas en ambos lados de la zona de camino o en uno solo. En la *Figura n°59* se ve un croquis del sistema.

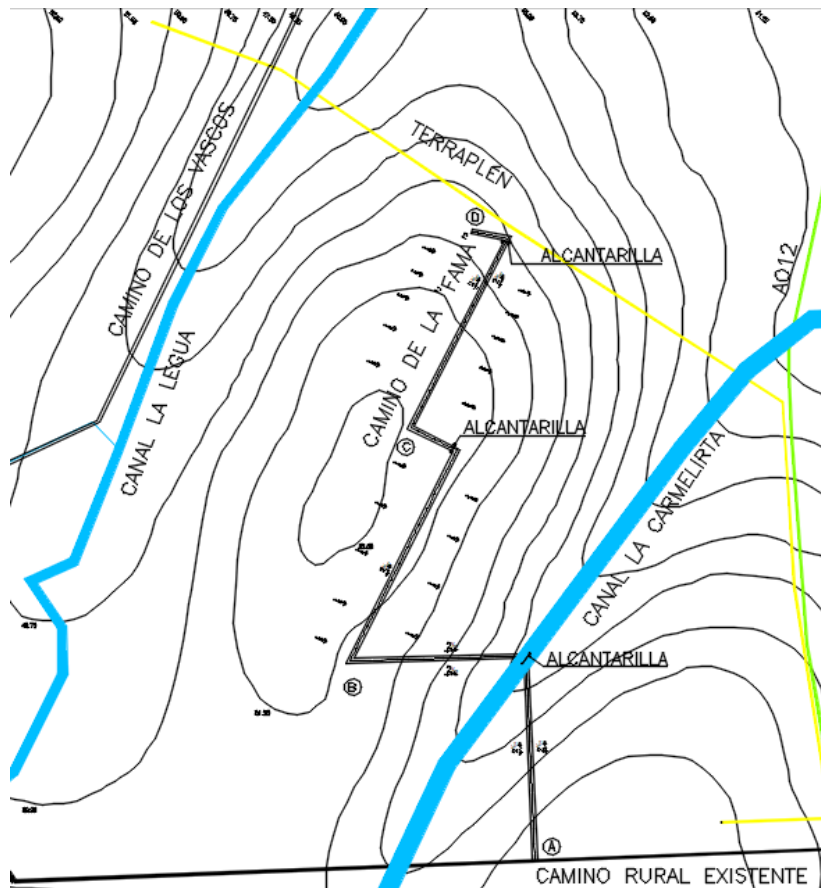


Figura. N°:59. Desagüe del nuevo camino. Fuente: Elaboración propia.
 Los 2 modelos de cunetas a ejecutar son los que se ven en la *Figura n°60*.

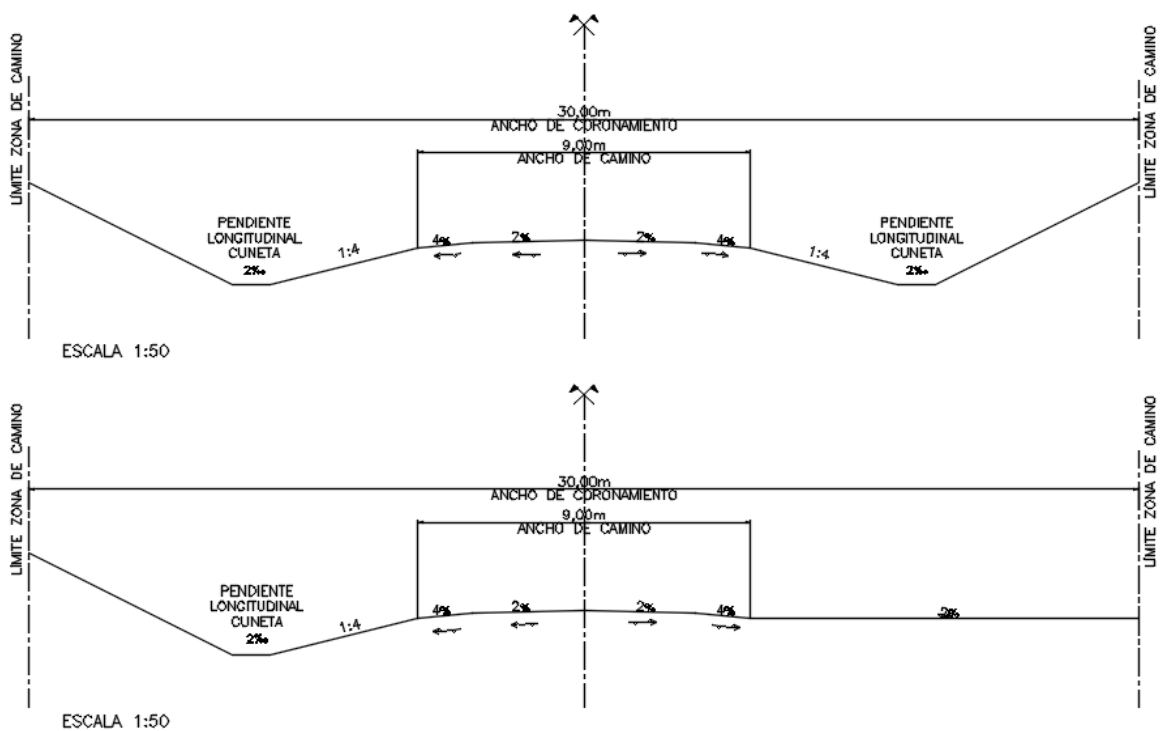


Figura. N°:60. Perfiles de desagüe del nuevo camino. Fuente: Elaboración propia.

7.5.5 Señalización y seguridad.

Se muestran en la *Tabla n°19* las señales de tránsito colocadas en los comienzos de los accesos para brindar información a las personas que vayan a hacer mantenimiento. Se ven en el *Plano n°6A* y el *Plano n°6B* (ver en 'Legajo de Planos', página 81). Se realiza en base al "Manual de Señalamiento Vertical" de la Dirección Nacional de Vialidad, del año 2018.

Tabla N°19. Señalización. Fuente: "Manual de Señalamiento Vertical". Dirección Nacional de Vialidad. Año 2018.

Nombre	Señal	Texto	Tamaño	Significado
Limitación de ancho		2,44m	Φ0,75m	Ningún vehículo que sobrepase la dimensión indicada en la señal podrá circular por la zona vedada
Limitación de velocidad máxima		15	Φ0,75m	Es el máximo de velocidad a la que puede circular en el tramo señalizado
No circular moto			Φ0,75m	La figura que resulta destacada, simboliza la prohibición de circular por la vía sobre la que está colocada

7.6 Identificación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) vinculados a este proyecto

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un acuerdo universal a la acción adoptado por las Naciones Unidas en 2015 con el fin de poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el año 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Estos 17 objetivos están integrados, reconociendo que la acción en un área afectará los resultados en otras y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. En el marco de este proyecto hidráulico, la identificación de los ODS permite alinear la infraestructura propuesta con las metas globales de resiliencia, gestión del agua y protección de comunidades.

En este sentido, se procede a listar los ODS que guardan una relación tanto directa como indirecta con el proyecto, identificando las metas concretas a las que esta obra de ingeniería contribuye activamente. El orden en que se presentan responde al grado de involucramiento que tengan con el proyecto expuesto.

11. Ciudad y comunidades sostenibles

11.4 Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.

11.5 De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad

11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

11.a Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional

11.b De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

La obra reduce significativamente las pérdidas económicas directas y el riesgo de afectación a personas causados por desastres hídricos. Al controlar los anegamientos en los distritos, se promueve la consolidación de asentamientos humanos seguros, inclusivos y resilientes. Además, se preservan aquellas áreas que se consideran de patrimonio natural.

9. Industria, innovación e infraestructuras

9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.

La presa constituye una infraestructura fiable, sostenible y resiliente, diseñada bajo estándares de seguridad para eventos extraordinarios (recurrencia de 10.000 años). Su ejecución mejora la calidad de la infraestructura regional, apoyando el desarrollo económico y evitando el colapso de las redes viales (como la Ruta Nacional N°A012) y de servicios durante tormentas severas.

13. Acción por el clima

13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países

13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana

Frente al aumento en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones debido al cambio climático, ésta presa representa una medida concreta de adaptación y mitigación. La infraestructura fortalece la capacidad de respuesta de la región ante riesgos climáticos, incorporando escenarios hidrológicos extremos en su diseño para garantizar la seguridad a largo plazo. También, el proyecto busca incentivar a los habitantes a la formación y conocimiento de los riesgos que podrían existir en casos con los que no se cuente con la presa.

10. Reducción de las desigualdades

10.3 Garantizar la igualdad de oportunidades y reducir la desigualdad de resultados, incluso eliminando las leyes, políticas y prácticas discriminatorias y promoviendo legislaciones, políticas y medidas adecuadas a ese respecto.

10.4 Adoptar políticas, especialmente fiscales, salariales y de protección social, y lograr progresivamente una mayor igualdad.

10.5 Mejorar la reglamentación y vigilancia de las instituciones y los mercados financieros mundiales y fortalecer la aplicación de esos reglamentos.

Este proyecto busca garantizar una protección equitativa tanto para las áreas centrales urbanizadas como para las zonas periféricas y rurales. Al reducir la disparidad en la seguridad hídrica entre diferentes sectores de la cuenca, se promueve una mayor igualdad de oportunidades y se protegen los medios de vida de los habitantes independientemente de su ubicación geográfica.

Además, se busca fomentar en la zona un correcto uso del suelo tratando de evitar construcciones innecesarias e inseguras para con los demás habitantes del lugar. A propósito de esto, se hace mención al comienzo del informe de la existencia de una empresa asentada sobre el curso natural del canal “La Carmelita”, haciendo caso omiso a lo que se plantea en este apartado. Esta situación merece la atención del ejecutor del Proyecto en el sentido de que va contra la naturaleza de la existencia de la presa de contención de crecidas.

15.Vida de ecosistemas terrestres

15.3 Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.

La regulación de la velocidad del escurrimiento superficial en la cuenca alta ayuda a prevenir la erosión hídrica del suelo, combatiendo la degradación de las tierras fértiles. Al controlar la fuerza de las crecidas, se preserva la integridad de los cauces naturales y se minimiza el impacto sobre los ecosistemas terrestres circundantes.

3. Salud y bienestar

3.3 Para 2030, poner fin a las epidemias del SIDA, la tuberculosis, la malaria y las enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles.

3.d Reforzar la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, en materia de alerta temprana, reducción de riesgos y gestión de los riesgos para la salud nacional y mundial

El estancamiento de aguas pluviales derivado de un drenaje deficiente favorece la proliferación de vectores transmisores de enfermedades (como el dengue o la leptospirosis). Al garantizar la correcta evacuación de los excedentes hídricos y reducir el tiempo de permanencia del agua en zonas habitadas, la obra contribuye directamente a la prevención de enfermedades transmisibles.

Analizando lo expuesto en el ítem ‘3.d’, se expone que se puede complementar la obra de contención de crecidas concientizando al público en general de su existencia y que llegará a su propósito final sólo con el apoyo del cuerpo ciudadano.

8.Trabajo decente y crecimiento económico

8.3 Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros.

Al proteger las áreas rurales productivas (agrícolas) y las zonas industriales y comerciales de la zona, el proyecto salvaguarda la continuidad de las actividades económicas frente a eventos climáticos. Además, la construcción y mantenimiento de la infraestructura promueve la inversión pública y la creación de puestos de trabajo directos e indirectos.

6.Agua y Saneamiento

6.5 De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

La presa permite regular los caudales de la cuenca alta del Arroyo Ludueña, controlando la escorrentía superficial y mejorando la gestión hidrológica a nivel de cuenca. Esto asegura que el recurso hídrico se maneje de manera eficiente, evitando desbordes que comprometan los sistemas de saneamiento y abastecimiento aguas abajo.

1.Fin de la pobreza

1.3 Poner en práctica a nivel nacional sistemas y medidas apropiadas de protección social para todos y, para 2030, lograr una amplia cobertura de los pobres y los más vulnerables.

1.5 Para 2030, fomentar la resiliencia de los pobres y las personas que se encuentran en situaciones vulnerables y reducir su exposición y vulnerabilidad a los fenómenos extremos relacionados con el clima y a otros desastres económicos, sociales y ambientales.

La implementación de la Presa de Retención de Crecidas La Legua actúa como una medida de protección social. Los eventos de inundación afectan desproporcionadamente a los sectores más vulnerables de la población, quienes poseen menor capacidad de recuperación económica ante la pérdida de bienes materiales. Al mitigar el riesgo de anegamientos severos mediante la regulación de crecidas, el proyecto fomenta la resiliencia de las comunidades vulnerables frente a fenómenos extremos relacionados con el clima, reduciendo su exposición a desastres económicos y ambientales.

8. Conclusiones.

Se plantea el desarrollo de una presa de retención, de crecidas al suroeste de la Ruta Nacional N°A012, siendo que el avance urbanístico hacia el oeste de la cuenca trajo aparejado un

aumento de la impermeabilización y de la escorrentía superficial en sectores poblados como Roldán y Funes. Así, se evidenció la incapacidad de evacuar excedentes, generando trasvases y anegamientos.

El proyecto hidráulico desarrollado permitió definir una solución segura y operativa para el control de crecidas mediante la construcción de una presa de retención con 2 obras de descarga y un dissipador de platea horizontal. Se trabajó con dos escenarios hidrológicos de diseño (R=100 y R=10.000 años), lo que permitió evaluar el comportamiento del embalse en condiciones ordinarias y extraordinarias. El escenario extremo (R=10.000) resultó ser el que gobierna las cotas máximas del embalse y, por lo tanto, la altura final de la presa.

Los caudales de salida obtenidos en las simulaciones fueron compatibles con la capacidad hidráulica de los canales La Legua y La Carmelita y con las alcantarillas AT 020 y AT 021 de la Ruta Nacional N°A012, que constituyeron la principal restricción aguas abajo. Durante el proceso iterativo se ajustaron las dimensiones de los orificios de descarga para asegurar que los caudales laminados no excedieran las capacidades de conducción de dichos canales y que las cotas máximas se mantuvieran dentro de los límites admisibles.

Finalmente, se resolvieron adecuadamente las interferencias con los gasoductos de TGN, mediante la incorporación de losas de protección con dientes de anclaje y transiciones con material flexible, asegurando su integridad.

En conjunto, la solución propuesta cumple con los objetivos hidráulicos de laminación, control de caudales y seguridad de operación aguas abajo para R100 años, proporcionando un diseño que reduce significativamente el riesgo de anegamientos en eventos de recurrencia alta y extraordinaria.

Desde el punto de geotécnico, se estudió y se demostró que se alcanzan condiciones de funcionamiento eficaces, en tanto a que la velocidad del agua que filtra por el terraplén y por la estabilidad propia. Se realizó el modelo del mismo en software especializado que combina ambas situaciones para dar un único resultado. De esta forma, vemos que la propuesta inicial de la conformación geométrica del mismo y de las características del suelo (para formación de núcleo y faldones del terraplén) resultan apropiadas para el caso en estudio.

Por último, se hace un análisis de diseño geométrico y estructural de los caminos de acceso al terraplén para mantenimiento y de acceso a los lotes afectados por el emplazamiento del mismo. Se analizaron alternativas de trazado, buscando siempre el ahorro económico en tanto al movimiento de suelos y de expropiación de terrenos. Luego, se realizó un diseño geométrico que responda adecuadamente ante las inclemencias del tránsito y del clima. Por último, se esquematizó un paquete estructural que acompañe al diseño antes realizado, para lograr una solución en conjunto que responda a las demandas de seguridad y confort que piden los usuarios.

La forma de lograrlo fue planteando condiciones de proyecto a las cuales llegar en cuanto a la composición de la mezcla de materiales y sus características, suponiendo escenarios de tránsito y acciones climáticas.

El proyecto actual busca una mejora a estos problemas a partir de obras de regulación y almacenamiento en el sector de la cuenca alta. Tras los análisis efectuados, tanto en el ámbito hidráulico-hidrológico, como en el geotécnico y en el vial, se concluye que es una situación factible y viable en todo su entorno. Responderá ante eventos extraordinarios con seguridad técnica y sin mayores intervenciones en el ambiente, garantizando la seguridad de la población aguas abajo de la misma.

En el proceso de realización de este proyecto, queda en evidencia que el mismo puede ser tanto profundizado como ampliado. Quedan por resolver aristas estructurales, como el diseño y cálculo estructural de la presa de hormigón que atraviesa el canal La Legua. Otro aspecto a analizar son los cómputos y presupuestos de la totalidad de la obra, para tener una dimensión real en términos de materiales y económicos de la totalidad del proyecto. Por último, se podría entrar más en detalle en los procesos constructivos de las obras a elevar. Alentamos a aquellas personas que se interioricen en este trabajo a analizar estos aspectos.

A nivel grupal y personal de cada integrante del grupo, realizar este proyecto final de carrera ha sido mucho más que un requisito académico; ha significado para nosotros el verdadero paso de estudiantes a ingenieros. A lo largo de este trabajo, nos enfrentamos al desafío de transformar teorías y cálculos en soluciones reales que impactan directamente en la seguridad y la vida de las personas.

Esta experiencia nos dejó varios aprendizajes:

- **La responsabilidad:** Diseñar la presa La Legua no fue solo mover tierra en un software. Entendimos la responsabilidad que conlleva proteger a comunidades enteras de inundaciones. Cada cálculo y verificación se sintió como un compromiso ético con la seguridad de las personas
- **La realidad:** Nos encontramos con problemas que no siempre aparecen en los libros, como tener que rediseñar la traza por la interferencia de los gasoductos de TGN o resolver el acceso a lotes que quedaban aislados. Aprender a sortear estos obstáculos reales con soluciones de ingeniería fue una de las lecciones más valiosas de este proceso.
- **Trabajo en equipo:** Coordinar tantas disciplinas —desde la hidrología y la geotecnia hasta el diseño vial y el impacto ambiental— nos obligó a confiar en el criterio del otro, a debatir y a discutir hasta encontrar la mejor solución. Hubo momentos de incertidumbre en cada paso que realizamos, en cada cálculo y verificación hechas, donde todas las ramas de la ingeniería civil se superponían, pero superar esos obstáculos nos otorgó la confianza técnica que creemos que necesitábamos para saltar a nuestra etapa de profesionales.

En conclusión, este proyecto nos permitió ver la ingeniería civil en su totalidad: no solo como una ciencia exacta, sino como una herramienta social. Nos llevamos la satisfacción de haber propuesto una obra viable, segura y necesaria, cerrando esta etapa universitaria con la certeza de que estamos preparados para enfrentar los desafíos de la profesión.

9. Bibliografía.

- **Convenio Específico N° 09/13- Provincia de Santa Fe - (Ministerio de Infraestructura y Transporte) y el Instituto Nacional del Agua (INA).** *“Estudio de alternativas de medidas de regulación en las cuencas media y alta de los arroyos Ludueña y San Lorenzo”*
- **Convenio F.C.E.I.A - MASPOMA (2008).** *Rehidrología y modelo de simulación a tiempo real en sistema de alerta hidrológico en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo.*
- **Departamento de hidráulica y CURIHAM (2009).** *Manual de Usuario del software de pronósticos en la cuenca del Arroyo Ludueña.* [Informe técnico].
- **Stenta, H., Rentería, J., & Riccardi, G. (2005).** *Plataforma computacional para gestión de información en la simulación hidrológica-hidráulica del escurrimiento superficial* [Informe técnico].
- **Stenta, H., Zimmermann, E., Riccardi, G., Basile, P., Rentería, J. & Scuderi C. (2010).** *Comparación de la respuesta hidrológica en una cuenca de llanura mediante el uso del modelo HEC-HMS y el modelo de aproximación difusiva VMMHH 1.0* [Informe técnico].
- **Orsolini, H.** *Estudio del control de crecidas del arroyo Ludueña.* [Informe técnico].
Municipalidad de Rosario - Secretaría de obras públicas.
- **Riccardi, G., Postiglione, R., Stenta, H. & Scuderi, C. (2024).** *Obras de descarga para evacuación de crecidas.* [Apunte académico] Cátedra Obras Hidráulicas. Depto. de Hidráulica - FCEIA - UNR.
- **Postiglione, R., Riccardi, G., Stenta, H. & Scuderi, C. (2010).** *Altura de presa y revanchas.* [Apunte académico] Cátedra Obras Hidráulicas. Depto. de Hidráulica - FCEIA - UNR.
- **Cátedra Obras Hidráulicas (2020).** *Disipadores de energía hidráulica* [Apunte académico] Depto. de Hidráulica - FCEIA - UNR.
- **Riccardi, G., Stenta, H., Scuderi C. & Pairetti, L. (2022).** *Erosión hídrica.* [Apunte académico] Cátedra Obras Hidráulicas. Depto. de Hidráulica - FCEIA - UNR.

- **Orsolini, H., Zimmermann, E. & Basile, P. (2017).** *Hidrología: procesos y métodos.* [Libro] UNR Editora.
- **Burt, Look (2007).** *Handbook of geotechnical investigation and design tables.* [Libro] Taylor & Francis.
- **The Bentley Subsurface Company (2025).** *Heat and Mass Transfer Modeling.* [Manual de uso de software]. Seequent Limited.
- **The Bentley Subsurface Company (2022).** *Stability Modeling with GeoStudio.* [Manual de uso de software]. Seequent Limited.
- **Roy Withlow (1999).** *Fundamentos de la Mecánica de Suelos.* [Libro]. Compañía Editorial Continental.
- **Ing. Augusto José Leoni (2015).** *Parametrización de suelos.* [Apunte académico]. Universidad Nacional de La Plata.
- **Mg. Ing. Silvia Angelone, Ing. María Teresa Garibay, Marina Cauhapé Casaux (2006).** *Permeabilidad de suelos.* [Apunte académico]. Cátedra Geología y Geotécnia. Depto. de Construcciones Civiles - FCEIA - UNR.
- **Mg. Ing. Nicolás Bolcatto (2025).** *Unidad 1: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. 1.4. Modelización del perfil geomecánico.* [Presentación Académica]. Cátedra Ingeniería Geotécnica. Depto. de Construcciones Civiles - FCEIA - UNR.
- **Robin Fell, Patrick MacGregor, David Stapledon, Graeme Bell. (2025)** *Geotechnical Engineering of Dams, 2nd edition.* Taylor & Francis Group, Londres, UK.
- **Comisión de Caminos Rurales. (Abril de 2018)** *Manual de Caminos Rurales.* Iltia Grupo Creativo.
- **Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRuS) (2022)** *Caminos Rurales: De la Degradación a la Sustentabilidad.* Nuestro Gorila Invisible.
- **Vialidad Nacional (2018)** *Manual de Señalamiento Vertical.* Dirección Nacional de Vialidad.
- **Dra. Ing. Marta Pagola, Ing. Pablo Martínez, Dr. Ing. Juan Pablo Raffaelli, Mg. Ing. Nicolás Bolcatto (2012-2021).** *Material de Apoyo* [Apunte académico]. Cátedra Transporte III. Depto. de Transporte - FCEIA - UNR.
- **Ing. Ma. Alejandra Ferreyra (2018).** *Intersecciones a nivel* [Apunte académico]. Depto. de Transporte - FCEIA - UNR.

- **Ing. Liliana M. Zeoli, Ing. M. Alejandra Ferreyra, Ing. Sabina Fanelli (2022)** *Elementos de la Sección Transversal*. Cátedra Transporte II. Depto. de Transporte - FCEIA - UNR.
- **Vialidad Nacional (2010)** *Capítulo 5: Intersecciones*. Dirección Nacional de Vialidad.
- **Vialidad Nacional (2010)** *Capítulo 6: Distribuidores*. Dirección Nacional de Vialidad.
- **Nicholas J. Garber y Lester Hoel (2018)** *Ingeniería de tránsito y de carreteras*. CENGAGE Learning, tercera edición.
- **Ente Nacional Regulador del Gas ENARGAS (1993)**. *Normas Argentinas mínimas de seguridad para el transporte y distribución de gas natural y otros gases por cañerías N.A.G.-100*. [Normativa Nacional].
- **Ley N° 13.246 de la Provincia de Santa Fe (2012)**. *Recursos Hídricos. Cuenca de Aporte del sistema del Arroyo Ludueña*.
https://www.ecofield.net/Legales/SantaFe/ley13246_SFE.htm
- **Ley N° 13.740 de la Provincia de Santa Fe (2017)**. *Ley de agua de la Provincia de Santa Fe*.
<https://www.ina.gov.ar/index.php?seccion=44&proyectos=93>
- **Ley N° 11.730 de la Provincia de Santa Fe (2000)**. *Régimen de uso de bienes situados en las áreas inundables dentro de la jurisdicción provincial*.
<https://www.santafe.gob.ar/normativa/getFile.php?id=223258&item=108196&cod=5426608df2b14b7a7c9bd4838a10f6ba>

10. Legajo de Planos.

- 1a. Ubicación
- 1b. Diseño Vial - Ubicación.
- 2. Canal La Legua - Ubicación.
 - 2a. Canal La Legua - Planta.
 - 2b. Canal La Legua - Perfiles.
 - 2c. Canal La Legua - Gasoducto.
 - 2d. Canal La Legua - Corte A-A y Corte B-B.
 - 2e. Canal La Legua - Corte C-C y Corte D-D.

- 2f. Canal La Legua - Corte E-E.
- 3a. Canal La Carmelita.
- 3b. Obra de cierre Canal La Carmelita - Planta.
- 3c. Obra de cierre Canal La Carmelita - Corte A-A.
- 3d. Obra de cierre Canal La Carmelita - Corte B-B.
- 3e. Obra de cierre Canal La Carmelita - Corte C-C.
- 3f. Obra de cierre Canal La Carmelita - Corte D-D.
- 3g. Obra de cierre Canal La Carmelita - Gasoducto.
- 4a. Terraplén - Planialtimetría - 0-1.
- 4b. Terraplén - Planialtimetría - 1-2.
- 4c. Terraplén - Planialtimetría - 2-3.
- 4d. Terraplén - Planialtimetría - 3-4.
- 4e. Terraplén - Planialtimetría - 4-5.
- 4f. Terraplén - Planialtimetría - 5-6.
- 4g. Terraplén - Planialtimetría - 6-7.
- 4h. Terraplén - Planialtimetría - 7-8.
- 5. Secciones transversales del terraplén
- 6a. Diseño Vial - Acceso Norte.
- 6b. Diseño Vial - Acceso Sur.
- 6c. Diseño Vial - Perfil Geométrico tipo.
- 6d. Diseño Vial - Perfil transversal.
- 6e. Diseño Vial - Quiebre 1.
- 6f. Diseño Vial - Quiebre 2.
- 6g. Diseño Vial - Planos de desagüe camino nuevo.

11. Anexos.

- 1. Estudio de suelos.**
- 2. Planos tipo.**
- 3. Cálculos de diseño geométrico vial.**

12. Agradecimientos.

En primer lugar a nuestras familias, quienes en éstos años de aprendizaje fueron el punto de apoyo donde volvíamos cuando necesitábamos impulso para seguir adelante. Son quienes se interesaron en primer lugar por nuestro presente y futuro.

A nuestros profesores, quienes de buena manera siempre dieron un porcentaje más de lo que les corresponde para que podamos encontrar todas las respuestas que necesitamos.

A nuestros amigos, tanto como para los que estaban ya presentes antes de ingresar a la Facultad como aquellos que hicimos en el camino, que supieron entendernos cuando dijimos que no, y que se mantuvieron pacientes para los momentos en que dijimos que sí.

En última instancia, a la Universidad Pública. Ninguno de los estudiantes de este grupo podría hacerse llamar profesional si no fuese por las bondades de este ámbito. Ninguno de los integrantes de este grupo podría sentirse completo como persona si no fuese por quienes pertenecen a este pequeño mundo.

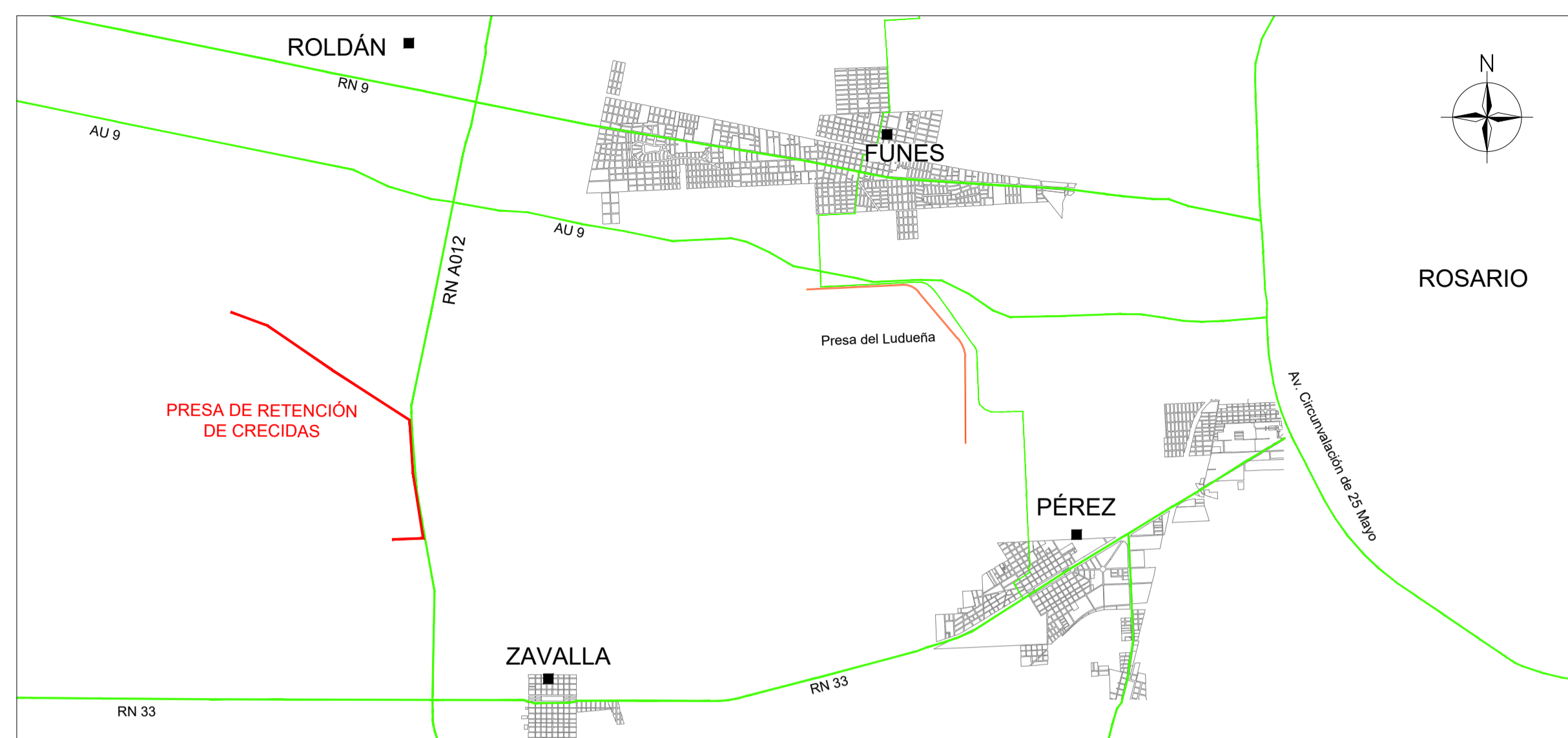
PLANO DE UBICACIÓN DE ÁREA EN ESTUDIO

CROQUIS DE UBICACIÓN PROVINCIA DE SANTA FE



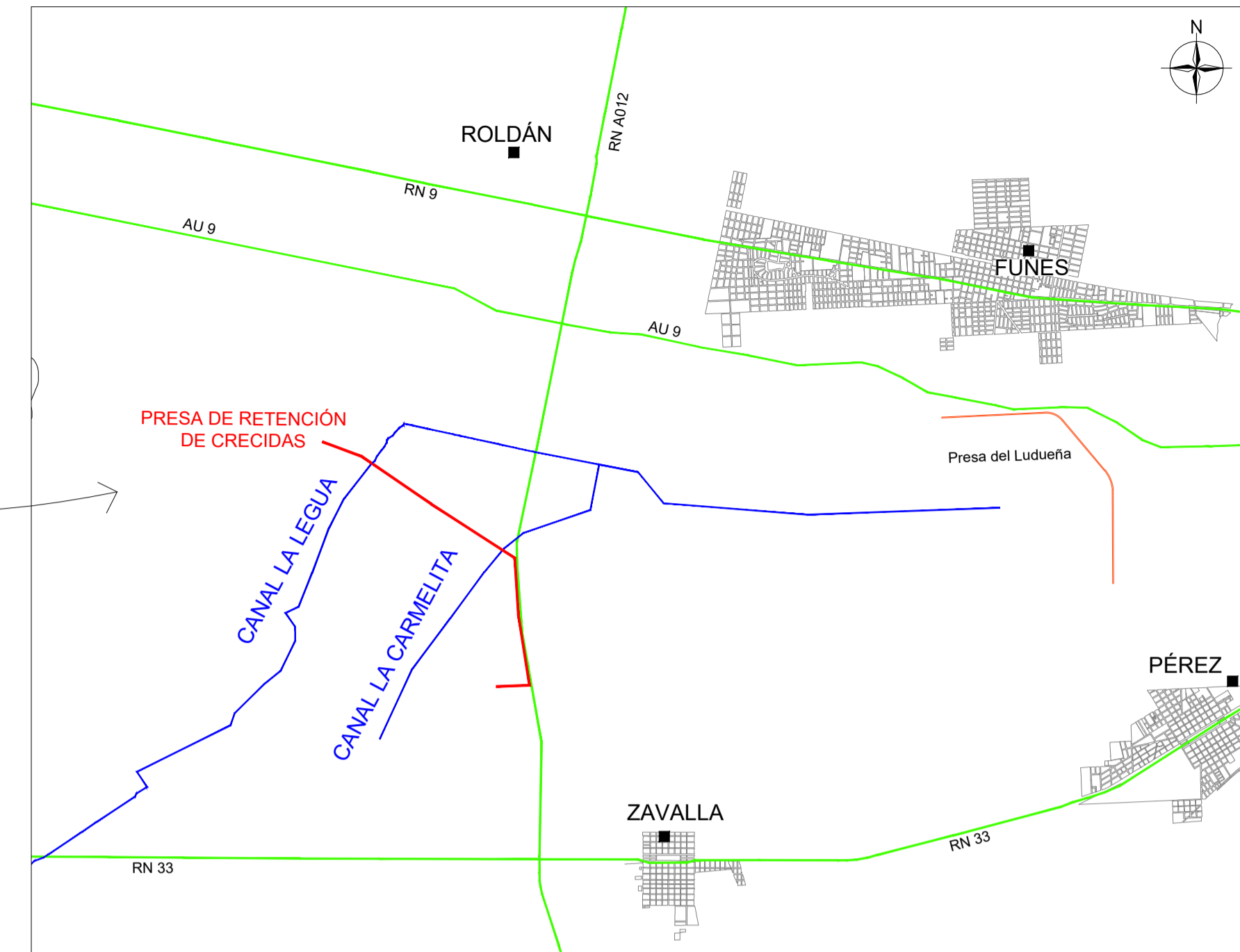
PLANO DE UBICACIÓN ÁREA METROPOLITANA DE ROSARIO

ESCALA 1:100.000



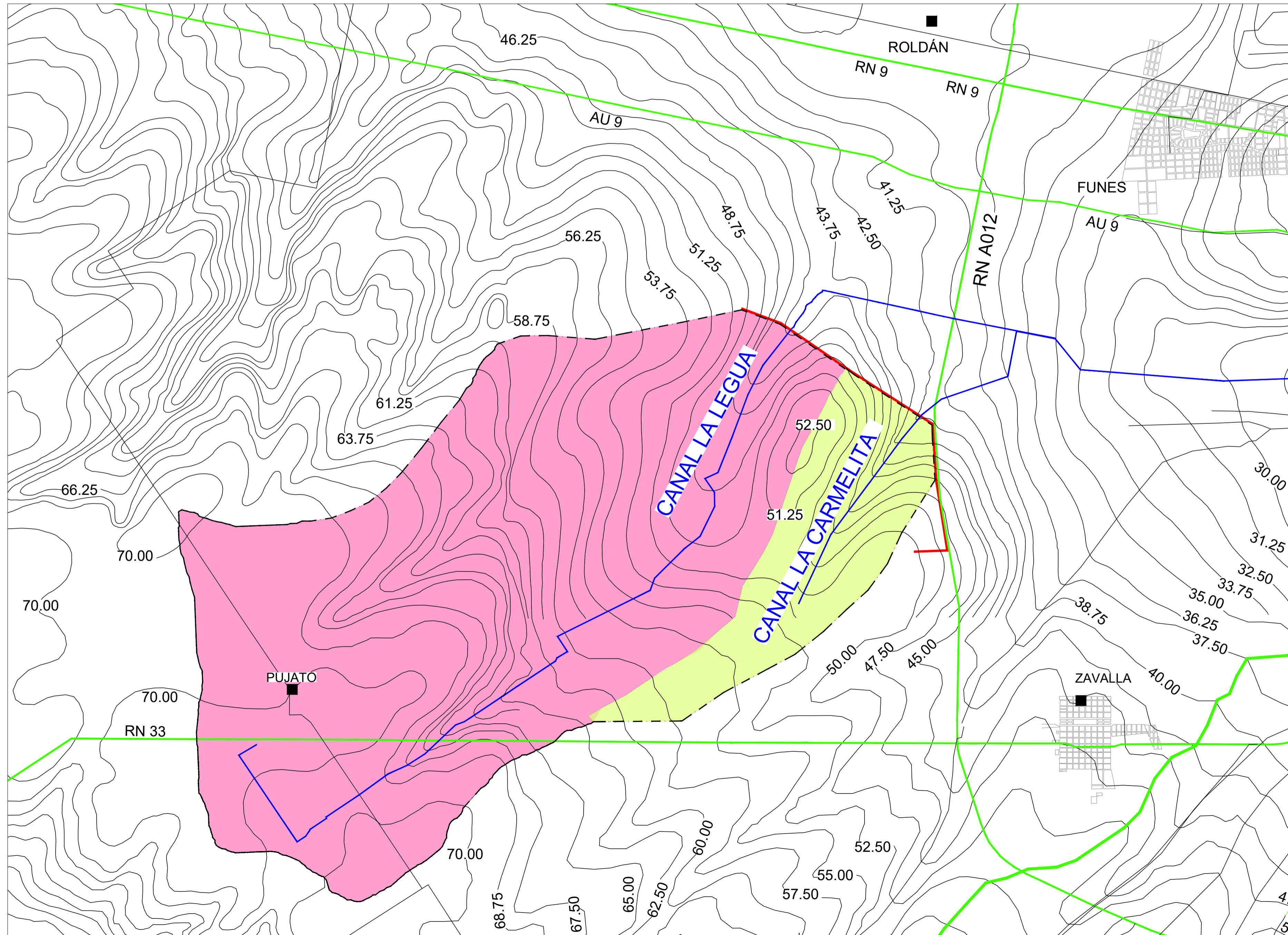
PLANO DE UBICACIÓN - ZONA DE LA PRESA Y ALREDEDORES

ESCALA 1:100.000



PLANO DEL CIERRE PROPUESTO - CURVAS NIVEL Y CUENCAS CORRESPONDIENTES

ESCALA 1:50.000



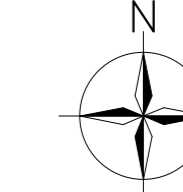
NOTAS

CURVAS DE NIVEL EN METROS REFERIDAS AL IGN

REFERENCIAS

- CURVAS DE NIVEL
- CIERRE DE LA PRESA
- CUENCA TOTAL DEL CIERRE
- CIUDADES
- SUBCUENCA CANAL LA CARMELITA
- SUBCUENCA CANAL LA LEGUA

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°:	PLANO UBICACIÓN		
1A	FECHA 16/04/2026	ESCALA VARIAS	DEVOLUCIÓN 02
			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago



ALCANTARILLA
AT021

Canal Sec. N°7 - "La Legua"

Canal Sec. N°7 - "La Legua"

Perfil Km 3,585
Perfil Km 3,35

Perfil Km 2,35

Perfil km 1,35

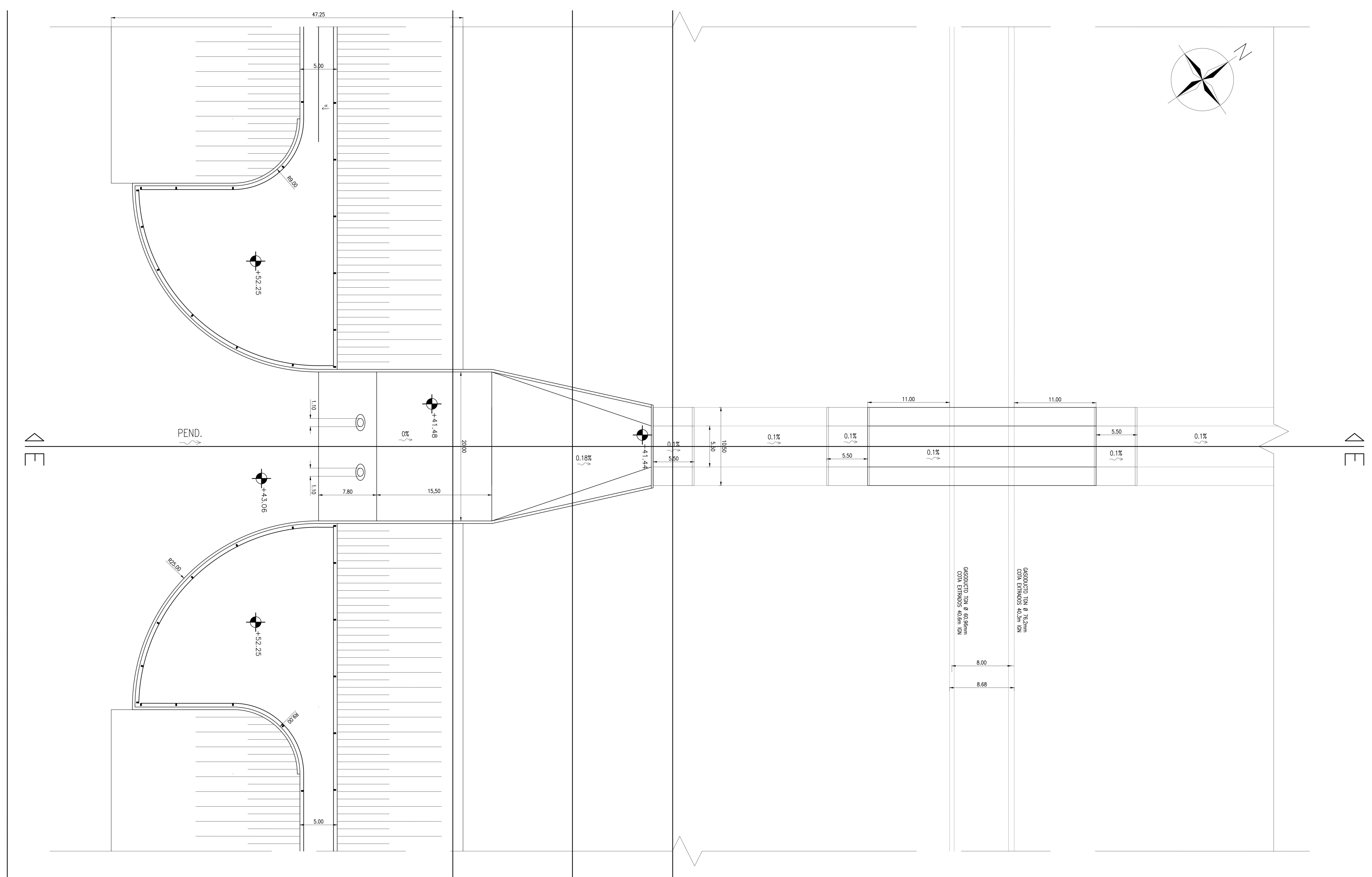
Perfil Km 0,35

Perfil Km 0,00

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PLANTA UBICACIÓN			INTEGRANTES: ACHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
PLANO N°: 2A	FECHA: 16/04/2026	ESCALA: 1:5000	DEVOLUCIÓN: 02

NOTAS:
 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN
 REFERENCIAS:
 TERRAPLEN

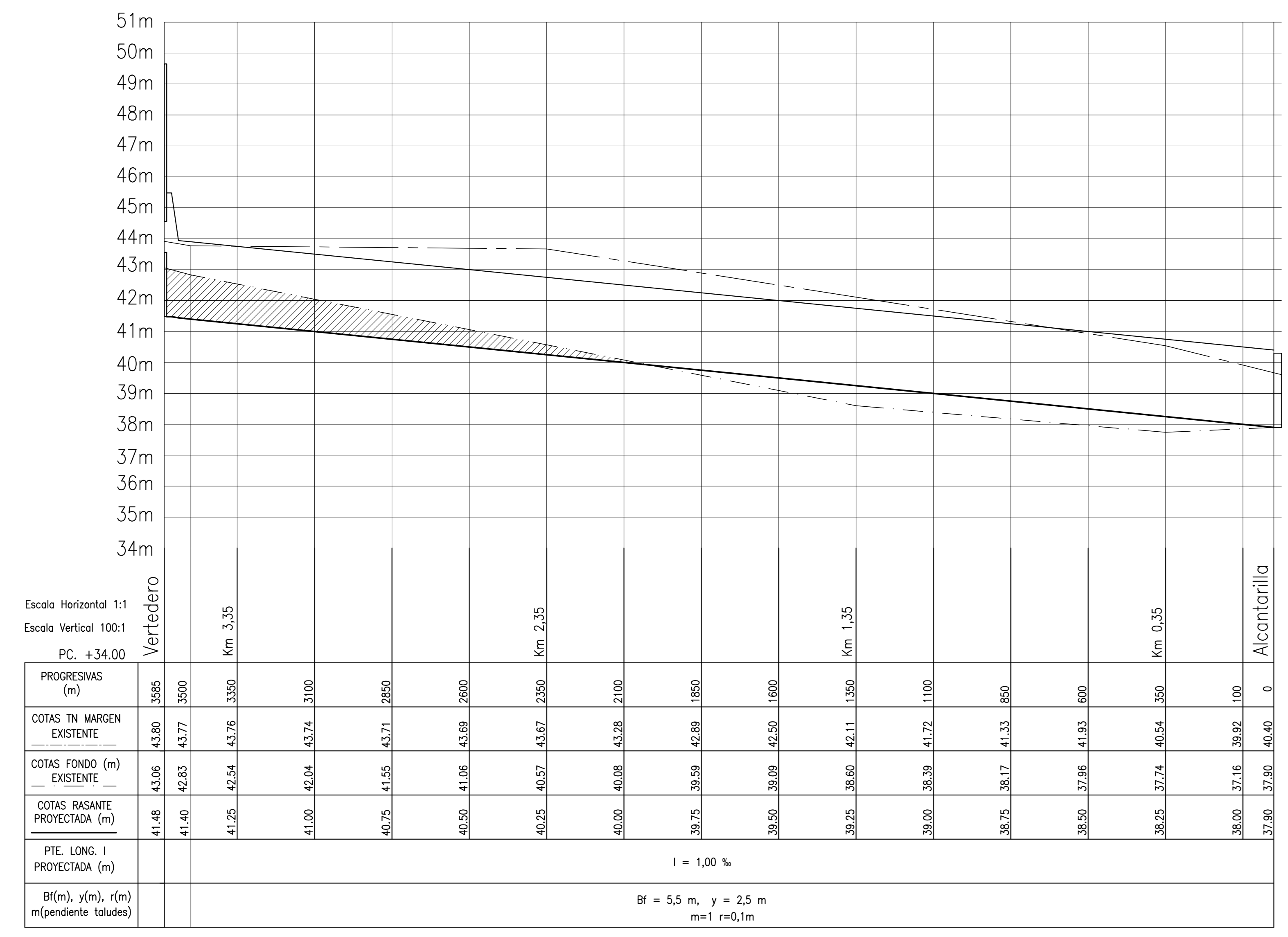
PLANTA OBRA DE DESCARGA CANAL LA LEGUA
 ESCALA 1:200



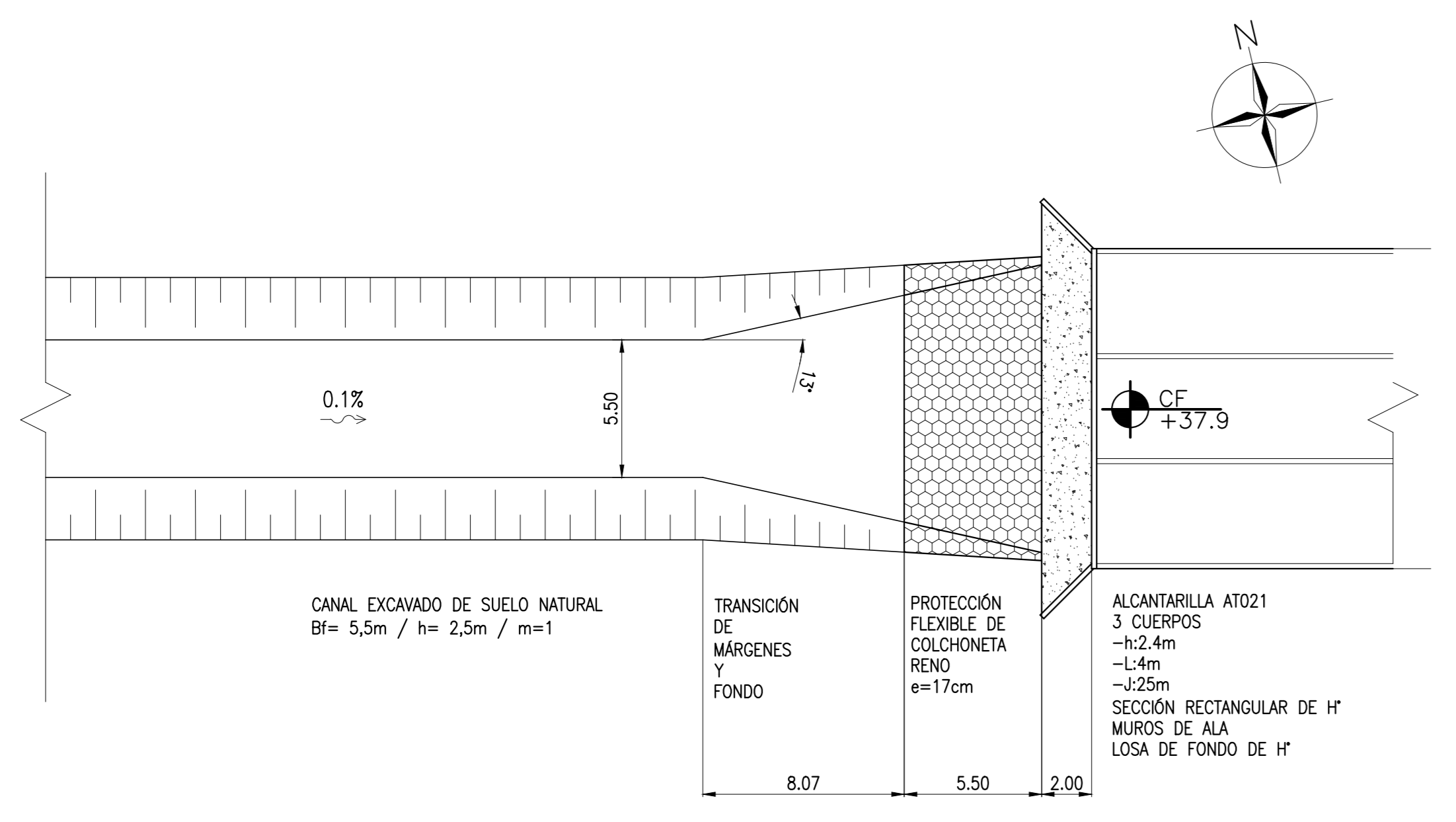
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CANAL LA LEGUA		INTEGRANTES: AICHNO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
PLANO N°: 2B	FECHA 16/04/2026	ESCALA VARIAS	DEVOLUCIÓN 02

- NOTAS:**
 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN
- REFERENCIAS:**
- TERRENO NATURAL
 - COLCHONETA
 - PROYECCION RIGIDA
 - TERRAJLEN
 - MARGEN EXISTENTE
 - FONDO EXISTENTE
 - RASANTE PROYECTADA
 - REVANCHA
 - TIRANTE UNIFORME

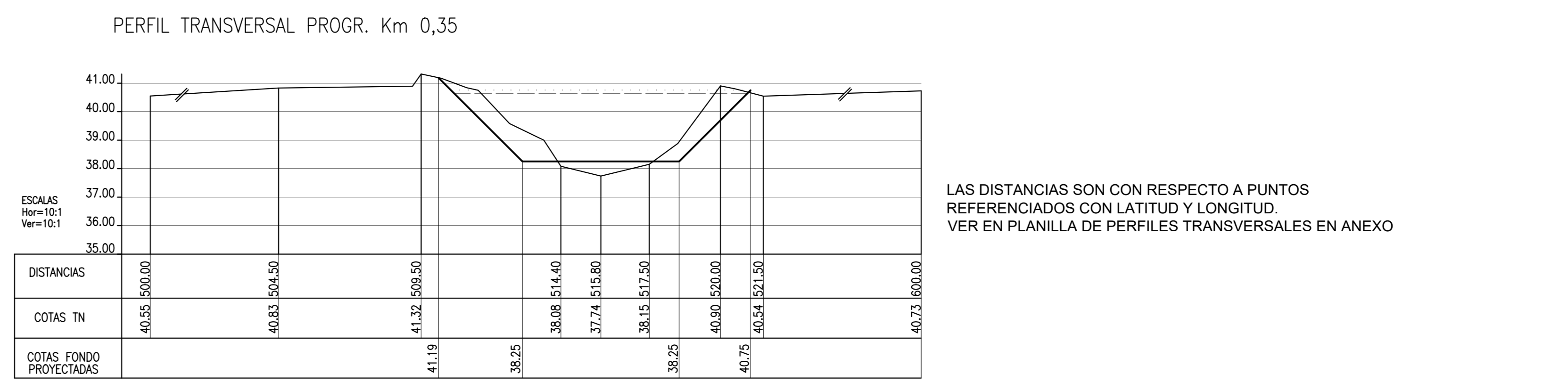
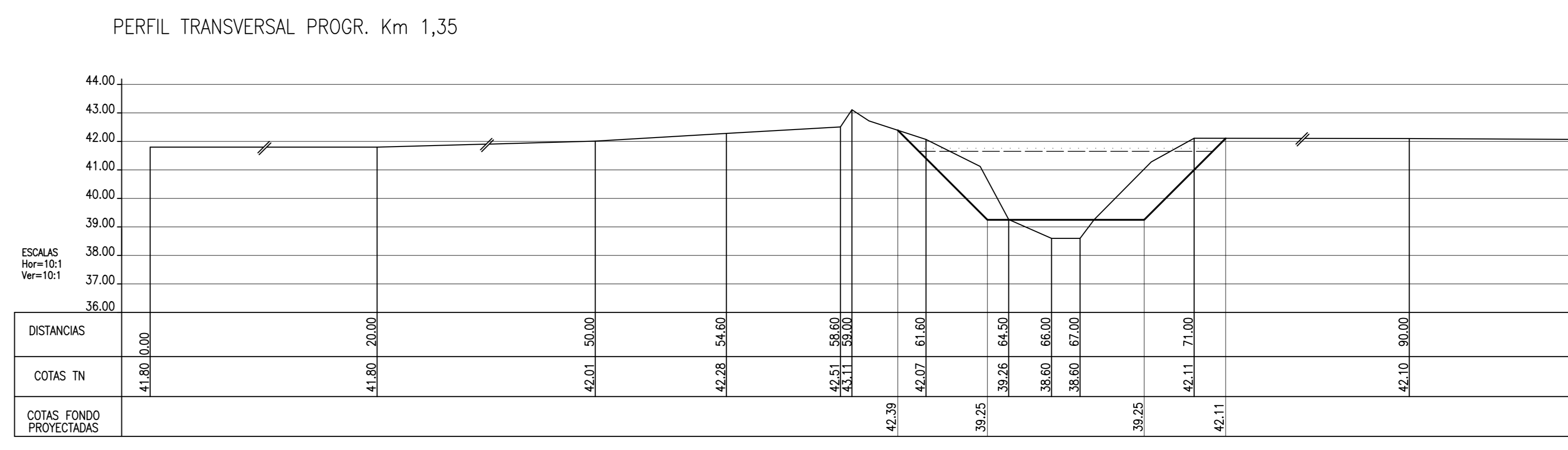
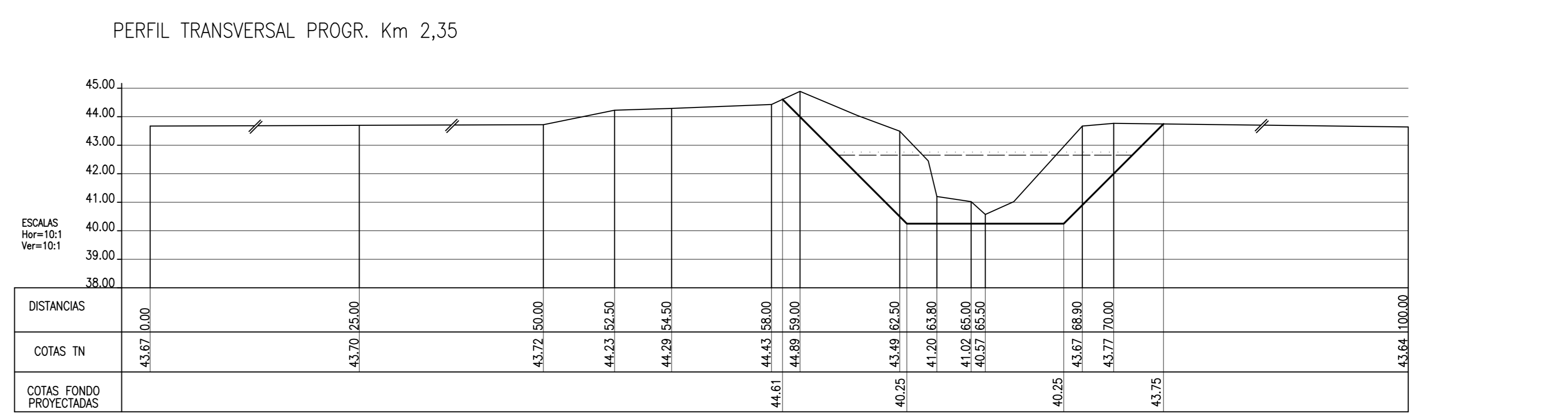
PERFIL LONGITUDINAL
 ESCALA 1:200



TRANSICION DE LLEGADA A LA ALCANTARILLA ATO21
 ESCALA 1:200



PERFILES TRANSVERSALES
 ESCALA 1:125



LAS DISTANCIAS SON CON RESPECTO A PUNTOS REFERENCIADOS CON LATITUD Y LONGITUD. VER EN PLANILLA DE PERFILES TRANSVERSALES EN ANEXO

PROTECCIÓN DEL GASODUCTO C. LA LEGUA
 ESCALA 1:100

NOTAS:
 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

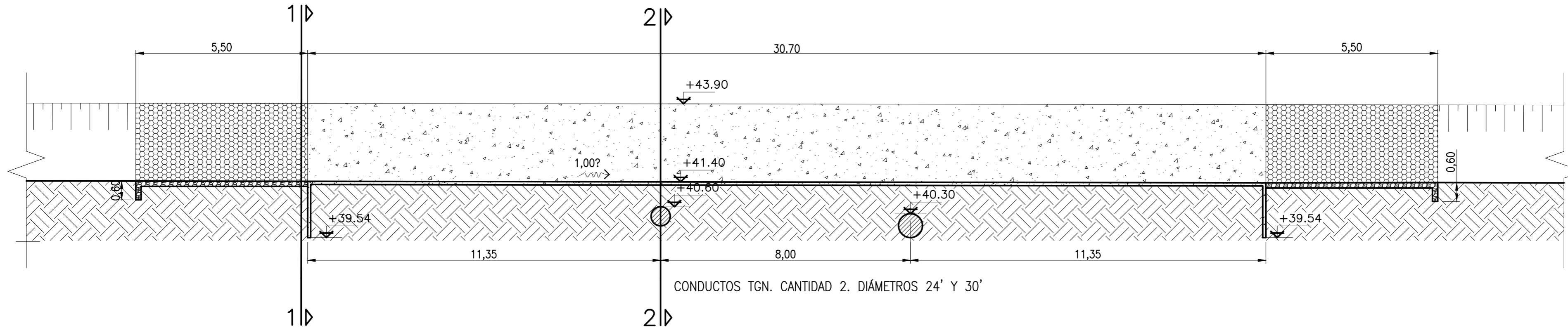
REFERENCIAS:

	TERRENO NATURAL
	COLCHONETA
	PROYECCIÓN RÍGIDA
	TERRAPLÉN

PROTECCIÓN FLEXIBLE DE COLCHONETAS RENO ARMADAS
 LONGITUD = 1 BASE DE FONDO. e=17cm

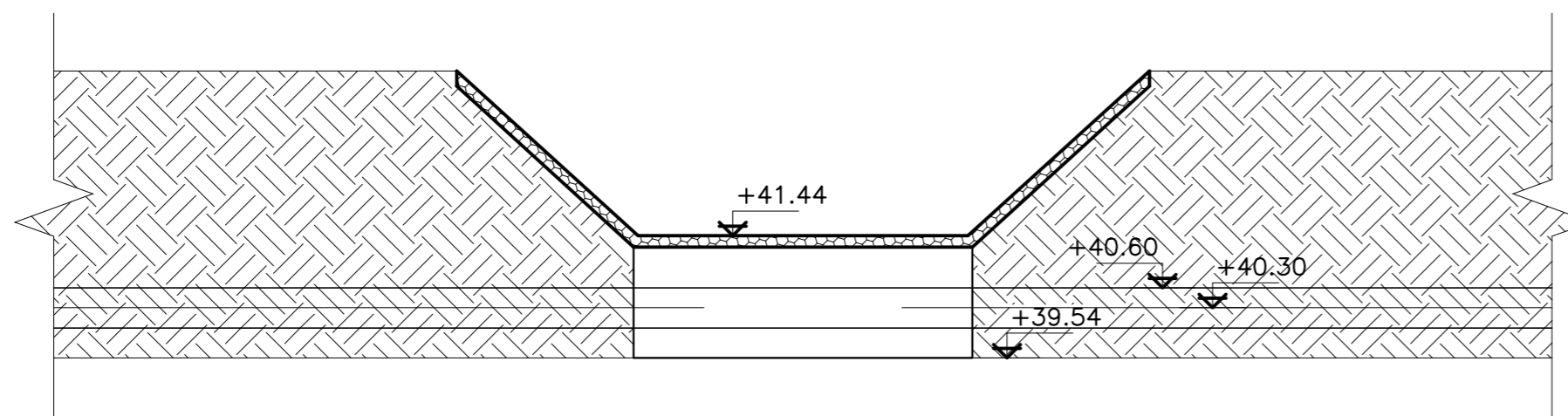
PROTECCIÓN RÍGIDA DE HORMIGÓN. LONGITUD = 2 BASES DE FONDO
 A CADA LADO DE LOS CONDUCTOS. e=10cm
 DIENTES DE ANCLAJE DE H° A° HASTA BASE DEL CONDUCTO MAYOR

PROTECCIÓN FLEXIBLE DE COLCHONETAS RENO ARMADAS
 LONGITUD = 1 BASE DE FONDO. e=17cm



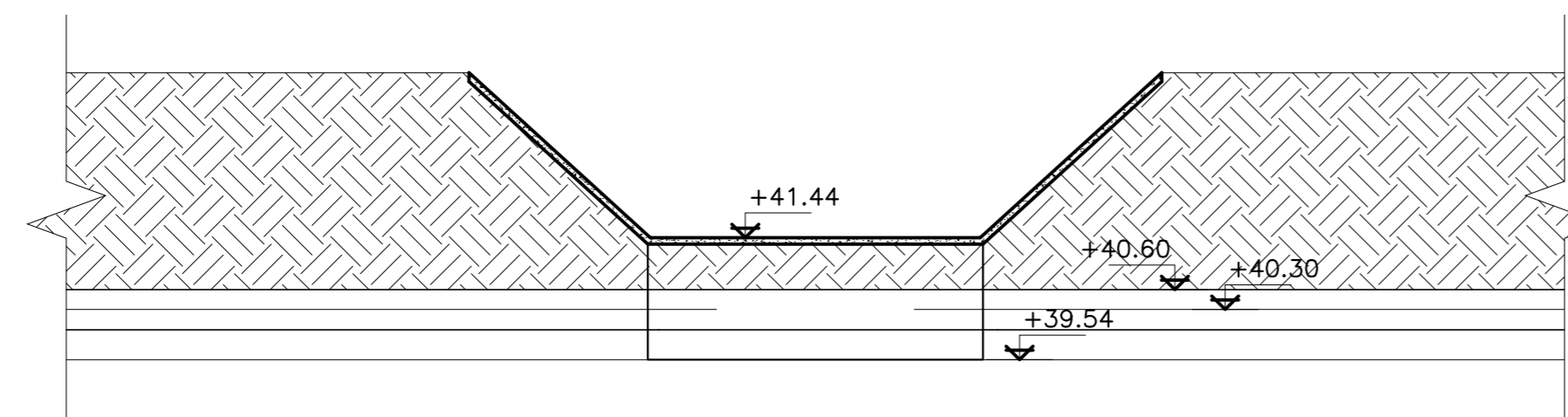
CONDUCTOS TGN. CANTIDAD 2. DIÁMETROS 24' Y 30'

CORTE T1-1
 PROTECCIÓN FLEXIBLE DE COLCHONETAS
 ESCALA 1:100



CONDUCTOS TGN. CANTIDAD 2. DIÁMETROS 24' Y 30'

CORTE 2-2
 PROTECCIÓN DE HORMIGÓN
 ESCALA 1:100

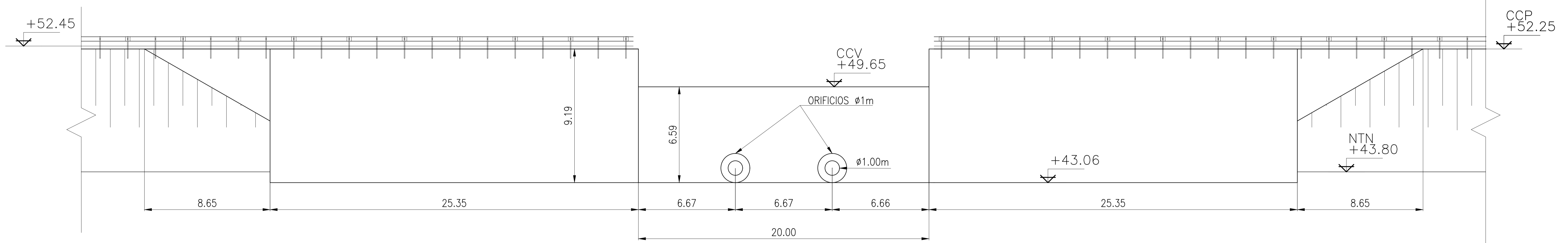


CONDUCTOS TGN. CANTIDAD 2. DIÁMETROS 24' Y 30'

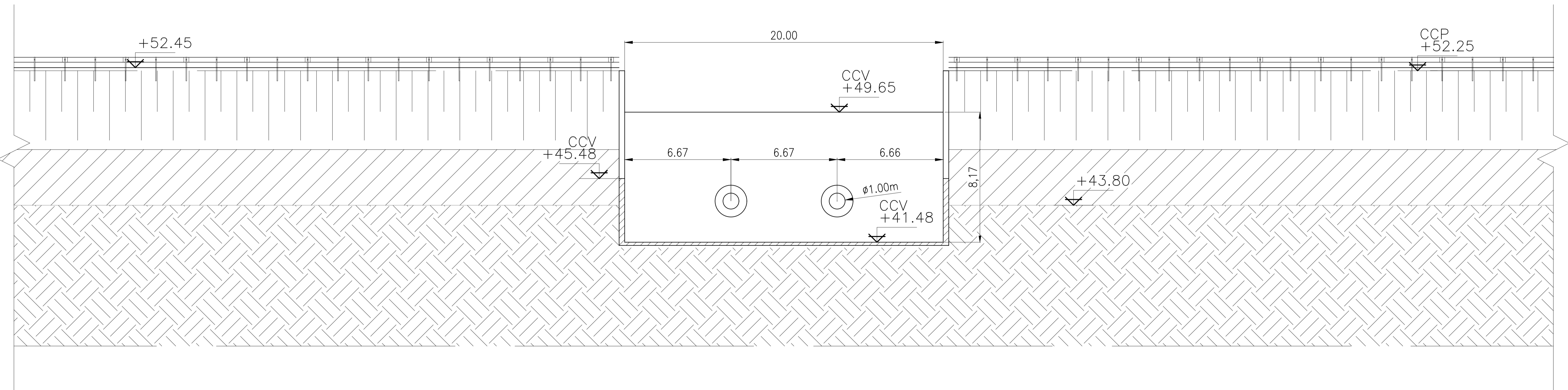
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CANAL LA LEGUA		INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
PLANO N°: 2D	PROTECCIÓN DEL GASODUCTO	FECHA: 16/04/2026	ESCALA: 1:100
		DEVOLUCIÓN: 02	

NOTAS:	
1-	MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
2-	NIVELES REFERIDOS AL IGN
REFERENCIAS:	
	TERRENO NATURAL
	PROYECCIÓN RÍGIDA
	TERRAPLEN
	CCP: COTA CORONAMIENTO PRESA
	CCV: COTA CORONAMIENTO VERTEDERO

CORTE A-A
ESCALA 1:125



CORTE B-B
ESCALA 1:125

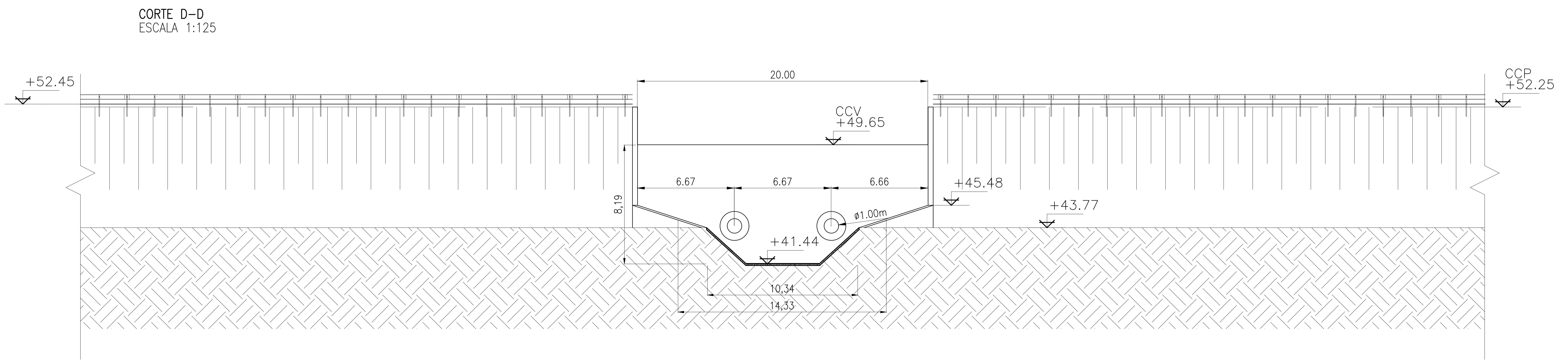
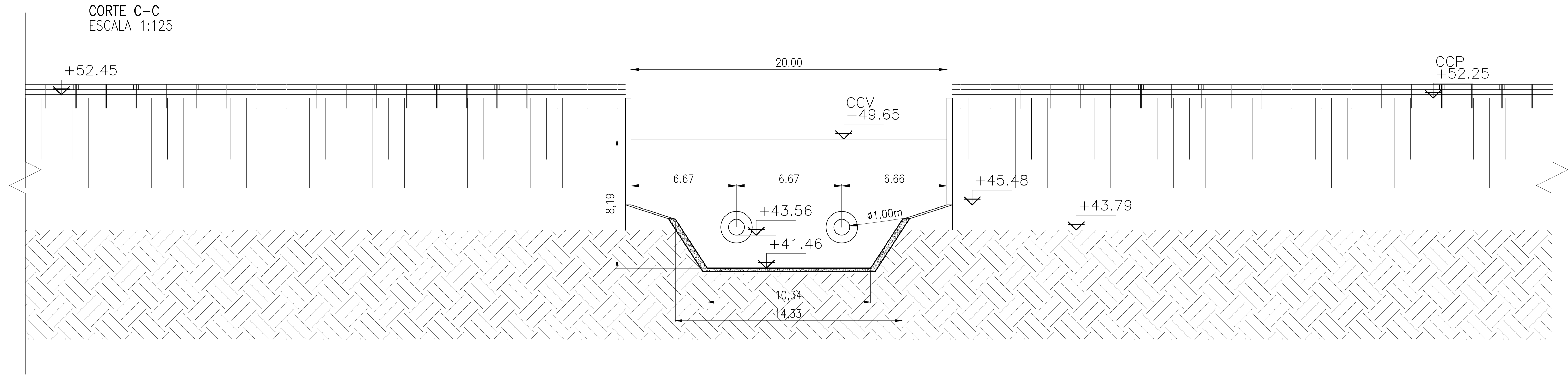


PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CANAL LA LEGUA			
PLANO N°:	CORTE A-A Y CORTE B-B		INTEGRANTES:
2E	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:125	AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
		DEVOLUCIÓN 02	

NOTAS:
 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

	TERRENO NATURAL
	COLCHONETA
	PROYECCIÓN RÍGIDA
	TERRAPLEN
	CCP: COTA CORONAMIENTO PRESA
	CCV: COTA CORONAMIENTO VERTEDERO



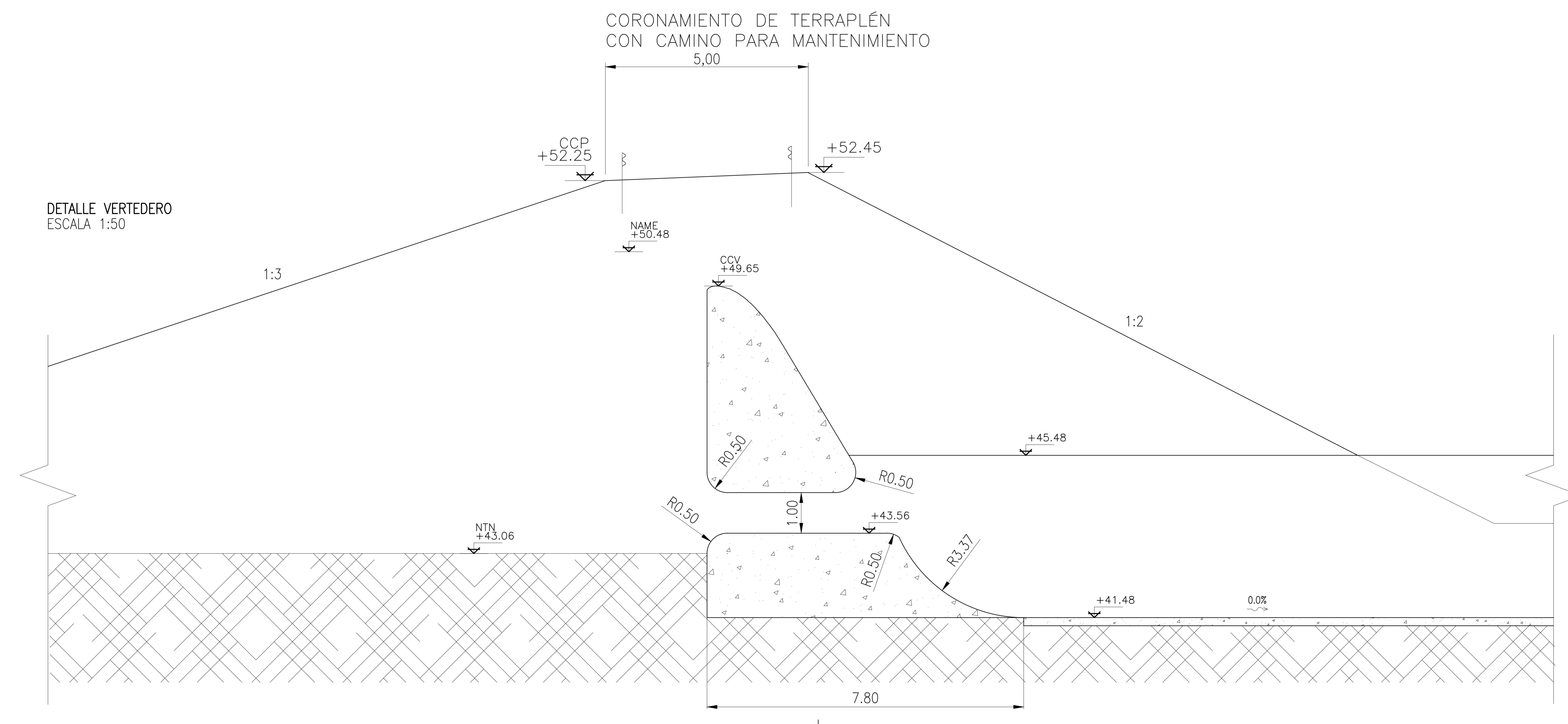
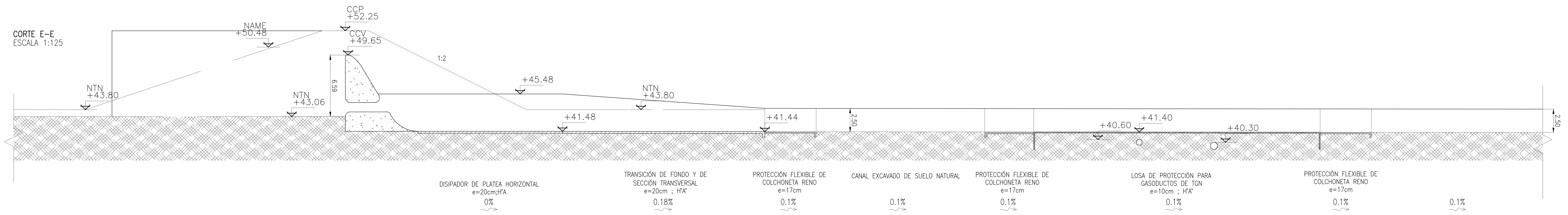
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CANAL LA LEGUA			
PLANO N°: 2F	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:125	DEVOLUCIÓN 02
INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago			

NOTAS:

- 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
- 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

- TERRENO NATURAL
- COLCHONETA
- PROTECCIÓN RÍGIDA
- TERRAPLÉN
- CCP: COTA CORONAMIENTO PRESA
- CCV: COTA CORONAMIENTO VERTEDERO
- NAME: NIVEL DE AGUAS MÁXIMO EXTRAORDINARIO

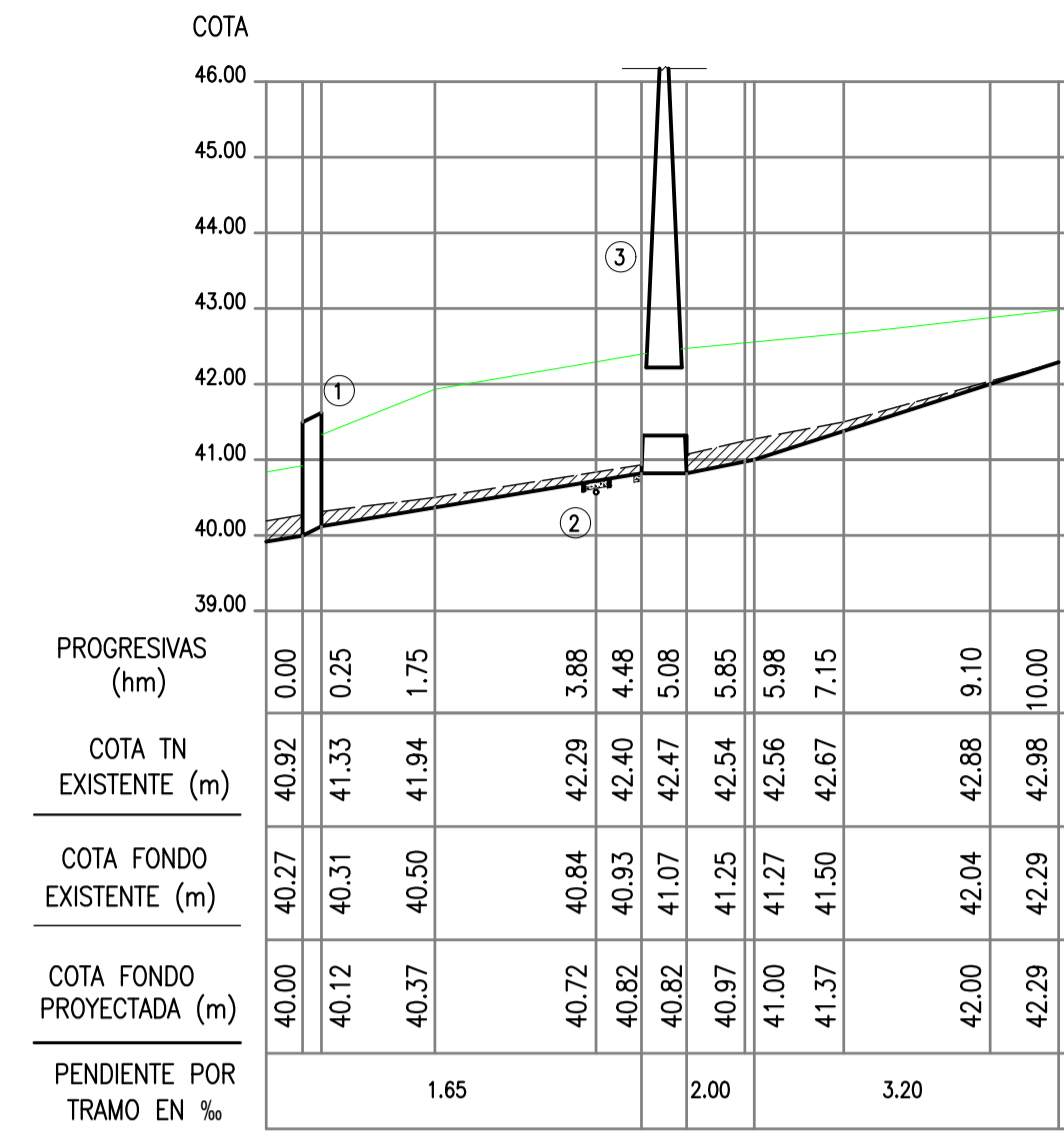


PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CANAL LA LEGUA		INTEGRANTES:	
PLANO N°:	CORTE E-E	ACHINO, Fernando LÓPEZ B. Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
2G	FECHA 16/04/2026	ESCALA VARIAS	DEVIACIÓN 02

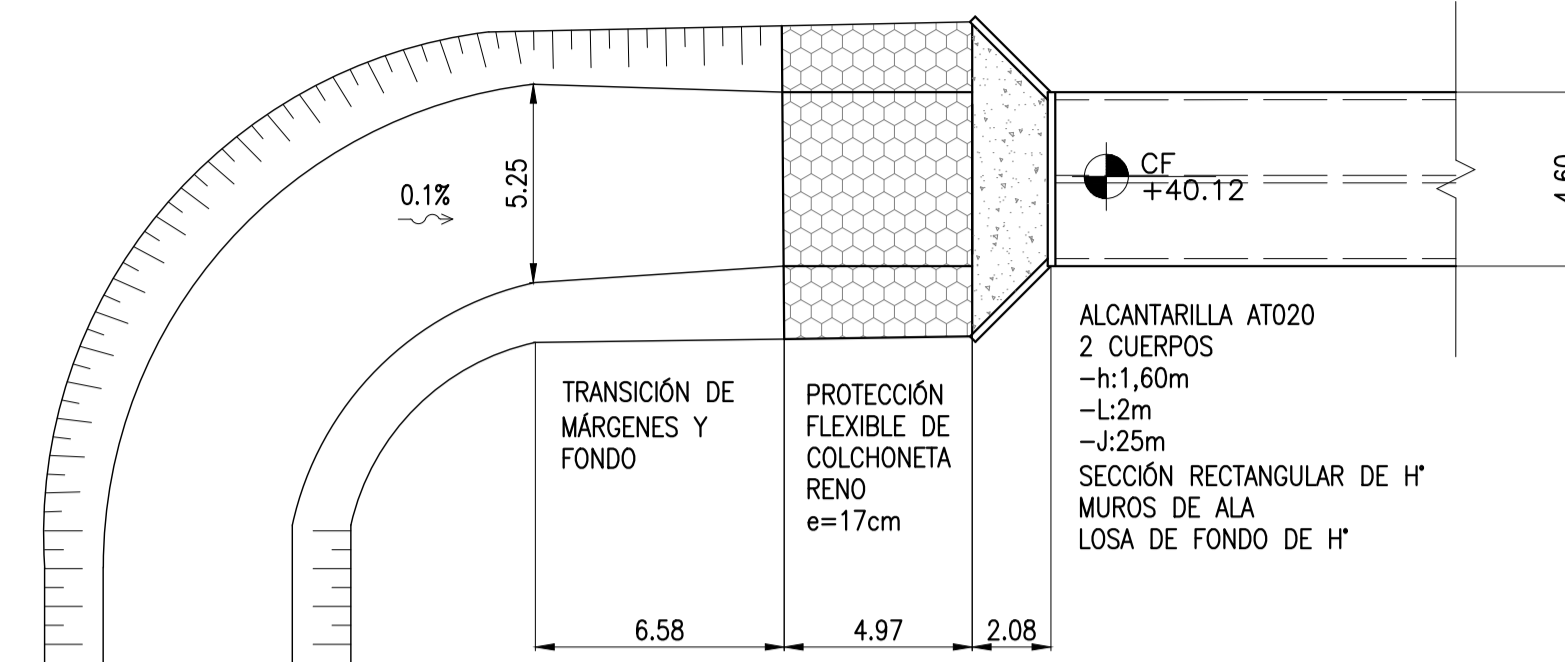
PLANO DE UBICACIÓN CANAL LA CARMELITA - PLANIMETRÍA
ESC. 1:5000



PERFIL LONGITUDINAL

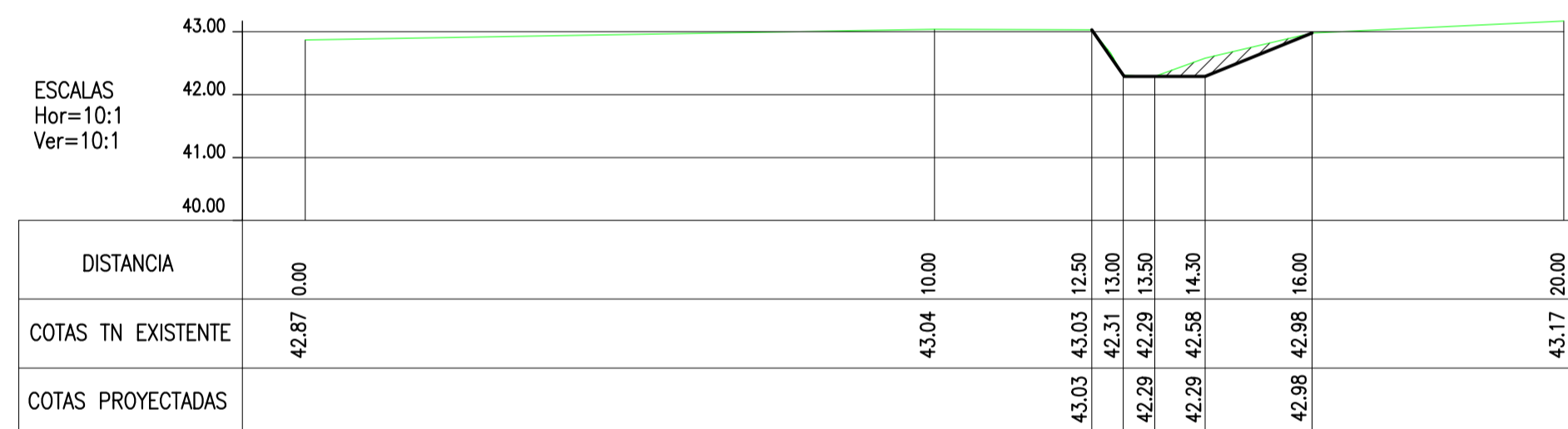


DETALLE DE ENCUENTRO CON ALCANTARILLA PROG. 25m
ESCALA 1:200

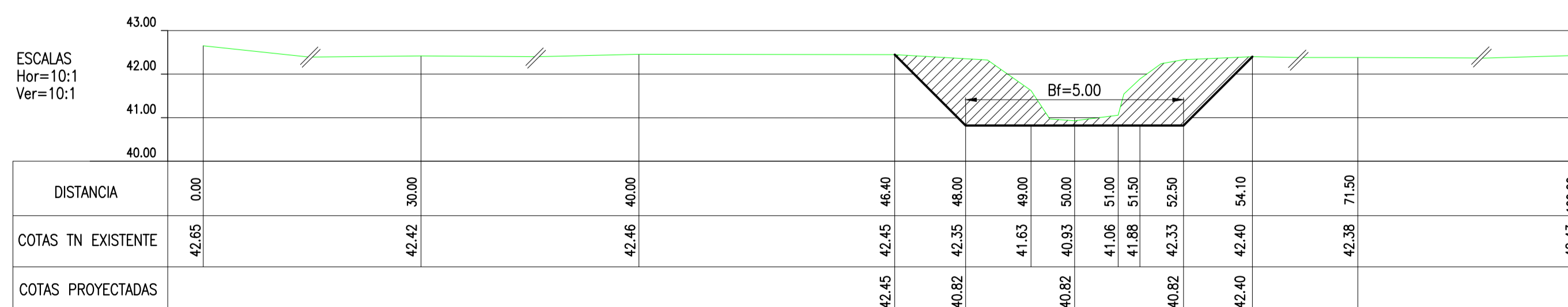


CANAL EXCAVADO DE SUELO NATURAL
• Bf= 5,00m
• y= 1,55m
• m=1

PERFIL TRANSVERSAL Prog. 1000



PERFIL TRANSVERSAL Prog. 448



REFERENCIAS:

- TERRENO NATURAL EXISTENTE MARGEN MÁS BAJA
- FONDO EXISTENTE
- FONDO PROYECTADA

NOTA: LAS COTAS SON REFERIDAS AL CERO DEL INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL (IGN)

NOTA: Se adopta CTN Proyecto igual a la CTN existente ???

- ① ALCANTARILLA TRANSVERSAL ATO20 RUTA NACIONAL N°A012. CF=+40,12 m. J=25,32M. 2 CUERPOS DE 1,6M DE ALTURA Y LUZ DE 2M.
- ② CONDUCTOS TGN. CANTIDAD 2. COTAS= +40.30 Y +40.60 IGN. SEPARADOS PLANIMETRICAMENTE 8 METROS. PROTECCIÓN DE HORMIGÓN JUNTO CON TRANSICIÓN FLEXIBLE DE COLCHONETAS RENO
- ③ PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS. CCP= +52.25. 2 DESCARGADORES DE FONDO DE 1M DE DIÁMETRO EJECUTADOS CON CONDUCTOS DE H'A' SEGÚN PLANTO TIPO A-82.

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°:	CANAL LA CARMELITA		
3A	FECHA 06/02/2026	ESCALA VARIAS	DEVOLUCIÓN 01
			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LOPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago

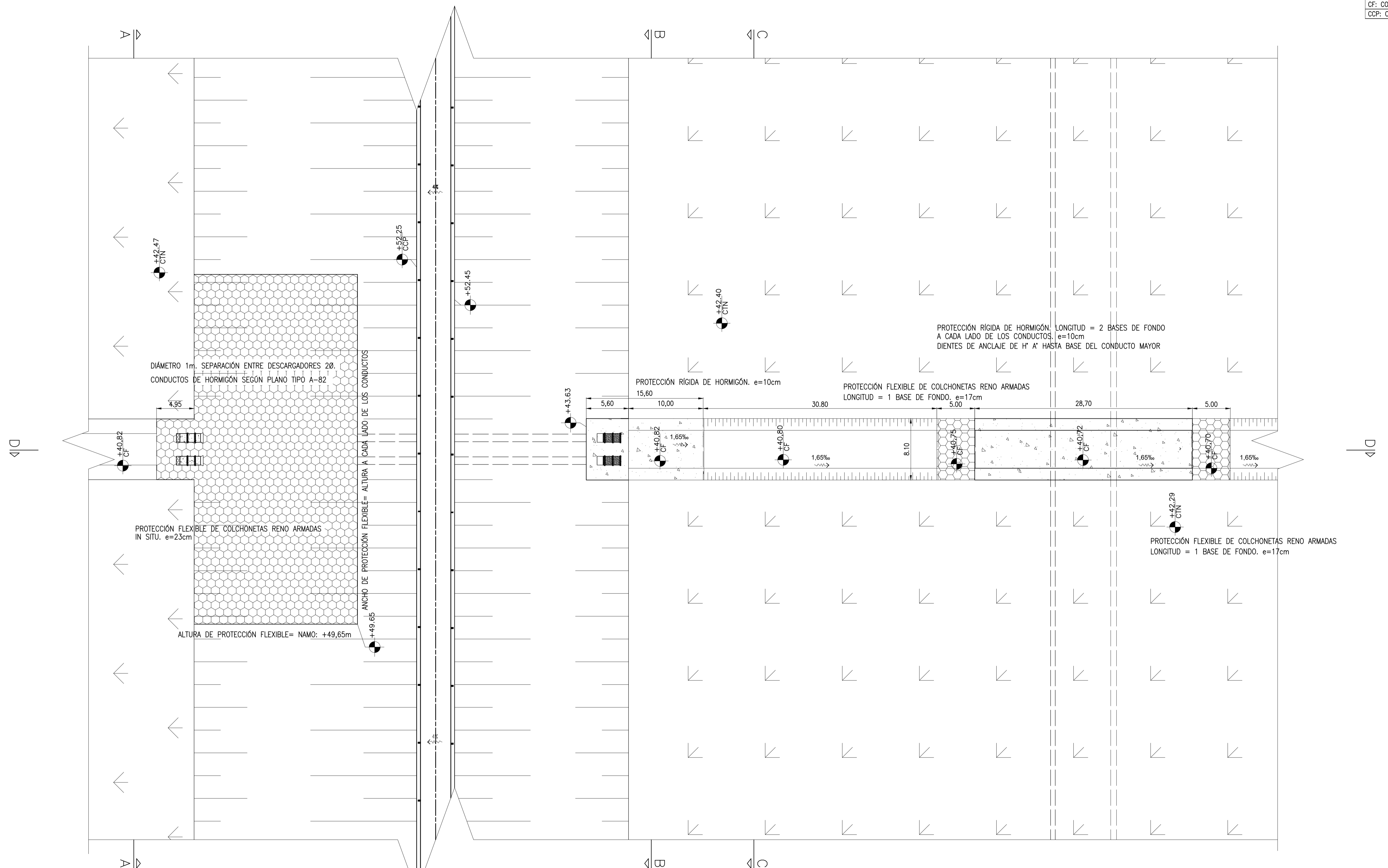
PLANTA O.CIERRE LA CARMELITA
 ESCALA 1:250

NOTAS:

- 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
- 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

	TERRENO NATURAL
	COLCHONETA RENO
	PROTECCIÓN RÍGIDA H'
	TERRAPLÉN
	CTN: COTA DE TERRENO NATURAL
	CF: COTA DE FONDO
	CCP: COTA CORONAMIENTO DE PRESA



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA		INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LOPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
PLANO N°: 3B	OBRA DE DESCARGA C. LA CARMELITA	FECHA: 06/02/2026	ESCALA: 1:250
		DEVOLUCIÓN: 01	

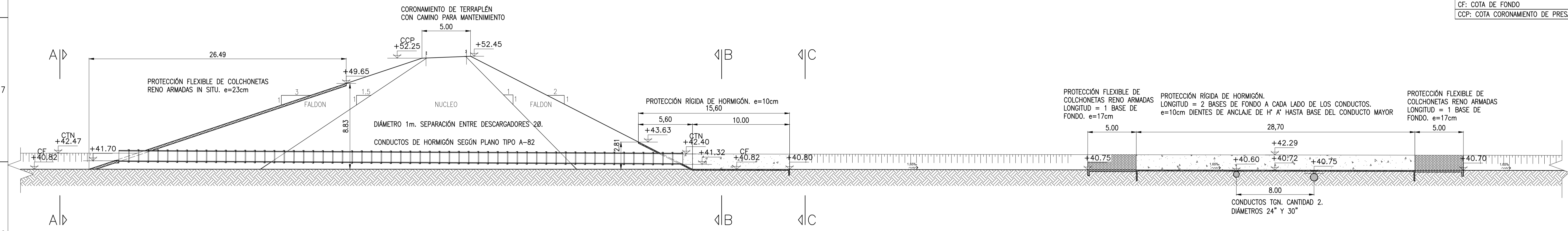
NOTAS:

- 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
- 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

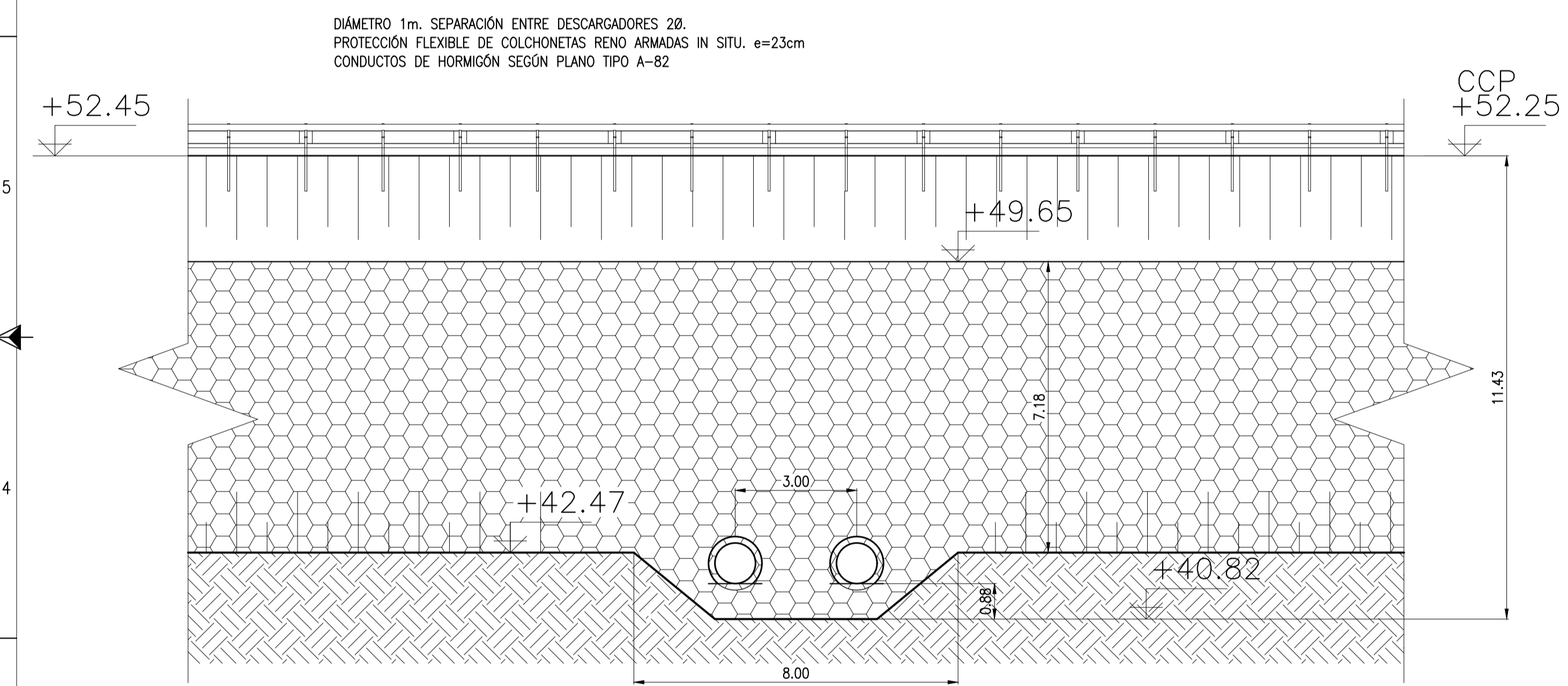
REFERENCIAS:

	TERRENO NATURAL
	COLCHONETA RENO
	HORMIGÓN
	TERRAPLÉN
	CTN: COTA DE TERRENO NATURAL
	CF: COTA DE FONDO
	CCP: COTA CORONAMIENTO DE PRESA

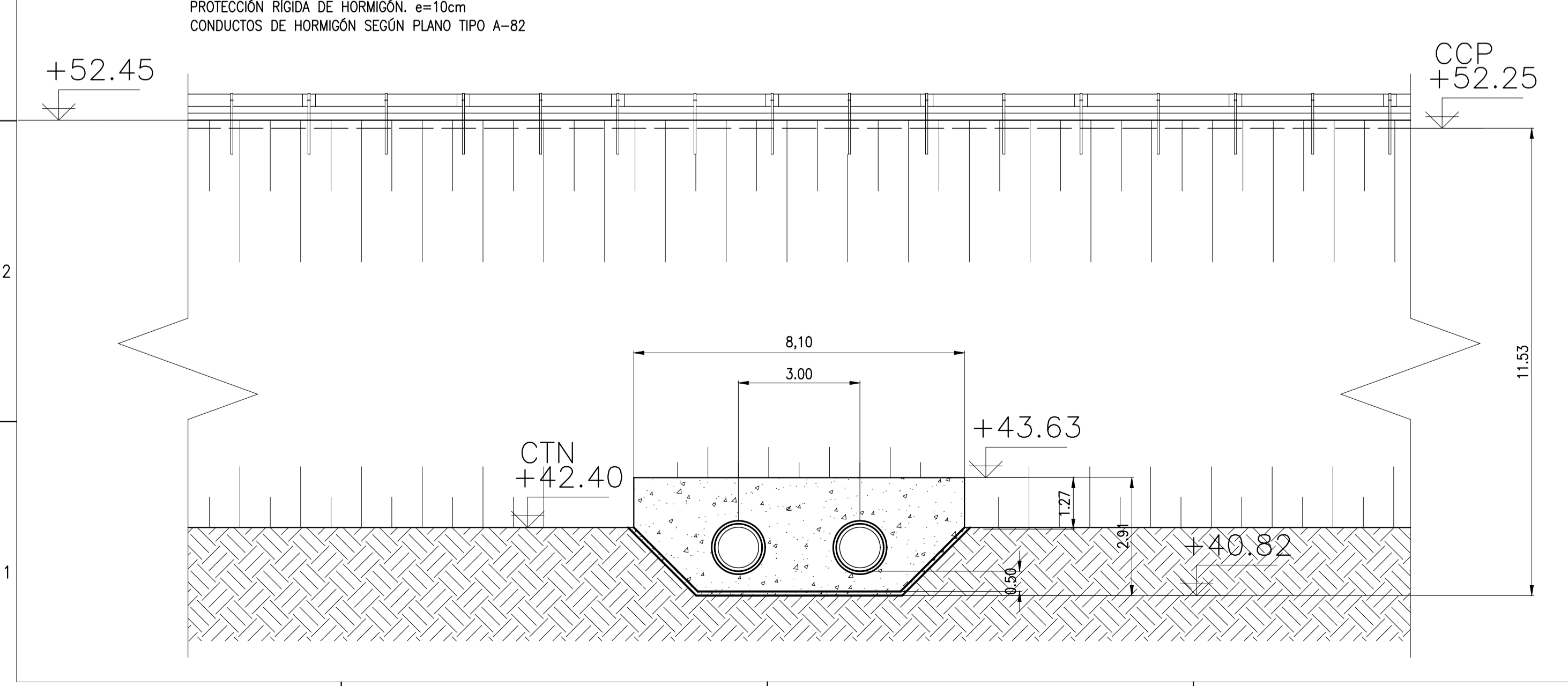
CORTE D-D
O.CIERRE LA CARMELITA
ESC. 1:200



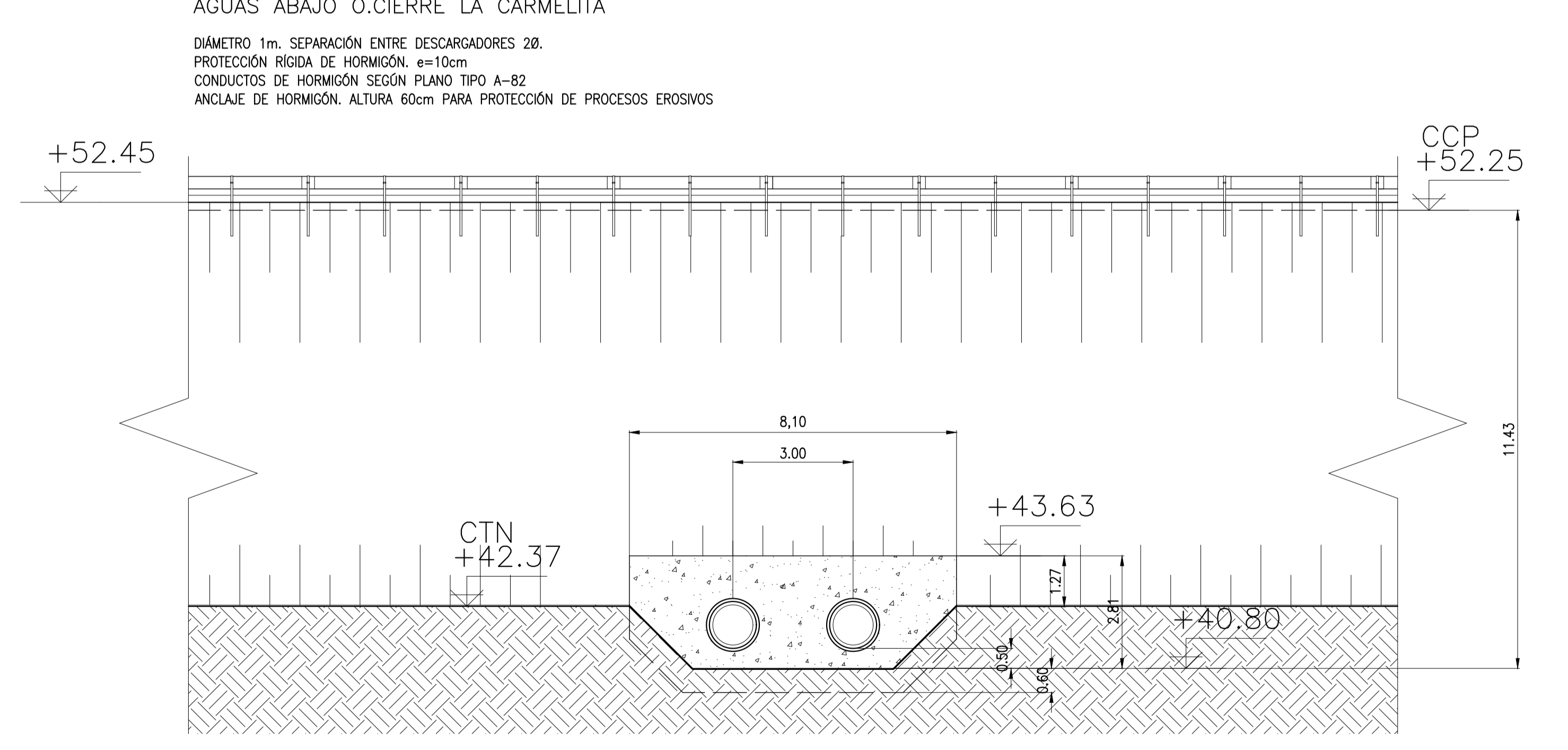
CORTE A-A
ESC. 1:100
AGUAS ARRIBA O.CIERRE LA CARMELITA



CORTE B-B
ESC. 1:100
AGUAS ABAJO O.CIERRE LA CARMELITA



CORTE C-C
ESC. 1:100
AGUAS ABAJO O.CIERRE LA CARMELITA



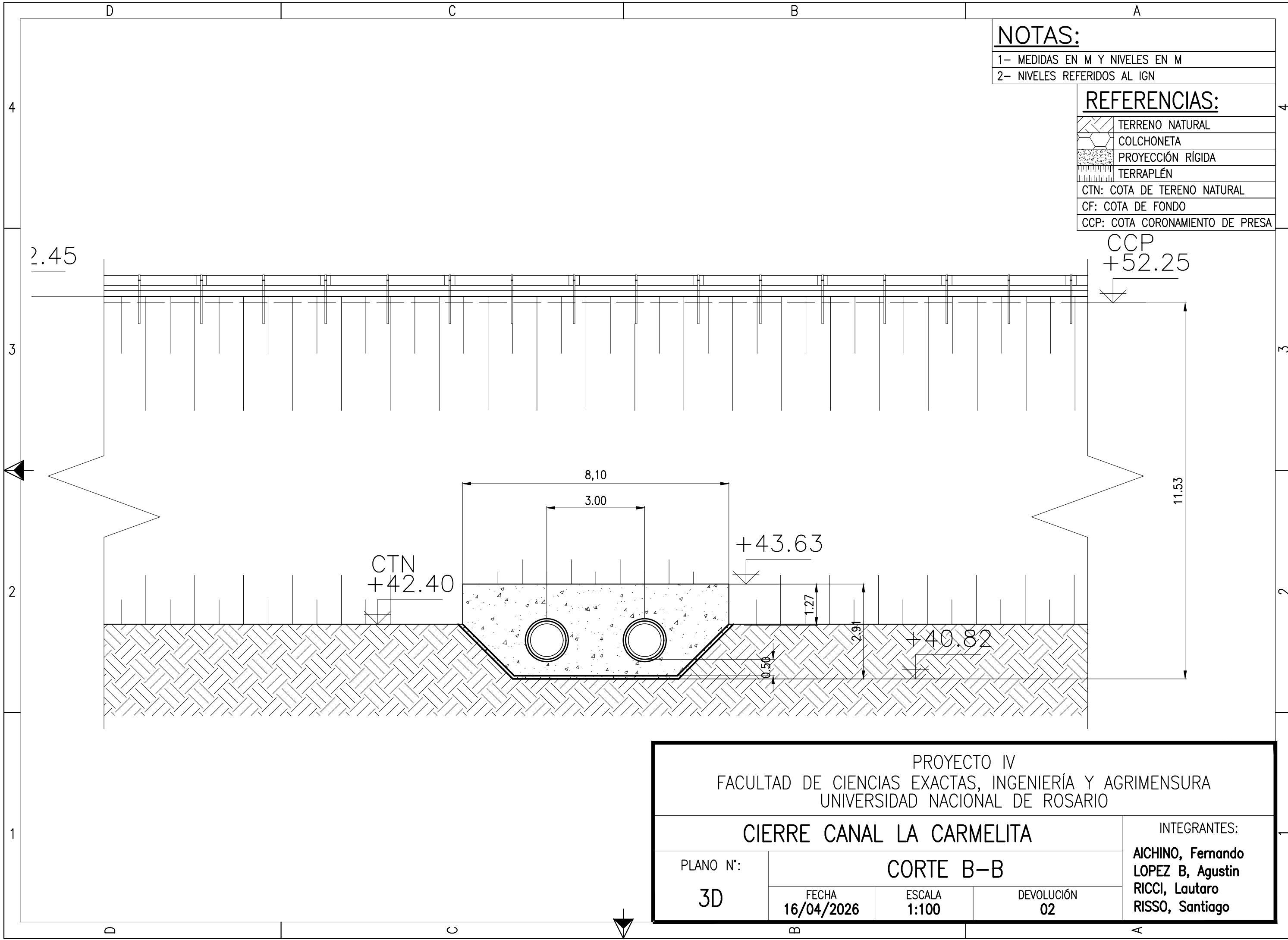
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA		INTEGRANTES:	
PLANO N°:	CORTES	AICHINO, Fernando LOPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
3C	FECHA 06/02/2026	ESCALA VARIAS	DEVOLUCIÓN 01

NOTAS:

- 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
- 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

	TERRENO NATURAL
	COLCHONETA
	PROYECCIÓN RÍGIDA
	TERRAPLÉN
CTN: COTA DE TERENO NATURAL	
CF: COTA DE FONDO	
CCP: COTA CORONAMIENTO DE PRESA	



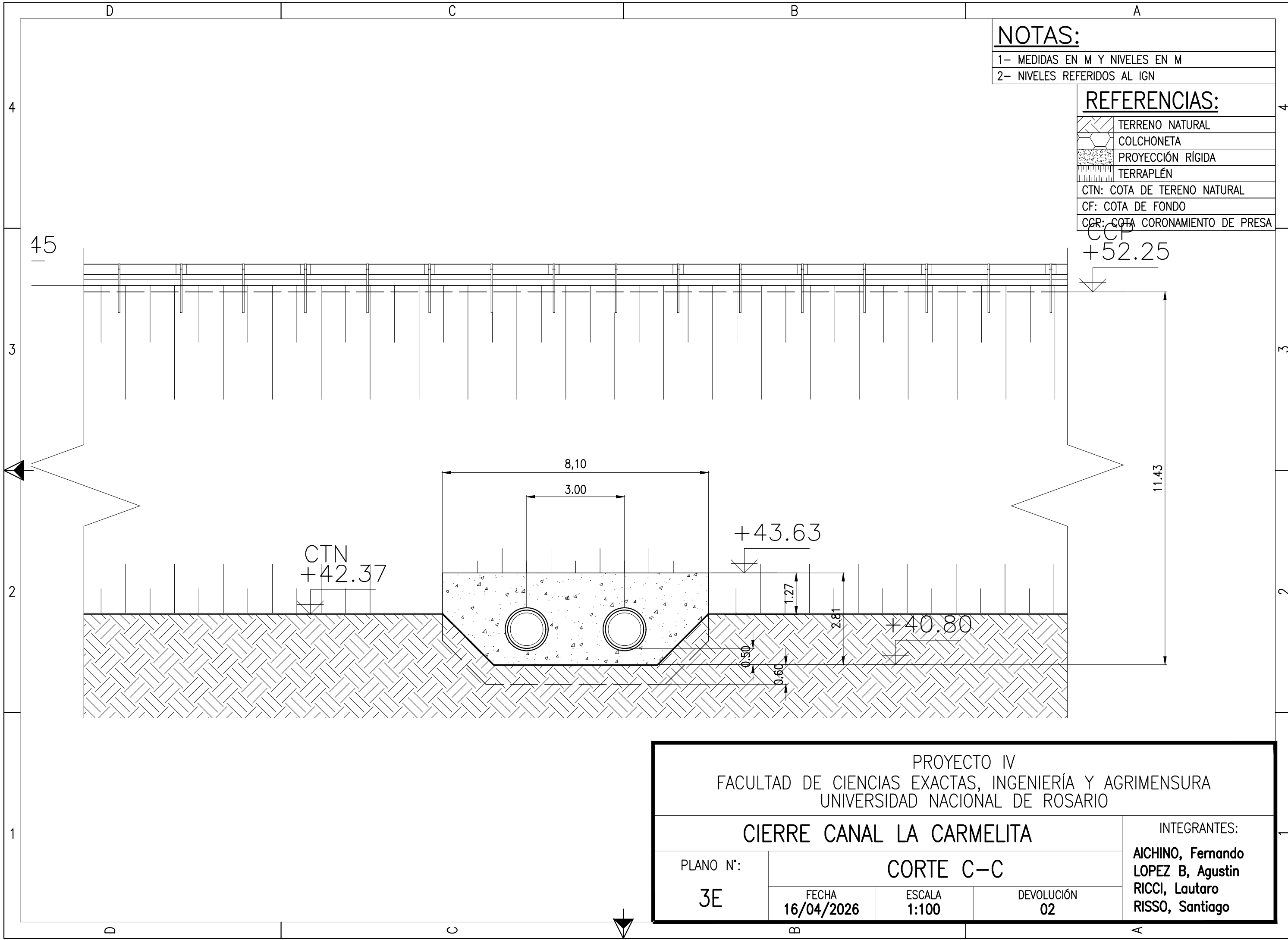
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CIERRE CANAL LA CARMELITA			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LOPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
PLANO N°: 3D	CORTE B-B		
	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:100	DEVOLUCIÓN 02

NOTAS:

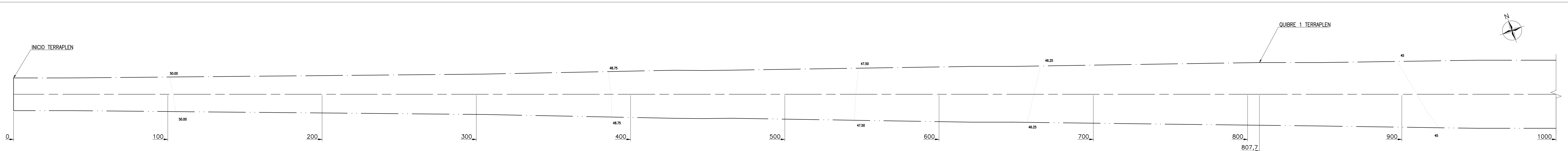
- 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN M
- 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

	TERRENO NATURAL
	COLCHONETA
	PROYECCIÓN RÍGIDA
	TERRAPLÉN
CTN: COTA DE TERENO NATURAL	
CF: COTA DE FONDO	
CCP: COTA CORONAMIENTO DE PRESA	

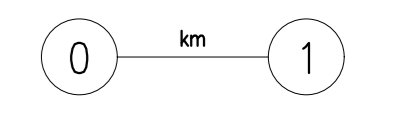
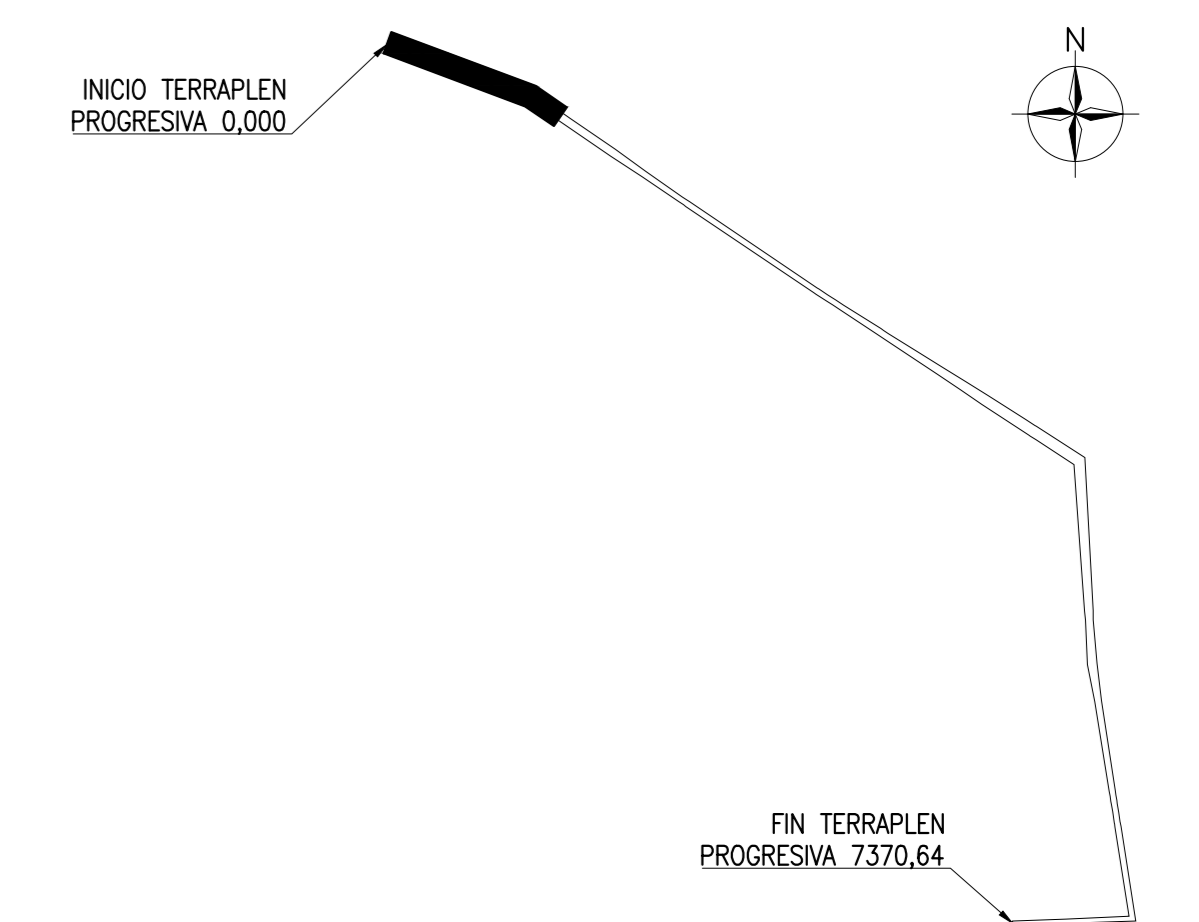


PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CIERRE CANAL LA CARMELITA			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LOPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
PLANO N°: 3E	CORTE C-C		
	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:100	DEVOLUCIÓN 02

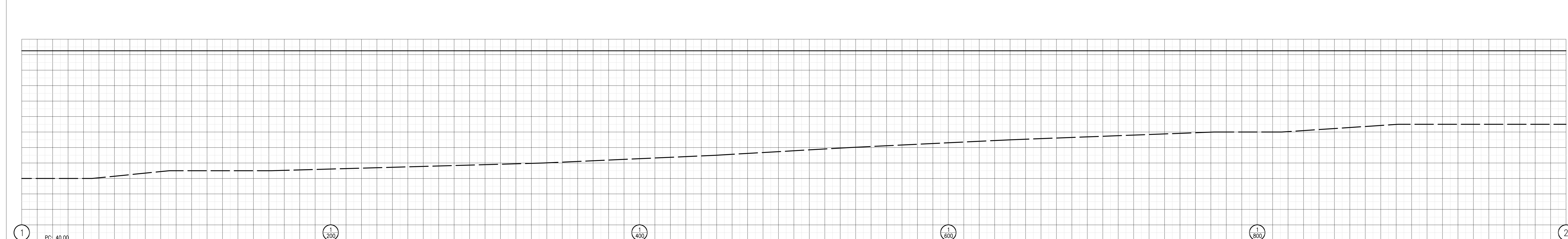
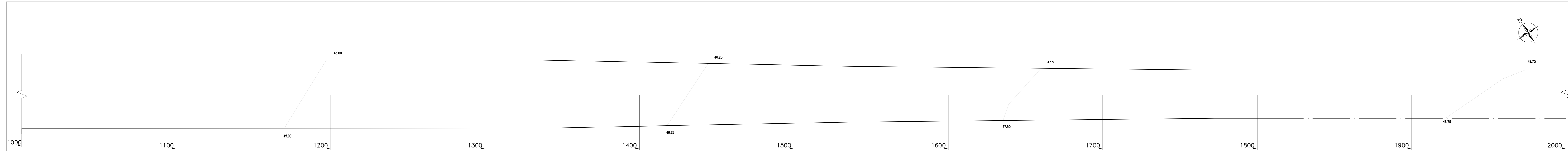


PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
0	50.48	50.00
40.00	50.48	50.00
100.00	50.48	50.00
200.00	50.48	50.00
300.00	50.48	50.00
400.00	50.48	50.00
500.00	50.48	50.00
600.00	50.48	50.00
700.00	50.48	50.00
800.00	50.48	50.00
900.00	50.48	50.00
1000.00	50.48	50.00

- REFERENCIAS ALTIMETRÍA
- RASANTE
 - - - TERRENO NATURAL
 - ... PIE INTERNO TERRAPLEN
 - EJE TERRAPLEN
 - - - PIE EXTERNO TERRAPLEN
 - CURVAS DE NIVEL



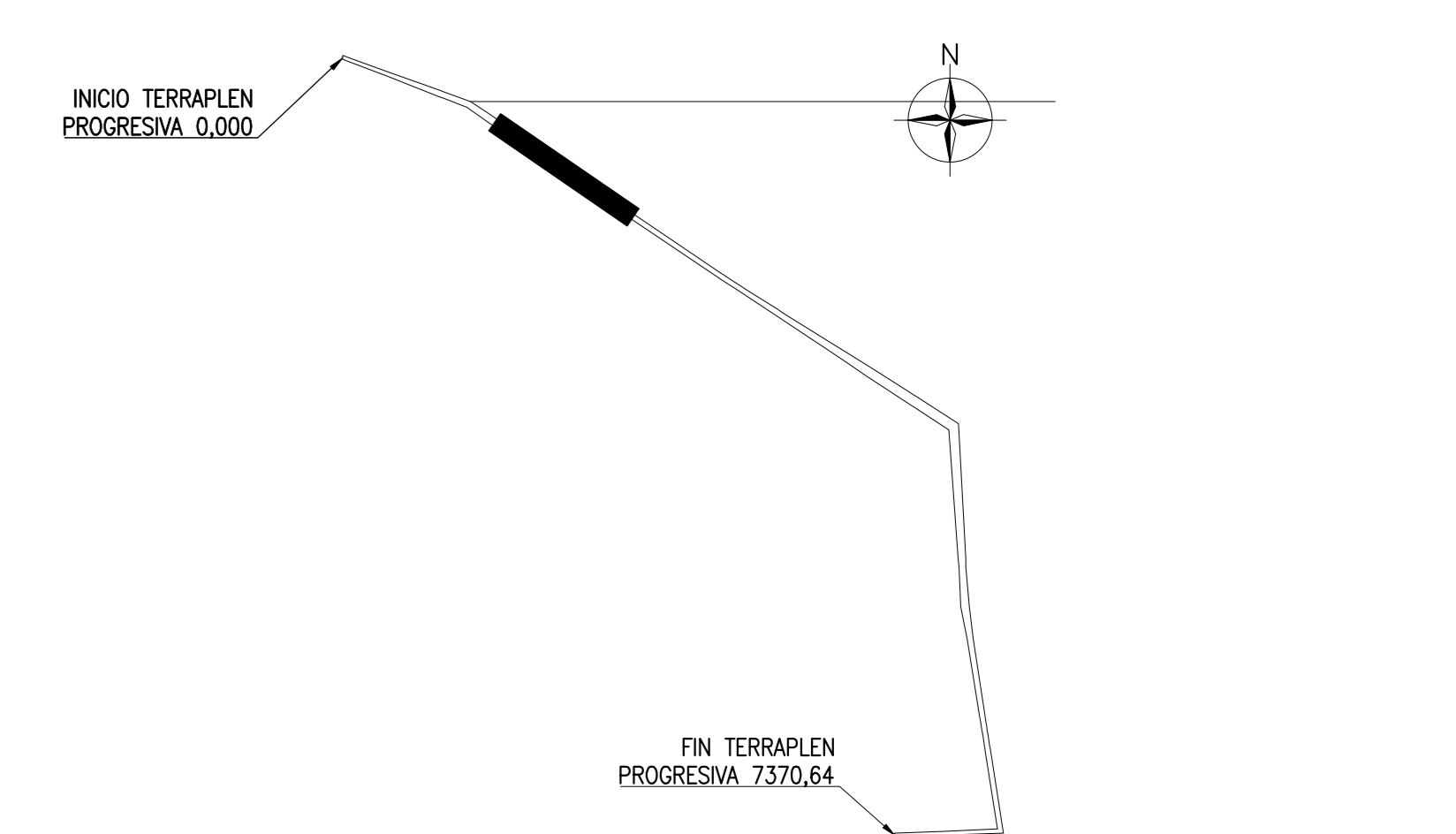
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4A		INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
FECHA: 16/04/2026	ESCALA: V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN: 02	DATOS ESTUDIO



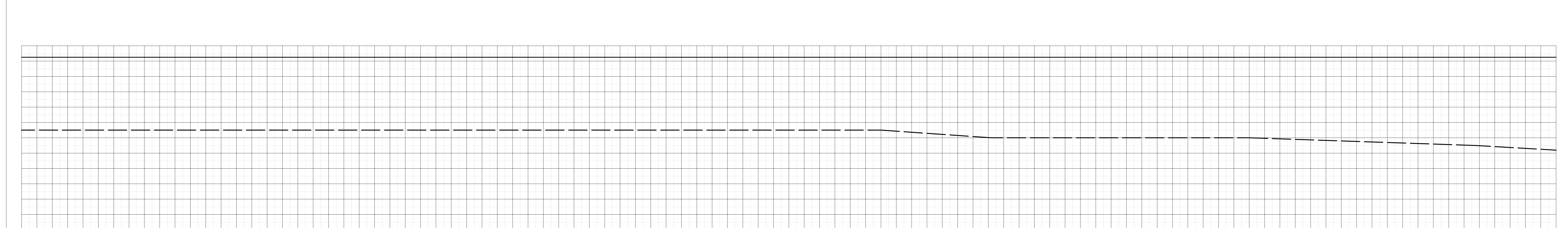
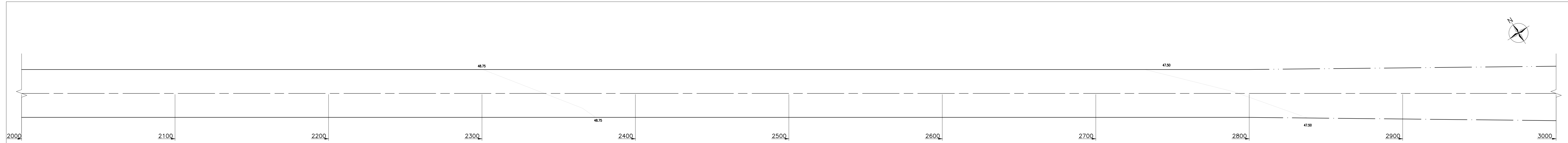
PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
40,00	52,25	106,56
45,00	52,25	106,56
50,00	52,25	110,34
55,00	52,25	110,25
60,00	52,25	113,74
65,00	52,25	140,34
70,00	52,25	150,34
75,00	52,25	171,94
80,00	52,25	179,56
85,00	52,25	181,83
90,00	52,25	189,22
95,00	52,25	190,37
100,00	52,25	192,15



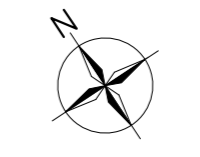
- REFERENCIAS ALTIMETRÍA
- RASANTE
 - - - TERRENO NATURAL
 - PIE INTERNO TERRAPLÉN
 - - - EJE TERRAPLÉN
 - - - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
 - CURVAS DE NIVEL



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCION DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4B	PLANIALTIMETRIA SECCIÓN 2		INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
	FECHA: 16/04/2026	ESCALA: V 1:100 H1:1000	



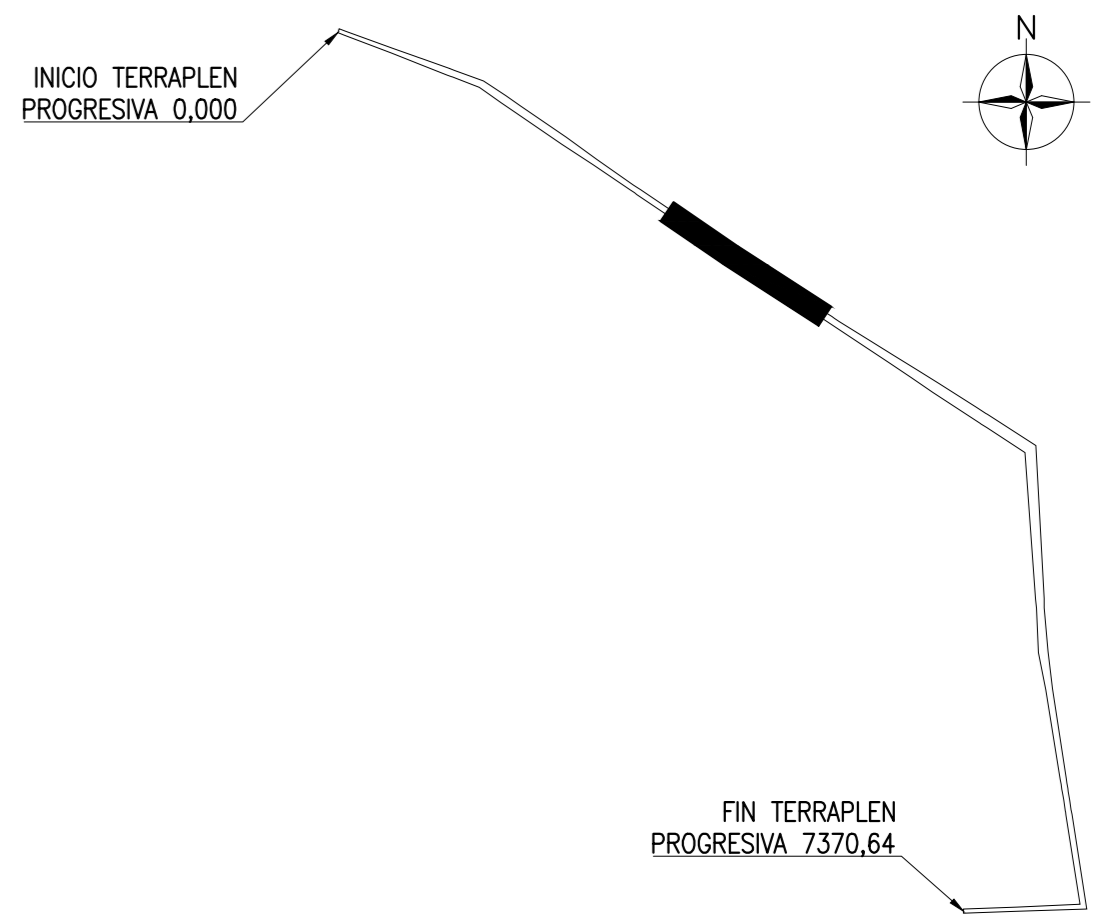
PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
2000	47.50	52.25
2100	47.50	52.25
2200	47.50	52.25
2300	47.50	52.25
2400	47.50	52.25
2500	47.50	52.25
2600	47.50	52.25
2700	47.50	52.25
2800	47.50	52.25
2900	47.50	52.25
3000	47.50	52.25



2 km 3

REFERENCIAS ALTIMETRÍA

- RASANTE
- - - TERRENO NATURAL
- · - · - PIE INTERNO TERRAPLÉN
- · - · - EJE TERRAPLÉN
- · - · - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
- CURVAS DE NIVEL



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO				INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago			
PRESA DE RETENCION DE CRECIDAS LA LEGUA							
PLANO N°:	4C	FECHA:	16/04/2026	ESCALA:	V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN:	02

2

200

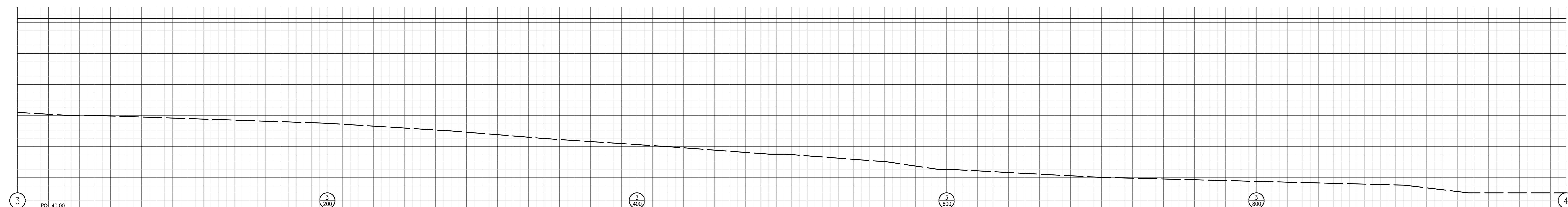
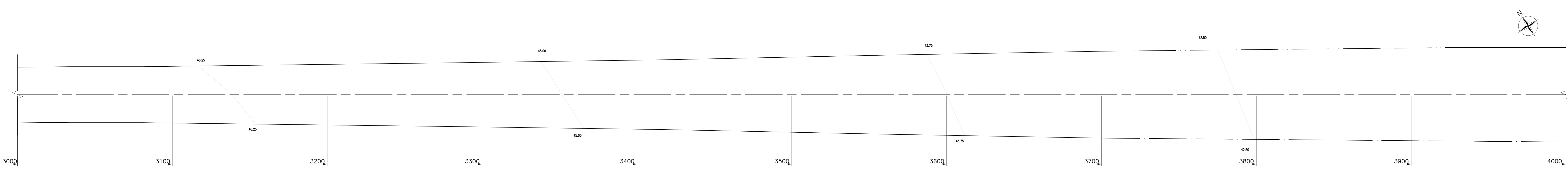
400

600

800

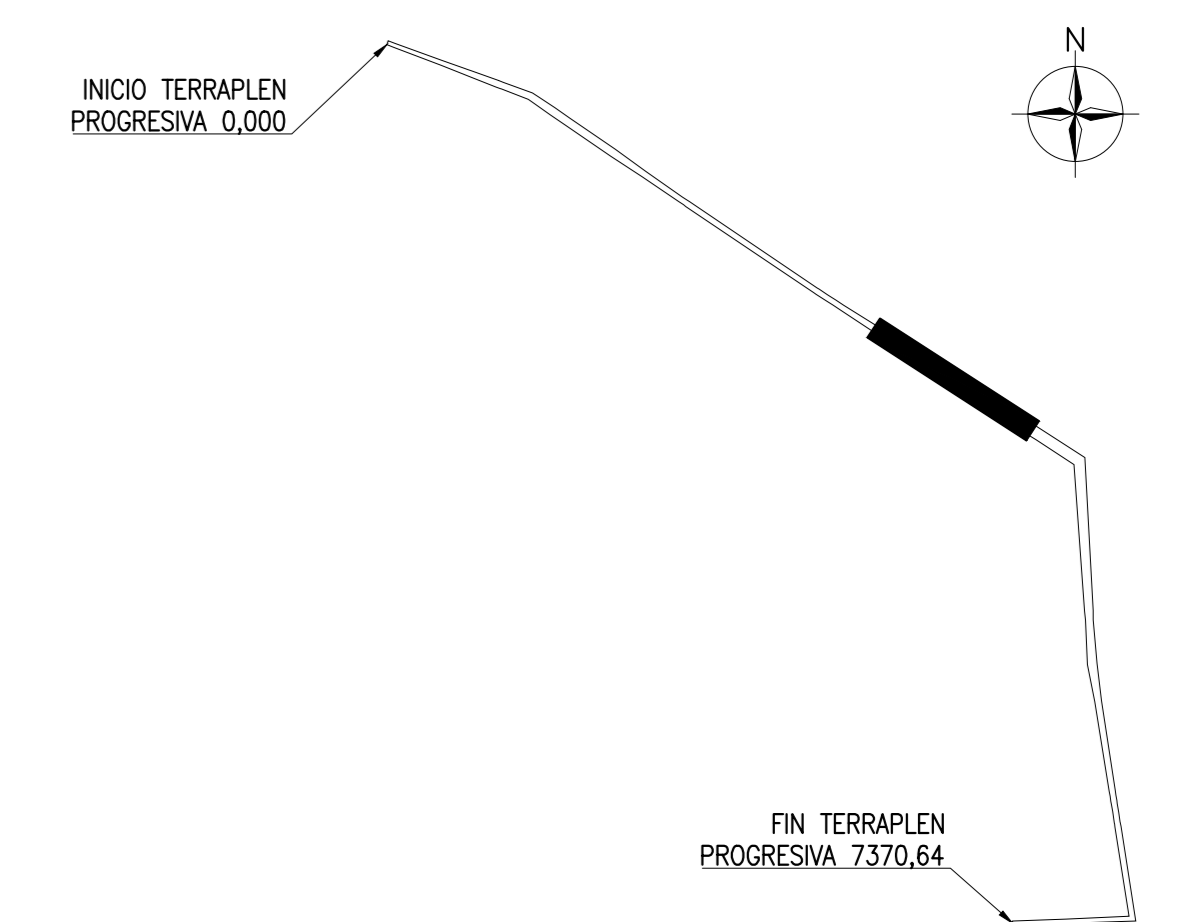
3

DATOS ESTUDIO

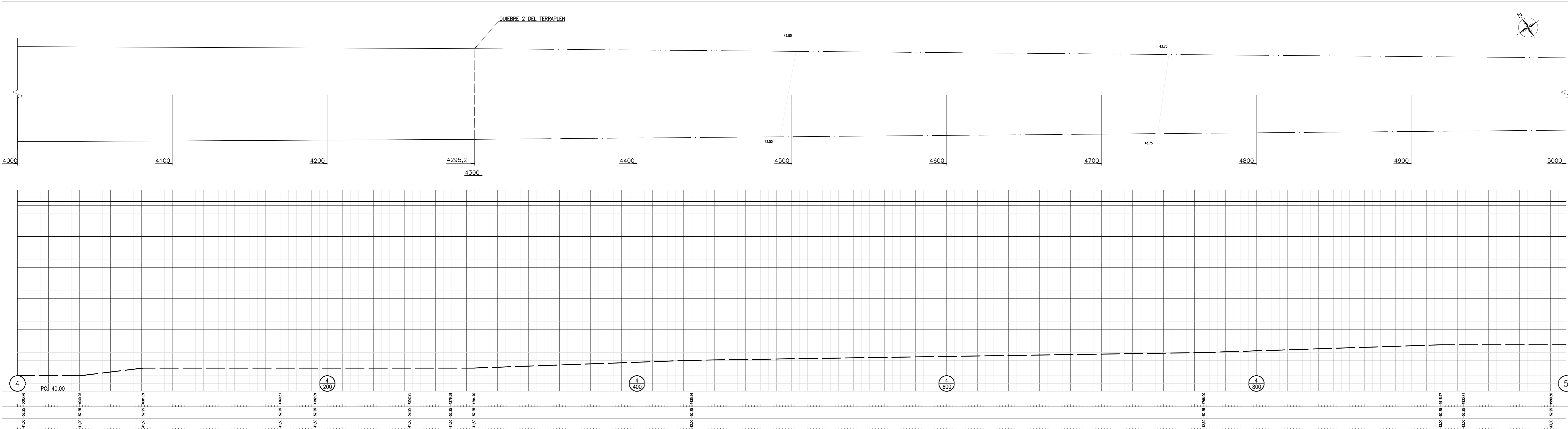


PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
40,00	52,25	303,53
40,00	52,25	304,98
40,50	52,25	319,13
40,50	52,25	320,08
40,50	52,25	341,54
41,00	52,25	347,90
41,50	52,25	365,61
41,50	52,25	368,39
41,50	52,25	368,70
41,50	52,25	368,76
42,00	52,25	381,81
42,50	52,25	389,19
43,00	52,25	399,47
43,00	52,25	398,90

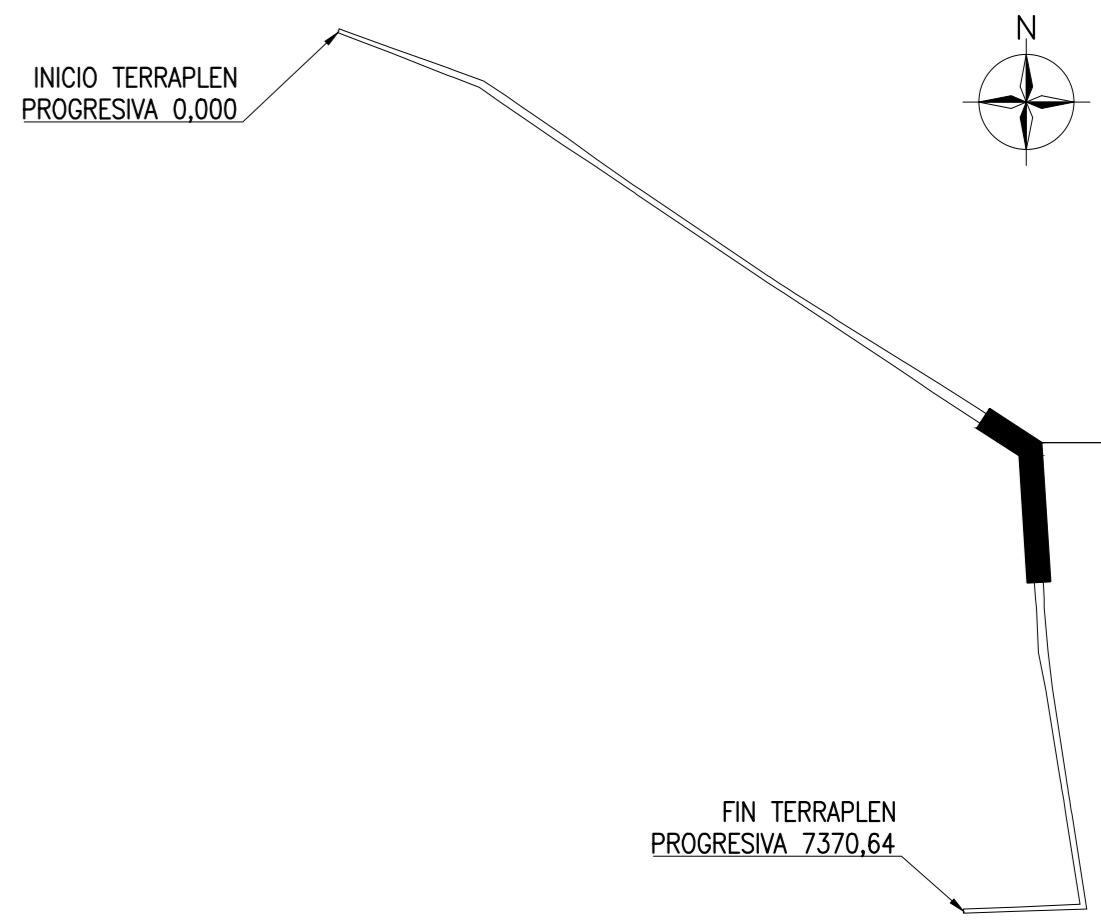
- REFERENCIAS ALTIMETRÍA
- RASANTE
 - - - TERRENO NATURAL
 - PIE INTERNO TERRAPLÉN
 - EJE TERRAPLÉN
 - - - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
 - CURVAS DE NIVEL



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCION DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4D		PLANALTIMETRIA SECCIÓN 4	
FECHA: 16/04/2026	ESCALA: V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN: 02	INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago

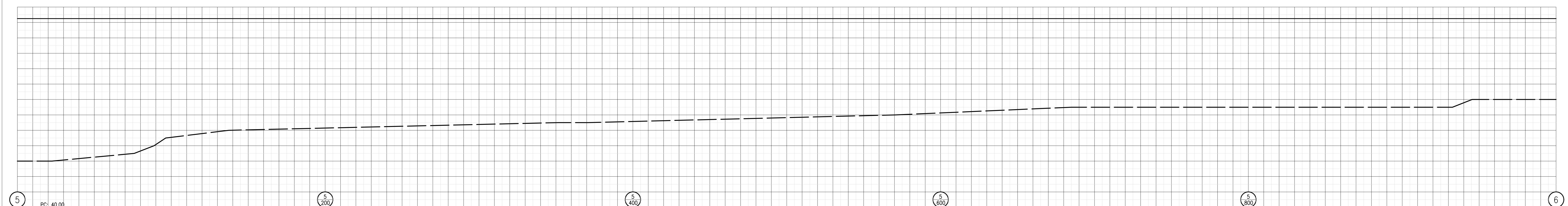
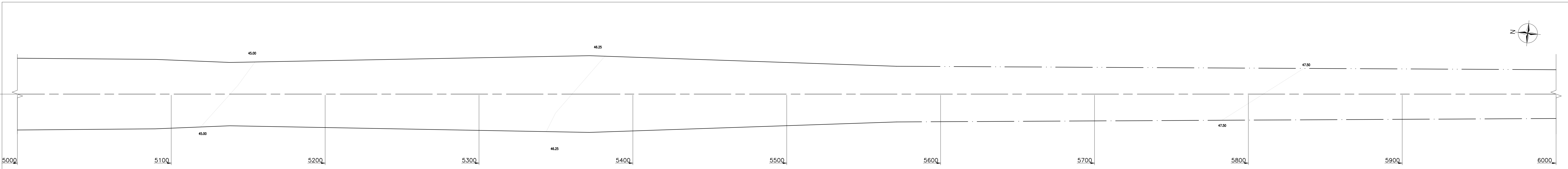


- REFERENCIAS ALTIMETRÍA
- RASANTE
 - - - TERRENO NATURAL
 - PIE INTERNO TERRAPLÉN
 - EJE TERRAPLÉN
 - - - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
 - CURVAS DE NIVEL



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCION DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4E		PLANALTIMETRIA SECCIÓN 5	
FECHA 16/04/2026	ESCALA V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN 02	INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago

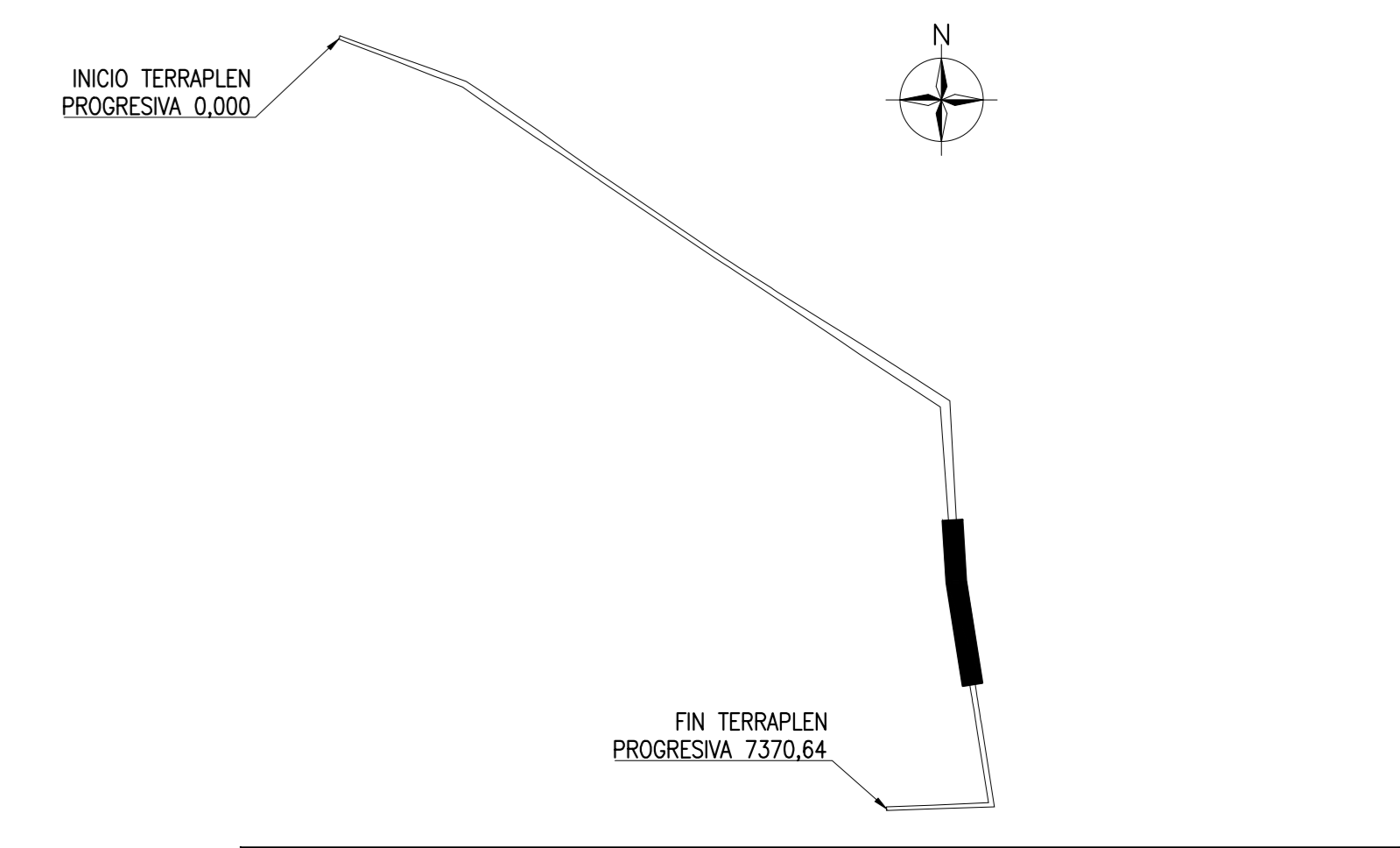
PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
4000	52,25	50,37,6
4100	52,25	49,02,8
4200	52,25	48,18,9
4295,2	52,25	48,95,1
4300	52,25	48,20,8
4400	52,25	48,62,6
4500	52,25	47,82,9
4600	52,25	48,47,0
4700	52,25	48,52,8
4800	52,25	49,62,0
4900	52,25	49,82,7
5000	52,25	49,32,1



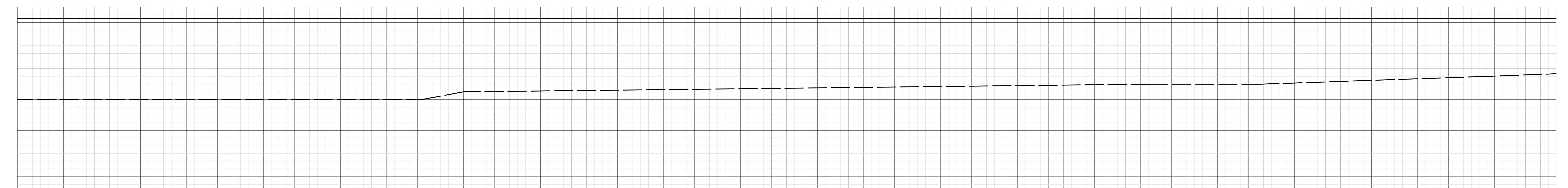
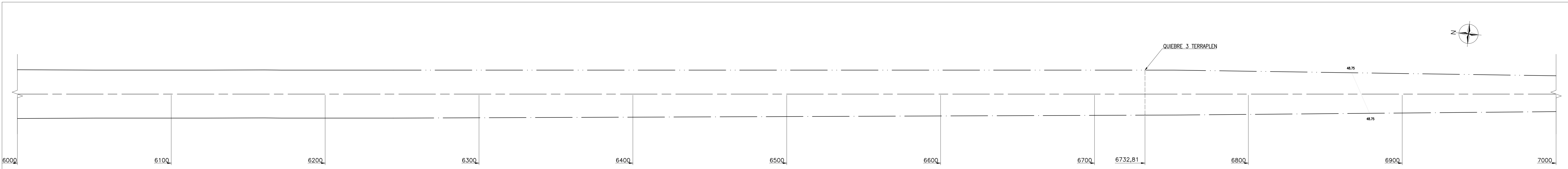
PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
5000	45.00	45.00
5100	45.00	45.00
5200	45.00	45.00
5300	45.00	45.00
5400	46.25	46.25
5500	46.25	46.25
5600	46.25	46.25
5700	46.25	46.25
5800	47.50	47.50
5900	47.50	47.50
6000	47.50	47.50



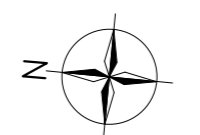
- REFERENCIAS ALTIMETRÍA
- RASANTE
 - - - TERRENO NATURAL
 - PIE INTERNO TERRAPLÉN
 - EJE TERRAPLÉN
 - - - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
 - CURVAS DE NIVEL



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCION DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4F		PLANALTIMETRIA SECCIÓN 6	
FECHA 16/04/2026	ESCALA V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN 02	
INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago			



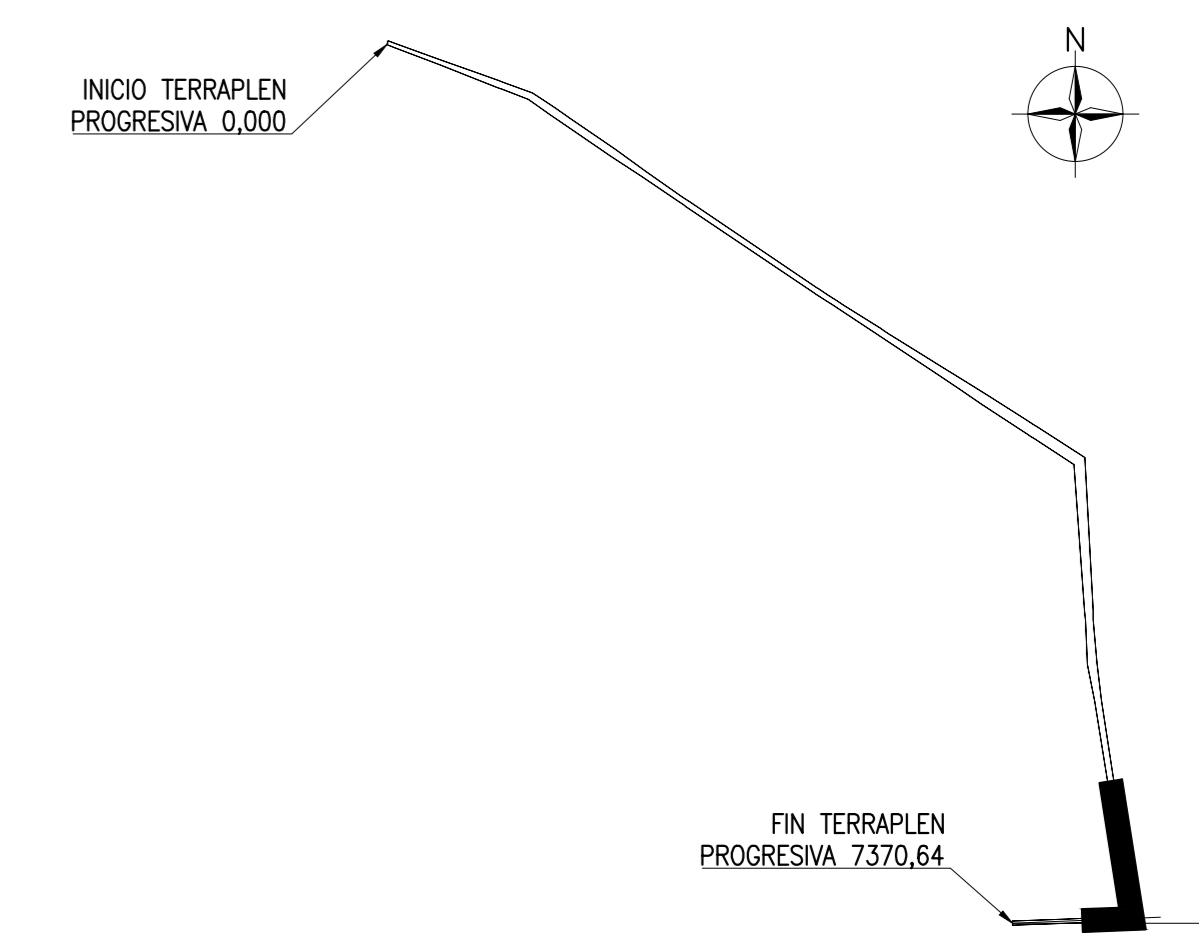
PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
6000	47,00	52,25
6100	47,00	52,25
6200	47,00	52,25
6300	47,00	52,25
6400	47,00	52,25
6500	47,00	52,25
6600	47,00	52,25
6700	47,00	52,25
6732,81	47,00	52,25
6800	47,00	52,25
6900	47,00	52,25
7000	47,00	52,25



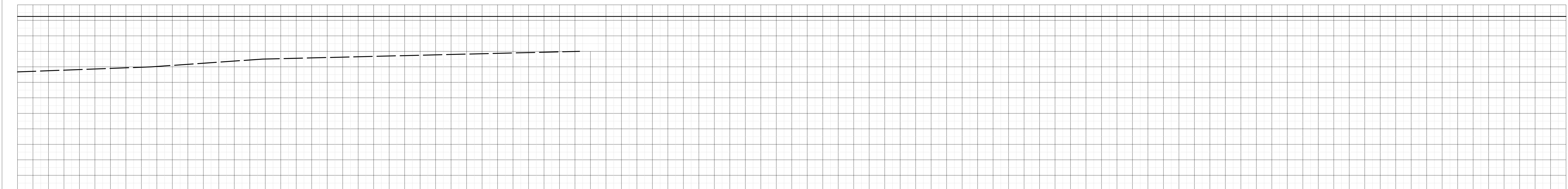
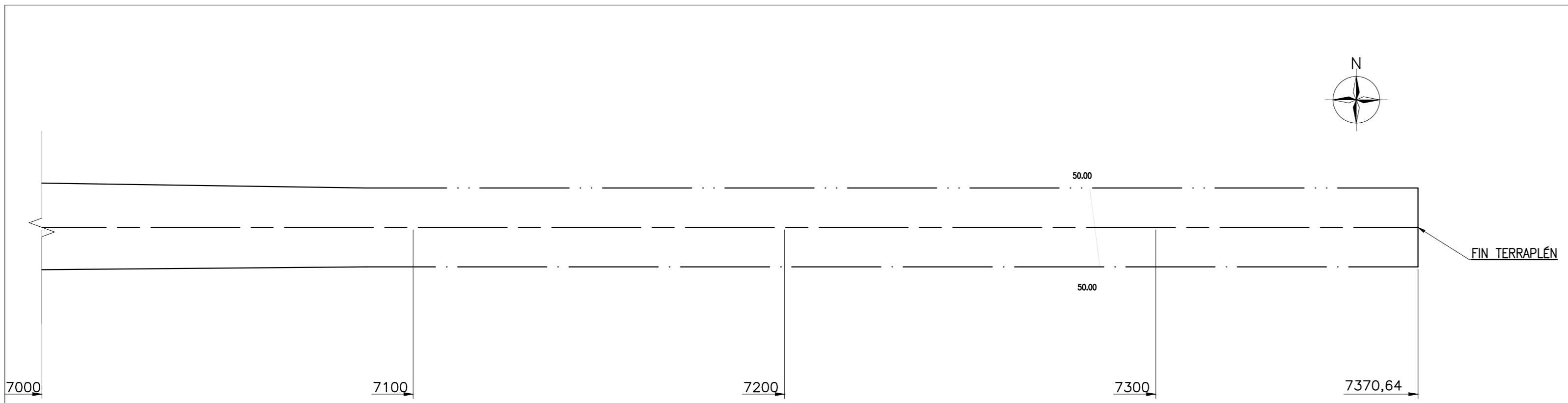
6 km 7

REFERENCIAS ALTIMETRÍA

- RASANTE
- - - TERRENO NATURAL
- PIE INTERNO TERRAPLÉN
- EJE TERRAPLÉN
- - - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
- CURVAS DE NIVEL



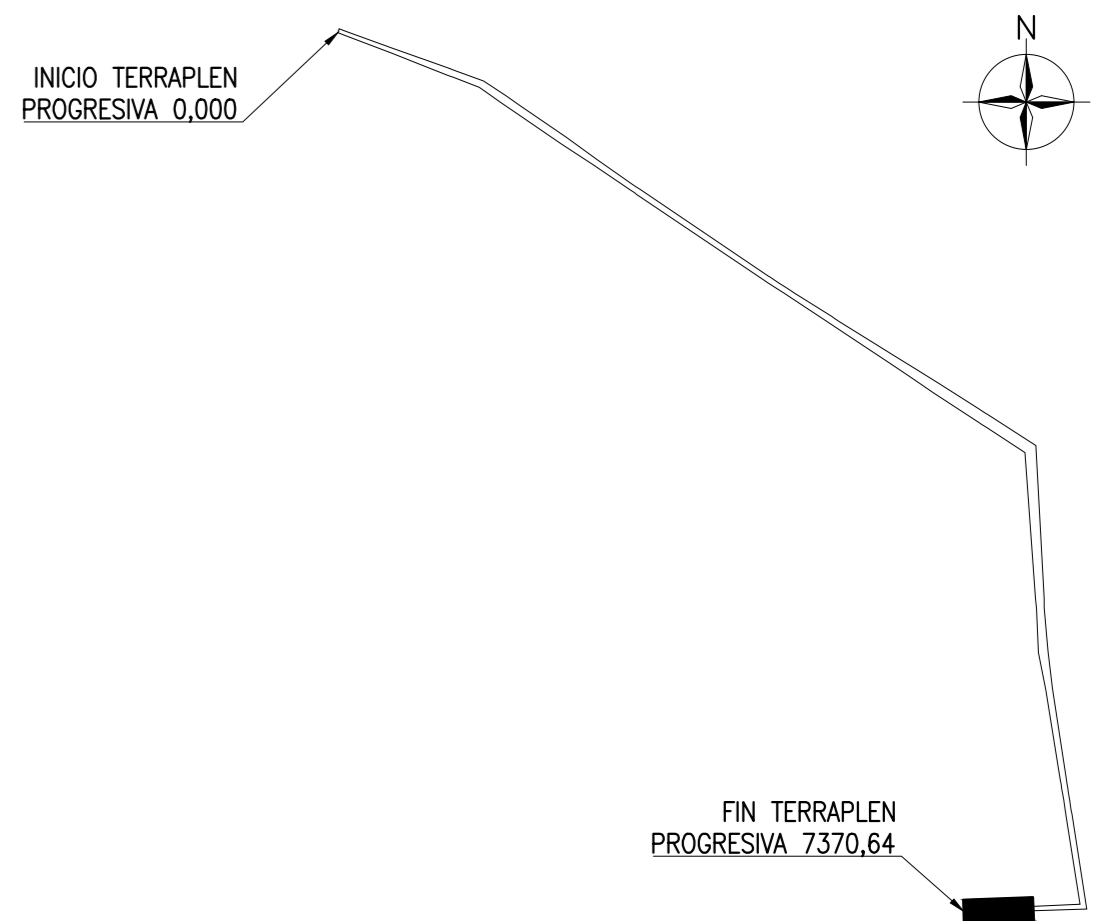
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCION DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4G		INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago	
FECHA: 16/04/2026	ESCALA: V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN: 02	



PROGRESIVAS	COTAS DE RASANTE	COTAS DEL TERRENO
7000	52,25	7082,99
7100	52,25	7198,22
7200	52,25	7282,94
7300	52,25	7370,64
7370,64		

REFERENCIAS ALTIMETRÍA

- RASANTE
- - - TERRENO NATURAL
- · — PIE INTERNO TERRAPLÉN
- · — EJE TERRAPLÉN
- · - · - PIE EXTERNO TERRAPLÉN
- CURVAS DE NIVEL



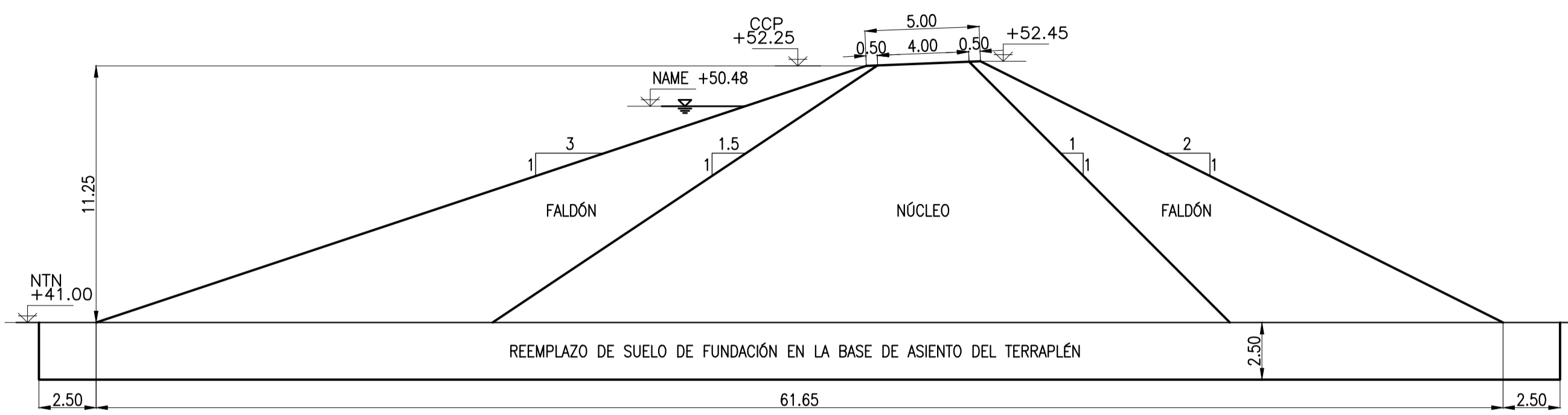
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA			
PLANO N°: 4H		PLANALTIMETRÍA SECCIÓN 8	
FECHA 16/04/2026	ESCALA V 1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN 02	INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago

NOTAS:

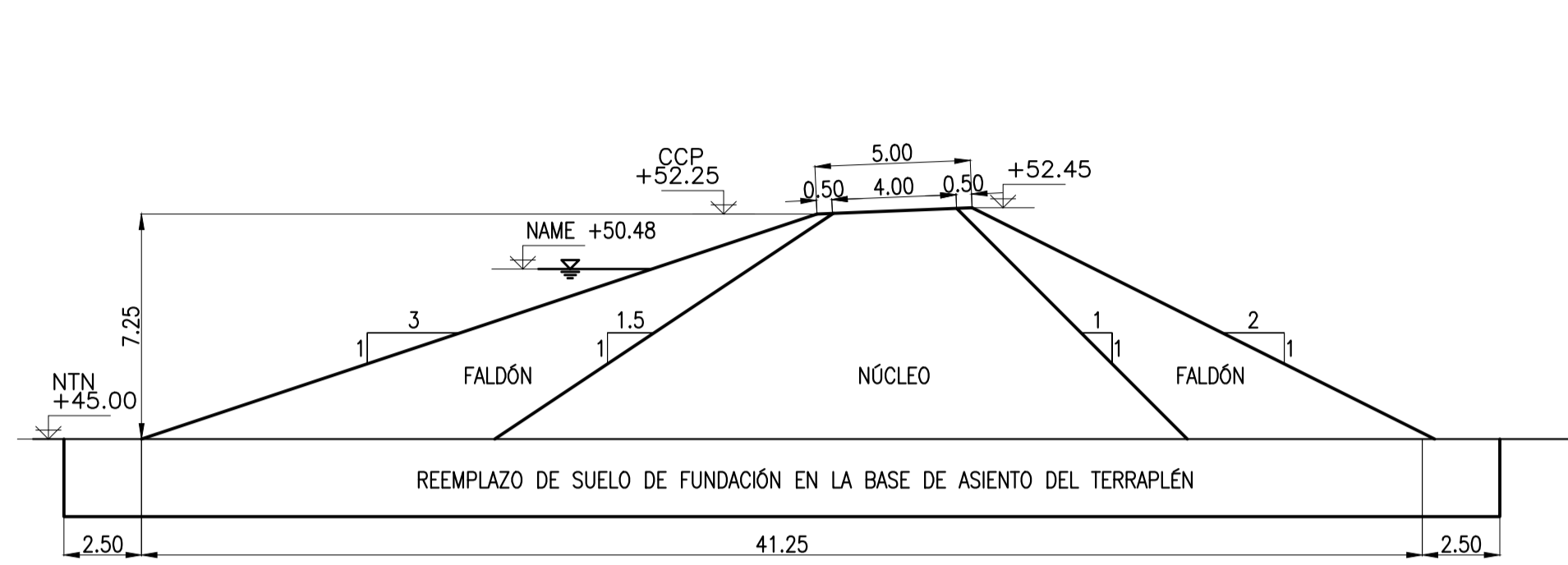
- 1- MEDIDAS EN M Y NIVELES EN METROS
- 2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

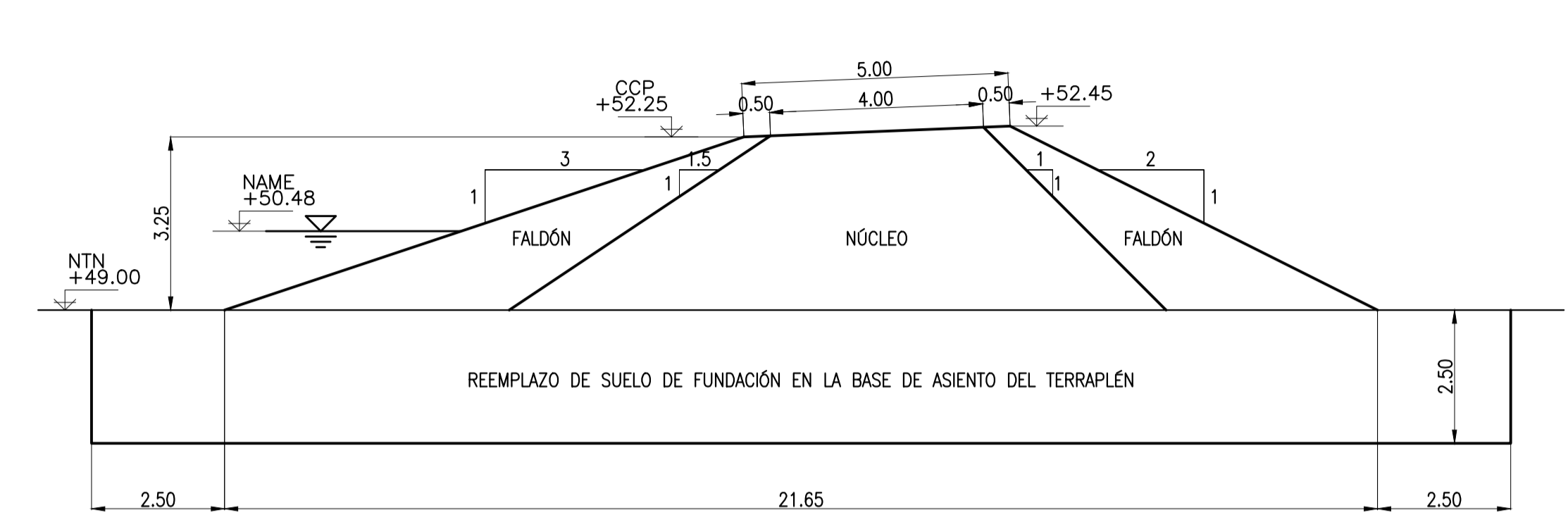
- CCP: COTA CORONAMIENTO PRESA
- CCV: COTA CORONAMIENTO VERTEDERO
- NAME: NIVEL DE AGUAS MAXIMO EXTRAORDINARIO



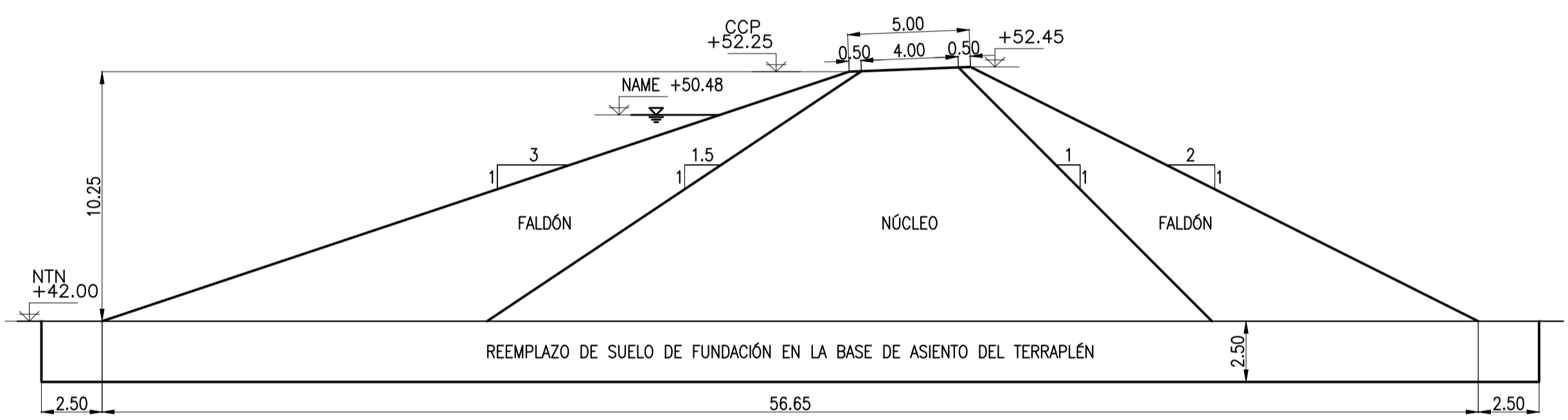
SECCION TRANSVERSAL NTN +41.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



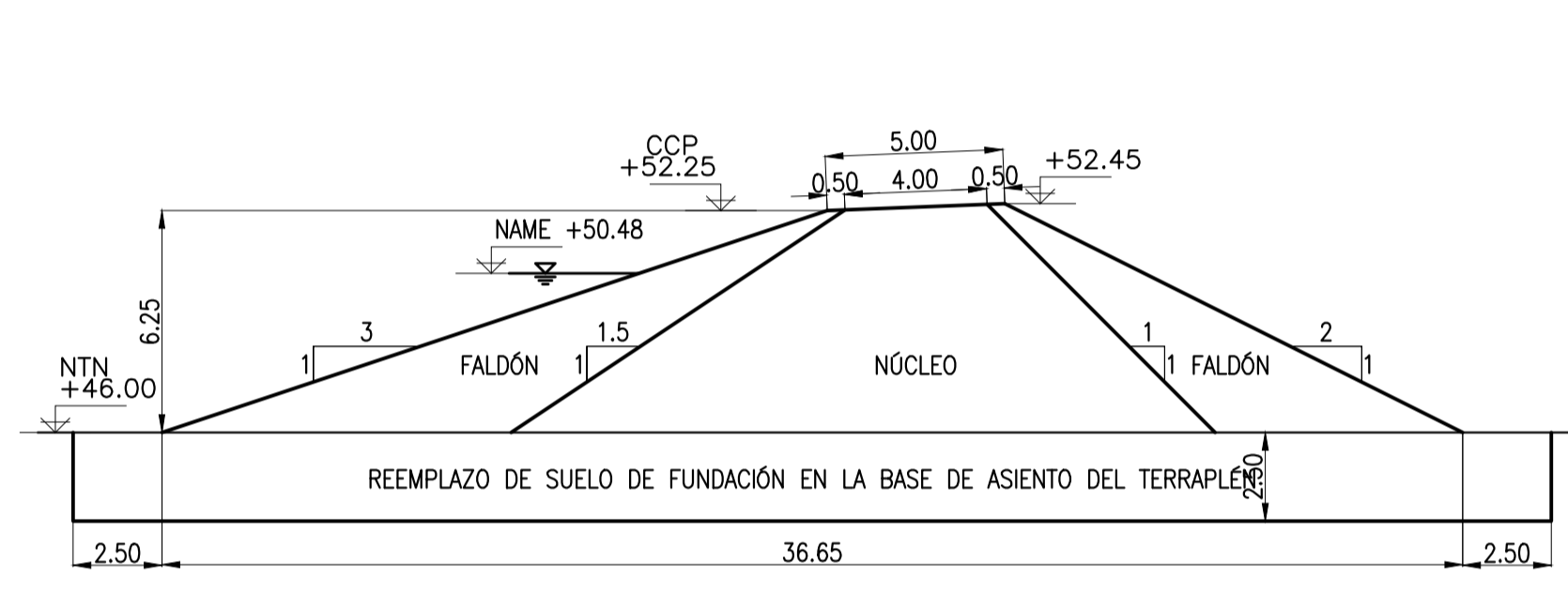
SECCION TRANSVERSAL NTN +45.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



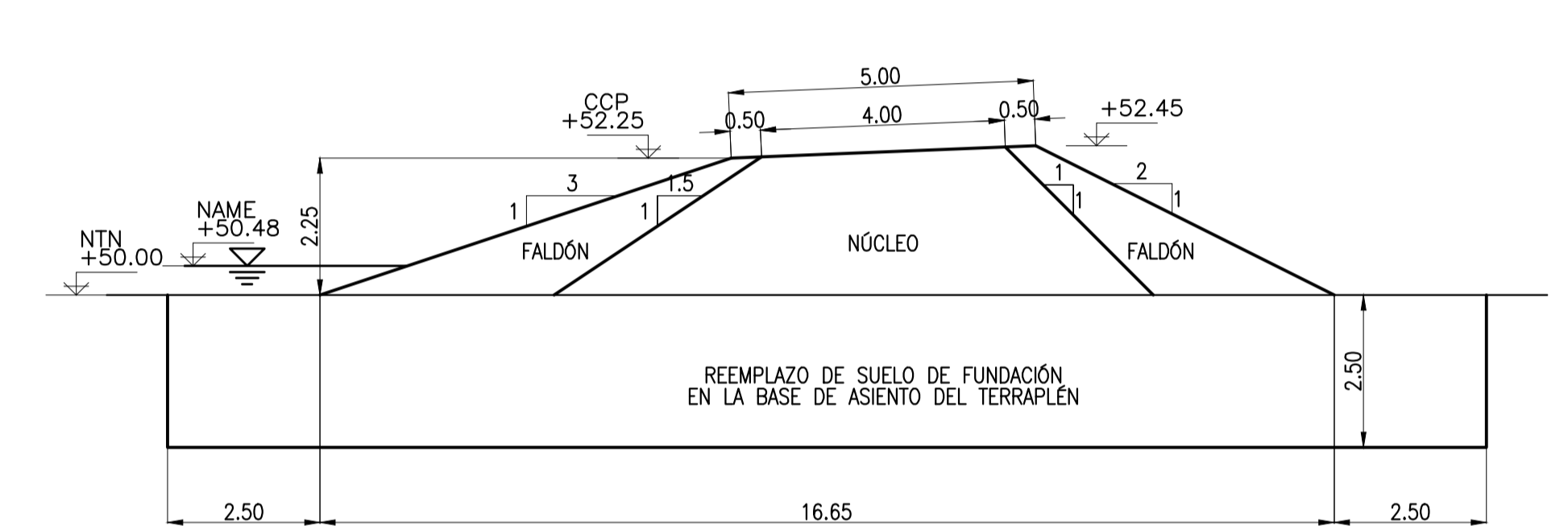
SECCION TRANSVERSAL NTN +49.00
ESC. HORIZONTAL 1:100 - ESC. VERTICAL 1:100



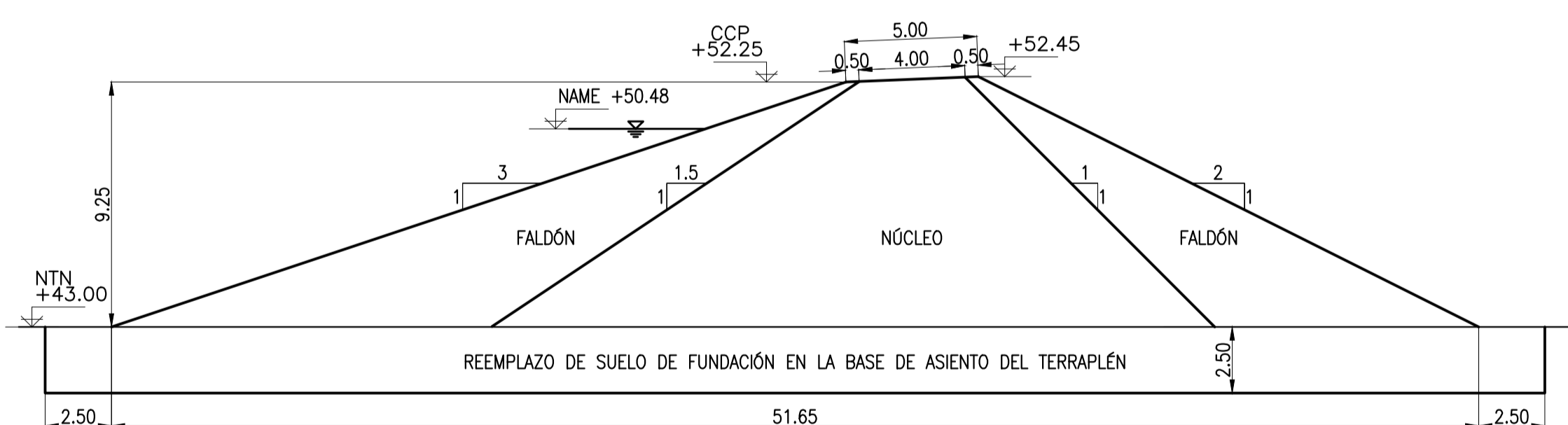
SECCION TRANSVERSAL NTN +42.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



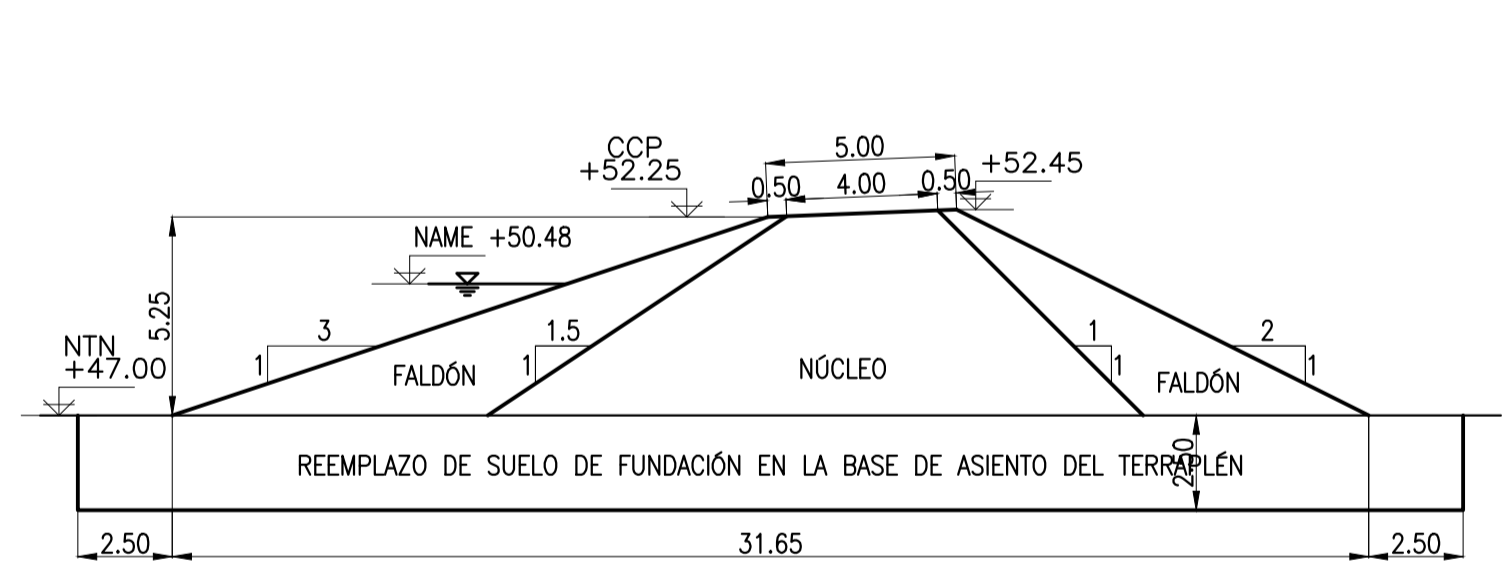
SECCION TRANSVERSAL NTN +46.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



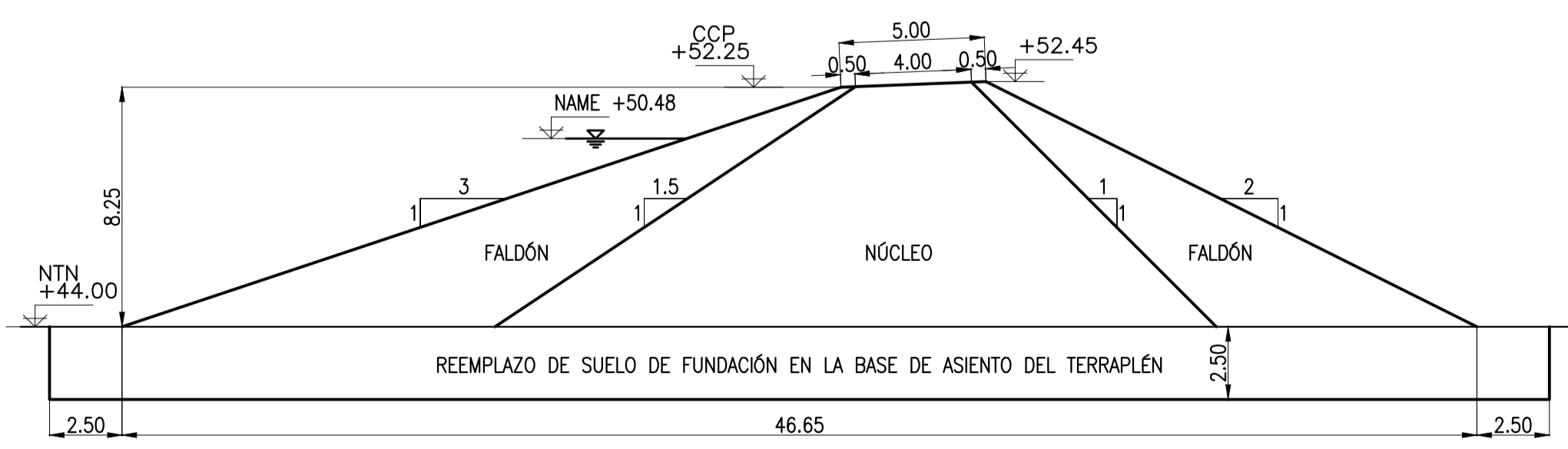
SECCION TRANSVERSAL NTN +50.00
ESC. HORIZONTAL 1:100 - ESC. VERTICAL 1:100



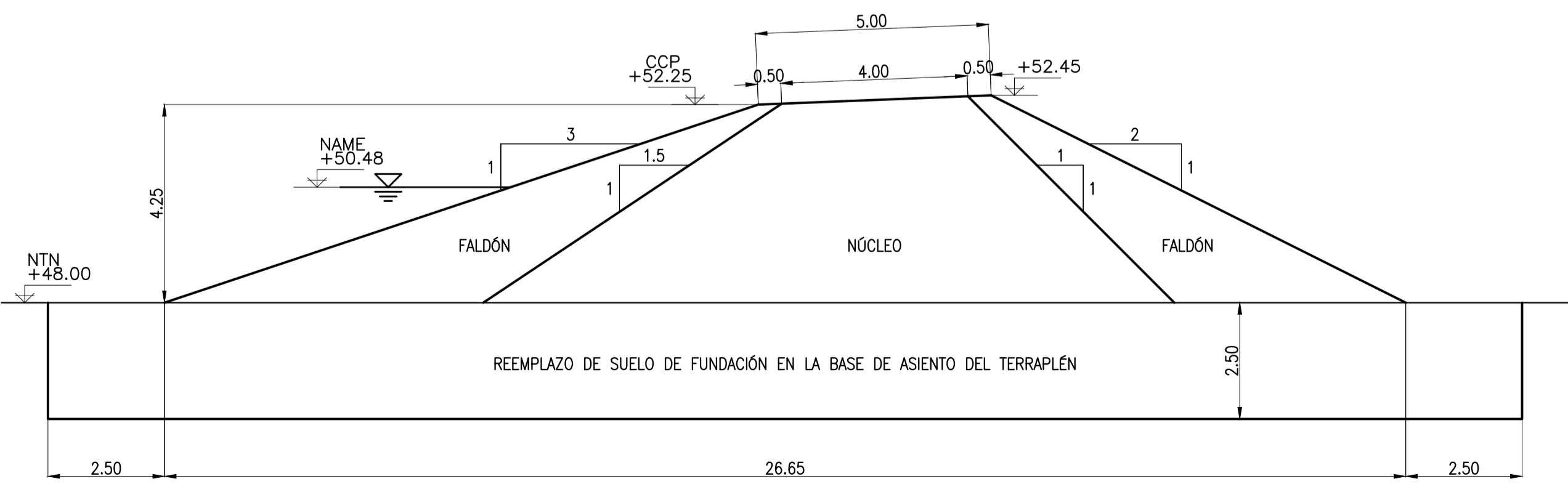
SECCION TRANSVERSAL NTN +43.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



SECCION TRANSVERSAL NTN +47.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



SECCION TRANSVERSAL NTN +44.00
ESC. HORIZONTAL 1:200 - ESC. VERTICAL 1:200



SECCION TRANSVERSAL NTN +48.00
ESC. HORIZONTAL 1:100 - ESC. VERTICAL 1:100

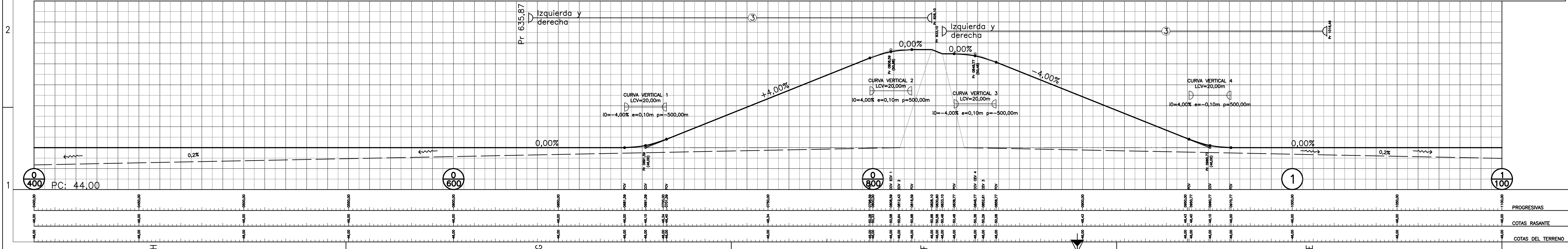
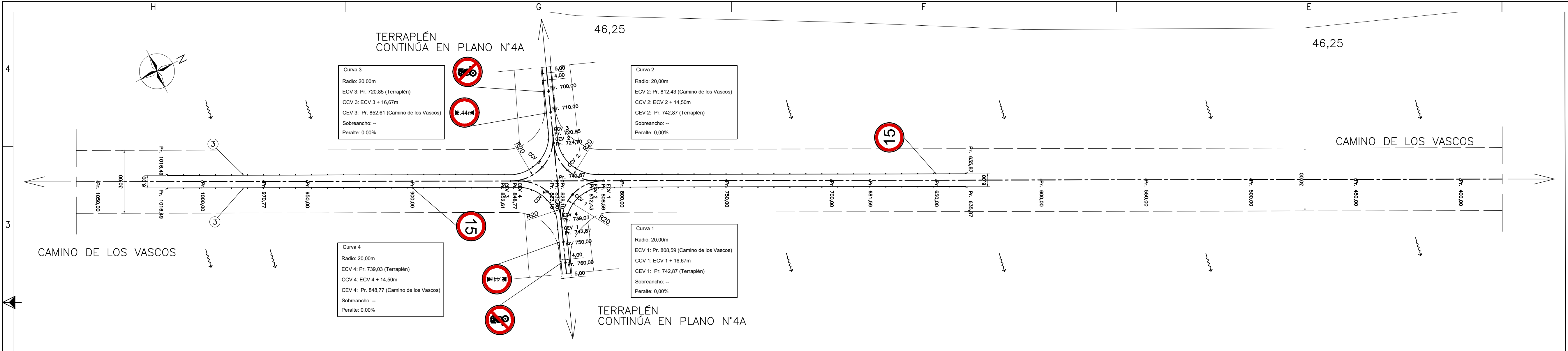
MATERIALES

NÚCLEO: suelo arcilloso de baja permeabilidad, seleccionado de la zona, colocado y compactado en capas sucesivas. Su función es garantizar la impermeabilidad del terraplén, reduciendo las filtraciones a través del cuerpo de la presa y asegurando su correcta vinculación con el terreno de fundación.
 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3 - c=80 \text{ kN/m}^2 - \varphi=10^\circ$

FALDÓN: relleno de suelo limo-arcilloso compactado, dispuesto a ambos lados del núcleo impermeable. Cumple la función de otorgar estabilidad estructural al terraplén, proteger el núcleo y permitir una transición gradual de esfuerzos hacia los taludes aguas arriba y aguas abajo.
 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3 - c=80 \text{ kN/m}^2 - \varphi=10^\circ$

BASE DE ASIENTO: superficie de fundación preparada mediante limpieza, escarificado y compactación del terreno natural existente. Constituye el apoyo del terraplén, asegurando una adecuada capacidad portante y continuidad entre el suelo natural y los materiales del cuerpo de la presa.
 $\gamma=18 \text{ kN/m}^3 - c=80 \text{ kN/m}^2 - \varphi=10^\circ$

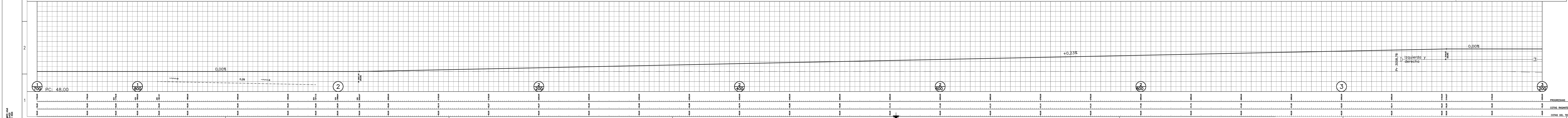
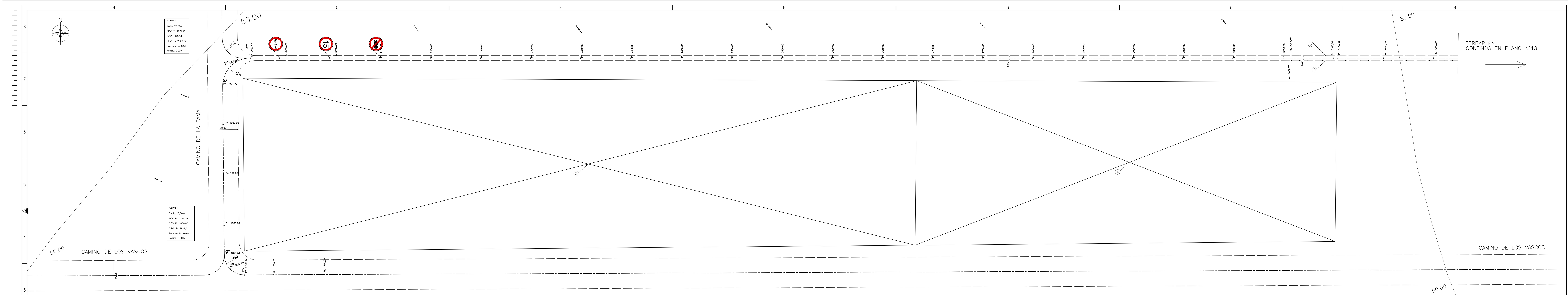
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
PRESA DE RETENCIÓN DE CRECIDAS LA LEGUA			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LOPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
PLANO N°: 5	SECCIONES TRANSVERSALES		DEVOLUCIÓN 02
FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:200-1:100		



OBRAS PROYECTADAS	
① LIMPIEZA DEL TERRENO Total lámina: 2 Ha	REFERENCIAS PLANIMETRÍA --- LÍMITE ZONA DE CAMINO ——— BARANDA DE DEFENSA - - - RASANTE ~~~~ DESAGÜE ——— TALUD TERRAPLÉN
② CONSTRUCCIÓN DE ALAMBRADO SEGÚN PLANO TIPO H-2840-1 Total lámina: 1.300,00m	
BARANDAS DE DEFENSA METÁLICAS SEGÚN PLANO TIPO H-10237 ③ Clase "B" con alas terminales comunes. Poste pesado, conforado en frío. Largo útil: 7,62m. Total lámina: 792,48m	

REFERENCIAS ALTIMETRÍA	
———	RASANTE
.....	TERRENO NATURAL
- - - - -	CUNETA IZQUIERDA
———	CUNETA DERECHA

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CAMINOS DE ACCESO			
PLANO N°: 6A	FECHA 16/04/2026	ESCALA V1:100 H1:1000	DEVOLUCIÓN 01
INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago			

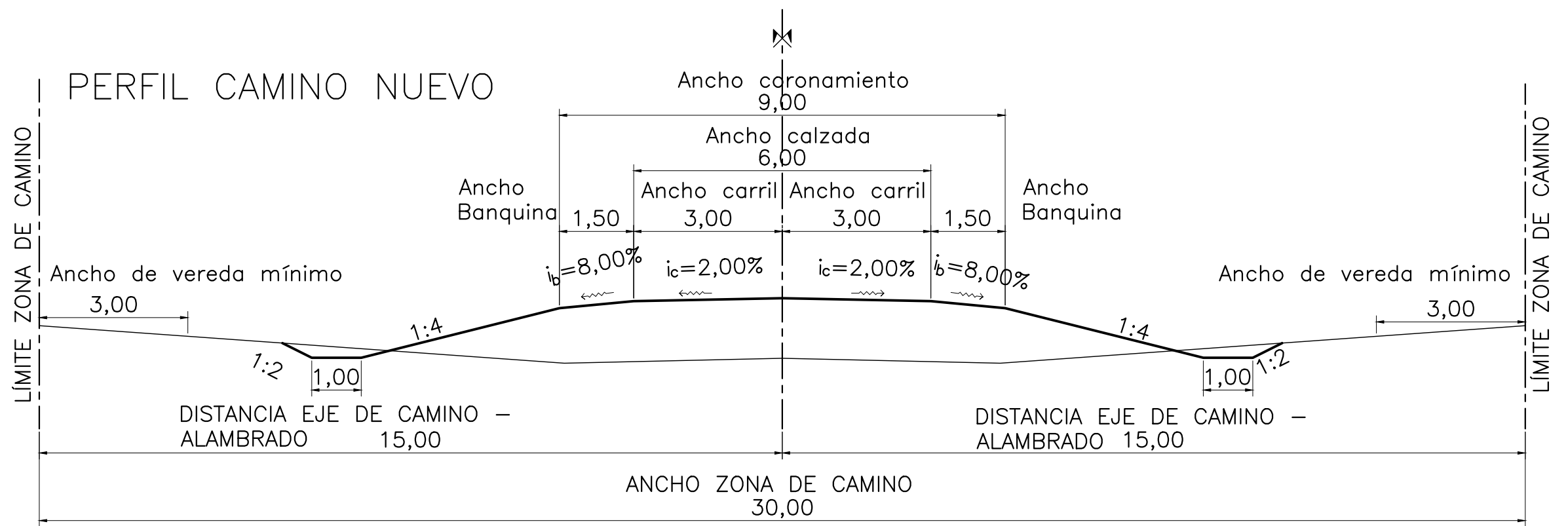


OBRAS PROYECTADAS	
①	LIMPIEZA DEL TERRENO Total lámina: 2 Ha
②	CONSTRUCCIÓN DE ALAMBRAO SEGÚN PLANO TIPO H-2840-1 Total lámina: 3.000,00m
③	BARANDAS DE DEFENSA METÁLICAS SEGÚN PLANO TIPO H-10237 Clase "B" con alas terminales comunes. Poste pesado, conforado en frío. Largo útil: 7,62m. Total lámina: 335,28m
④	CANTERA EXISTENTE Sup. = 67.648,01 m ² Profundidad = 6,00 m
⑤	CANTERA A EXPLOTAR Sup. = 112.653,51 m ² Profundidad = 6,00m

REFERENCIAS PLANIMETRÍA	
---	LÍMITE ZONA DE CAMINO
↔	BARANDA DE DEFENSA
---	RASANTE
~	DESAGÜE
---	TALUD TERRAPLEN

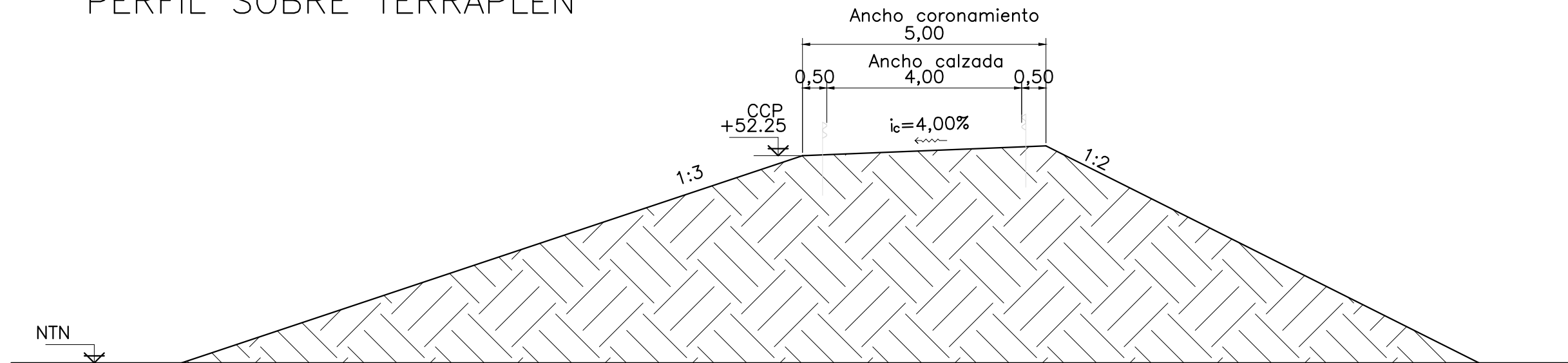
REFERENCIAS ALTIMETRÍA	
---	RASANTE
---	TERRENO NATURAL
---	CUNETA IZQUIERDA
---	CUNETA DERECHA

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CAMINOS DE ACCESO			
PLANO N°:	ACCESO SUR	INTEGRANTES:	
6B	FECHA 16/04/2026	ESCALA VI:100 HI:1000	DEVOLUCIÓN 02
			AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago



PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CAMINOS DE ACCESO			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
PLANO N°: 6C	PREFIL TIPO DE OBRA BÁSICA		
	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:100	DEVOLUCIÓN 02

PERFIL SOBRE TERRAPLÉN



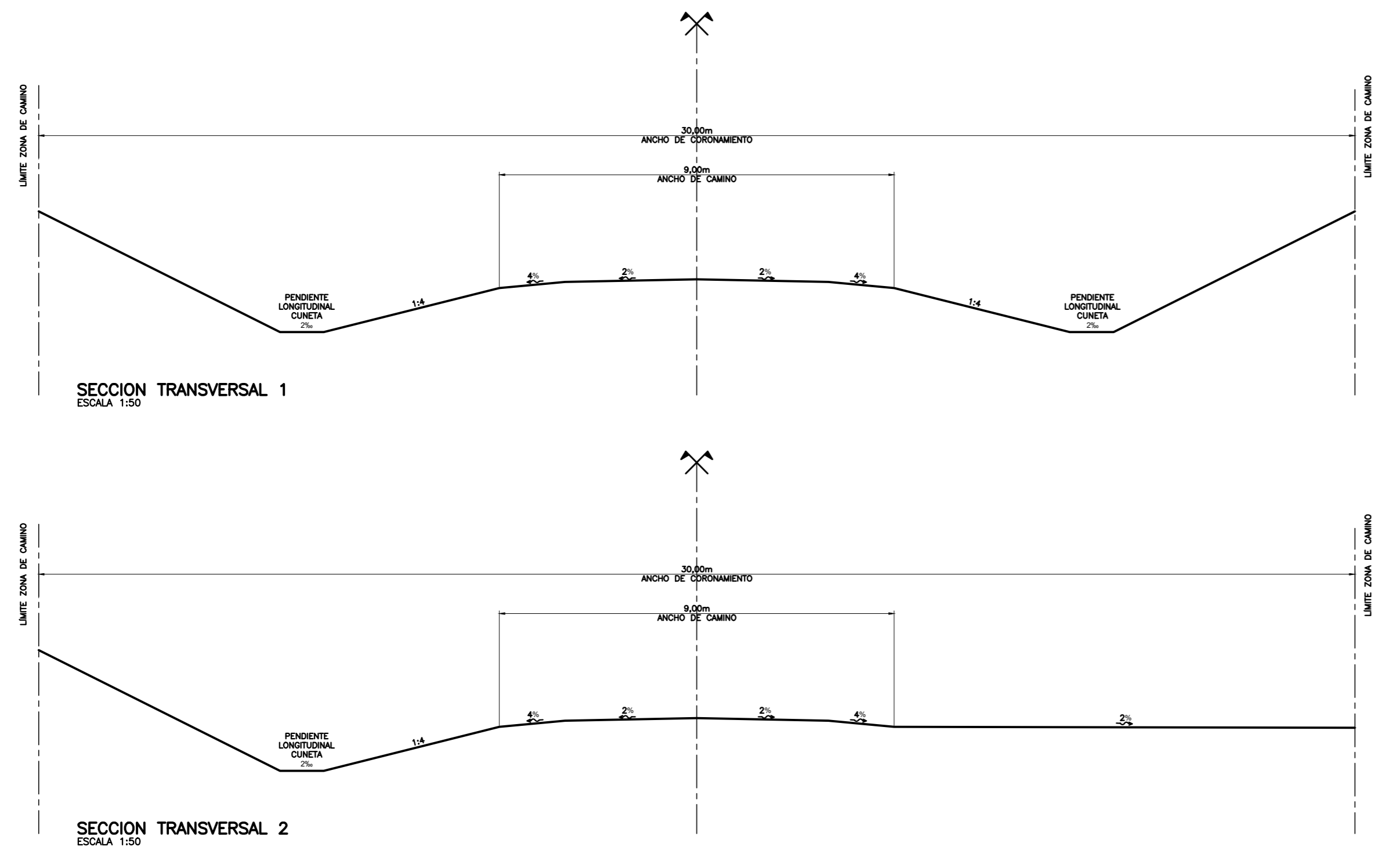
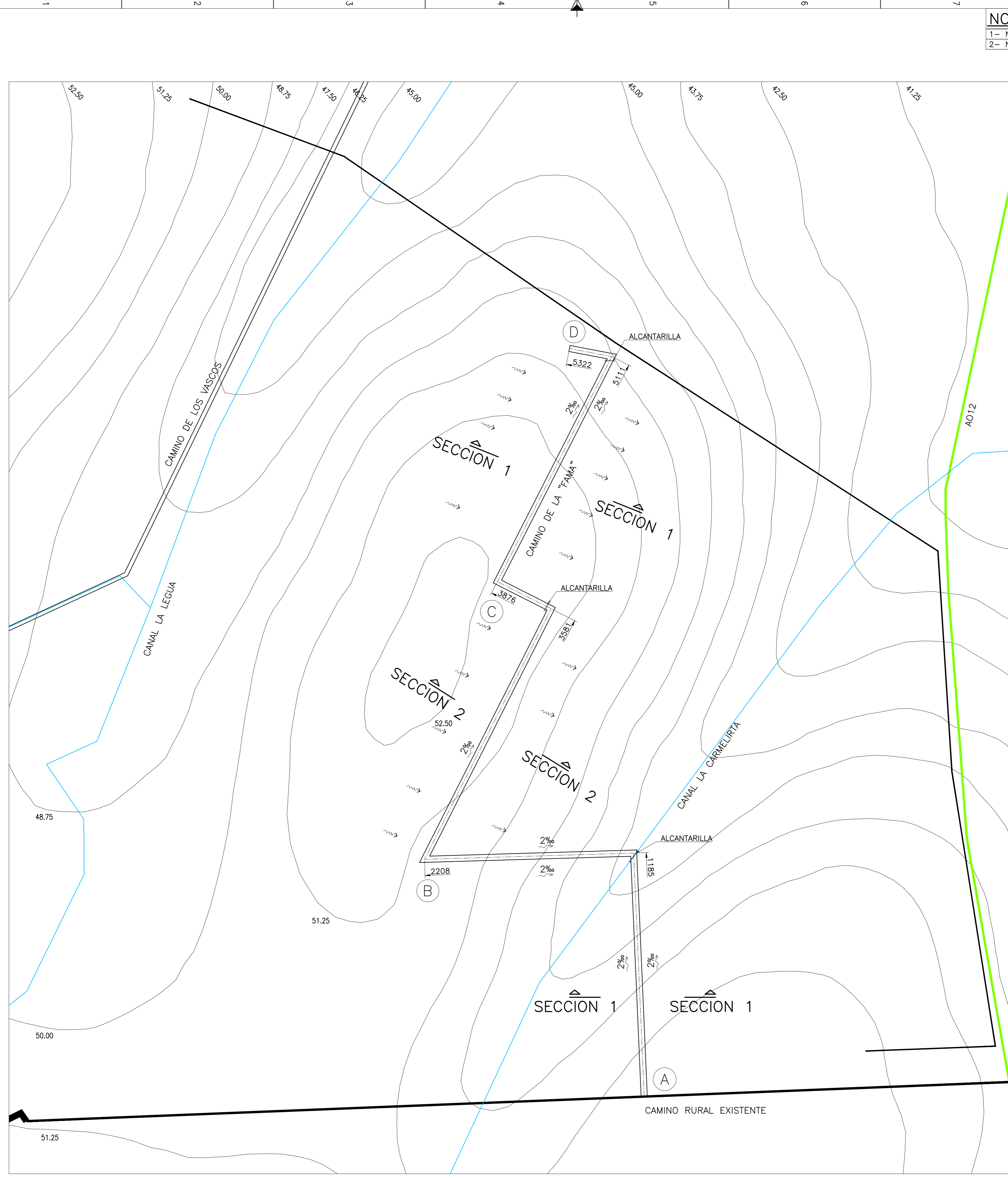
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CAMINOS DE ACCESO			INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustin RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
PLANO N°: 6D	PERFIL TRANSVERSAL S/TERRAPLÉN		
	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:100	DEVOLUCIÓN 02

NOTAS:

1- NIVELES EN M
2- NIVELES REFERIDOS AL IGN

REFERENCIAS:

- A012
- TERRAPLEN
- CAMINO RURAL EXISTENTE
- CURSOS DE AGUA
- ESCURRIMIENTO NATURAL
- ESCURRIMIENTO DE CUNETAS
- PARCELARIO
- CURVAS DE NIVEL
- ALCANTARILLA

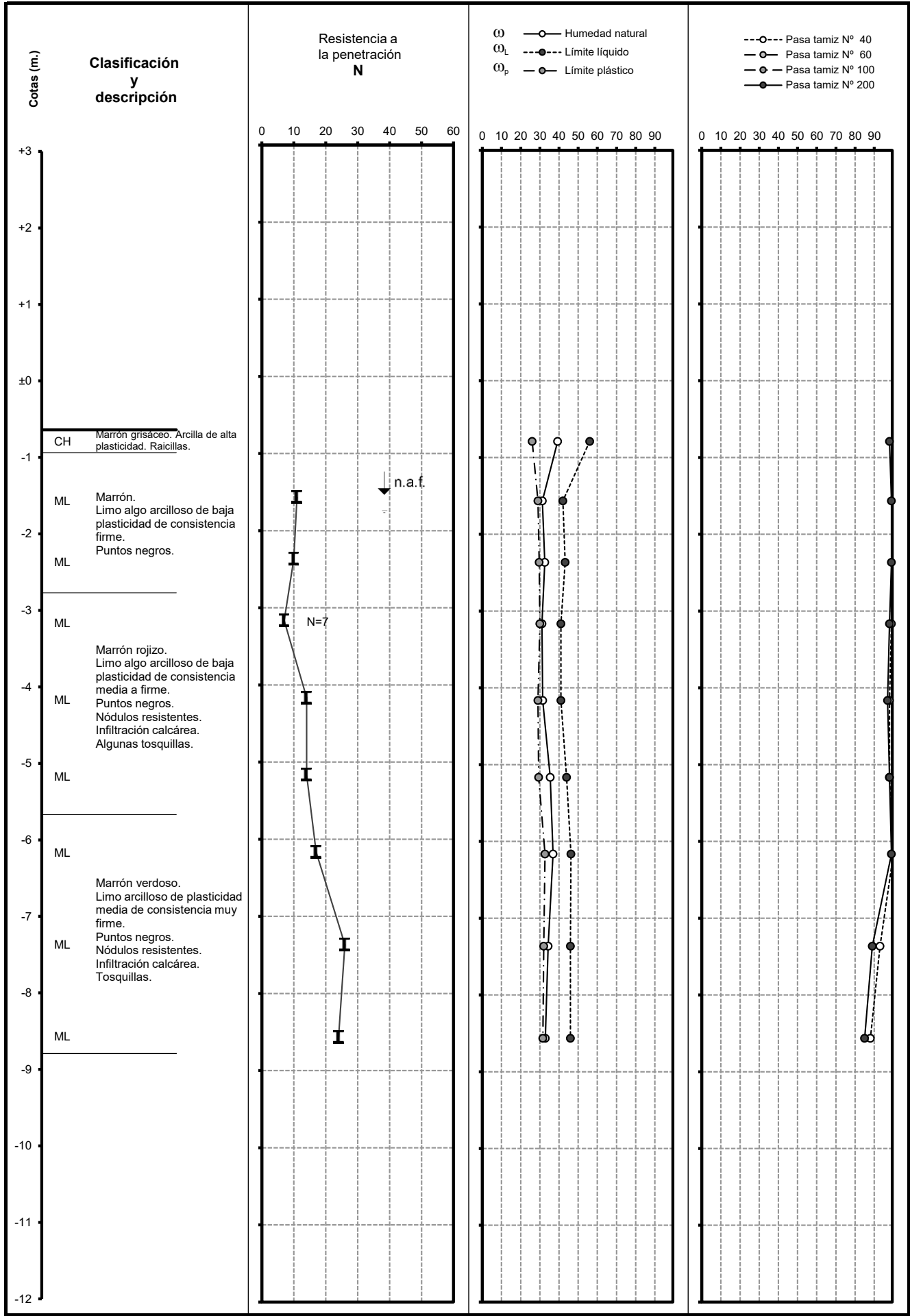


NOTAS ACLARATORIAS:

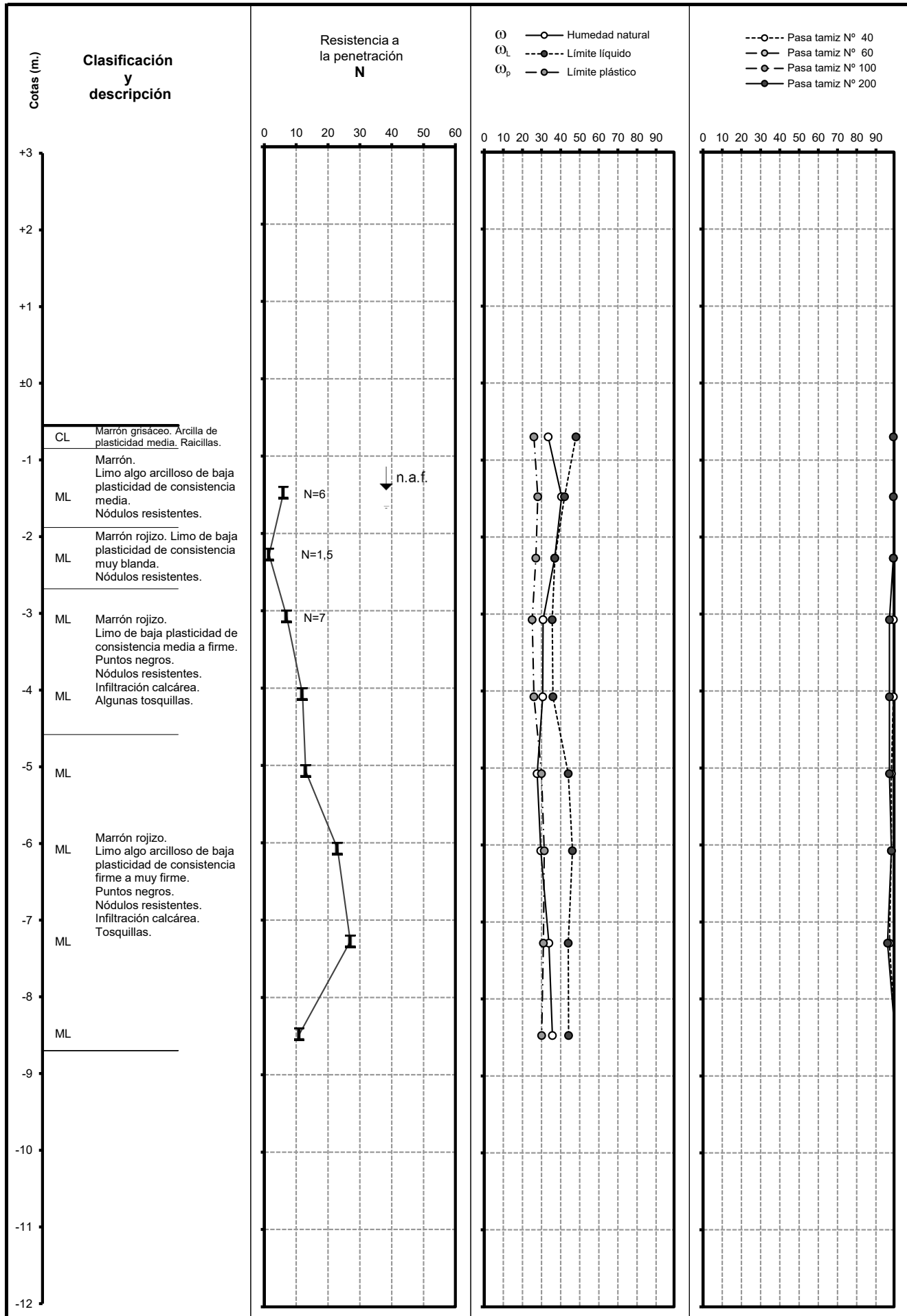
TRAMO A-B: PERFIL TRANSVERSAL 1
TRAMO B-C: PERFIL TRANSVERSAL 2
TRAMO C-D: PERFIL TRANSVERSAL 1

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CAMINO DE ACCESO			
PLANO N°:	UBICACION		INTEGRANTES:
6E	FECHA 16/04/2026	ESCALA 1:10.000-1:50	DEVOLUCIÓN 02
			AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago

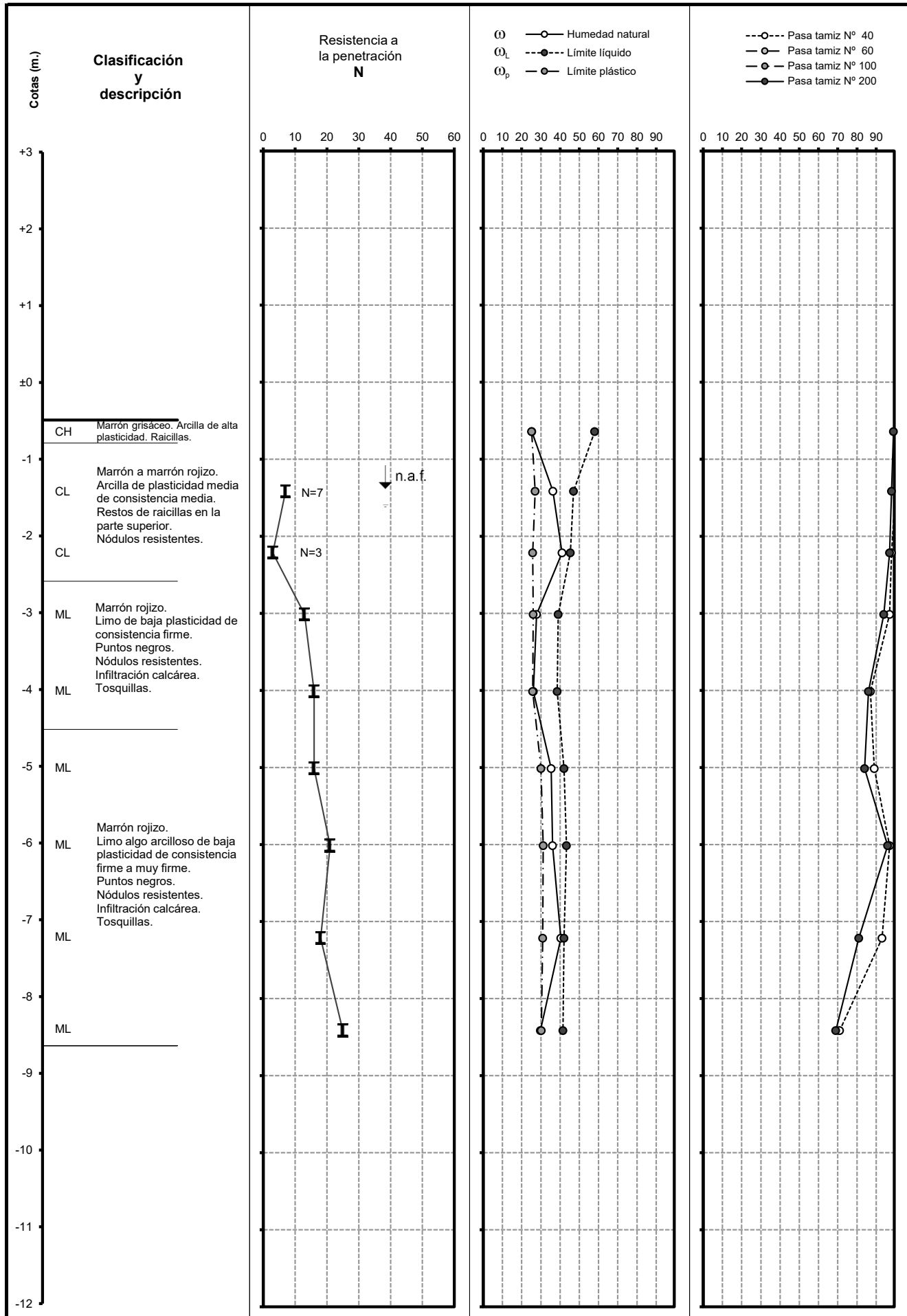
ANEXO 1
ESTUDIO DE SUELOS



Cotas (m.) Boca: -0,64 m. Fondo: -8,79 m. Napa: -1,54 m. Perforación n° : P5

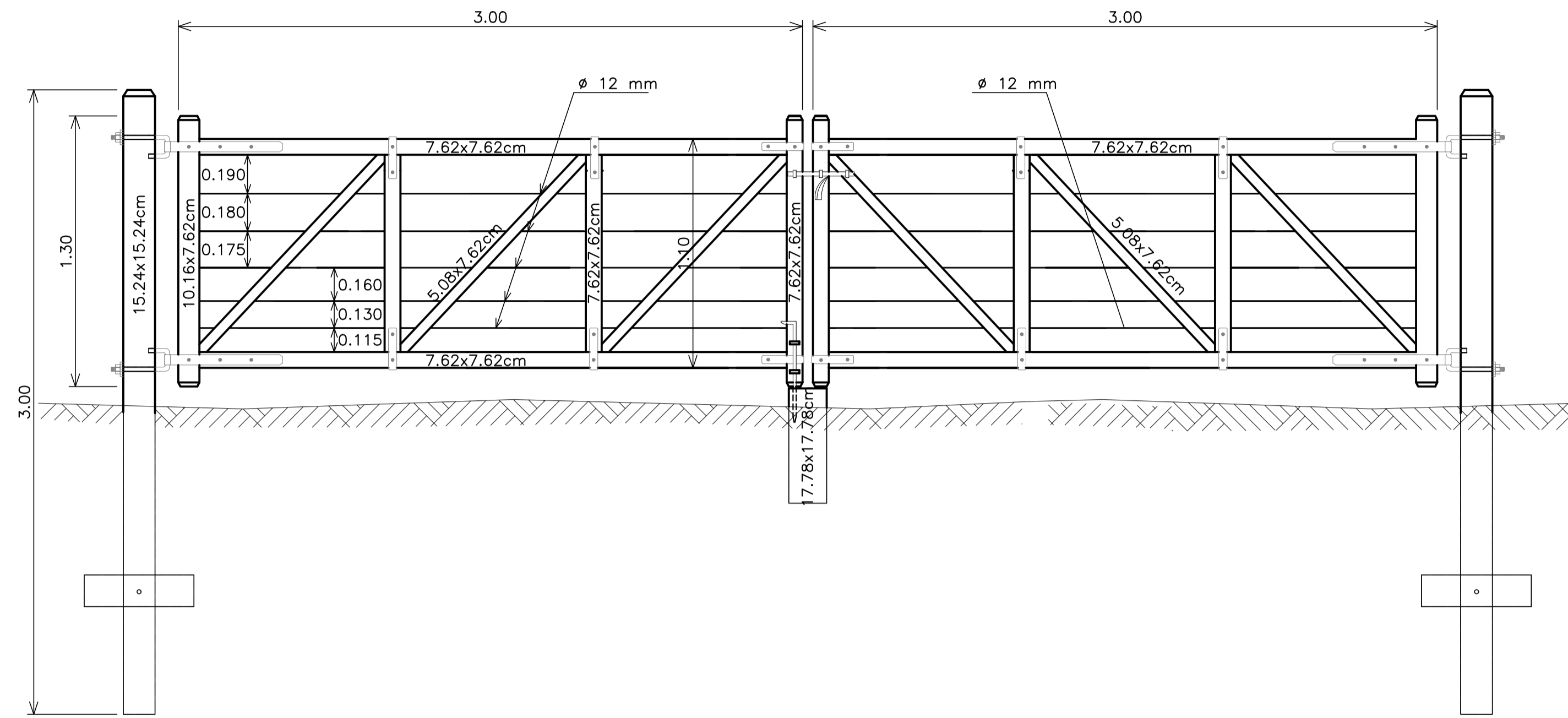


Cotas (m.) Boca: -0,55 m. Fondo: -8,70 m. Napa: -1,45 m. Perforación nº : P6

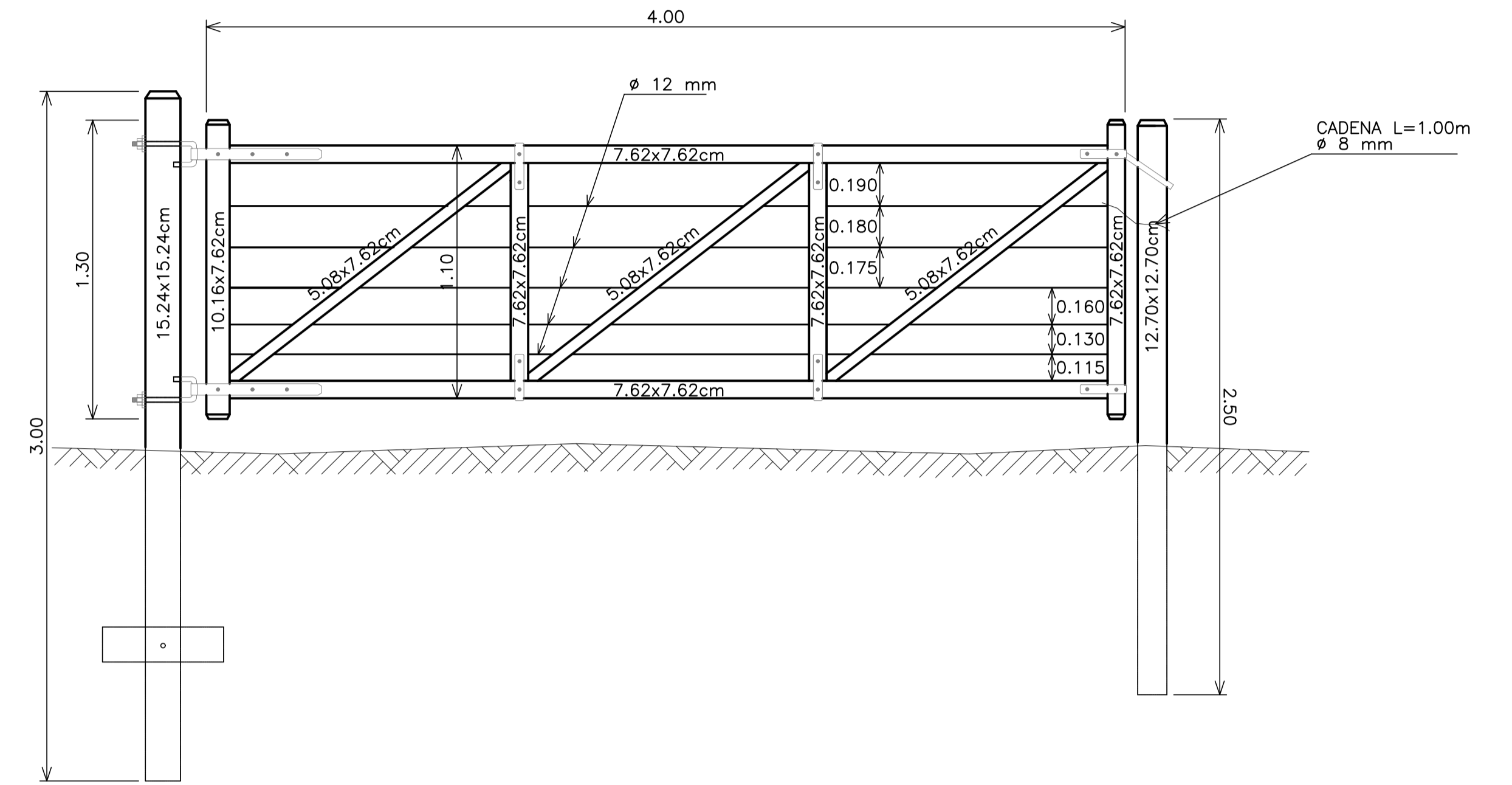


ANEXO 2
PLANOS TIPO

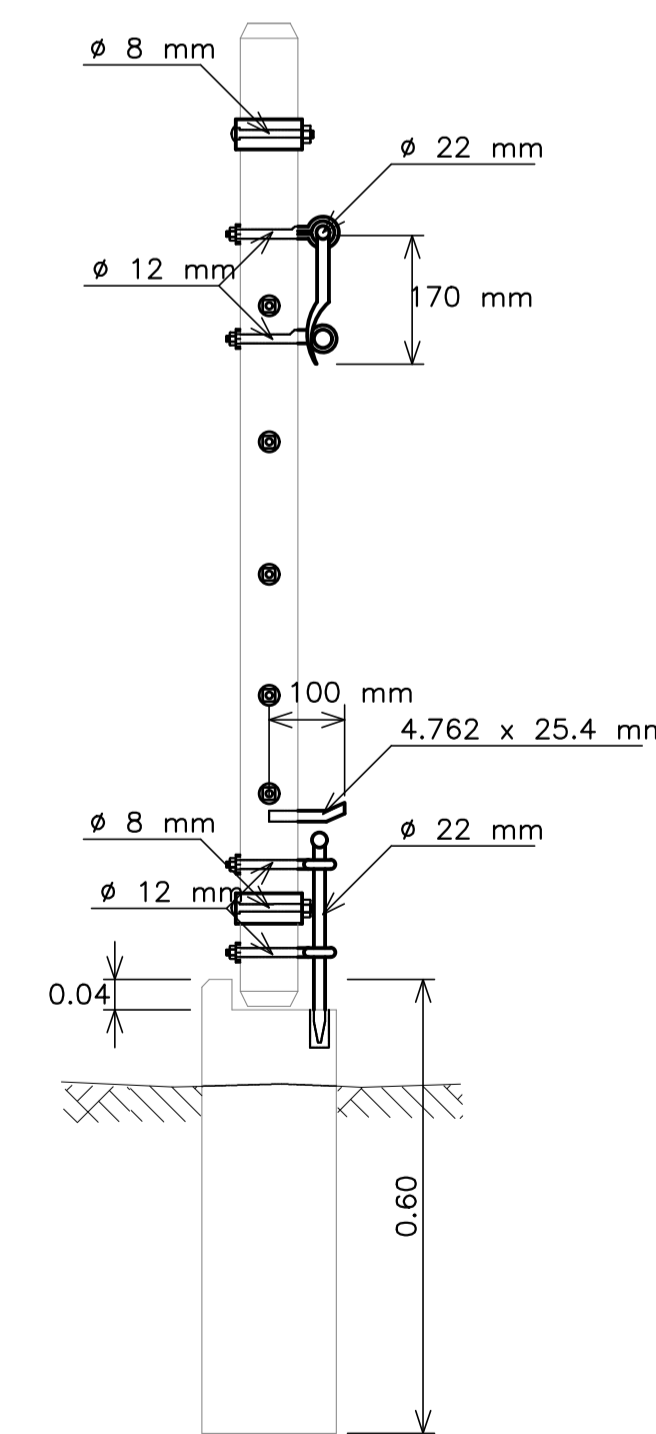
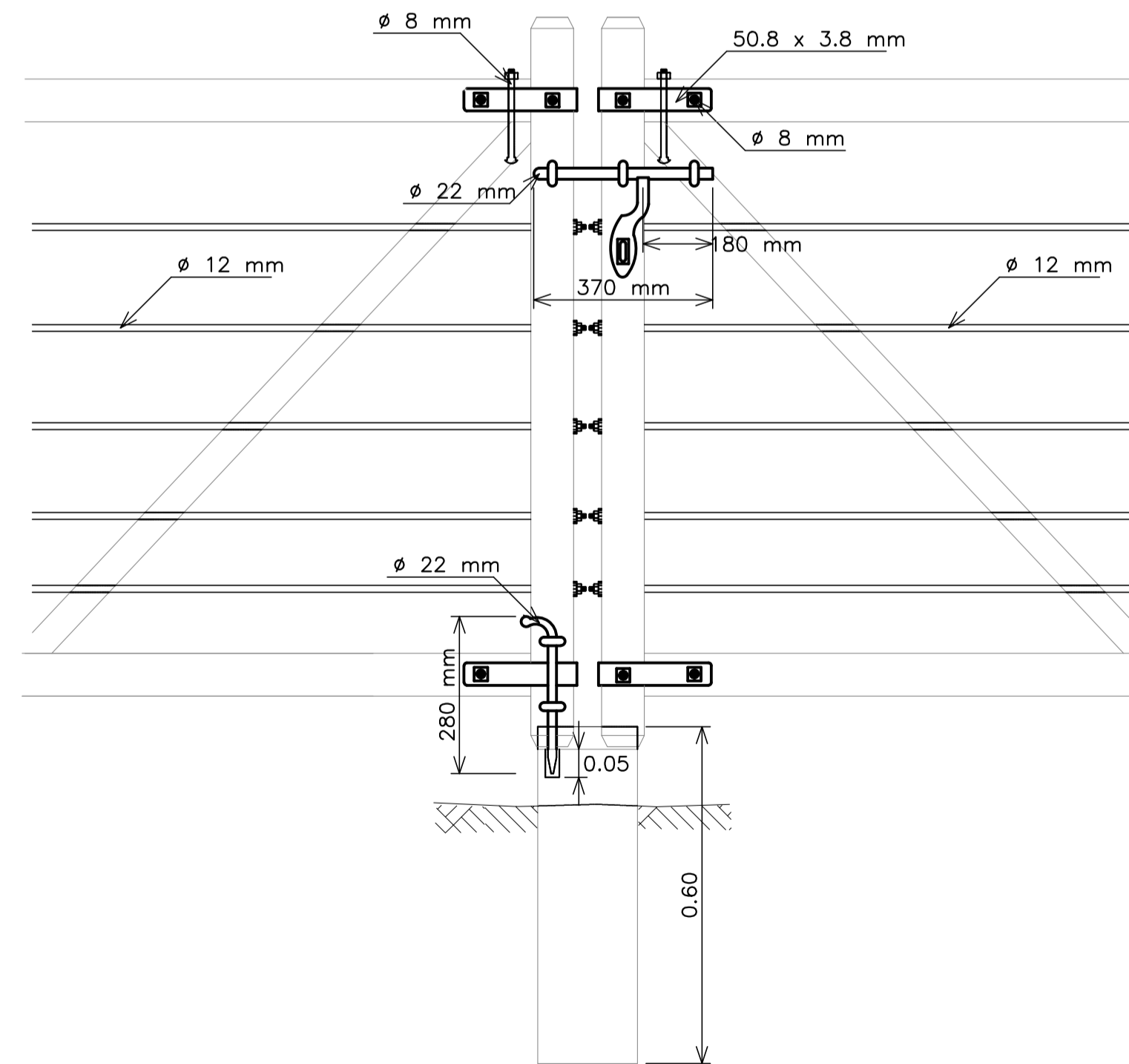
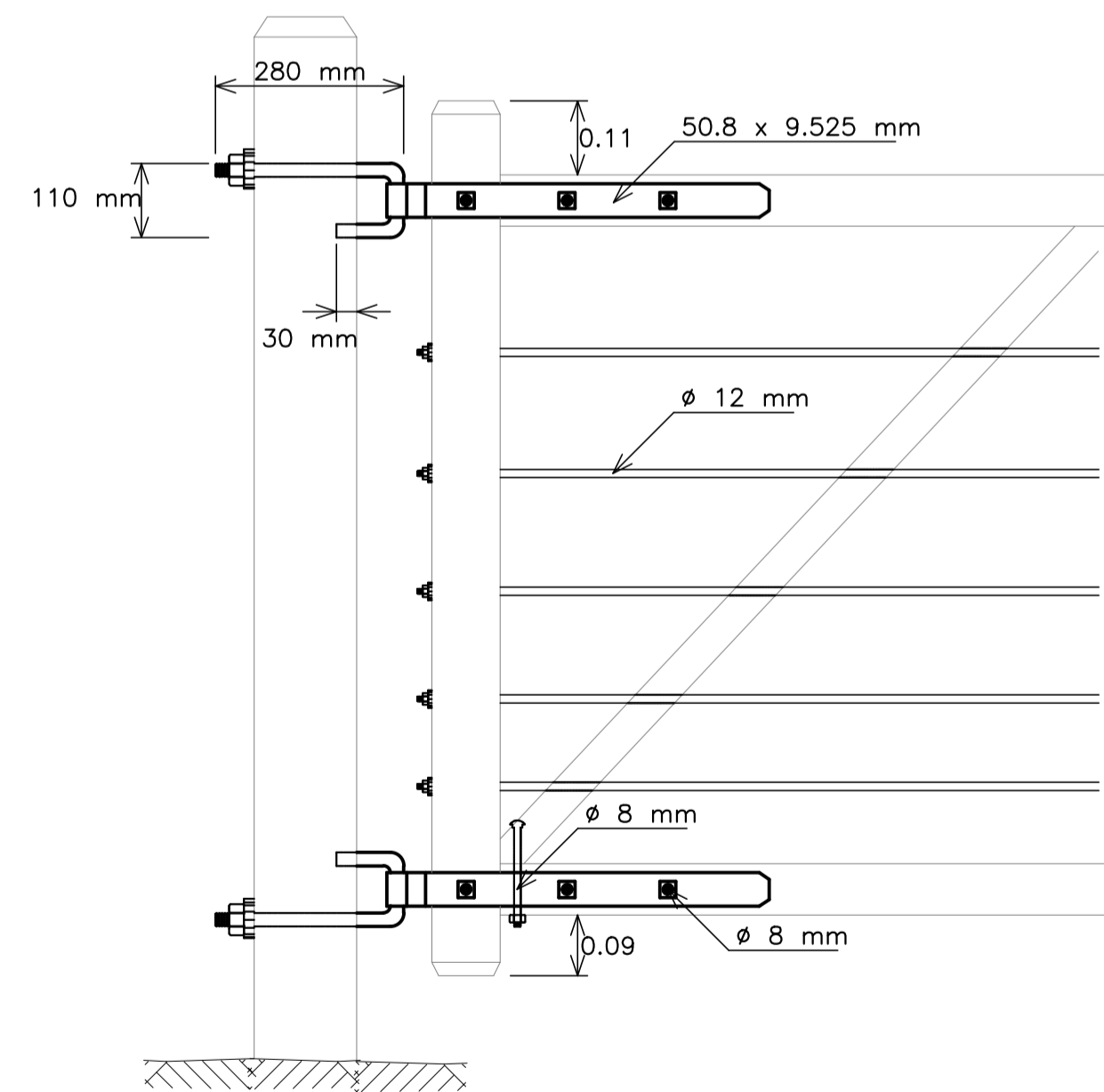
TIPO A
PARA ZONA AGRÍCOLA
ESCALA 1:20



TIPO B
PARA ZONA GANADERA E INDUSTRIAL
ESCALA 1:20

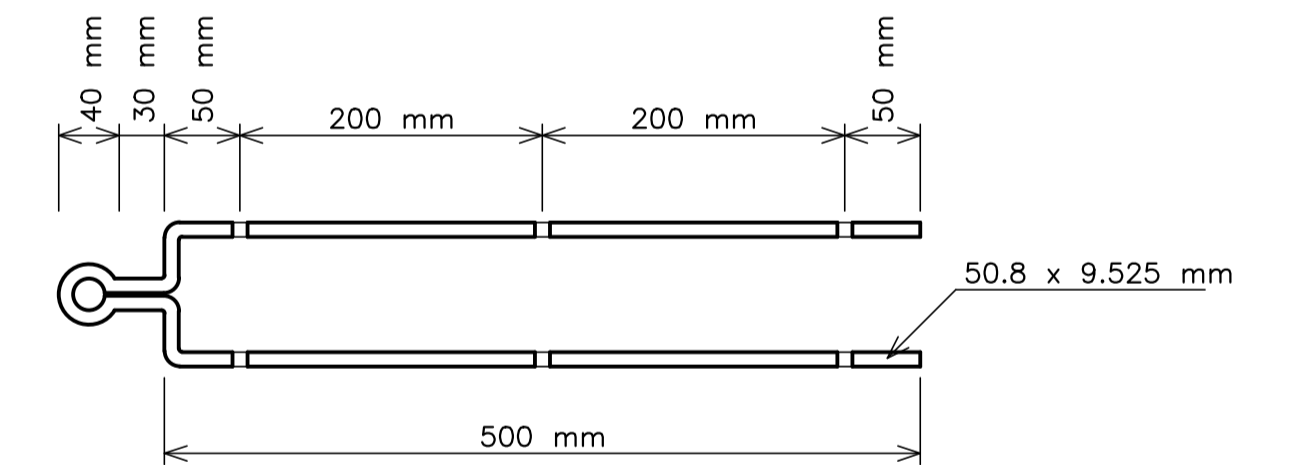


DETALLES
ESCALA 1:10

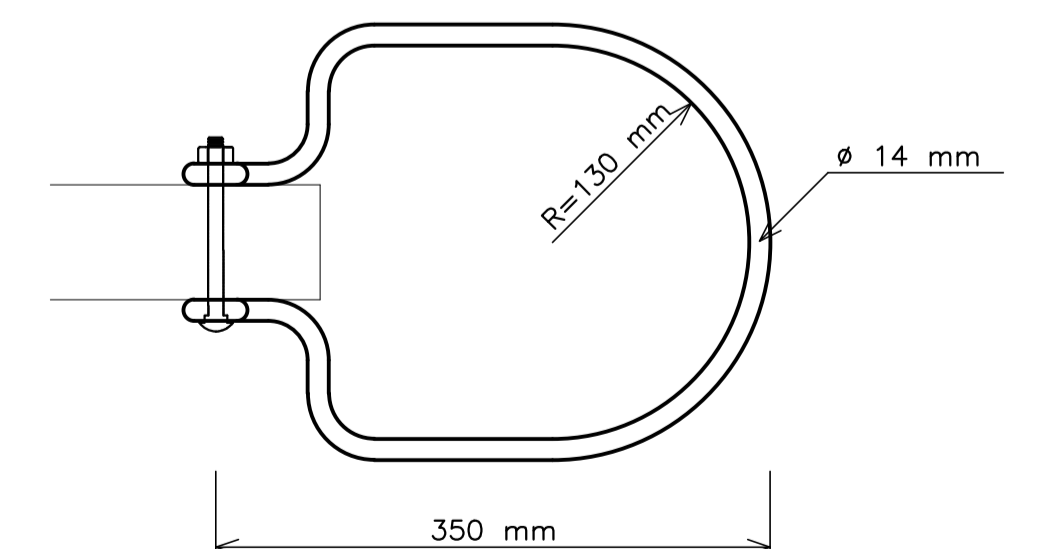


ACCESORIOS
ESCALA 1:5

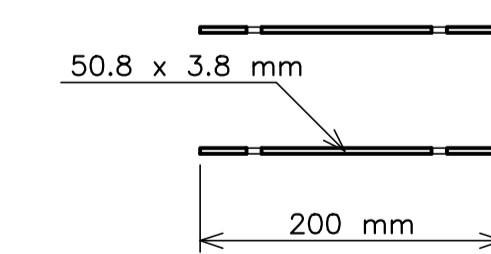
BISAGRA



ARO DE CIERRE



GRAPA

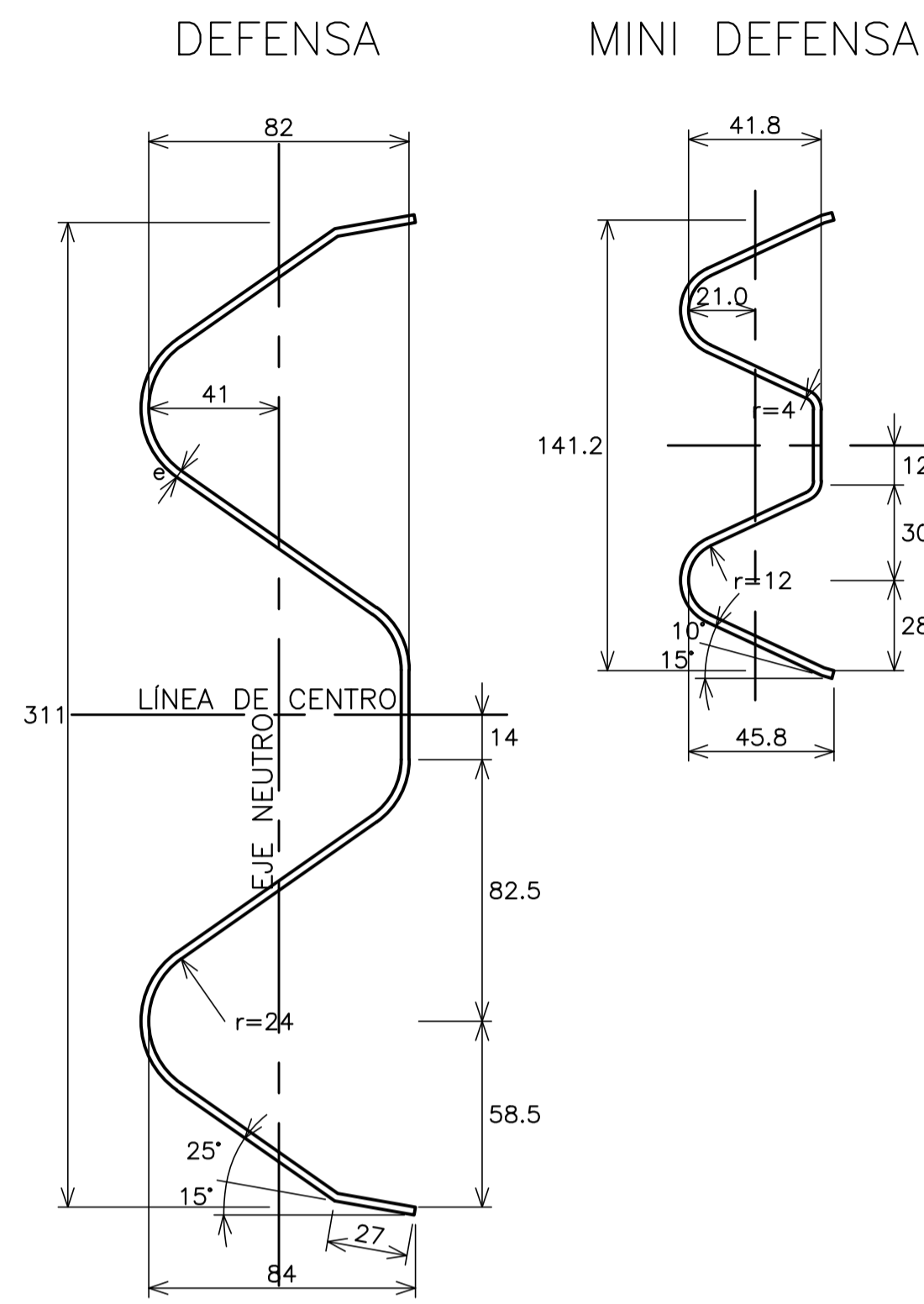


NOTAS:
TODAS LAS PARTES DE MADERA LLEVARÁN UNA MANO DE ACEITE MINERAL.
LAS PARTES METÁLICAS SERÁN PINTADAS CON ALQUITRÁN.
LA TRANQUERA SERÁ DE LAPACHO U OTRA MADERA INDICADA EN EL PLANO 0-23000.
PARA POSTES SE UTILIZARÁ URUNDAY-CURUPAY U OTRA MADERA DE ACUERDO AL PLANO YA MENCIONADO.

ES COPIA DEL PLANO J-5084 DE LA D.N.V. ADAPTADO EN TAMAÑO

PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO				INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
CAMINOS DE ACCESO				
PLANO N°:	PLANO TIPO J-5084			
7A	FECHA 16/04/2026	ESCALA VARIAS	DEVOLUCIÓN 02	

SECCIÓN TRANSVERSAL



PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS DEFENSAS

TIPO	CLASE	CALIBRE e (mm)	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL (cm ²)	MOMENTO DE INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENTE (cm ³)		PESO DE LA DEFENSA (kg)	
				HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL	3.81 m	7.62 m
DEFENSA	A	12 (2.5mm)	12.84	96.1	1249.0	22.5	80.6	41	78
	B	10 (3.2mm)	16.52	123.6	1607.0	28.9	103.6	53	100
MINI DEFENSA	-	12 (2.5mm)	5.95	12.0	92.0	4.8	13.0	19	40

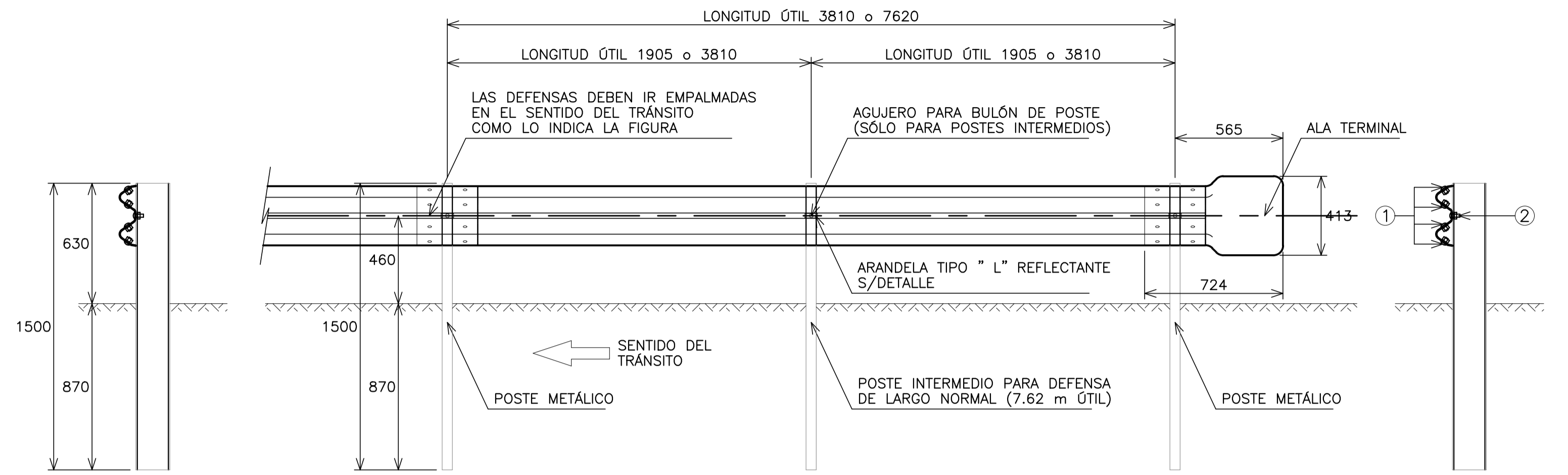
PROPIEDADES FÍSICAS DE POSTES LAMINADOS EN CALIENTE

TIPO	ALTURA h (mm)	ANCHO b (mm)	ESPESOR e (mm)	MOMENTO DE INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENTE (cm ³)		Wx.Wy (cm ⁶)	Wx/Wy
				HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL		
LIVIANO	152.4	48.77	5.08	541.0	29.1	70.5	8.2	578.0	8.60
PESADO	177.8	53.09	5.33	873.0	40.8	98.3	10.3	1013.0	9.54

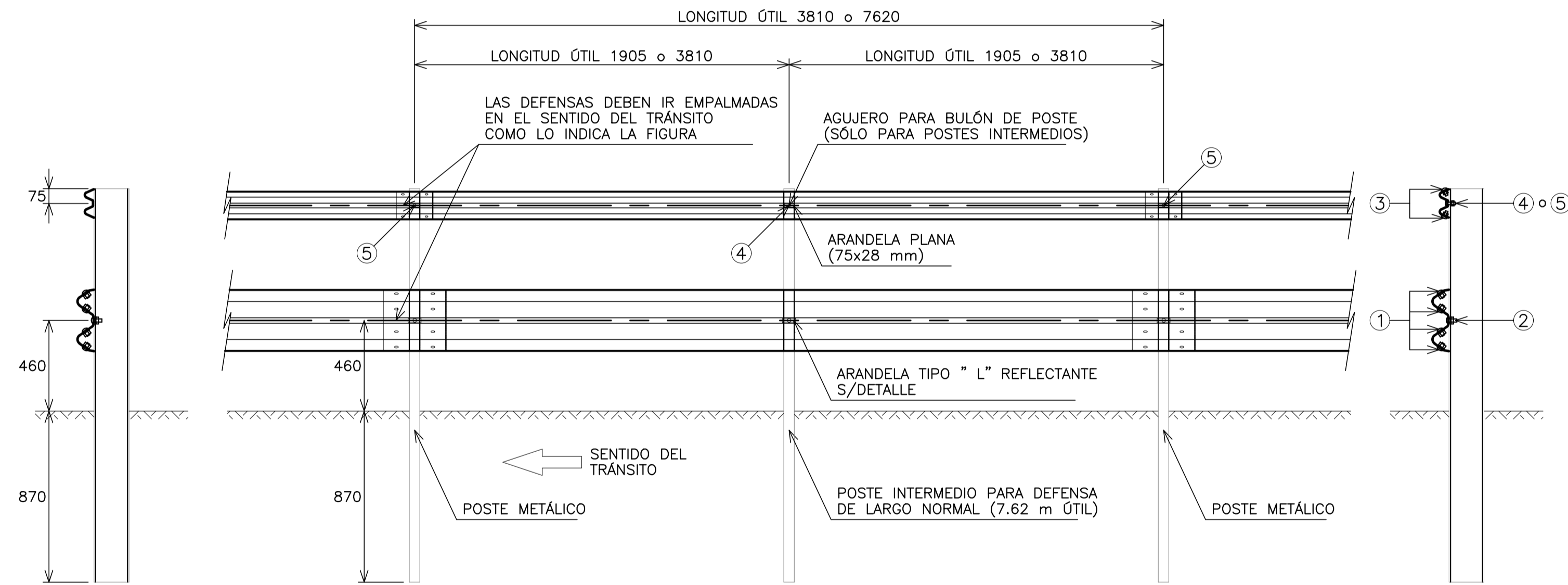
PROPIEDADES FÍSICAS DE POSTES CONFORMADOS EN FRIO

TIPO	ALTURA h (mm)	ANCHO b (mm)	ESPESOR e (mm)	MOMENTO DE INERCIA (cm ⁴)		MÓDULO RESISTENTE (cm ³)		Wx.Wy (cm ⁶)	Wx/Wy
				HORIZONTAL	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL		
LIVIANO	170.0	70.0	4.75	590.0	64.0	73.8	12.3	908.0	6.0
PESADO	190.0	80.0	4.75	850.0	96.0	89.5	16.3	1578.0	5.5

DETALLE DE INSTALACIÓN DE LA DEFENSA Y DETALLE DE BULONES



DETALLE DE INSTALACIÓN DE LA MINI DEFENSA Y DETALLE DE BULONES

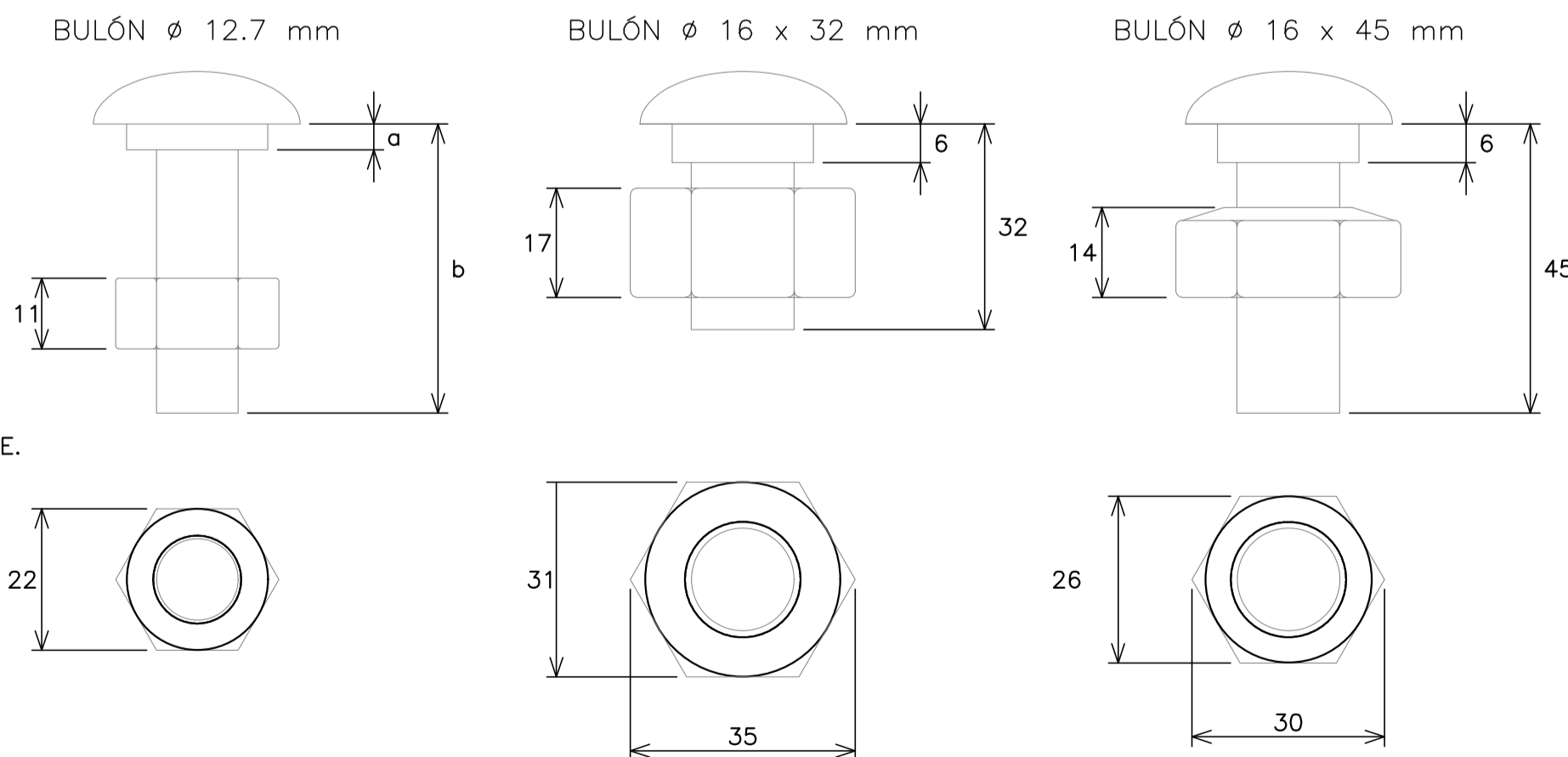


DETALLE DE BULÓN Y TUERCA

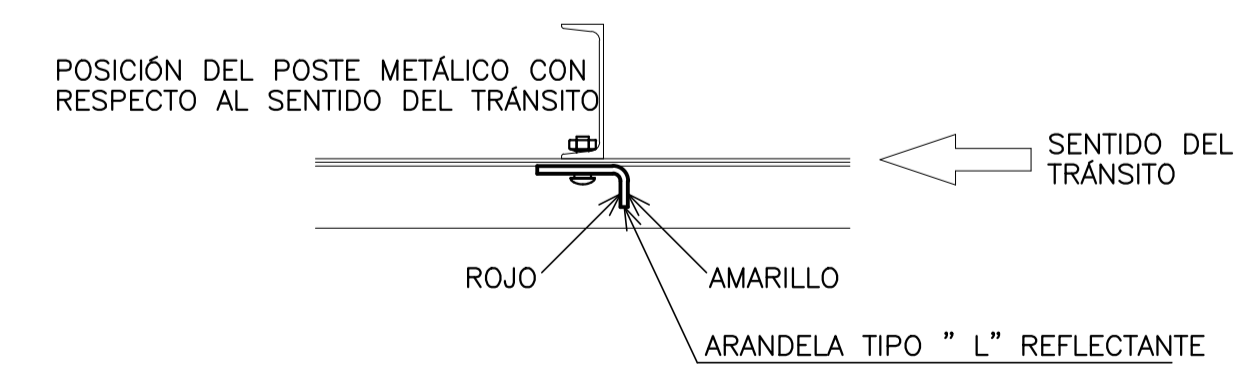
DIMENSIONES DE LOS BULONES

POSICIÓN	Ø 16.0 mm		Ø 12.7 mm	
	1	2	3	5
a (mm)	6	6	4	4
b (mm)	32	45	15	45

NOTA
LA CARA REDONDEADA DE LA TUERCA DEBE ASENTAR CONTRA EL FUSTE.



DETALLE DEL POSTE EN PLANTA



DATOS A FIJAR EN EL PROYECTO
 - DEFENSA SEGUN PLANO H-10237
 - CLASE
 - LONGITUD ÚTIL m (MÚLTIPLO DE 3.81 m)
 - CON O SIN ALAS TERMINALES (COMUNES O ESPECIALES)
 - POSTES (INDICAR TIPO)

NOTA
 LAS DEFENSAS EN CURVA, CUYO RADIO SEA MAYOR DE 45 m, PODRÁN ADAPTARSE DIRECTAMENTE EN OBRA AL INSTALARSE, Y LAS DE RADIO MENOR DEBERÁN SER PROVISTAS CURVAS PREVIAMENTE.

ES COPIA DEL PLANO H-10237 DE LA D.N.V. ADAPTADO EN TAMAÑO

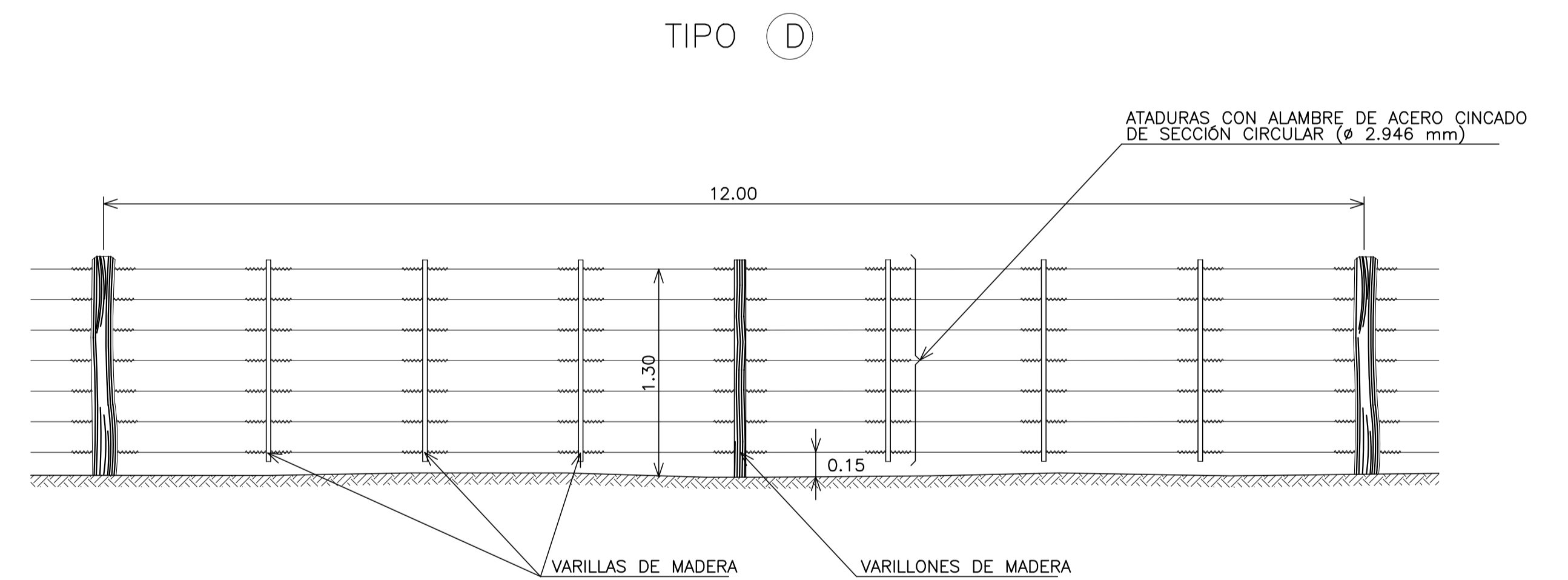
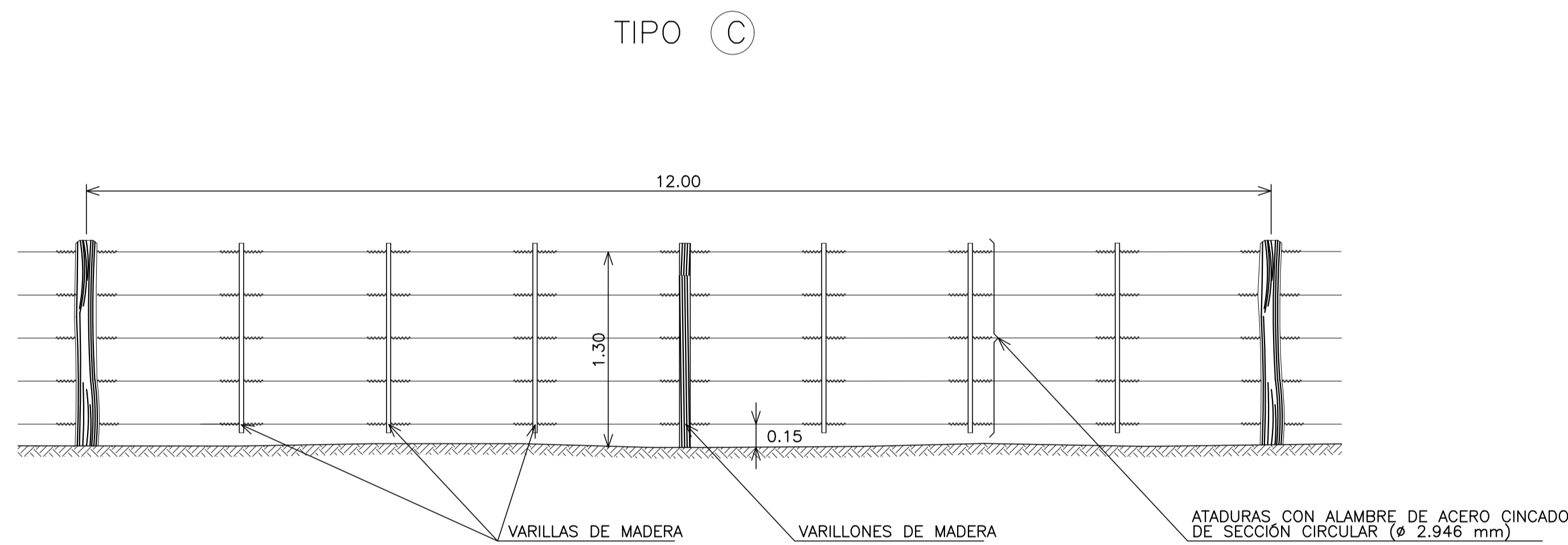
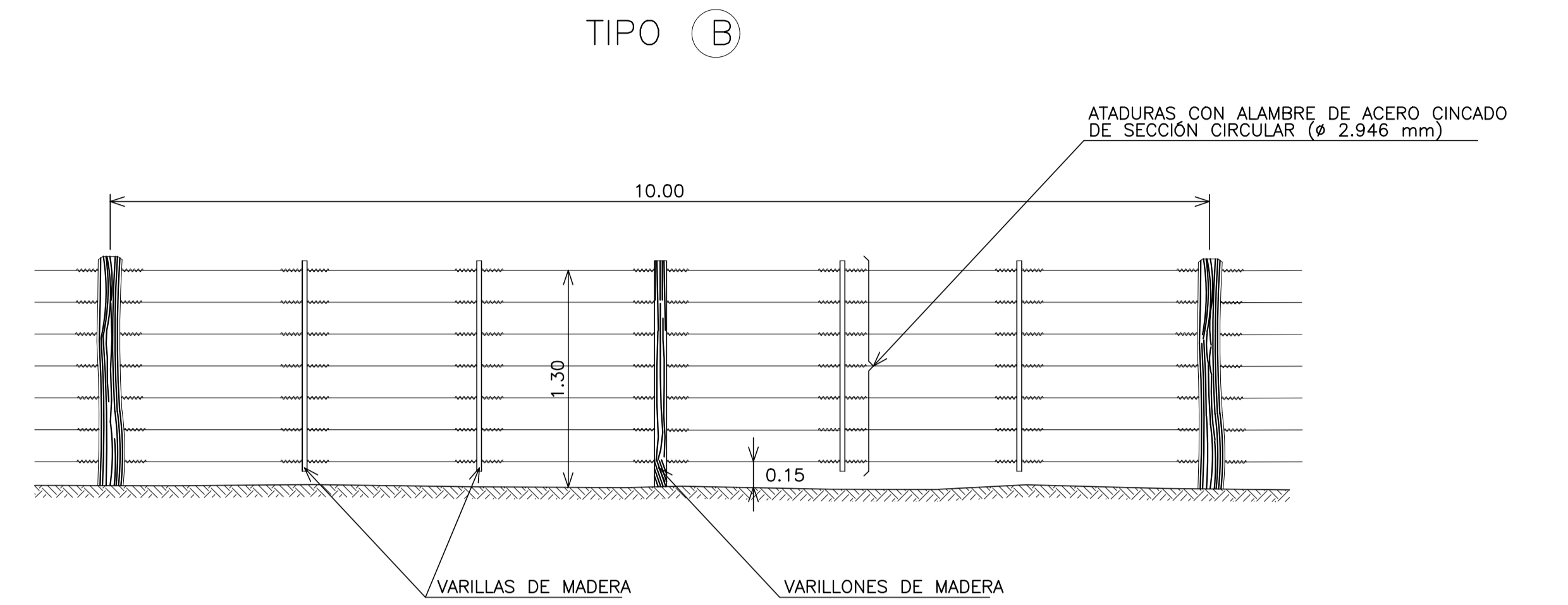
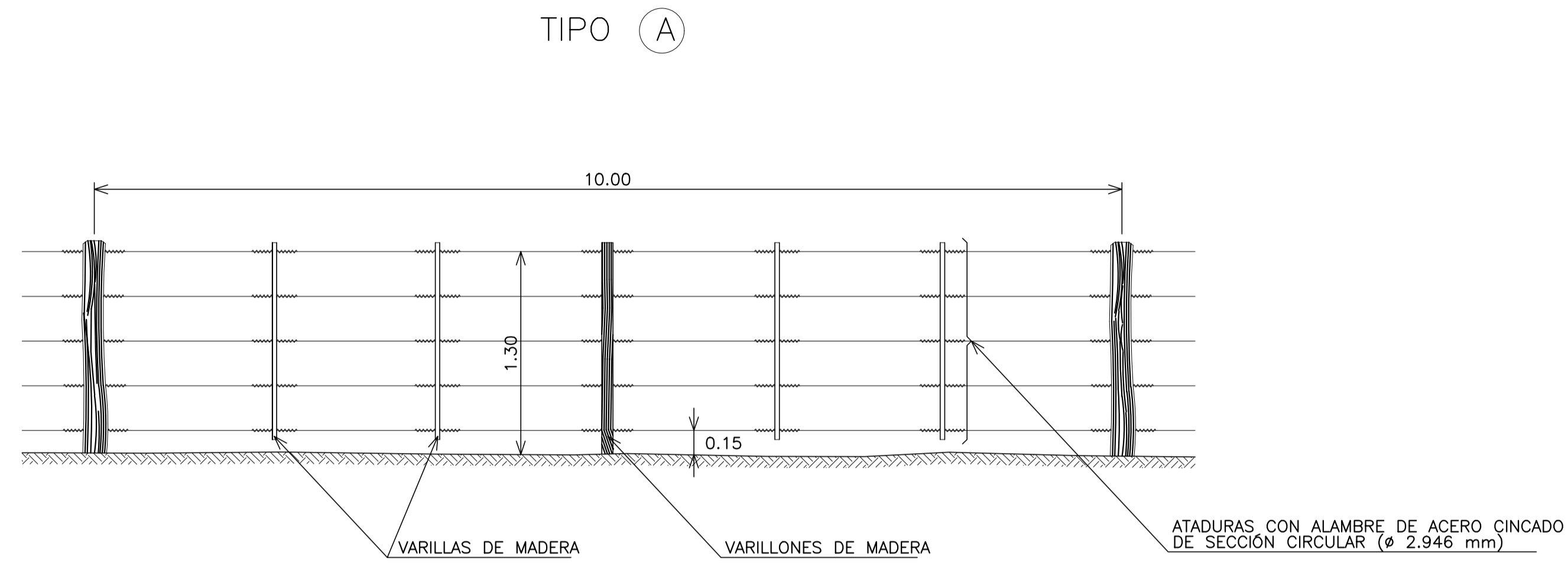
PROYECTO IV
 FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

CAMINOS DE ACCESO

INTEGRANTES:
 AICHINO, Fernando
 LÓPEZ B, Agustín
 RICCI, Lautaro
 RISSO, Santiago

PLANO N°: 7B
 FECHA: 16/04/2026
 ESCALA: VARIAS
 DEVOLUCIÓN: 02

PLANO TIPO H-10237



DATOS A FIJAR EN EL PROYECTO:
ALAMBRADO TIPO A - B - C - D

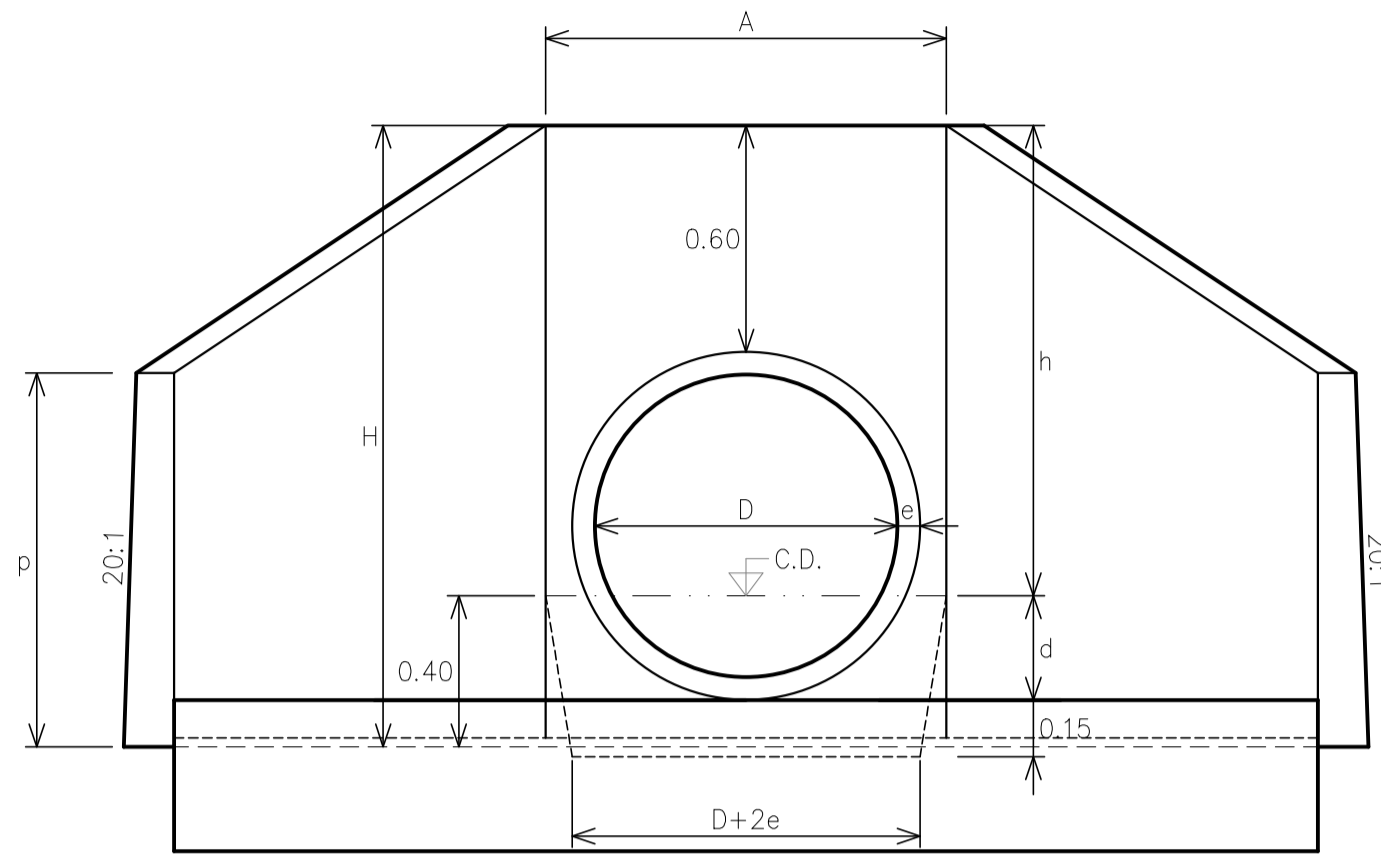
NOTAS:
LAS ATADURAS DEBERÁN EJECUTARSE DE ACUERDO AL PLANO A-277.
LA POSICIÓN DE LOS ALAMBRES DE PÓAS Y DISTANCIA ENTRE ALAMBRES SE FIJARÁ DURANTE LA CONSTRUCCIÓN, DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ALAMBRADOS REGIONALES.
MEDIOS POSTES REFORZADOS.
POSTES PRINCIPALES TORNQUETEROS Y TORNQUETES SEGÚN ESPECIFICACIONES.
ALAMBRE OVALADO DE ACERO CINCO TIPO A N° 16/14.
ALAMBRE DE PÓAS DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA CON CINCO PESADO TIPO A.

ES COPIA DEL PLANO H-2840-I DE LA D.N.V. ADAPTADO EN TAMAÑO

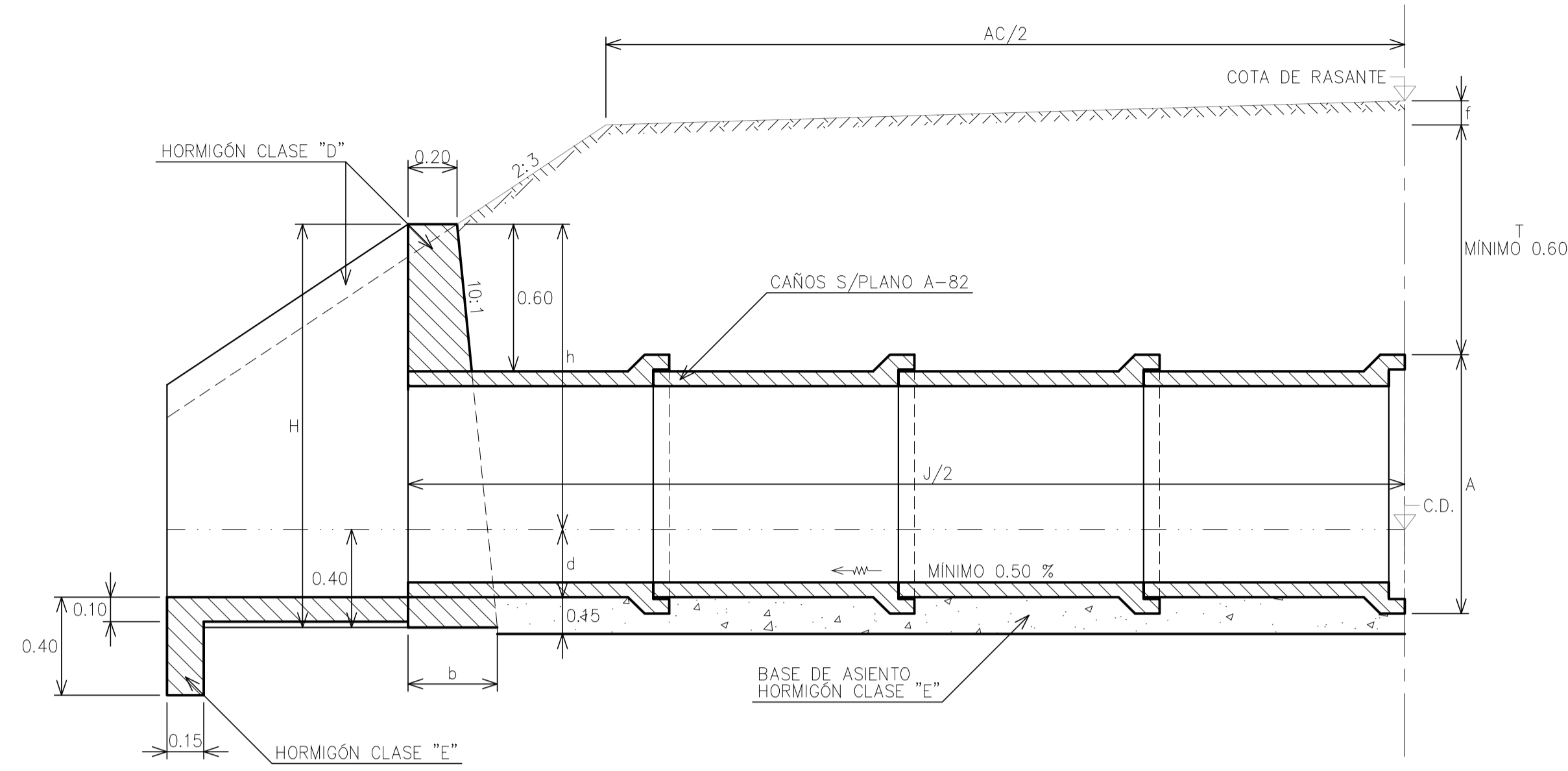
PROYECTO IV FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO			
CAMINOS DE ACCESO			
PLANO N°: 7C	PLANO TIPO H-10237		INTEGRANTES: AICHINO, Fernando LÓPEZ B, Agustín RICCI, Lautaro RISSO, Santiago
FECHA 16/04/2026	ESCALA VARIAS	DEVOLUCIÓN 02	

ALCANTARILLA DE CAÑOS SEGUN PLANO H-2993
ESCALA 1:20

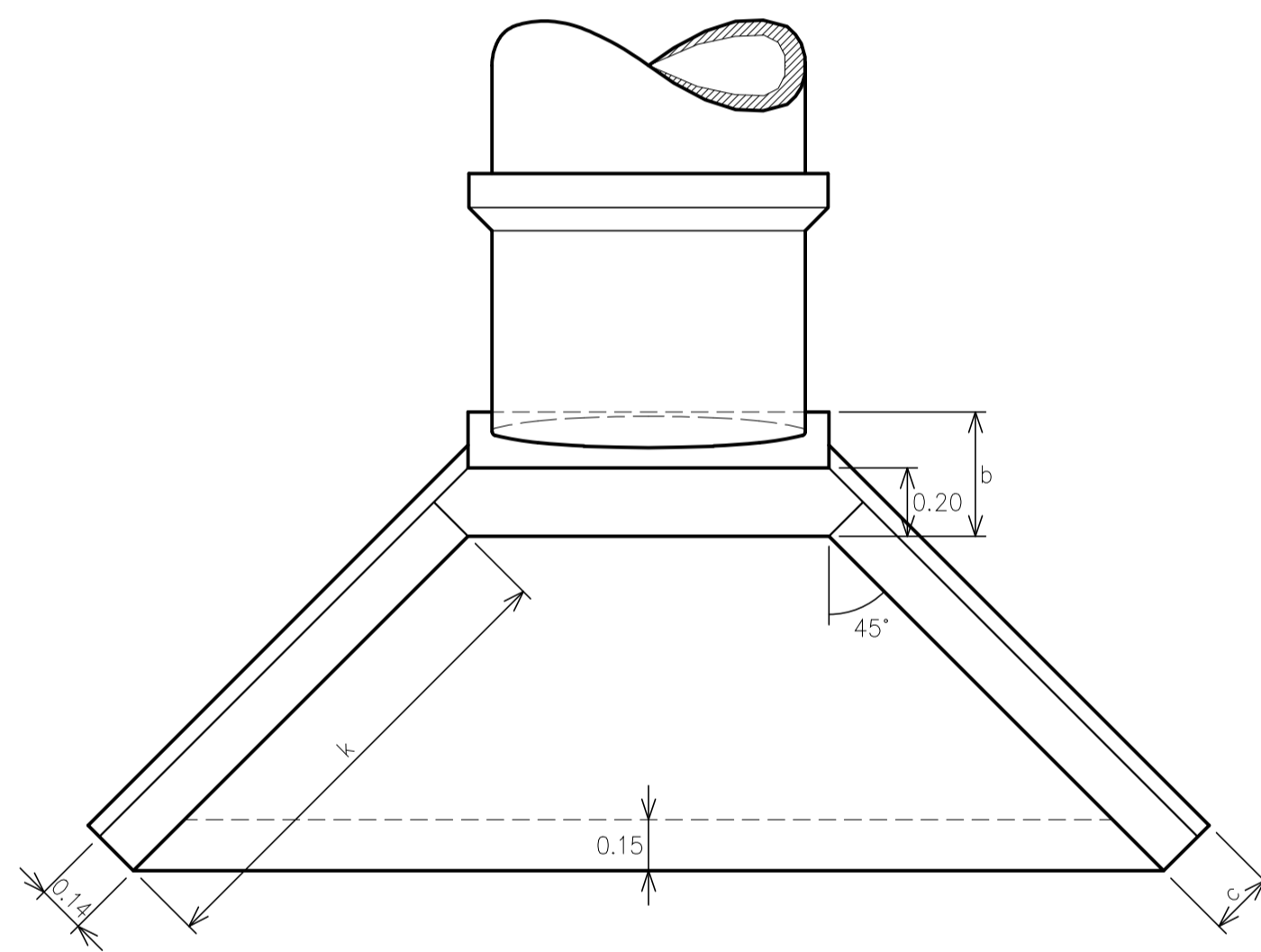
VISTA EMBOCADURA



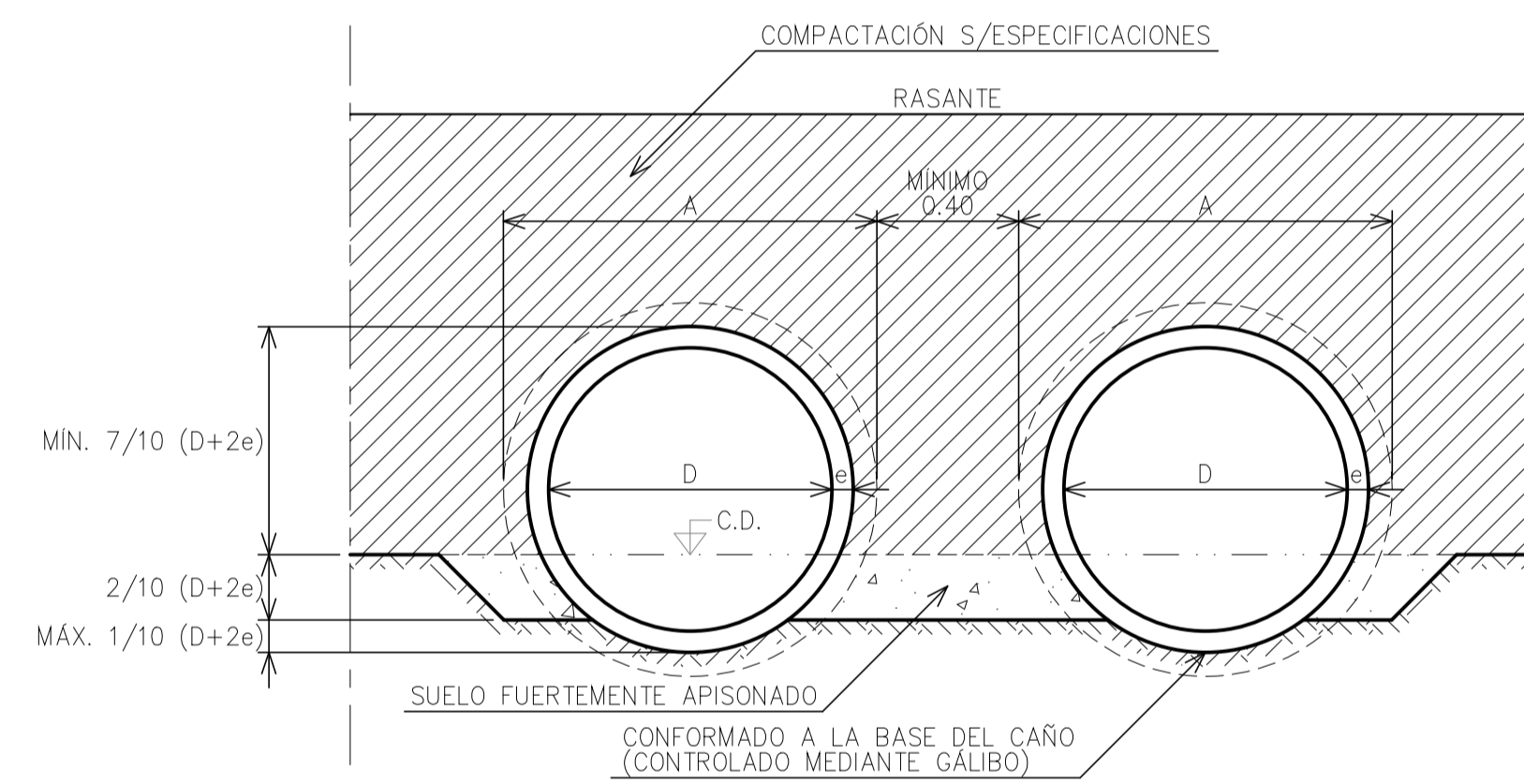
SEMI-CORTE LONGITUDINAL



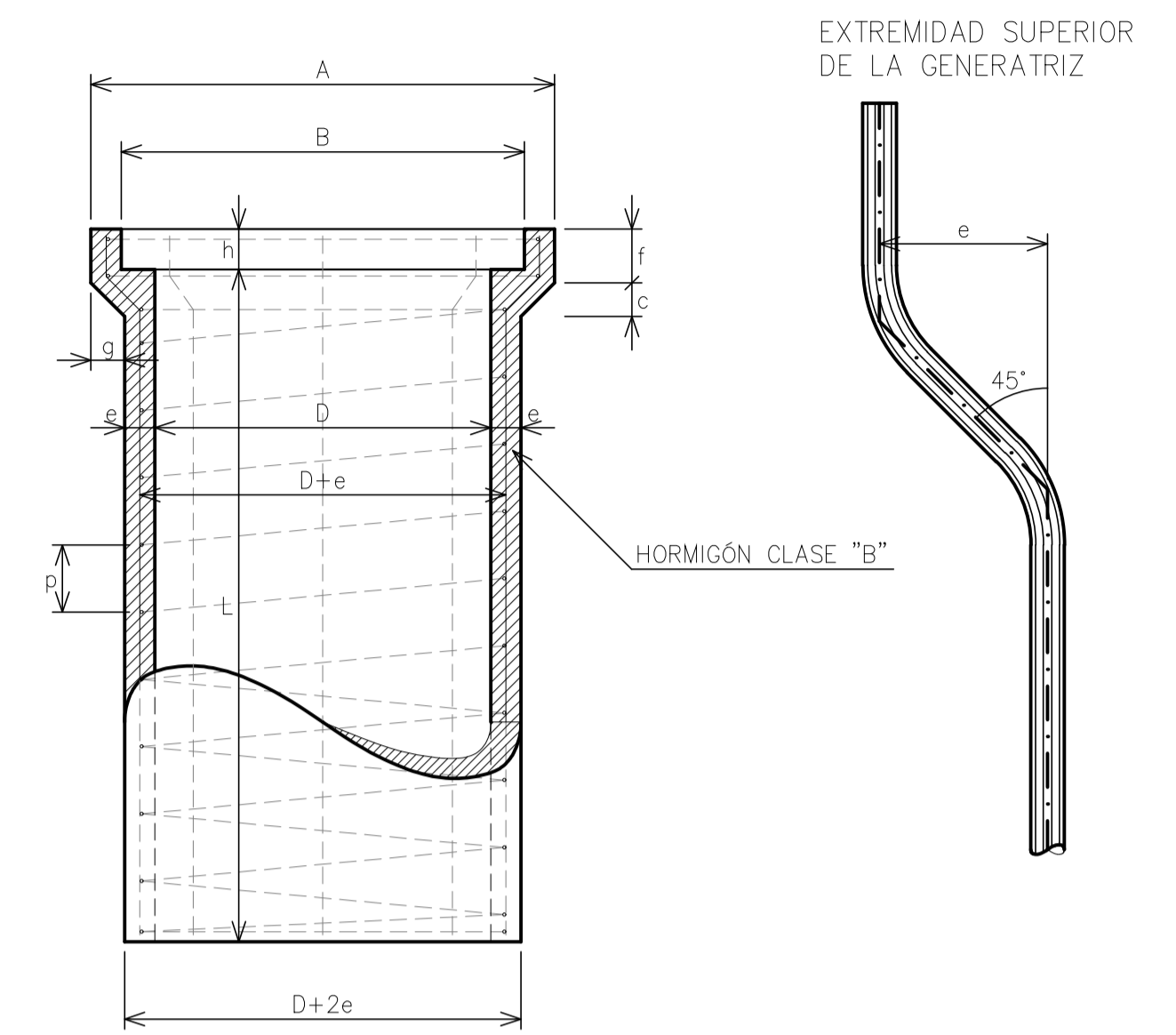
PLANTA EMBOCADURA



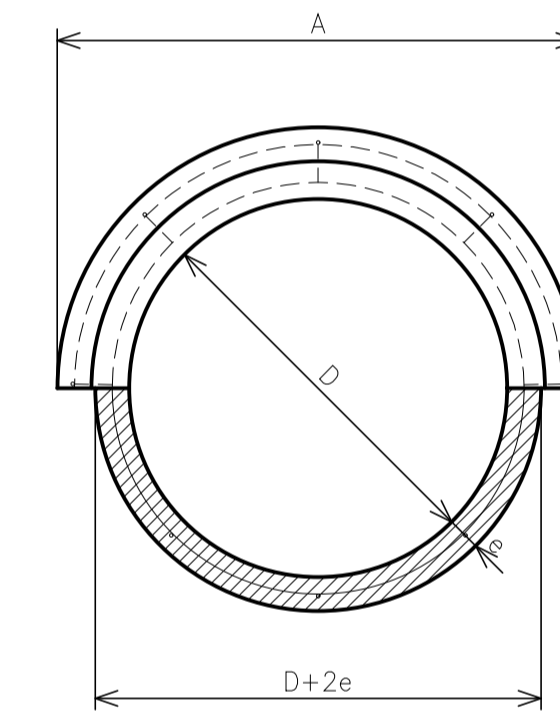
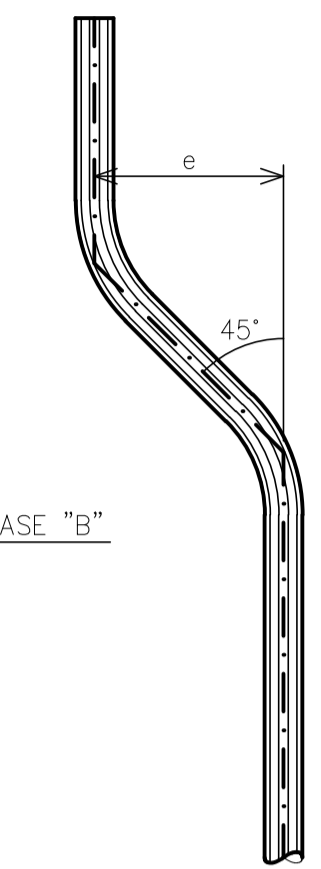
COLOCACIÓN DE CAÑOS SIN ASIENTO DE HORMIGÓN



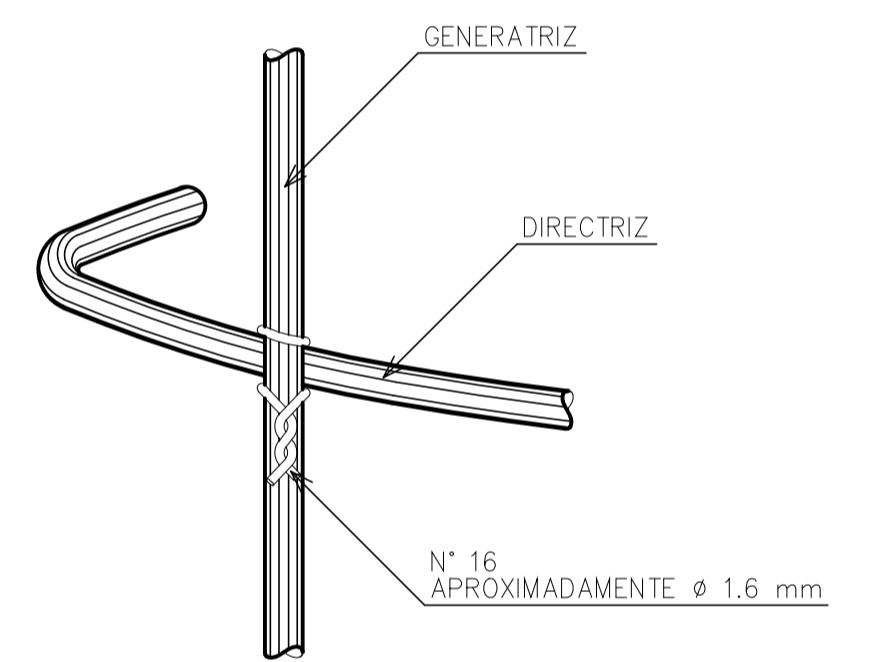
CAÑOS DE HORMIGÓN SEGÚN PLANO A-82
ESCALA 1:10



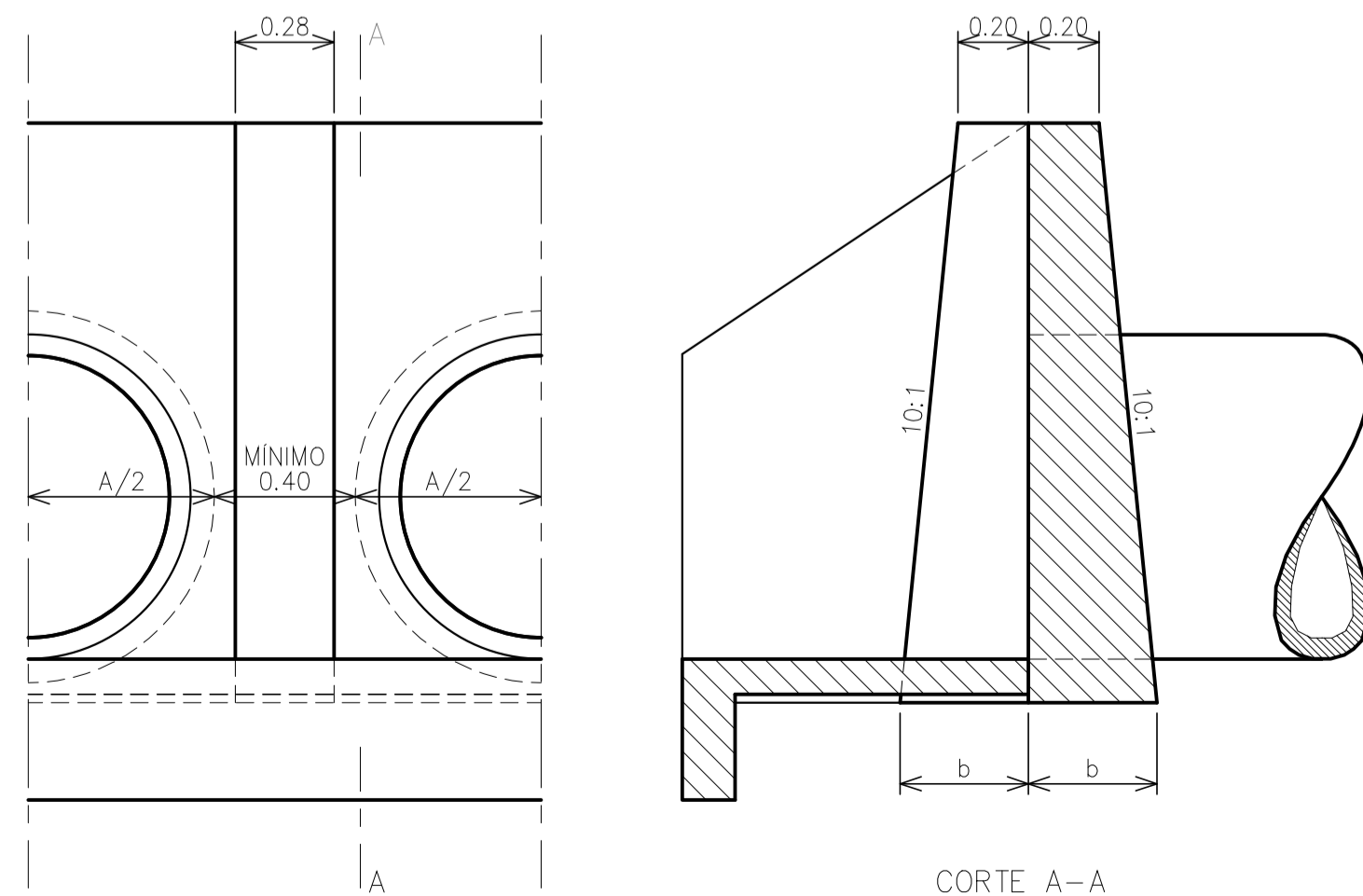
EXTREMIDAD SUPERIOR DE LA GENERATRIZ



ARMADURA DE LAS GENERATRICES CON LAS DIRECTRIZ



CONTRAFUERTE PARA LUCES MÚLTIPLES



DATOS A FIJAR EN EL PROYECTO

D=...m; J=...m
INDICAR CON O SIN BASE DE ASIENTO
n=... (N° DE LUCES)

D (m)	b (m)	k (m)	p (m)	A (m)	H (m)	c (m)	h (m)	d (m)
0.60	0.35	1.24	0.90	0.81	1.490	0.185	1.090	0.210
0.80	0.37	1.39	0.98	1.06	1.644	0.189	1.244	0.276
1.00	0.39	1.58	1.06	1.32	1.805	0.193	1.405	0.345

NOTAS

LOS CAÑOS PODRÁN SER ASENTADOS SOBRE UNA BASE DE HORMIGÓN CLASE "E", SEGÚN DETALLE, CONFORMADO A LA BASE DEL CAÑO.
LAS JUNTAS SERÁN TOMADAS CON MORTERO ASFÁLTICO 1:3.

DIÁMETRO D (m)	ESPES. PARED e (m)	LARGO ÚTIL L (m)	ARMADURAS			PESO TOTAL ARMAD. (kg)	DIMENSIONES					VOLUM. DE HORM. (m3)		
			LONG. ESPIRALES (mm)	p (mm)	DIAM. EXTER. (mm)		A (m)	B (m)	c (m)	f (m)	g (m)		h (m)	
0.40	0.040	1.00	7x8	6	0.10	0.452	7.580	0.570	0.490	0.045	0.080	0.045	0.060	0.0608
0.50	0.045	1.00	8x8	6	0.10	0.557	8.590	0.690	0.600	0.050	0.080	0.050	0.060	0.0847
0.60	0.050	1.00	9x8	8	0.11	0.668	14.820	0.810	0.710	0.055	0.085	0.055	0.060	0.1123
0.80	0.060	1.00	12x8	10	0.11	0.875	27.763	1.055	0.935	0.068	0.100	0.068	0.065	0.1780
1.00	0.075	1.00	14x8	12	0.11	1.092	46.722	1.320	1.170	0.080	0.115	0.085	0.075	0.2780

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN
HORMIGÓN: 1:1.5:3 POR VOLUMEN, CON UN MÍNIMO DE 400 kg DE CEMENTO PORTLAND POR m3.
PEDREGULLO: DE 5 A 15 mm PARA CAÑOS DE 0.40 A 0.60 m DE DIÁMETRO.
DE 5 A 20 mm PARA CAÑOS DE 0.80 A 1.00 m DE DIÁMETRO.

ES COPIA DEL PLANO A-82 DE LA D.N.V. ADAPTADO EN TAMAÑO

PROYECTO IV
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

PLANOS TIPO

INTEGRANTES:
AICHINO, Fernando
LOPEZ B, Agustin
RICCI, Lautaro
RISSO, Santiago

PLANO N°: 7D
FECHA: 16/04/2026
ESCALA: VARIAS
DEVOLUCIÓN: 02

PLANO TIPO A-82 Y H-2993

ES COPIA DEL PLANO H-2993 DE LA D.N.V. ADAPTADO EN TAMAÑO

ANEXO 3
CÁLCULOS AUXILIARES

Cálculo de curvas verticales.

Las curvas verticales 1, 2, 3 y 4 del acceso norte, tienen como particularidad que tienen igual pendiente relativa 'i₀'.

Las longitudes de curvas responden al "criterio estético".

Se ponen a continuación en la *Tabla n°1.A5* las tablas con los cálculos para calcular las cotas y las progresivas de los puntos característicos de las curvas.

Tabla n°1.A5: Cálculo de curvas verticales. Fuente: Elaboración propia.

Curva 1	
i1	0,00
i2	4,00
i0	-4,00
Tipo de curva	Concava
Longitud de curva	20,00
Pr	691,59
Cota	46,00
Progresivas	
PCV	681,59
CCV	691,59
FCV	701,59
Cotas	
PCV	46,00
CCV	46,10
FCV	46,40
e	-0,10
p	-500,00

Curva 2	
i1	4,00
i2	0,00
i0	4,00
Tipo de curva	Convexa
Longitud de curva	20,00
Pr	808,59
Cota	50,68
Progresivas	
PCV	798,59
CCV	808,59
FCV	818,59
Cotas	
PCV	50,28
CCV	50,58
FCV	50,68
e	0,10
p	500,00

Curva 3	
i1	0,00
i2	4,00
i0	-4,00
Tipo de curva	Convexa
Longitud de curva	20,00
Pr	860,77
Cota	50,48
Progresivas	
PCV	850,77
CCV	860,77
FCV	870,77
Cotas	
PCV	50,48
CCV	50,58
FCV	50,08
e	0,10
p	500,00

Curva 4	
i1	4,00
i2	0,00
i0	4,00
Tipo de curva	Concava
Longitud de curva	20,00
Pr	960,77
Cota	46,00
Progresivas	
PCV	950,77
CCV	960,77
FCV	970,77
Cotas	
PCV	46,40
CCV	46,10
FCV	46,00
e	0,10
p	500,00

Cálculo de peraltes.

Al estar trabajando con una velocidad de diseño de 15 km/h, se tiene que no podemos usar los valores tabulados debido a que el valor mínimo de velocidad de diseño para entrar a esas tablas es de 30 km/h. De esta forma, calcularemos el peralte necesario utilizando las ecuaciones de equilibrio en el sistema descrito por un vehículo en una curva. Dicho sistema se puede ver en la *Figura n°1.A5*.

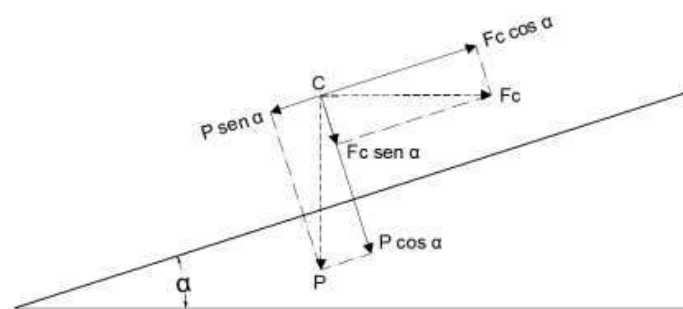


Figura n°1.A5: Cálculo de curvas verticales. Fuente: Apunte "ALINEAMIENTO VIAL PLANIMÉTRICO", Cátedra Transporte II, FCEIA, UNR.

La ecuación de equilibrio es la siguiente:

$$f \times (P \times \cos \alpha + F_c \times \text{sen} \alpha) + P \times \text{sen} \alpha = F_c \times \cos \alpha$$

Siendo:

- f : coeficiente de fricción transversal del sistema neumático-calzada.
- P : Peso del vehículo.
- F_c : Fuerza centrífuga.
- v : velocidad de circulación del vehículo [m/s]
- m : masa del vehículo [kg]
- R : radio de la curva [m]
- $\text{tg } \alpha = p$ (peralte).

Simplificando términos, se llega a la siguiente expresión:

$$f + p = \frac{1}{127} \times \frac{V^2}{R}$$

Se tiene también, como se ve en la *Tabla n°2.A5*, los valores de coeficiente de fricción para distintas velocidades.

Tabla n°2.A5: Coeficientes de fricción para distintas velocidades. Fuente: Apunte "ALINEAMIENTO VIAL PLANIMÉTRICO", Cátedra Transporte II, FCEIA, UNR.

VD [km/h]	Coef. de fricción transversal
15	0,40
20	0,35
30	0,28
40	0,23
50	0,19
60	0,17
70	0,15
80	0,14
90	0,13
100	0,12
110	0,11
120	0,09
130	0,08

Reemplazando todos los valores obtenidos en la ecuación de equilibrio antes planteada, se obtiene un valor de peralte negativo. De esta forma, se puede concluir que para velocidades tan bajas como las que se tiene de diseño, no se necesita un peralte sobre el camino que contrarreste los efectos indeseables de la circulación en curvas.

Cálculo de sobreelevaciones.

Se realiza el cálculo del sobreelevación de las curvas en el camino del terraplén. Se tiene la misma situación inicial que la descrita para peraltes. Al estar trabajando con una velocidad de diseño de 15 km/h, se tiene que no podemos usar los valores tabulados debido a que el valor

mínimo de velocidad de diseño para entrar a esas tablas es de 30 km/h. Así, utilizaremos la fórmula que nos da el apunte “ALINEAMIENTO VIAL PLANIMÉTRICO”, de la Cátedra Transporte II, FCEIA, UNR.

$$s = W_c - W_n$$

Donde ‘s’ indica el sobreancho a calcular, ‘ W_c ’ es el ancho total del carril y ‘ W_n ’ es el ancho de la calzada.

El valor de ‘ W_n ’ corresponde al ancho del carril sobre el terraplén, en total 4,00m. Procederemos al cálculo del factor ‘ W_c ’. El mismo puede apreciarse en la *Figura n°2.A5*.

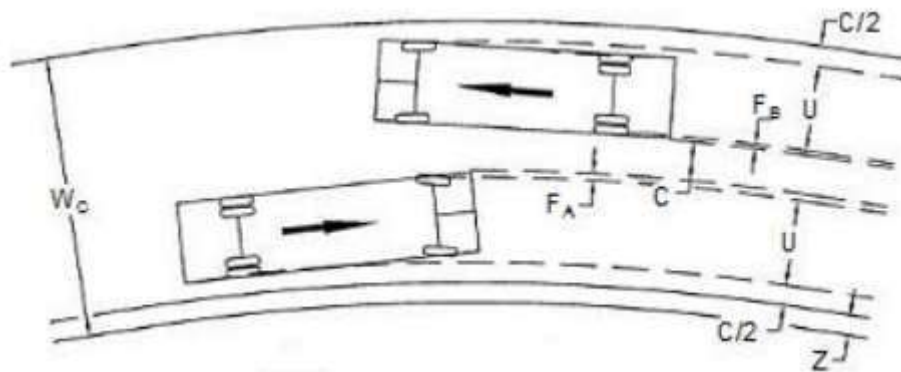


Figura n°2.A5: Cálculo de sobreanchos. Fuente: Apunte “ALINEAMIENTO VIAL PLANIMÉTRICO”, Cátedra Transporte II, FCEIA, UNR.

Así, la ecuación a estudiar es la siguiente:

$$W_c = N \times (U + C) + (N - 1) \times F_A + (N - 1) \times F_B + Z$$

Siendo:

- N : Número de carriles. Se tiene un único carril de 4,00m.
- U : ancho total de las trayectorias recorridas por las ruedas [m].
- C : ancho lateral libre de obstrucción [m]. Se adopta un valor de 0,36m.
- F_A : ancho frontal sobresaliente del vehículo [m].
- F_B : ancho trasero sobresaliente del vehículo [m].
- Z : ancho adicional para compensar la dificultad de conducir en curva [m].
- R : Radio de curva [m]. Se tiene siempre que es igual a 20,00m.
- VD : Velocidad de diseño [m/s]. Se recuerda que es de 15 km/h.

Para camiones del tipo que estamos estudiando (S1-D1) se tienen las siguientes ecuaciones, para determinar los factores buscados:

$$U = 2,59 + R - \sqrt{R^2 - 37,21}$$

$$F_A = \sqrt{R^2 + 16,37} - R$$

$$Z = \frac{VD}{9,6 \times \sqrt{R}}$$

Tras reemplazar los valores en cada ecuación, se obtiene un resultado de 's=0,51m'.